

Les Fontaines d'Yport (Seine-Maritime), émergences majeures du littoral normand crayeux Exploitation et vulnérabilité de la ressource en eau

Thierry GAILLARD (1), Emmanuel HAUCHARD (2), Jean-Claude ROUX (3)

(1) SAFEGE, 15/27 rue du Port 92000 Nanterre. thierry.gaillard@safeg.fr

(2) Directeur adjoint délégué, Direction Eau et Assainissement de la CODAH, 19 rue Georges
Braque 76000 Le Havre. emmanuel.hauchard@agglo-havraise.fr

Chercheur associé - Université de Rouen, CNRS 6143 M2C, faculté des Sciences 76821 Mont-Saint-
Aignan Cedex.

(3) Ancien Hydrogéologue du BRGM, Ancien Président du Comité Français d'Hydrogéologie, 100
rue de la Somme 45160 Olivet. j-cloux@wanadoo.fr

I. LA RESSOURCE EN EAU DE LA CRAIE EN HAUTE NORMANDIE

I. 1 Spécificité du réservoir crayeux haut normand

Les ressources en eau potable de Haute Normandie proviennent essentiellement du réservoir crayeux du Crétacé supérieur. Ce réservoir, outre une porosité matricielle et fissurale, est affecté par le développement de vides karstiques qui sont alimentés par des pertes d'eaux superficielles diffuses ou ponctuelles : les bétoires.

Dans ce contexte hydrogéologique particulier, plusieurs agglomérations sont alimentées par des sources dont le fonctionnement karstique a été démontré par traçages [1] et [2]. Le long du littoral de la Manche, la craie forme des falaises abruptes et la nappe de la craie se vidange alors dans la mer par le biais de petites résurgences que l'on peut découvrir perchées dans la falaise ou dans les cordons de galets.

Les " Fontaines d'Yport " (Seine-Maritime) se répartissent en trois groupes d'émergences et constituent les sources les plus importantes du littoral crayeux de Normandie et de Picardie.

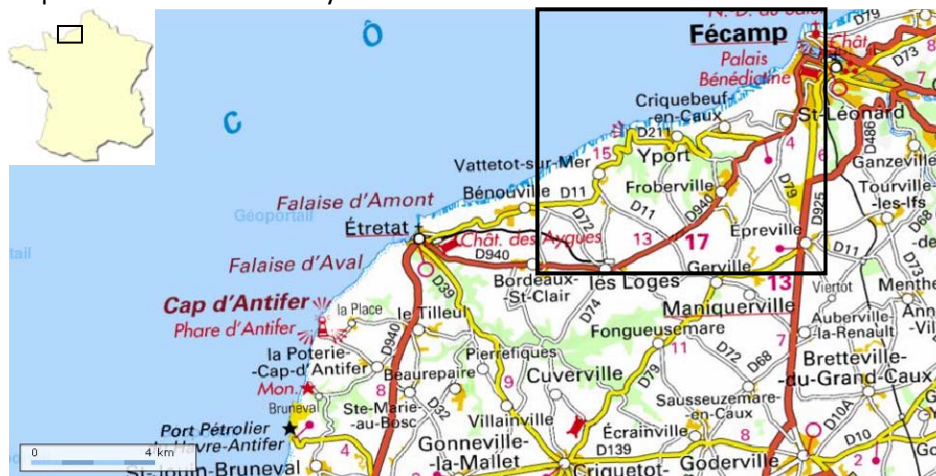


Figure 1 – Localisation d'Yport, entre Etretat et Fécamp (Géoportail)

En janvier 1971, l'IGN effectua des prises de vues aériennes de nuit, le long du littoral, par thermographie. Les données, vérifiées par une reconnaissance sur le terrain permettaient de répertorier la totalité des sources d'eau douce sur le platier d'Yport, et de vérifier l'absence de sources plus au large. Les «fontaines

d'Yport », jaugées entre 1,5 [9] et 2,8 m³/s en 2011, sont les secondes du littoral français de la Manche, après les résurgences de l'Aure à Port-en-Bessin (Calvados).

I. 2 Données lithostratigraphiques

La craie présente des faciès relativement monotones en foration et difficiles à différencier, la présence de silex étant souvent le seul indice du passage d'un étage à un autre. Le littoral normand entre Etretat et Fécamp offre néanmoins un remarquable observatoire de la lithostratigraphie de la craie du pays de Caux. Au Royaume Uni, la stratigraphie de la craie a fait l'objet d'une synthèse en 2001, fondée sur la stratigraphie événementielle [4]. L'intérêt de cette approche pour les hydrogéologues réside dans l'identification des séquences de craie sur le terrain, ne nécessitant pas la détermination de foraminifères, et fondé sur des repères stratigraphiques dont l'extension couvre probablement le bassin anglo-parisien selon l'organisation de faciès proximaux ou distaux.

De part et d'autre de la vallée de Yport, plusieurs niveaux repères sont ainsi identifiables. A la base, un niveau de craie rousse, sableuse, constitue la base de la pointe du Chicard. Une série de hard ground coalescents, ci dénommé hard ground de la pointe du Chicard, surmonte la craie sableuse et est lui même surmonté par un hard ground bien marqué et isolé. Deux doubles lits de silex (2x2 de Hoyez [3]) est identifiable sur le tiers inférieur de la masse crayeuse. Au milieu de la falaise, deux autres niveaux repères se distinguent : le niveau à silex bathychnus et un joint de craie marneuse se délitant en plaquette, très bien marqué entre Yport et Fécamp.

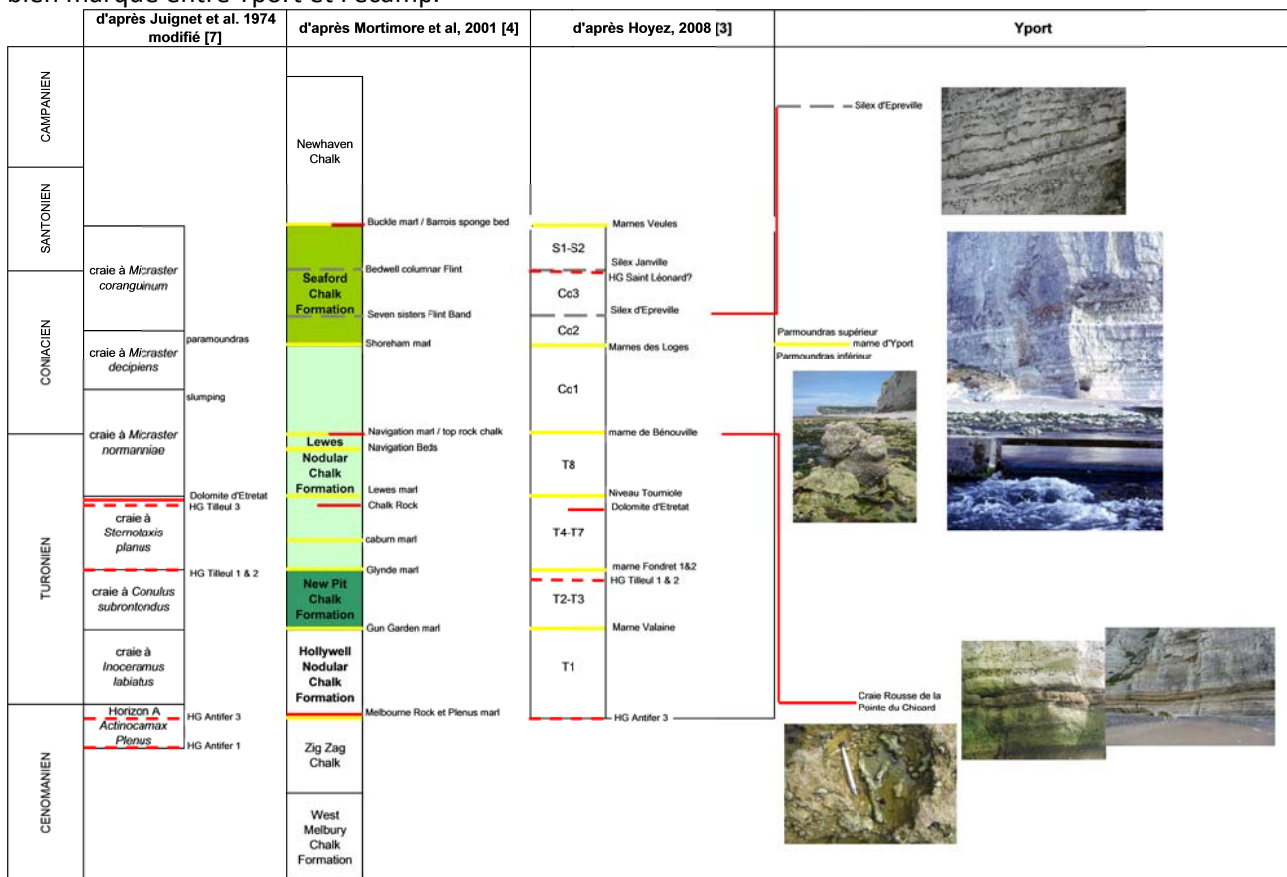


Figure 2 – Craie de la Pointe du Chicard, Yport

La corrélation des niveaux d'Yport avec les niveaux anglais conduit à envisager que la craie située sous le niveau de craie sableuse rousse appartient à la craie de Lewes, tandis que la craie de Seaford est représentée par les faciès crayeux en falaise. Le niveau marneux est probablement le Shoreham marl du Sussex [3] tandis que la craie rousse correspond vraisemblablement au Navigation hard ground /Top rock des auteurs britanniques (marquant le passage au Coniacien). L'autre intérêt de la stratigraphie événementielle est d'ouvrir des perspectives de corrélation en forage, avec des diagraphies résistivités et

gamma ray qui identifient les marqueurs événementiels tant à l'échelle régionale [5] qu'à l'échelle du bassin anglo-parisien [6].

I. 3 Données structurales

A la limite entre les blocs cadomien et rhéno-hercynien, le Pays de Caux, est plus particulièrement affecté par trois familles de fractures : une famille de direction N150-160 et N120-130 (origine armoricaine), une famille de direction N30-N50 (origine varisque), et une famille de direction N90-N100 [8].

L'étude de la fréquence d'apparition des groupes de directions relevés sur 274 alignements identifiés [9] confirment le rôle des directions tectoniques majeures :

16,42% orientés N32° à N44°, conforme à la direction N40 relevé sur le platier

10,95% orientés N48° à N60°,

14,96% orientés N89° à N100°, conforme à la direction N90 relevé sur le platier

11,3% orientés N154° à N173° conforme à la direction N140 relevé sur le platier.

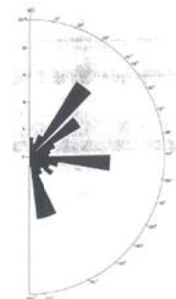


Figure 3 – relevé des directions des linéaments [9]

I. 4 Fonctionnement de l'hydrosystème

La formation des karsts du pays de Caux doit son origine à la fois à des facteurs structuraux (relèvement du bloc du Pays de Caux) et à des facteurs stratigraphiques. Dans ce contexte, les émergences d'Yport se démarquent des autres sources du littoral, à la fois par leur position topographique et leurs débits.

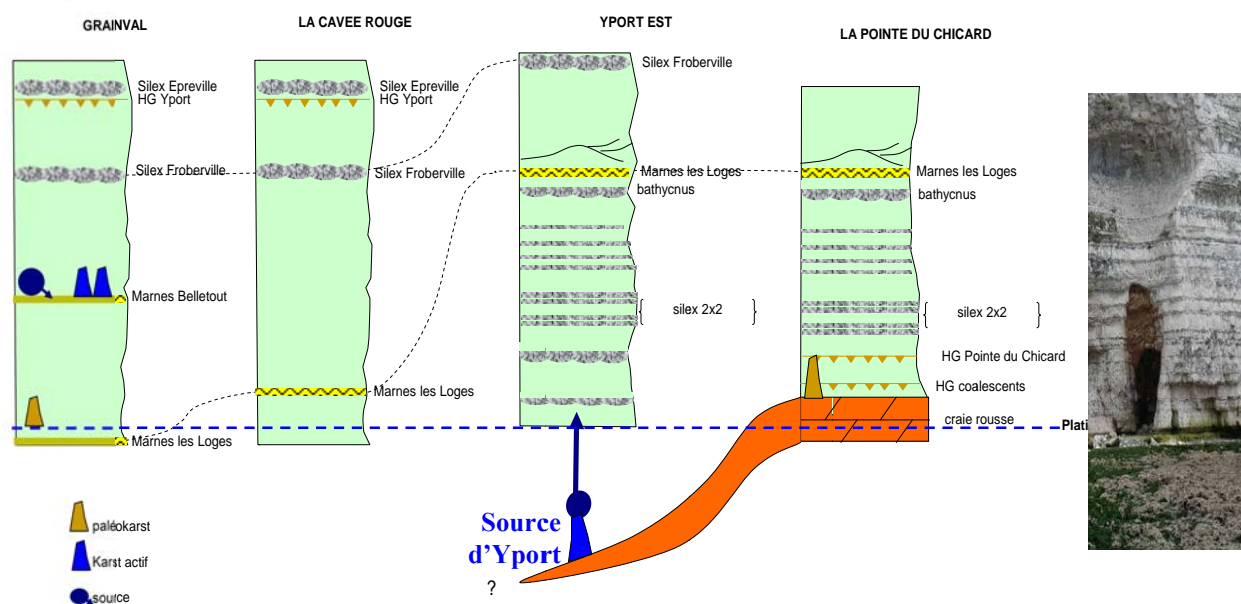


Figure 4 – karst et stratigraphie de la craie de la baie de Criquebeuf

En effet, du point de vue structural, le karst d'Yport montre une très nette influence des directions tectoniques majeures tant au niveau de l'orientation du boyau karstique du forage (N120/130) que de la fissure observée par JC Roux au droit des émergences (N120/130). Cette direction majeure se retrouve dans les traçages (cf. infra). Par ailleurs, le niveau de craie sableuse indurée équivalent du Top Rock britannique, semble lui aussi jouer un rôle dans la mise en place du karst en limitant la karstification en profondeur. Il supporte vraisemblablement, au moins localement, le karst d'Yport. De nombreuses cavités s'appuient sur ce niveau très dur à la pointe du Chicard. Enfin, le niveau marneux (*Belletout marl*) joue un rôle majeur malgré sa faible épaisseur en soutenant un épikarst dont les émergences perchées s'étalent le long de la falaise de Grainval plus à l'est.

II. LE CAPTAGE DES SOURCES D'YPORT

II. 1 Historique de la recherche du karst

Au début des années 1960, les besoins en eau potable de l'agglomération havraise étaient entièrement couverts à partir de ressources souterraines (les sources de Saint-Laurent-de-Brévedent, les sources de

Rouelles, et les sources et forages de Radicatel). Bien que ces différents captages permettaient de satisfaire les besoins en eau, les services techniques de la ville du Havre, avant même la mise en service des forages de Radicatel, se préoccupaient, dans un souci de sécurité, de rechercher des ressources complémentaires, et s'intéressaient aux sources d'Yport.

La ville fait alors construire des murets et des déversoirs autour des deux principaux groupes d'émergences d'Yport, afin d'en mesurer leurs débits. L'idée première était de capter le conduit karstique à l'intérieur de la falaise, afin d'une part, de le protéger des assauts de la mer et des éboulements, et d'autre part de pouvoir pomper à marée haute si nécessaire.

En 1964-1965, un puits est donc creusé dans la falaise, sous le contrôle du BRGM, à partir de la galerie d'amenée de la conduite d'eau du captage d'Yport, pour tenter de recouper les conduits karstiques. Une fissure bourrée d'argile est mise en évidence dans un plan de diaclase, mais le conduit actif n'est pas rencontré. Des sondages légers exécutés sur la plage ne donnent pas davantage de résultats.

Cependant, une reconnaissance par plongée effectuée en août 1967 par P. SANGNIER, géologue au BRGM, à partir de l'ancien captage d'Yport, confirme l'existence d'un conduit s'enfonçant sous la falaise avec une pente de 30°, mais pénétrable sur seulement 10 à 12 mètres, car obstrué au-delà.

À partir de 1969, de nouvelles recherches sont confiées par la ville du Havre à BURGÉAP [10], à l'intérieur des terres dans le bassin d'Étretat, plus proche du Havre. Six forages sont réalisés dans l'axe de la vallée sèche principale, mais les résultats sont médiocres avec des débits de 1 à 30 m³/h par ouvrage, et une moyenne de 7 m³/h.

En 1970, les recherches s'orientèrent donc de nouveau vers le bassin d'Yport. Un premier forage (R), exécuté au sud du bourg, dans une vallée sèche secondaire donne un excellent résultat avec un débit de 190 m³/h pour un rabattement de 0,30 mètre. Une campagne de géophysique fut alors réalisée dans la vallée sèche principale et certaines vallées adjacentes, qui aboutit à l'implantation de trois autres forages (P, Q, S). Elle permet de localiser des anomalies conductrices pouvant correspondre à des zones de fissuration de la craie. Les débits obtenus étaient compris entre 85 et 275 m³/h.

Le forage S, au lieu-dit " Le Bois de la Vierge " donna d'excellents résultats avec un débit de 275 m³/h pour 0,05 m de rabattement. L'année suivante, un nouveau pompage d'essai sur cet ouvrage mettait en évidence un débit possible de 850 m³/h (limite d'évacuation des eaux d'exhaure) pour 0,33 mètre de dénivellation stabilisée, et un pompage de courte durée à 1 100 m³/h, n'entraînait qu'un rabattement de 0,90 mètre. L'eau était de bonne qualité physico-chimique et ne montrait pas de trace de contamination par l'eau de mer. Le secteur d'Yport apparaissait donc comme extrêmement favorable, et susceptible de produire une part importante des besoins futurs de la ville du Havre estimés à 50 000 m³/jour.

Cependant, pour tenter une nouvelle fois de se rapprocher du Havre, une seconde campagne de forages de reconnaissance fut lancée dans les vallées d'Étretat, après une campagne complémentaire de géophysique. Mais aucun des 6 forages exécutés n'ayant donné de résultat positif, les travaux reprirent définitivement dans la vallée d'Yport. De janvier à mai 1974, des pompages par paliers de débits croissants d'une durée totale de 79 jours, effectués sur un puits d'essai, permettent de prélever jusqu'à 2200 m³/h (52 800 m³/j) pour une dénivellation de l'ordre de 2 mètres, le pompage n'étant limité que par la capacité d'évacuation des eaux d'exhaure.

II. 2 Caractéristique du puits du Bois de la Vierge

Le puits d'exploitation du Bois de La Vierge (0056-8X-0061) a rencontré un vide karstique de près de 6 mètres de hauteur. Le plan de tubage a dû être adapté aux risques géotechniques d'effondrement. Le forage avec parois en béton a été mis en place au centre de cette cavité. Il descend à une dizaine de mètres sous la base du conduit karstique. La base du forage a été remplie de béton sur 4 mètres puis 6 mètres de graves permettent d'arriver à la base du conduit karstique, le tout étant recouvert d'un laitier de ciment. Au niveau du conduit karstique quatre ajutages dans la paroi bétonnée de 0,5m x 0,5m et quatre ajutages de 0,8m x 2m ont été réalisés afin de permettre le passage de l'eau dans le cuvelage.

A l'intérieur de ce cuvelage trois tubes aciers inox ont été mis en place et se terminent par une partie crépinée au niveau du conduit. À partir du premier puits de captage, le karst a été exploré par les plongeurs spéléo de Paris. Il est composé de deux chambres et d'un boyau sur 130 mètres. La base du conduit karstique étant à la côte - 6 NGF, le karst se trouve en position de drainage de tout le massif crayeux.

Trois pompes d'une capacité de 650m³/h à 85m de HMT ont été installées. Ces pompes fonctionnent avec des variateurs de fréquence. Elles sont toutefois principalement utilisées à débit fixe. Il existe également un dispositif anti coups de bélier en cas de refoulement lors des séquences marche/arrêt. En temps normal, sur ces trois pompes deux fonctionnent en permanence et une est utilisée en secours.

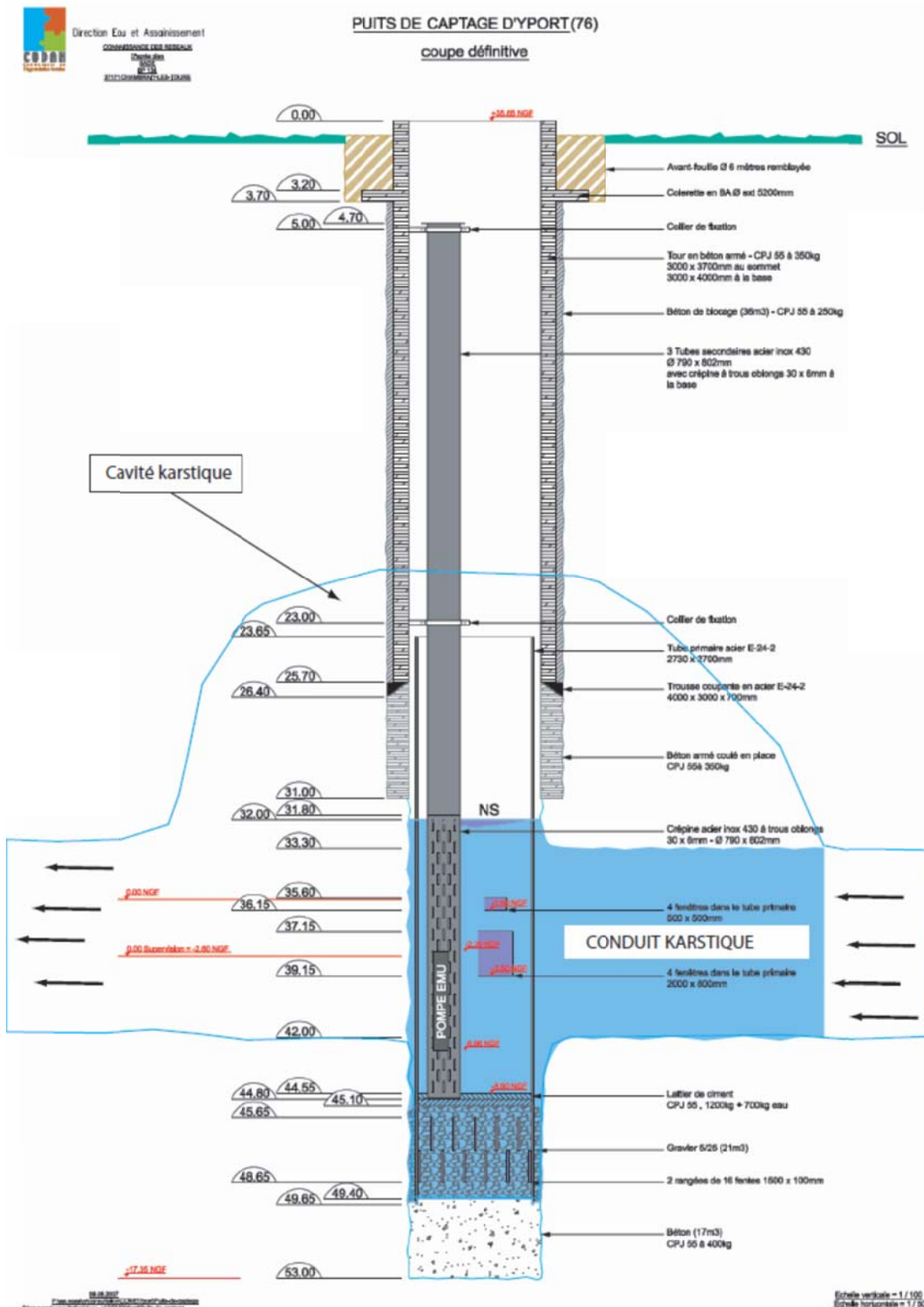


Figure 5 – coupe du captage (CODAH)

III. MODALITES DE PROTECTION DE LA RESSOURCE EN EAU

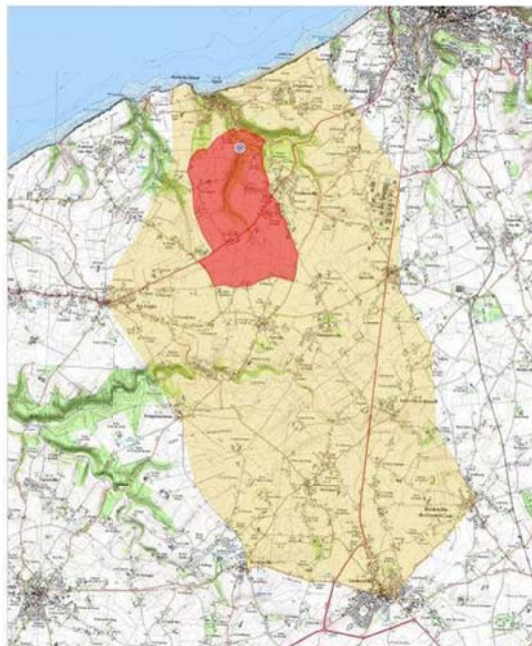
III. 1 Démarche périmètres de protection

Il est apparu dès les premières études, que le bassin topographique des sources d'Yport ne pouvait pas expliquer l'importance des débits des émergences étant donné sa superficie (18 km²). En 1970, une campagne piézométrique met en évidence que le bassin hydrogéologique des sources d'Yport capture la vallée d'Étretat, et couvre 90 km² [12]. En février 1973, un traçage effectué dans le forage par le BRGM confirme l'extension avec les "Fontaines d'Yport" distantes de 1 500 mètres, avec une vitesse d'écoulement de 260 à 290 m/h.

Entre 1974 et 1977, des traçages qualitatifs à la fluorescéine à partir de pertes ou bétoires de l'arrière pays (Gerville, Goderville, Bretteville-du-Grand Caux) ont confirmé l'extension du bassin d'alimentation souterrain des Sources d'Yport et la capture du bassin d'Étretat, avec des vitesses moyennes d'écoulement de 120 à 200 m/h sur des distances allant parfois jusqu'à 10 kilomètres. Sur la base de ces études, les périmètres de protection et leurs servitudes ont été définis par les hydrogéologues agréés,

en 1982, puis institués par DUP en mars 1985 pour 50 000 m³/j [11]. Le forage et l'usine de traitement des eaux d'Yport

ont été réalisés en 1993-1994. Toutefois la mise en œuvre opérationnelle ne s'est faite qu'en 1998 après la réalisation du réservoir de stockage des eaux intermédiaire entre l'usine de production et la ville du Havre. La protection repose sur la définition d'un périmètre rapproché et d'un périmètre éloigné destinés à couvrir l'ensemble du bassin d'alimentation des sources.



III. 2 Prévention des pollutions du karst

Le caractère karstique de la craie étant démontré, la CODAH a depuis lors tracé plusieurs autres bétoires afin de préciser les limites du système karstique. La figure 7 synthétise l'ensemble des traçages positifs au forage d'Yport connus en 2011. En ce qui concerne la circulation karstique on peut observer qu'à l'exception du point situé le plus au sud en limite du bassin d'alimentation de captage, les vitesses de transfert sont particulièrement élevées et comprise globalement entre 150 et 400m/h. On peut également remarquer que l'ensemble du réseau de drainage est bien structuré et mature puisqu'en dépit de la dispersion des points d'engouffrement sur l'ensemble du bassin d'alimentation la circulation souterraine converge vers le drain principal intercepté par le forage. Cette caractéristique rend ce dernier particulièrement vulnérable aux pollutions ponctuelles.

La plupart des thalwegs secs sont constellés de points d'engouffrements (bétoires) qui vont faciliter l'introduction dans le réseau karstique des écoulements de surface avec leur cortège de polluants. C'est la raison pour laquelle dans le cadre de l'étude de bassin d'alimentation de captage que mène actuellement la CODAH, le recensement des points d'engouffrement a été réalisé afin de compléter la connaissance des sources de pollutions ponctuelles potentielles ou existantes. En effet de nombreux rejets de stations d'épurations, de lagunages ou encore de réseaux de gestion des eaux pluviales finissent dans ces bétoires. Par ailleurs plusieurs axes de circulations importants sillonnent le bassin d'alimentation et les déversements accidentels constituent une menace bien réelle. La CODAH a d'ores et déjà entrepris la réalisation de travaux pour protéger son forage en traitant par exemple des points d'engouffrements. Des massifs filtrants peuvent ainsi être mise en place au niveau de certaines bétoires afin de favoriser la décantation et la filtration des eaux de ruissellement. Ponctuellement des ouvrages hydrauliques plus importants comme des ouvrages de rétentions avec débourbeurs-déhuileurs peuvent également être réalisés.

III. 3 Démarche Grenelle

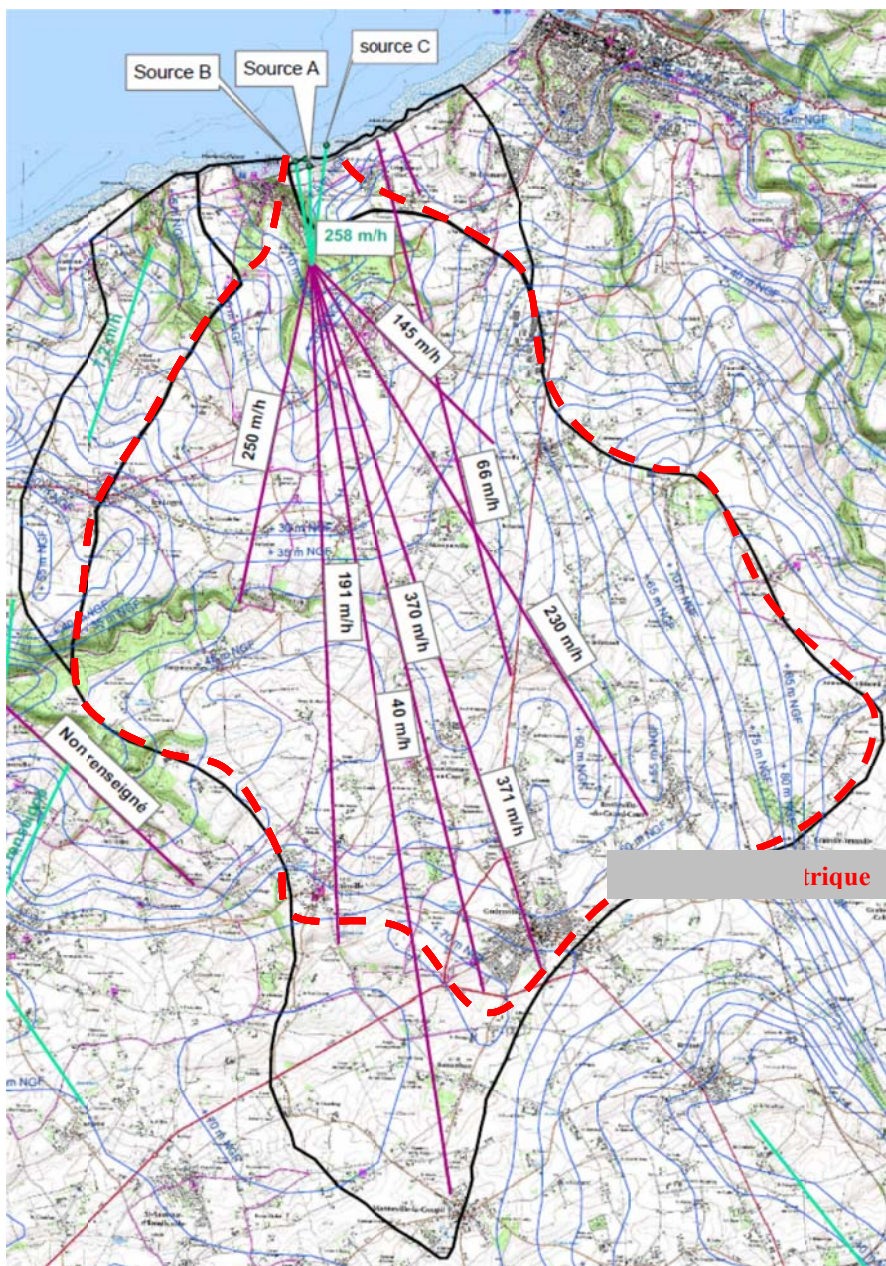
Le classement Grenelle du forage d'Yport a motivé la réactualisation des connaissances hydrogéologiques acquises dans les années 1970-1980. Des traçages et une étude de définition du bassin d'alimentation ont permis de mettre en évidence la prolongation du système karstique en amont et la remise en perspectives du fonctionnement hydrogéologique.

Dès lors, plusieurs difficultés ont été soulevées :

1. La première a trait à la méthodologie de la définition de la vulnérabilité en contexte de milieu à triple porosité ; une approche dissociant la matrice (fondée sur la piézométrie) et les circulations rapides (fondée sur le recensement des bêtouilles et les traçages) a abouti à l'élaboration de deux cartes de vulnérabilité différentes :

- La vulnérabilité matricielle peut expliquer l'évolution lente des teneurs en nitrates et la persistance de la déséthyl atrazine
- La vulnérabilité karstique, à l'origine de l'introduction dans le karst de produits phytosanitaires liés au ruissellement (AMPA, atrazine non détecté depuis 2004).

2. la seconde est liée à la possibilité d'une contribution d'un ou deux niveaux perchés au dessus des marnes (Shoreham et Belletout), partiellement recoupés par le retrait du trait de côte qui serait alors à l'origine des sources perchées de Grainval. Dans ce cas, le bassin matriciel s'étendrait latéralement tant vers l'Est que vers l'Ouest.



matricielle

IV. MODALITES D'EXPLOITATION DE LA RESSOURCE EN EAU

IV. 1 Relation karst-niveau de base (La Manche)

La figure 8 montre que le niveau de l'eau dans le forage est très bien corrélé au niveau de la Manche. La montée ou la descente du niveau d'eau dans le forage sont très légèrement décalées avec un léger retard par rapport au niveau de la mer. En outre le niveau de marnage dans le conduit est proportionnel au niveau de marnage de la mer. Ainsi à une variation du niveau de la mer de 3,5 m correspond une variation du niveau d'eau dans le forage de 2 mètres, tandis qu'à une variation du niveau de la mer de 7m correspond

une variation du niveau d'eau dans le forage de 3,5 m. Le niveau d'eau dans le forage ne descend jamais en dessous de 4,5 m NGF alors que la base du conduit karstique est à -6 mNGF.

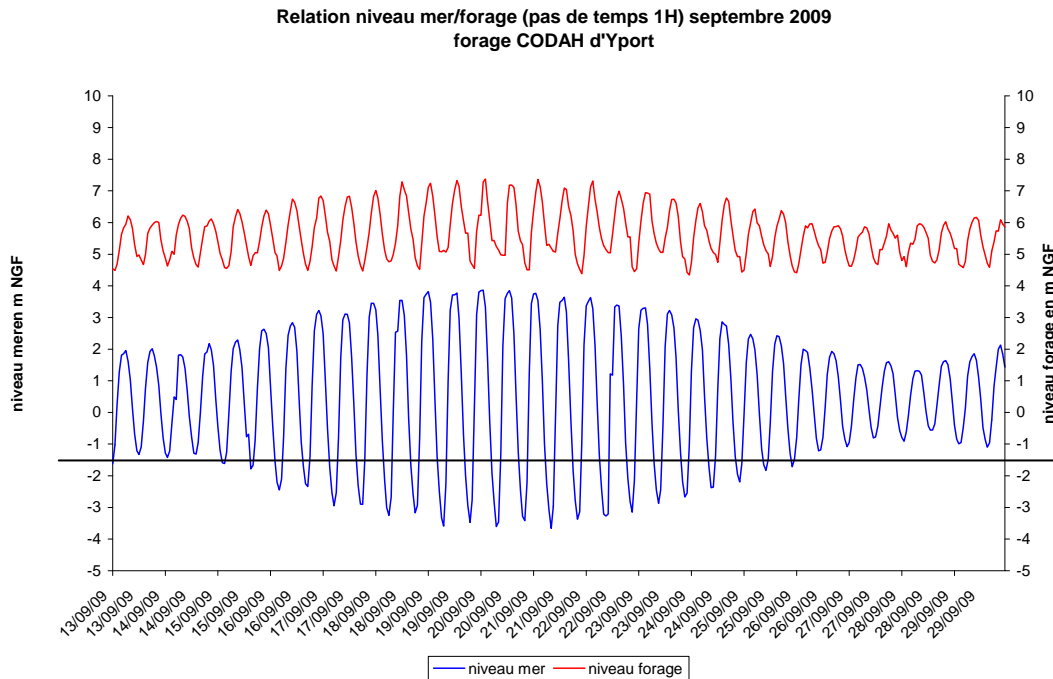


Figure 8 – variations des niveaux vs marées

IV. 2 Qualité des eaux

La conductivité varie entre 413 μ s et 595 μ s/cm. Elle est tributaire des apports d'eau de surface dans le réseau karstique. Lors des épisodes pluvieux importants les eaux de surface moins chargées en minéraux font alors chuter cette conductivité tandis qu'on observe corrélativement une hausse de la turbidité.

En ce qui concerne la qualité physico-chimique des eaux, la température est constante avec une moyenne de 12,6°C, et le pH varie autour de 7,3. Les teneurs en ions Ca⁺⁺ et Cl⁻ sont également très stables avec des moyennes respectives de 96,4mg/l et 28mg/l. Pour les chlorures le maximum analysé pour Yport est de 33,7 mg/l. Par comparaison les taux maximum sur des deux autres ressources importantes de la CODAH (source du St Laurent et de Radicatel) sont respectivement de 37,8 mg/l et de 27 mg/l, or ces deux bassins ne sont pas sur le littoral. Ce constat démontre l'absence de contamination saline malgré que les griffons du karst soient sous le niveau moyen de la Manche. L'exploitation du conduit karstique au débit de 1 100 m³/h et 11 000 m³/jour n'a jamais provoqué d'intrusion d'eau marine.

Les teneurs en nitrates semblent avoir légèrement augmentées (proches de 26 mg/l en 1978), mais restent stables sur la dernière décennie, avec une moyenne de 35,2mg/l et des pointes approchant 40 mg/l. En ce qui concerne les pesticides ceux-ci sont présent en bruit de fond avec des dépassements ponctuels des normes autorisées.

IV. 3 Transport solide dans le karst

La turbidité observée aux exutoires karstiques a deux origines potentielles : soit elle provient du transport direct depuis l'introduction d'eaux de ruissellement déjà chargées en particules, soit elle correspond à la remobilisation de dépôts intra-karstiques sous l'effet des transferts de pression (onde de crue dans le réseau) [13], [14] et [15]. Les sources de sédiments mobilisables à l'origine de la turbidité sont : (1) soit d'origine allochtone par rapport au karst dans ce cas elles proviennent de sédiments érodés sur les plateaux et engouffrés au niveau des bétoires (pertes) avec les eaux de ruissellement, (2) soit autochtones et dans ce cas sont issues de stocks déjà présents dans le karst. Dans ce dernier cas les sédiments sont originaires : (a) soit de la surface et sont stockés pendant une certaine période dans le karst et sont remobilisés sous certaines conditions hydrodynamiques, (b) de résidus de l'altération de la craie.

L'exemple du mois de décembre 2011 illustre très bien ce mode de fonctionnement. Avec une pluviométrie exceptionnelle (186,4mm contre 78,9mm pour une normale) deux évènements hydrologiques (l'un de

50,3mm du 4 au 6 décembre et l'autre de 72,2mm du 12 au 16 décembre) ont provoqué l'apparition de deux pics de turbidité au forage d'Yport (le premier de 117,34 NTU le second de 307,8 NTU).

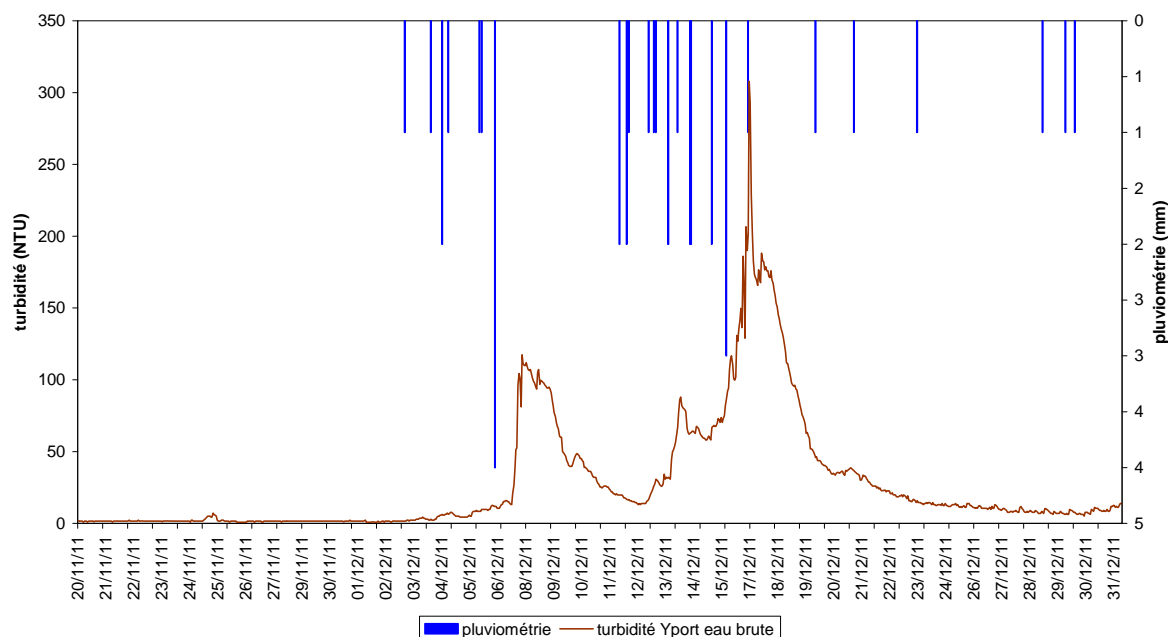


Figure 9 – relation pluie débit (pas de 1h) novembre-décembre 2011 au forage du Bois de la Vierge

Après une phase de concentration des ruissellements en surface (sur les terres agricoles limoneuses des bassins versant laissées à nue en période hivernale) l'engouffrement se produit au niveau de plusieurs dizaines de bétouilles situées dans les fonds de thalwegs secs en amont du captage (jusqu'à 10-12km en amont) et les eaux turbides sont ensuite très rapidement transférées au niveau du conduit karstique principal comme en atteste la montée brutale des deux pics de turbidités.

Le mode de traitement des eaux est le suivant (traitement de la turbidité et des pesticides) :

Pour une turbidité <15NTU : Injection en continue de charbon actif en poudre, injection de chlorure ferrique et de polymères. L'ensemble passe ensuite sur des filtres bicouches sable/anthracite. Enfin l'eau est désinfectée au chlore.

Pour une turbidité >15NTU le traitement est globalement le même toutefois avant de passer sur les filtres l'eau va passer dans un décanteur circulaire avec injection de microsables facilitant la décantation. Dans ce dernier cas on récupère alors des boues qui sont ensuite envoyées sur des lagunes de séchage.

Les eaux arrivent in fine dans une bache où elles sont reprises par trois pompes vers le réservoir intermédiaire. Au total le forage alimente 82 000 personnes.

V. BILAN ET PERSPECTIVES

Les sources littorales d'Yport présentent la caractéristique de fournir une eau douce provenant d'un karst qui n'est pas soumis à des intrusions salines. Le karst est toujours en pression par rapport à la Manche et aucun phénomène d'intrusion par un réseau de diaclases ou des conduits émissifs plus profonds ne semblent compromettre son usage.

Le captage de ce karst à l'intérieur des terres a nécessité près de 20 ans de recherches du conduit karstique. Sa localisation à l'intérieur des terres a nécessité la collaboration des hydrogéologues de plusieurs organismes et la tenacité du maître d'ouvrage

Actuellement la CODAH exploite le captage à 11 000m³/jour. La capacité totale de production est de 25 000m³/jour. En raison de raccordement récent la production va monter à 15 000m³/jour et pourrait à moyen terme passer à 20 000m³/jour. La CODAH dispose d'une autorisation de prélèvement allant jusqu'à 50 000m³/jour. A titre de comparaison, un pompage d'essai de longue durée a fourni une capacité potentielle de 100 000m³/jour pour ce forage.

A ce jour, il s'agit de la seule source littorale captée et exploitée pour la production d'eau potable en France.

Références bibliographiques

- [1] Rodet J., 1992 - La Craie et ses karsts, Centre Normand d'Etude du Karst et des cavités du sous-sol (C.N.E.K.)
- [2] SAFEGE, 2007 - Etude de la circulation karstique des eaux de ruissellement, pour le compte de la CODAH, rapports de phase 1, 2 et 3
- [3] Hoyez B., 2008 - Falaises du Pays de Caux, lithostratigraphie des craies Turono-Campaniennes, Publications des Universités de Rouen et du Havre
- [4] Mortimore R.J., Wood C.J., Gallois R.W., 2001, British upper Cretaceous stratigraphy, Geological Conservation Review series, n°23, Joint Nature Conservation Committee, Peterborough
- [5] Woods M.A., UK Chalk group stratigraphy (Cenomanian-Santonian) determined from borehole geophysical logs, Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology, 39 (1). 83-96. 10
- [6] Mortimore R.N., Pomerol B., 1987 - correlation of the Upper Cretaceous White Chalk (Turonian to Campanian) in the Anglo-Paris Basin, Proc. Geol. Assoc, 98, 2
- [7] Juignet P., Kennedy W. J., 1974 - structures sédimentaires et mode d'accumulation de la craie du Turonien supérieur et du Sénonien du Pays de Caux, Bull. BRGM (deuxième série), section IV, n°1, pp. 19-47
- [8] Hauchard E. et Laignel B., 2008 - Evolution morphotectonique de la marge nord-occidentale du Bassin de Paris, Z. Geomorph. N. F. 52 4 463-488 Berlin - Stuttgart December 2008
- [9] Hole J.P., Roux JC, 1978 - Vulnérabilité aux pollutions du bassin hydrogéologique d'Yport (Seine-Maritime), rapport BRGM 78DGN132PNO
- [10] Achambault J., Delu R., Fougeirol D. - 1978 - Recherche d'eau pour la ville du Havre dans les régions d'Etretat et d'Yport, colloque régional « Hydrogéologie de la craie du bassin de Paris », Rouen 25-26 mai 1978. Document du BRGM n°1, pp1-4
- [11] Laubiés B., Roux J.C., 1986 - Etude et procédure pour la mise en place des périmètres de protection du nouveau captage d'alimentation en eau potable de la ville du Havre à Yport (Seine Maritime). Hydrogéologie n°4, 1986, pp 353-364
- [12] Roux J.C., Artis H, Préménbère J., 1977 - carte hydrogéologique du département de la Seine Maritime in Atlas hydrogéologique de la Seine Maritime, ed. BRGM - 1981.
- [13] Fournier M., Massei N., Bakalowicz M., Dussart-Baptista L., Rodet J. et Dupont J., 2007 Using turbidity dynamics and geochemical variability as a tool for understanding the behavior and vulnerability of a karst aquifer. *Hydrogeology Journal*. 15 (4). 689-704p.
- [14] Fournier M., Massei N., Bakalowicz M. et Dupont, J.-P., 2007 - Use of univariate clustering to identify transport modalities in karst aquifers. *Comptes Rendus Geosciences*. 339 (9). 622-631p.
- [15] Lacroix M., Rodet J., Wang H. Q., Massei N. et Dupont, J.-P., 2000 - Origine des matières en suspension dans un système aquifère karstique : apports de la microgranulométrie. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*. 330 (5). 347-354p.