

# Les phénomènes de turbidité et les périmètres de protection satellites en Haute-Normandie

*Philippe de la Quérière.*

L'objectif de ces périmètres est de protéger, au moins partiellement, les captages d'eau souterraine utilisés pour l'alimentation en eau des populations, contre les phénomènes de turbidité. Il s'agit de réduire l'impact de l'engouffrement des eaux ruisselées sur la qualité de l'eau exploitée par ces ouvrages.

## Nature de la turbidité

La turbidité est le contraire de la limpidité, caractère organoleptique que doit respecter l'eau potable ; elle est due aux matières en suspension décantables ou non, que véhicule l'eau. Ces matières sont accompagnées par

un cortège de substances, en particulier des parasites comme le *cryptosporidium*, les œufs d'helminthes, etc.

Le laboratoire de géologie de Rouen identifie les particules sur un certain nombre d'ouvrages de captages d'eau produisant des eaux turbides et les quelques données présentées dans cette note sont issues d'une présentation de travaux aimablement fournis par Mathieu Fournier sur les karsts des Varras<sup>1</sup> et du Bébec. Ce dernier système hydrogéologique comprend la perte d'un ruisseau circulant dans un talweg à la surface d'un plateau crayeux, une source émergeant au pied de la falaise, et un forage réalisé dans la vallée de la Seine (exploitant une

---

<sup>1</sup>. Voir paragraphe page 71.

craie fissurée) à 100 m de la source et 350 m de la Seine environ. Sans rentrer dans le détail du système hydrogéologique, les identifications au microscope électronique à balayage ont montré les points suivants :

- dominance des silts moyens (50 µm) à la perte, restitution à la source de silts fins, et silts hétérogènes au forage ;
- nature variée de la turbidité à la source, minérale, biologique, organique, présence de contaminants chimiques ;
- turbidité héritée issue des ruissellements qui circulent dans le réseau karstique et turbidité acquise constituée par la remobilisation des matériaux présents dans le karst et des produits issus de l'érosion et de la dissolution de la craie ;
- turbidité organique constituée par des agrégats bactériens et des floccs organiques.

L'importance des contaminations bactériologiques mesurées lors des analyses réglementaires du contrôle sanitaire montre l'inefficacité des moyens classiques de stérilisation de l'eau. Donc, pour se garantir de ces contaminations bactériologiques, le ministère de la Santé a émis des normes de turbidité, sachant que l'eau limpide ne transportant pas de particules, elle n'est pas fortement contaminée et qu'une stérilisation classique au chlore suffit à la rendre potable. Les normes actuelles de la santé publique sont de 2 NFU<sup>2</sup> pour les eaux de production brutes, 0,5 NFU pour les eaux de production traitées et de 1 NFU pour les eaux mises en distribution.

## Origine et cause de la turbidité

Elle est double, la battance des sols agricoles comme origine superficielle, les circulations des eaux dans les réseaux karstiques de la craie comme cause profonde.

### Les sols agricoles

Depuis la fin de la dernière guerre, les besoins en céréales, pour répondre d'abord à la consommation intérieure puis aux besoins commerciaux, ont induit la transformation de l'agriculture : retournement des parcelles de prairie (qui se poursuit actuellement), création de grandes parcelles de cultures, labour de parcelles en pente, utilisation d'engrais minéraux aux dépens d'engrais organiques, usage de produits phytosanitaires, destruction de la petite faune du sol.

Les sols agricoles de Haute-Normandie sont battants, terme agronomique désignant leur aptitude à se compacter et se lisser sous l'effet du choc des gouttes de pluie un tant soit peu intense. Cette battance est due à un

manque de matière organique et de fer dans ces sols. La pluie les déstructure en détruisant les mottes et grumeaux constitués par le travail du sol. Il se produit donc, d'abord des flaques, puis des écoulements dans les sillons qui se réunissent pour créer de véritables torrents de plusieurs centaines de litres voire de plusieurs mètres cubes à la seconde. Ces écoulements érodent le sol et creusent des tranchées de l'ordre de un à plusieurs m<sup>2</sup> de section, ce qui accroît la charge en matières en suspension<sup>3</sup>.

### La karstification de la craie

La craie est un matériau assez peu cohérent si on la compare aux calcaires jurassiques ou urgoniens du sud de la France ; elle est sensible aux phénomènes d'érosion ; elle ne reste dure et compacte que sous les plateaux, raison pour laquelle elle a été exploitée autrefois en carrières souterraines pour l'extraction de matériaux de construction.

Elle a subi le contrecoup du plissement alpin à partir du Miocène, qui a créé des accidents « primaires » comme l'anticlinal du Bray, la faille de la Seine, etc.<sup>4</sup>, et a induit de nombreux accidents (failles, plissements) secondaires ; ceux-ci ont broyé la craie dure, qui est devenue plus ou moins molle et altérable.

Après la dernière glaciation du Würm (-70 000 à -20 000 ans) la Haute Normandie a été « sous les eaux » ; le dépôt des alluvions sableuses et des galets de silex et celui des alluvions fines dans la vallée de la Seine datent respectivement de -10 000 et -5 000 ans environ. On peut encore voir la trace de ces écoulements superficiels dans les méandres des vallées sèches qui affectent les plateaux des régions de l'Eure et du Pays de Caux. Le décalage des niveaux « terre-mer » augmentant, les écoulements ont accéléré les processus d'altération de la craie et prolongé la constitution des réseaux karstiques. On a pu constater, dans les vallées de l'Avre et de l'Iton, l'existence de dépôts alluvionnaires de graviers au dessus de la Formation à silex ; ceci montre que l'altération de la craie et la constitution de la Formation à silex se poursuit toujours en profondeur et particulièrement dans certaines vallées.

Dans l'état actuel de nos connaissances sur les réseaux karstiques, celui de la craie se présente assez rarement en cavités pénétrables du fait de la faible cohésion du matériau. On a plutôt affaire à des écheveaux de fissures d'ouverture centimétrique à décimétrique, où les écoulements de la nappe ont un régime turbulent et ne suivent pas la loi de Darcy. Ces réseaux se situent dans les vallées sèches et humides de la région et induisent par remontée de fontis l'apparition de « bétoires » (effondrements) à la surface du sol. Les remontées exceptionnelles de la nappe

2. La turbidité est mesurée par un test optique qui détermine la capacité de réflexion de la lumière. L'unité de mesure est le NFU : « Nephelometric Formazine Unit ».

3. Cf. J.-F. Ouvry, docteur-ingénieur en agronomie et directeur de l'AREAS ; travaux sur l'hydraulique rurale.

4. Voir la carte p.249 du Tome 1 « Aquifères et eaux souterraines de France », AIH, brgméditations.

en 1999 et 2000 ont induit des circulations souterraines dans les parties supérieures de la craie à l'amorce des vallées sèches sur les plateaux, qui ont réactivé des réseaux « fossiles », comme a permis de le constater l'apparition de nouvelles et nombreuses bêtes.

Le résultat de la localisation des réseaux d'une part, des remontées exceptionnelles de la nappe d'autre part, est l'engouffrement d'eaux de ruissellement issues des terres agricoles dans ces réseaux karstiques.

### Aperçu historique sur la création des captages et l'apparition de la turbidité.

L'adduction d'eau potable étant peu répandue avant la seconde guerre mondiale, les travaux ont commencé réellement vers les années 1950, par le captage des sources situées en fond de vallée au pied des versants. Ces sources ont été captées dans des baches, ou par des puits coiffant l'émergence et captant l'eau à quelques mètres de profondeur. Plus tard, l'eau souterraine a été captée à l'aide de forages. Dans les années 1960, les prévisions d'accroissement des populations et donc des besoins ont été très élevées. On a donc cherché à implanter les forages dans les zones les plus productives de la craie c'est-à-dire dans le fond des vallées sèches et humides. Les phénomènes karstiques entraînant la turbidité de l'eau étaient déjà connus dans certains secteurs limités. Mais ces phénomènes se sont vus généralisés dans les années 1980 du fait de l'effet combiné de pluies importantes, de la remontée de la nappe et de la transformation du milieu agricole. On s'est aperçu qu'un certain nombre de sources correspondaient à l'exutoire de réseaux karstiques et que la craie constituant le fond d'un certain nombre de vallées sèches et même humides était le siège de réseaux, sans pour cela que des vides importants aient été constatés lors de la foration des ouvrages.

### Les solutions

Elles sont de plusieurs ordres, chacune avec ses avantages et ses inconvénients :

■ **recherche d'une ressource de remplacement** : le changement d'ouvrage ne doit pas induire une modification importante de la structure du réseau primaire de conduites, ce qui oblige à réaliser le nouveau captage à proximité de l'ancien. Il faut donc échapper au réseau karstique et exploiter la nappe dans le milieu aquifère (fissuré mais assimilable à un milieu poreux du point de vue hydraulique) englobant le karst (par un forage dit latéral au karst). La difficulté réside dans l'appréciation du milieu à l'aide des techniques de foration ou des

méthodes géophysiques ;

■ **interconnexions** : les raccordements doivent se faire sur des ouvrages suffisamment productifs et exploitant un milieu assimilable à un milieu poreux ;

■ **traitements** : il faut filtrer les particules et les organismes de taille très petite, quelques microns. La méthode actuellement utilisée est l'ultrafiltration : les particules, les bactéries et les virus sont stoppés par des membranes à pores très fins, ce qui nécessite leur lavage régulier, une opération qui peut être très pénalisante si la fréquence des épisodes turbides et leur charge sont très importantes ;

■ **protections** : il s'agit de solutions hydrauliques, visant à réduire les effets de charge de pression et de charges particulières pour éviter la remobilisation de matériaux préexistants dans les fissures et l'introduction de nouvelles grandes quantités de ces matériaux.

### Les périmètres satellites

La réglementation actuelle précise que les périmètres de protection sont destinés à prévenir les pollutions accidentelles. On comprend bien par les quelques lignes précédentes que les ruissellements sont aussi des vecteurs de pollution accidentelle, puisqu'ils lessivent des surfaces variées (champs, routes, surfaces urbanisées, etc.). Les mauvaises conditions climatiques (fortes pluies) favorisent les risques d'accidents et les transferts des polluants. On s'est aperçu que les solutions hydrauliques doivent accompagner les solutions de traitement (usines d'ultrafiltration ou filtres) de façon à éviter des « retrolavages » trop fréquents.

Une étude hydraulique s'impose souvent pour estimer les débits de ruissellement et dimensionner les ouvrages de protection, en fonction du risque encouru et jugé supportable. Elle s'appuie sur les données de l'AREAS. Sans rentrer dans les détails, disons que pour une pente faible comprise entre 2 et 5% un sol très battant en culture non sarclée a un coefficient de ruissellement de 12% et en culture sarclée un coefficient de 32%. Pour un sol peu battant et pour les mêmes pentes, les précédents coefficients chutent respectivement à des valeurs de 6 et 24%. C'est dire l'importance de ces phénomènes en Haute-Normandie.

La protection de la perte (ou bête) est réalisée à partir d'un bassin de rétention qui régule le débit de ruissellement ; sa taille dépend du débit de fuite admis mais il atteint souvent plusieurs milliers de mètres cubes. Faisant partie de la protection de l'ouvrage d'alimentation, le terrain d'édification doit être acheté par la collectivité

et constitue donc le **périmètre de protection immédiate satellite**. Étant donné qu'il s'agit d'un périmètre de protection immédiate, son accès est interdit à toutes personnes étrangères au service ; par ailleurs comme c'est un plan d'eau qui peut représenter un danger de noyade pour des enfants, il doit être clos. Cette clôture doit en toute rigueur être du type anti-intrusion, surtout si le bassin est à proximité de lieux habités ; il est possible en effet que du point de vue juridique, la responsabilité de la collectivité soit engagée en cas de noyade dans un bassin si la protection réalisée par une clôture en fils de fer barbelés est jugée insuffisante.

De façon à éviter un remplissage trop rapide du bassin par les limons et les matières en suspension, on cherche, sur les terrains en amont, à réduire le déclenchement des flux, l'érosion des sols, en appliquant les méthodes bien développées actuellement dites d'hydraulique douce. Elles englobent la création de bandes enherbées dans le fond des talwegs, de haies végétalisées sur les versants de vallée, de retenues d'eau temporaires par élévation de diguettes dans les fonds de vallée, l'aménagement de mares existantes, le reboisement de certaines parcelles ou l'interdiction de déforestation. Deux cas se présentent. Si le dialogue avec les propriétaires ou les exploitants s'avère positif mais nécessite des indemnités et/ou des échanges de terre par l'intermédiaire de la SAFER, dans ce cas toutes les parcelles intéressées par ces aménagements sont couvertes par **un périmètre de protection rapprochée satellite** qui s'emboîte sur le précédent. Ce type de périmètre couvre les talwegs sur plusieurs centaines de mètres voire plusieurs kilomètres. Dans le second cas, si les aménagements sont relativement légers et supportables par les exploitants agricoles, ils sont négociés et les dimensions de ce type de périmètres peuvent être réduites.

La protection du forage et les dispositifs de lutte contre la turbidité de l'eau comprennent donc d'amont en aval : la réduction des déclenchements de flux et des mesures de réduction de l'érosion des sols par des mesures d'hydraulique douce, l'abattement des débits et la décantation des plus grosses particules dans des bassins de régulation, et enfin le traitement de l'eau sur filtres ou membranes. L'ensemble de ces ouvrages est couvert territorialement par le périmètre de protection éloignée.

## Les problèmes posés par ces mesures

Ce sont en premier lieu des **problèmes techniques**. En effet on sait que la présence d'une bétoire dans un talweg indique la présence d'un réseau karstique dans la craie sous-jacente. D'autre part les remontées exceptionnelles de la nappe de la craie en 1999-2000 ont remis en

circulation des réseaux normalement dénoyés et induit la création de bétoires à l'amorce des talwegs échantant les plateaux de craie.

La question est de savoir si le **fond du bassin** repose sur un sol sain ou fracturé de façon à préciser au maître d'ouvrage les mesures de construction adaptées. On procède à des mesures géophysiques (résistivité, panneaux électriques, sismique - marteau) qui ne sont pas toujours suffisantes, et on les couple avec des sondages mécaniques avec mesure de la vitesse d'avancement du trépan, sachant que des fissures assez fines, de section d'ordre centimétrique mais autorisant des écoulements turbulents, sont difficilement détectables. Une craie altérée n'est pas obligatoirement karstique, elle peut avoir perdu une partie de son carbonate de calcium et être devenue molle, ce qui provoque un tassement du banc et donc finalement une couche peu perméable. On a vu des bétoires s'ouvrir dans certaines retenues d'eau non traitées comme dans le haut du bassin d'alimentation de la source de Veulette-sur-Mer (76) ou dans le fond de bassin de rétention du Val Postal à Bourg Achard (27) appartenant au SERSAEP<sup>5</sup>.

Un second problème technique réside dans le **devenir du débit de fuite** qui véhicule les particules non décantables, les bactéries et les floccs de matière organique. La réintroduction de l'eau dans la bétoire initiale à un débit dix fois moindre par exemple est une solution si la collectivité a une taille suffisante pour supporter le coût « complémentaire » d'une usine, ou si elle a une autre ressource par interconnexion ou autre en cas de turbidité. Si le débit de rejet est assez faible, on peut essayer de l'infiltrer dans des noues zigzaguant dans le fond de vallée, évitant autant que c'est possible le trajet supposé du réseau karstique. Néanmoins on n'est jamais sûr qu'une bétoire ne va pas s'ouvrir sur le trajet. Le comblement des bétoires peut être réalisé par plusieurs méthodes : réalisation de massifs auto-blocants à l'intérieur de la bétoire réalisée (méthode onéreuse mais la plus sûre à mon avis pour résister aux désagrégations de la paroi crayeuse), méthode géotechnique consistant à réaliser un radier résistant, etc. Cependant, on ignore la résistance à la longue de ces modes de comblement.

Par ailleurs, on sait que les eaux du karst peuvent véhiculer des matériaux résidant dans les conduits comme les travaux de l'université (M. Fournier et collaborateurs) l'ont montré. La conclusion est que l'on peut exploiter une eau d'un réseau karstique sous réserve de la disponibilité d'une autre ressource et d'un contrôle assez rigoureux en période de « calme ».

L'autre difficulté réside dans l'**aspect financier**. Pour

5. Syndicat pour l'étude et la réalisation des travaux de sécurité d'Adduction d'Eau Potable des plateaux Rive Gauche de la Seine.

les petites collectivités, le coût devient réhibitore malgré les aides de l'agence de l'eau et des conseils généraux ; j'ai été amené à faire des propositions de ce type, mais les estimations financières (avec l'achat de terrain) ont dépassé les 220 000 euros. Toutes ces mesures à mon avis dépassent la compétence des collectivités distributrices d'eau potable. Il s'agit en fait de l'aménagement du territoire, non pas dans le volet de la construction ou de l'équipement, mais dans la protection du milieu.

Dans le département de la **Seine-Maritime**, cerné sur trois côtés par la Seine et la mer, les pentes sont nettement plus fortes que dans le département de l'Eure. Les ruissellements sont plus intenses et certaines habitations (comme à Barentin, Pavilly, Fécamp) situées sur des axes d'écoulement induisent des risques pour leurs résidents. Les autorités administratives ont donc pris des mesures en créant des communautés de bassin versant, qui ont pour but de réaliser les études puis les ouvrages de protection et de réduction des débits ruisselés. On cherche à concilier les deux objectifs : protection des lieux habités et protection de la ressource en eau (les travaux en ce cas bénéficient de l'aide de l'agence parce que le volet eau est impliqué).

En résumé, dans ces mesures de protection on travaille pas à pas et on observe si les travaux résistent sur le long terme aux phénomènes naturels d'érosion, de remontée de fontis, etc.

### Quelques exemples

Nous citons quelques exemples d'alimentation en eau de la région de Haute-Normandie où diverses solutions de lutte ont été appliquées soit seules, soit combinées

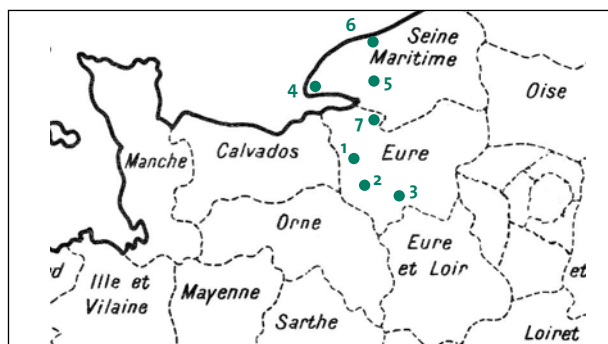


Figure 1. Localisation des exemples de Haute-Normandie présentés.

- Légende :
- 1 - Bernay (27).
  - 2 - La Barre-en-Ouche (27).
  - 3 - Damville (27).
  - 4 - Le Havre (76).
  - 5 - Yvetot (76).
  - 6 - Neville-Cailleville (76).
  - 7 - Caumont (27 et 76).

6. 25 km au sud – sud-est de Bernay.  
7. 19 km au sud – sud-ouest d'Évreux.

entre elles. Les cas cités ont fait l'objet d'interventions sur les 20 ou 25 années précédentes, c'est dire que l'on a évolué et que l'on continuera à évoluer en fonction des nouvelles techniques en tout genre (pratiques culturales, protection contre les pollutions accidentelles, traitement de l'eau, connaissance du milieu aquifère) et de l'appréhension des problèmes environnementaux et de leur poids vis-à-vis des contraintes économiques et financières. Les cas cités (voir Fig. 1) représentent soit des cas résolus, soit en voie de l'être, du moins nous l'espérons.

### Ville de Bernay (27)

La commune est alimentée par la source des Bruyères, qui donne lieu à un petit affluent de la Charentonne. Elle se trouve à la confluence de plusieurs vallées sèches qui drainent des plateaux crayeux cultivés et habités (milieu rural). Des bétouilles affectent ce milieu, en particulier celle de la Croix Rouge et celle de la Croix Blanche. Ces bétouilles ont été protégées contre les engouffements des eaux de ruissellement par divers comblements (d'autres bétouilles se sont ouvertes par la suite à l'aval de la bétouille de la Croix Rouge), tandis que les eaux de la source sont traitées par une usine d'ultrafiltration, et que le BRGM a réalisé 2 forages latéraux au karst qui exploitent le milieu encaissant.

### Syndicat de la Barre-en-Ouche (27)

Il s'agit du forage du Rouge Moulin (Fig. 2) qui exploite la nappe de la craie dans la vallée de la Risle sur la commune de la Vieille-Lyre<sup>6</sup>. Un réseau karstique affecte toute la craie de la vallée et induit un rabattement de la nappe dont le niveau oscille entre 3 et 17 m de profondeur par rapport au sol ; la rivière est perchée depuis Rugles (au moins) jusqu'à Beaumont-le-Roger (plus de 10 km). Un réseau de vallées sèches débouche quasiment au droit du forage, occupées en grande partie par des prairies, mais aussi siège de rejets de réseaux de drainage et de ruissellement. La création de bassins de régulation s'est révélée trop onéreuse pour cette collectivité qui est petite et les propositions de périmètres de protection immédiate satellites se sont transformées en propositions de périmètres de protection rapprochée où les prairies doivent être conservées. Les eaux sont traitées sur filtres utilisables jusqu'à 40 NFU. La DUP doit être en cours de discussion et il semblerait utile de répondre aux besoins d'autres collectivités avec l'aide de ce forage pour disposer de plus gros moyens financiers.

### Syndicat de la région de Damville (27)

L'eau captée au forage de Coulonges<sup>7</sup> (Fig. 3) a été rendue turbide par l'ouverture inopinée d'une bétouille au

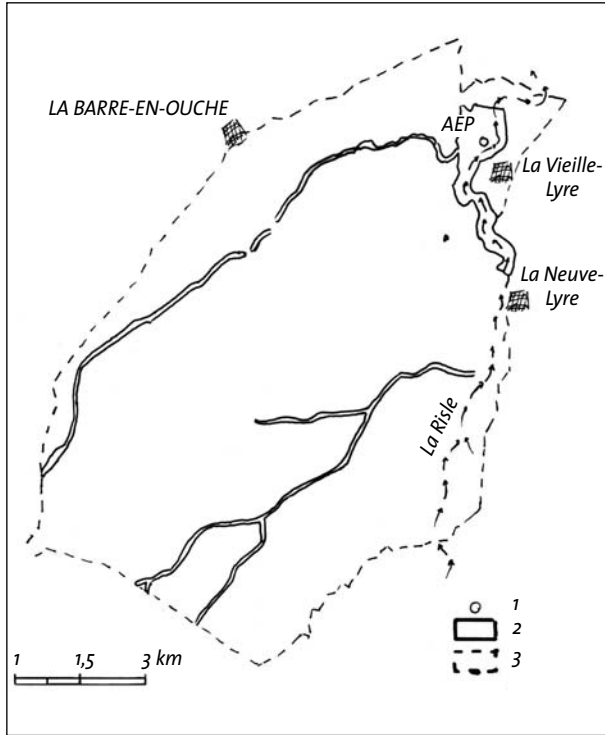


Figure 2. Protection du forage du Rouge Moulin.  
Légende :  
1 - Forage du Rouge Moulin.  
2 - Périmètre de protection rapprochée.  
3 - Périmètre de protection éloigné.

fond d'une excavation destinée à être transformée en plan d'eau de loisirs. Le forage est situé dans la vallée de l'Iton et se trouve dans la même situation hydrogéologique que le forage du Rouge Moulin précédent (nappe rabattue par le karst, rivière perchée). Le gros des pollutions particulières et azotées provient de la vallée de l'Iton. Mais des traçages ont montré des relations directes entre le forage et des bétoires qui absorbent les eaux issues des réseaux de drainage assainissant les terres agricoles des plateaux à l'est de la vallée. Une proposition de périmètre de protection satellite, basée sur une étude hydraulique, a été faite pour la création d'un bassin à la bétoire du Parfond. Cette solution est en cours d'actualisation avec la création d'un syndicat de bassins versants (syndicat de la Sogne). En outre, le syndicat de la région de Damville traite ses eaux dans un filtre lent, qui sera complété par une unité de dénitrification.

### Communauté d'agglomération de la ville du Havre (76)

Cette collectivité, qui représente 200 000 habitants, dispose de plusieurs ressources en eau, en particulier du forage d'Yport dit du Bois de la Vierge. Cet ouvrage a été réalisé à partir d'études préliminaires effectuées par le BURGÉAP

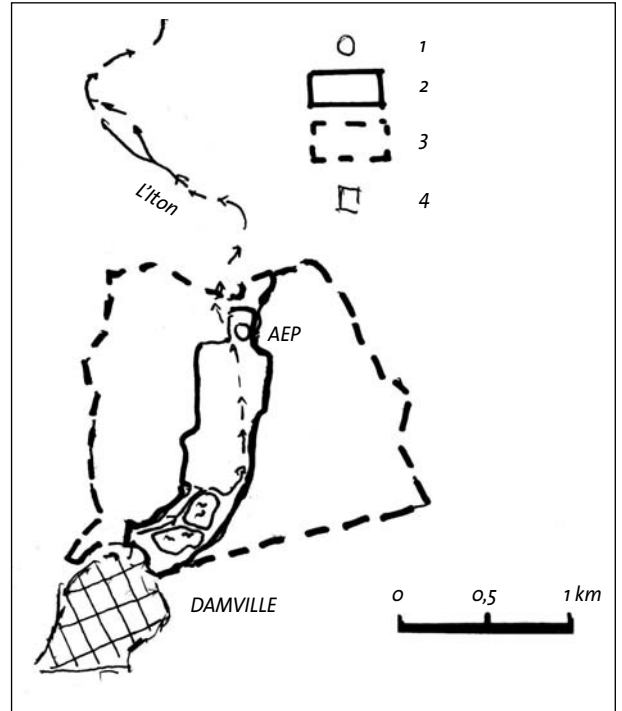


Figure 3. Les périmètres du forage de Coulonges.  
Légende :  
1 - Forage de Coulonges.  
2 - Périmètre de protection rapprochée.  
3 - Périmètre de protection éloigné.  
4 - Périmètre de protection immédiate satellite.

et le BRGM, et est implanté directement sur une cavité karstique permettant d'exploiter des débits de 1 000 à 2 000 m<sup>3</sup>/h. La potabilité de l'eau est réalisée à partir d'une usine de traitement.

### Sources d'Héricourt-en-Caux, syndicat de la région d'Yvetot (76)

Ce captage fait partie des sources de la Durdent situées à la confluence de vallées sèches qui drainent la nappe située sous le plateau de Caux jusqu'aux environs de la ville d'Yvetot. Dans les vallées sèches existent des forages qui captent les eaux du karst, dont les turbidités sont particulièrement élevées car les bétoires sont nombreuses. On peut appliquer ici certains outils de l'hydraulique douce, mais la création de bassins régulateurs est illusoire compte tenu du milieu souterrain. Dans les années 80, le BRGM a réalisé 2 forages d'essai latéraux au karst, dont l'un est encore utilisé pour compléter les eaux de source qui sont traitées en usine. Actuellement, une étude d'implantation de nouveaux forages basée sur les données des forages d'essai.

### Puits de Néville-Cailleville<sup>8</sup> (76)

La communauté de la Côte d'Albâtre qui se substitue au syndicat a lancé la DUP du puits de Néville-Cailleville (Fig. 4), qui est implanté à la confluence de 2 vallées sèches (en herbe) parsemées de bétoires comme l'a montré l'étude préliminaire à la définition des périmètres de protection. Le syndicat de bassins versants a réalisé, dans les vallons amont, des bandes enherbées et des retenues d'eau à l'aide de petites digues de terre ; finalement ces ouvrages ont été conservés en raison de la faible durée (quelques jours par an) de la rémanence de la turbidité de l'eau. Le périmètre de protection rapprochée reste dans les limites habituelles (quelques hectares) ; une solution de raccordement est à l'étude.

### Puits des Varras à Caumont<sup>9</sup> (27 et 76)

La collectivité du SERSAEP dont on a dit quelques mots précédemment est desservie par plusieurs points d'eau dont celui des Varras (Fig. 5). Il s'agit d'un puits de 50 m de profondeur situé dans une vallée sèche qui échancre le plateau du Roumois, situé au sud de la Seine à l'aval de la région rouennaise. Cet ouvrage est équipé d'une galerie horizontale qui a recoupé un réseau karstique très productif (débit maximal inconnu, l'ouvrage devant

être testé par des moyens très puissants).

Les reconnaissances effectuées par le BRGM ont mis en évidence de nombreuses bétoires dont la Fosse Cossex et Ecce Homo sur la commune d'Honguemare-Guenouville, ainsi que le Val Postel à Bourg-Achard. Ces trois bétoires ou groupe de bétoires ont fait l'objet de propositions de périmètres de protection immédiate satellites (PPIS) et des bassins de régulation des débits et de décantation des éléments décantables, de plusieurs milliers de mètres cubes de capacité ont été réalisés. Des propositions pour d'autres bétoires ont été présentées comme PPIS (Bosc-Bénard-Crescy...), dont les talwegs ont été retenus comme des PPIS de façon à conserver leur couverture prairiale ou forestière.

Le rejet des eaux pour les trois bassins s'effectue dans la bétoire initiale pour la Fosse-Cossex, dans le talweg aval pour Ecce-Homo et le Val Postel. Le radier de ces différents bassins était constitué de terrain naturel compacté, mais celui du Val Postel s'est effondré ces dernières années avec l'apparition de trois bétoires qui ont induit la vidange de l'ouvrage. Des prospections géophysiques ont montré l'existence sous le limon d'une loupe de gros graviers qui ont absorbé l'eau. On peut penser que ces graviers sont des silex appartenant à la Formation résiduelle à silex résultant de l'altération ancienne de la craie. La présence de l'eau a finalement induit la « liquéfaction du limon » et ce mélange plus liquide que fluide, s'est infiltré en trois points plus ou moins précis résultant soit à ces endroits de plus gros interstices entre les silex, soit

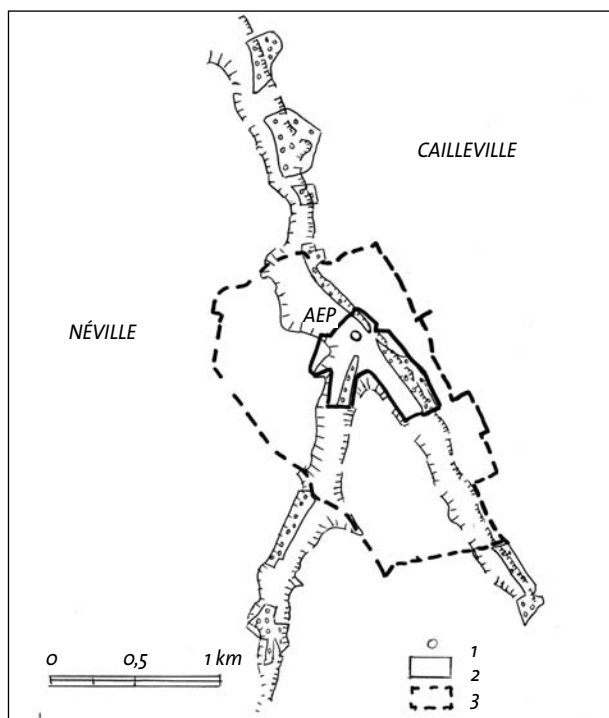


Figure 4. Protection du puits de Néville-Cailleville.

- Légende :
- 1 - Puits de Néville-Cailleville.
  - 2 - Périmètre de protection rapprochée.
  - 3 - Périmètre de protection éloigné.

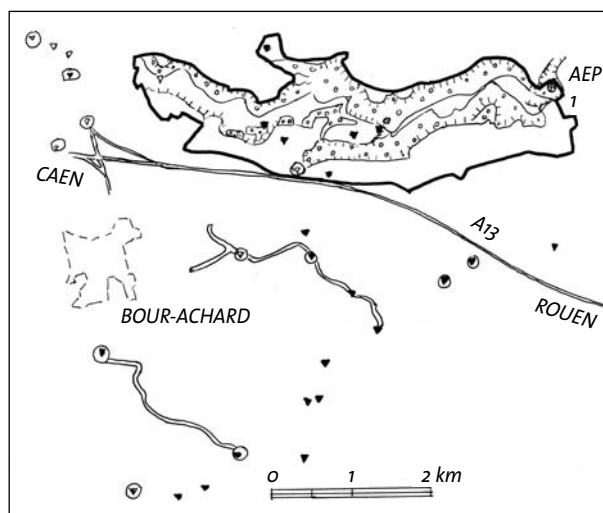


Figure 5. Puits des Varras, bétoires et périmètres de protection.

- Légende :
- 1 - Puits des Varras
  - ▼ - Bétoires.
  - - Périmètre de protection immédiate satellite (PPIS).
  - - Périmètre de protection rapproché.

8. 5 km au sud de Saint-Valéry-en-Caux.  
9. Environ 20 km au nord-ouest d'Elbeuf.

d'une cause plus profonde, c'est-à-dire un effondrement du sous sol crayeux.

Matthieu Fournier et ses collaborateurs (université de Rouen) ont étudié les particules transitant dans ce karst. Sans entrer dans le détail des données recueillies, les reconnaissances ont mis en évidence les composants suivants :

- communautés bactériennes viables, peu variables en et hors crue ;
- communautés microbiennes aérobies augmentant de façon continue durant l'épisode de crue indépendamment de la turbidité ;
- éléments bactériens en particulier *Escherichia coli* dont la présence permanente (en et hors crue) peut s'expliquer par une aménée régulière ou par une rémanence viable dans le réseau ;
- contaminations fécales durant tous les épisodes de crue jusqu'à leur fin, liées à *Escherichia coli*, elles mêmes associées à des particules peu décantables ;
- floccs organiques, biofilms et diatomées ;
- éléments minéraux (quartz, calcite, zircon) issus de poches de sables thanétiens ;
- végétaux, champignons et grains de pollen ;
- fibres de verre issues de décharges sauvages<sup>10</sup> et résidus d'hydrocarbures.

Pour être assurée de produire en tout instant une eau potable, la collectivité a fait réaliser une usine d'ultrafiltration capable de traiter un débit de 200 m<sup>3</sup>/h, dispositif qui peut être agrandi en fonction des besoins.

La collectivité a donc comme outils de protection, des bassins de régulation, des prairies dans certains talwegs, et une usine de traitement. La régulation des débits permet de limiter la fréquence des retro-lavages.

## Conclusion

Les évènements hydrologiques, l'acquisition des données par l'observation, la réalisation d'ouvrages souterrains, les opérations de reconnaissance diverses ont montré que la craie de Haute-Normandie était un aquifère plus complexe qu'il ne le paraissait il y a 30 ou 40 ans, offrant tous les types d'écoulement souterrain.

Ce qui complique aussi les études, c'est le fait que la nappe d'eau souterraine réagit avec un certain retard aux évènements climatiques particuliers (étiage et hautes eaux de nappe durant plusieurs années de suite) et les amortit. Ainsi, les traçages ne donnent pas les mêmes résultats en hautes et basses eaux.

La difficulté réside aussi dans le fait que l'impluvium est le lieu d'activités anthropiques de 2 millions

d'habitants et que la propagation des pollutions peuvent être rapides (karst) ou très lentes en donnant lieu à leur stockage dans l'aquifère (matières azotées). Ceci induit des difficultés dans la réalisation des protections de captage d'eau potable. En effet, on travaille dans certains cas pas à pas. La production d'eau potable par des captages d'eaux souterraines issues du karst passe par la combinaison et la coordination de l'ensemble des méthodes de protection et de traitement, ce qui a pour conséquence la mobilisation de moyens financiers importants.

## Bibliographie sommaire

- De la Quèrière Ph., 1993 : Ville de Bernay, réalisation d'un second forage de substitution, indice BSS 01483X0063. Rapport BRGM R36871, Fév. 1993, 31p. 10 fig. 2 annexes.
- De la Quèrière Ph., 1994 : Syndicat d'adduction d'eau potable de Caudebec-Montmeiller, réalisation de forages latéraux au karst en substitution à la source de Maulévrier Sainte- Gertrude. Rapport BRGM N1199 HNO/45/94, 82 p. 11 fig., 3 annexes, fév.1994.
- De la Quèrière Ph., 1994 : SIAEP de Caudebec-Montmeiller, pompages simultanés sur les 3 forages. Rapport ANTEA n°A00154, mars 1994.
- Eberentz P., 1985 : Ville de Rouen et SERAEP, recherche de relations karstiques entre les captages d'AEP des Varras et des sources de Moulineaux et les points de pollution présumés. Rapport BRGM 85 SGN 613 HNO.
- Fournier M., 2006 : Identification des modalités de transport et de la vulnérabilité du karst de la craie. Application de nouveaux outils statistiques d'analyse des données au système du Hannetot (Seine Maritime, France). Thèse Université de Rouen.
- Jauffret D., 1984 : Protection du captage de Bernay, analyse des processus de contamination et consignes hydrogéologiques. Rapport BRGM 84 AGI 343 PNO.
- Lechevallier C., 1994 : Étude pour le SIAEP de Caudebec-Montmeiller, lutte contre la pollution des eaux, influence de l'évolution des paysages ruraux et des conditions d'occupation du sol. Département de géographie, université de Paris X, rapport 1994.
- Ligneau L., 1994 : SIAEP de Caudebec-Montmeiller, étude des écoulements d'origine agricole. Rapport AREAS, nov. 1994.
- Mathon C., Franck C., 1994 : SERSAEP, étude des possibilités de protection du captage des Varras. Note HNO n° 94 HNO 003.
- Mourier M., 1993 : ville de Bernay, contribution à l'étude des causes de pollution de la source des Bruyères. Rapport de stage oct. 1983.

## Définition des périmètres de protection

- Forage de Coulonges 01801X0043. Rapport BRGM 05 GA PhQ 17.
- Forage du Rouge-Moulin 01791X0024. Rapport BRGM 00GA PhQ 06.
- Puits des Varras 00996X0002. Rapport BRGM 93GA13.
- Source des Bruyères 01483X0040 et forages latéraux au karst 01483X0060 et 0063. Rapport BRGM 91GA47.
- Puits de Névillle-Cailleville 00581X0008. Rapport BRGM 07GA PhQ13.

10. Je me souviens avoir vu et signalé un dépôt sauvage d'écrans d'ordinateurs à la traversée de la vallée sèche par la petite route reliant le lieu-dit la Halboterie au château de Honguemare, dépôt enlevé par la suite.