

DOCUMENT PUBLIC

*Vallée du Haut Cailly (Seine-Maritime)
Relations nappe / rivière*

Etude bibliographique et synthèse

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service Public du BRGM 98 D 605

Décembre 1998

R 40 487



DOCUMENT PUBLIC

***Vallée du Haut Cailly (Seine-Maritime)
Relations nappe / rivière***

Etude bibliographique et synthèse

Décembre 1998

R 40 487



Mots clés : Seine-Maritime, Cailly, synthèse bibliographique, eau, hydrogéologie, nappe de la craie, relations nappe/rivière, captage, forage, ressource, eaux souterraines, AEP, qualité, vulnérabilité, karst, périmètre de protection.

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

C. LANGEVIN (1998) - Vallée du Haut Cailly (Seine-Maritime) relations nappe / rivière, (France) Rap. BRGM R 40 487

© BRGM, 1999, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La DIREN de Haute-Normandie a confié une étude au BRGM dans la cadre de sa mission de Service Public consacrée à l'appui aux administrations chargées de la police de l'eau. Cette étude de nature bibliographique et synthétique porte sur la vallée du haut Cailly.

Les ouvrages se rapportant à ce secteur ont été recensés dans la bibliothèque du Service Géologique Régional de Haute-Normandie (rapports BRGM et ouvrages issus d'organismes extérieures). L'ensemble de ces documents a fait l'objet d'une lecture attentive et critique ; pour chaque rapport, il a été fait un résumé des éléments essentiels, suivi d'un commentaire jugeant de son intérêt.

Une synthèse des informations essentielles constitue la deuxième partie de ce rapport. Elle traite de la géologie, de l'hydrologie, de l'hydrogéologie, de la modélisation, de la vulnérabilité et de la protection des eaux souterraines.

Le sous-bassin versant du haut Cailly est installé sur la craie du Turonien et du Coniacien ; les éléments géologiques essentiels sont une faille NNW/SSE qui recoupe le sous-bassin en deux, un axe anticlinal NW/SE, et l'origine probablement tectonique de la vallée du haut Cailly. Le cours du haut Cailly, coupé de nombreuses écluses, de chutes, semé d'étangs, est fort complexe, autant que les relations nappe/rivière qui découlent de ce dispositif géographique et géologique.

La craie constitue le réservoir de l'aquifère dont la puissance varie de 80 m sous les vallées à 200 m sous les plateaux. L'axe anticlinal constitue probablement un barrage hydraulique déterminant dans le fonctionnement du bassin versant.

Les relations nappe/rivière sont complexes mais assez clairement établies ; le cours du Cailly se découpe en sections colmatées ou drainantes. Un profil très détaillé du cours du haut Cailly est donné en annexe III du rapport 81 SGN 791 / HNO. Les plateaux jouent un rôle régulateur, fournissant en été les réserves accumulées en hiver. Un bilan hydrique du sous-bassin du haut Cailly conduit à estimer le débit souterrain à 0,4 m³/s.

L'existence d'une circulation karstique importante sous le coteau, en rive gauche, accentue la vulnérabilité du champ captant du Cailly par ailleurs soumis aux risques de l'infiltration trop rapide, du ruissellement, des inondations, des crues... La délimitation de périmètres de protection des ouvrages est nécessaire ainsi que la mise en oeuvre de mesures pratiques : la création de fossés, de collecteurs, de bassins de rétention, l'entretien et le curage du lit de la rivière, l'installation de retenues rustiques (haies), ... sont autant d'éléments de protection susceptibles de participer à la protection des eaux souterraines.

Sommaire

Introduction	5
1 - Présentation des ouvrages sélectionnés	6
→ PNO 69 / 10	6
→ PNO 71 / 16	7
→ 71 PNO / 78	8
→ 80 SGN 662 HNO	9
→ 80 SGN 280 HNO	15
→ 80 GA 008.....	17
→ 81 SGN 791 HNO	21
→ 81 HNO 032.....	26
→ 85 OUV 002.....	27
→ 86 SGN 221 HNO	29
→ R31 168 HNO 4S 90.....	31
→ 93 OUV 95 (ASTER).....	32
2 - Synthèse des informations essentielles	35
2 - 1 Géologie du sous-bassin du haut Cailly	35
2 - 2 Hydrologie.....	36
2 - 3 Hydrogéologie	36
2-3-1 Fonctionnement hydraulique du sous-bassin	36
2-3-2 Bilan hydrique	39
2-3-3 Ouvrages de reconnaissance et d'exploitation	40
2-3-4 Pompages d'essai, paramètres hydrodynamiques.....	40
2 - 4 Modélisation.....	41
2 - 5 Vulnérabilité et protection	42
Annexes	
Principaux ouvrages de la Vallée du Haut Cailly (correspondances n°BSS / Désignation).....	46
Carte géologique de la Vallée du Haut Cailly et localisation des ouvrages souterrains	47

Introduction

A la demande de la DIREN de Haute-Normandie, et dans le cadre de sa mission d'appui aux Administrations chargées de la police de l'eau, le Service Géologique Régional a procédé à l'examen des rapports et ouvrages disponibles traitant de la vallée du haut Cailly

Les ouvrages se rapportant à la vallée du haut Cailly ont été recensés dans la bibliothèque du SGR Haute-Normandie. Il s'agit essentiellement de rapports BRGM, mais aussi de quelques ouvrages issus d'organismes extérieurs.

Ces documents, classés par ordre chronologique, ont fait l'objet d'une lecture attentive et critique qui donne lieu, pour chacun des ouvrages, à une présentation résumée à l'essentiel, selon le canevas régulier suivant :

- 1 - Motivation
- 2 - Objectifs et méthodologie
- 3 - Travaux (éventuellement)
- 4 - Eléments remarquables
- 5 - Commentaires après lecture.

L'analyse de ces documents figure ci-après. Elle est suivie d'un essai de synthèse des connaissances les plus importantes concernant le bassin du haut Cailly.

1 - Présentation des ouvrages sélectionnés

→ PNO 69/10 (Note) ; [G. Gagnière]: Compte rendu de la première phase de la campagne de reconnaissance des possibilités aquifères de la vallée du Cailly - F1 à F3.

1 - Motivation :

L'objet de cette note est la prospection de nouvelles ressources en eau potable, en vue de l'alimentation de la région rouennaise.

2 - Travaux :

Trois forages (30 m, 30 m, et 24 m) et six piézomètres ont été exécutés. Les Ponts et Chaussées ont réalisé les travaux de forage, et le BRGM a assuré le suivi et l'interprétation des expérimentations hydrogéologiques.

3 - Eléments remarquables :

- La tectonique semble jouer un rôle primordial dans la vallée du haut Cailly.

- un axe anticlinal orienté NO/SE coupe transversalement la vallée quelques centaines de mètres en aval de Gouville : cette structure intéresse la craie plutôt argileuse du Turonien, moins perméable que la craie blanche. La nature lithologique (tendance moins perméable), combinée à la structure anticlinale (remontée des couches), détermine probablement un seuil hydraulique à l'amont duquel s'accumuleraient les eaux souterraines. L'amont de l'axe anticlinal serait une zone d'accumulation, donc de ressources privilégiées en eaux souterraines.
- par ailleurs, la haute vallée du Cailly semble avoir un tracé d'origine tectonique. Il y aurait donc un développement de la fissuration et de l'altération constituant un véritable drain.

- calcul des paramètres hydrogéologiques, respectivement pour F1, F2 et F3 :

- Transmissivité $T \text{ m}^2/\text{s}$ = 38.9×10^{-3} ; 8.4×10^{-3} ; 7.77×10^{-3}
- Coefficient d'emmagasinement $S \%$ = 1 à 2 % ; 4 % ; 20 %
- Débit spécifique $Q \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ = 80 ; 26 ; 10

4 - Commentaire après lecture :

- sur la carte piézométrique à 1/100 000 (qui n'existait pas au moment de l'élaboration de la note), le resserrement des courbes piézométriques suivant l'axe de la vallée, entre la source et l'axe anticlinal semble confirmer l'origine tectonique de cette partie de la vallée qui serait installée sur une faille répercutée dans la craie.

- l'hypothèse d'un barrage hydraulique existant au niveau de l'axe anticlinal est parfaitement plausible et doit être retenue.

→PNO 71 / 16 (Note) [Ph. de la Quérière] : Urbanisme de la vallée du Cailly ;
étude des bassins régulateurs de crue.

1 - Motivation :

Recherche des problèmes posés éventuellement par l'implantation de 3 bassins régulateurs de crue.

2 - Travaux :

Il n'y a que des prévisions de travaux ; la note est en fait une proposition de travaux et d'étude visant à répondre au problème posé, accompagnée d'un devis.

3 - Commentaires après lecture :

Le secteur sujet de l'étude fait partie de la basse vallée du Cailly, entre la confluence avec la Clérette (Montville), et la confluence avec la Seine (Notre-Dame de Bondeville, marché/gare).

→71 PNO 78 [P. de la Quérière] : Estimation des apports de la nappe à la rivière, à l'exutoire d'un bassin crayeux, à partir de jaugeages instantanés - Bassin du Cailly (76) - Cardonville et Montville.

1 - Motivation

Le bassin du Cailly est destiné à une production importante en direction de Maromme et de Rouen (?) ; l'influence des futurs prélèvements sur le régime des eaux de surface (Le Cailly et la Clérette) doit être déterminée avec précision afin d'assurer un débit d'étiage convenable à l'exutoire des deux sous-bassins.

2 - Objectifs et méthodologie

L'objectif immédiat de l'étude est la prévision d'un débit d'étiage à respecter à l'exutoire des deux sous-bassins. L'approche est faite par des mesures de jaugeage.

3 - Travaux (utilisés)

- les mesures faites depuis 1965 sur le réseau de jaugeage des principales rivières : mesures instantanées de fréquence mensuelle.
- enregistrements continus des débits sur les limnigraphes des stations de jaugeage.

4 - Eléments remarquables

Les jaugeages mensuels sont effectués à l'exutoire des 2 sous-bassins, soit à Cardonville (pour le Cailly) et à Montville (pour la Clérette).

- Les apports souterrains sont prédominants, le ruissellement est faible (< 10 %).
- Rivières et nappe fluctuent à l'échelle annuelle ---> Il existe donc une bonne corrélation entre fluctuations de la nappe et débit des rivières.
- Les jaugeages instantanés sont peu différents des jaugeages permanents (environ 10 % d'écarts seulement) ---> ils sont donc représentatifs.
- L'écoulement le plus représentatif des eaux souterraines est celui de la Clérette.
- La méthode d'évaluation des débits repose sur les corrélations entre les débits mesurés et l'évolution de la cote du toit de la nappe, suivie sur un piézomètre représentatif. Le calcul d'un coefficient de corrélation sert de caution et assure la représentativité du piézomètre choisi.

Les débits d'étiage ainsi mis en évidence par cette méthode, pour le Cailly à Cardonville, sont de l'ordre de 700 l/s.

5 - Commentaires après lecture

Ce rapport est essentiellement technique mais il n'apporte que peu d'informations nouvelles pour le bassin du Cailly ; il vaut surtout par l'exposé de la méthode de corrélation entre débits et niveau piézométrique.

→80 SGN 662 HNO [J. Chemin, J.P. Hole] : Adduction du Cailly - Forages 3, 4, 5, 6, 14 et 14 bis - Acquisition des paramètres hydrodynamiques.

1 - Motivation

La mise en oeuvre de ressources nouvelles tirées de la haute vallée du Cailly reste l'objectif final et la motivation générale de l'étude, comme celle des autres études menées autour de l'année 1980. Ce but passe par la réalisation de 6 nouveaux forages et des essais réalisés sur ces ouvrages.

2 - Travaux

- Creusement des forages 3, 4, 5, 6, 14 et 14 bis.

- Essais de puits, essais de nappe.

3 - Eléments remarquables

Les 6 ouvrages ont tous subi une ou plusieurs acidifications et nettoyages, puis un essai de puits par paliers et un essai de nappe de 72 heures.

3 - 1 Forage F 3 (77/6X/0091) :

- Essai de puits :

- Jusqu'à 90 m³/h le rabattement est proportionnel au débit + pertes de charge négligeables.
- à 120 m³/h → pertes de charge = 12 %.
- au delà → pertes de charge augmentant très vite.

- Essai de nappe (72 heures) :

- débit fixé à 110 m³/h
- sur forage, calcul → T = 130 m²/h
- sur piézomètre, calcul → T = 100 m²/h

3 - 2 Forage F 4 (77/6X/0093) :

- Essai de puits :

- Jusqu'à 290 m³/h le rabattement est proportionnel au débit, et l'équation est $s = aQ + bQ^n$ avec

$$a = 1,2 \times 10^{-2}$$
$$b = 0,9 \times 10^{-4}$$
$$n = 2 \text{ (jusqu'à } 290 \text{ m}^3/\text{h)}$$

- au delà, \rightarrow rabattement spécifique augmentant très vite (dénoyage d'un horizon productif de la craie ?).

- Essai de nappe (72 heures) :

- débit fixé à $260 \text{ m}^3/\text{h}$
- sur forage, en descente, calcul $\rightarrow T = 174 \text{ m}^2/\text{h}$
- sur forage, en remontée, calcul $\rightarrow T = 200 \text{ m}^2/\text{h}$

3 - 3 Forage F 5 (77/6X/0094) :

- Essai de puits :

- Jusqu'à $260 \text{ m}^3/\text{h}$ le rabattement est proportionnel au débit, et l'équation est
 $s = aQ^n + bQ$ avec ,
 $a = 1,3 \times 10^{-5}$
 $b = 7,4 \times 10^{-3}$
 $n = 2 \text{ (jusqu'à } 260 \text{ m}^3/\text{h)}$.
- au delà, \rightarrow pertes de charge augmentant très vite.

- Essai de nappe (72 heures)

- débit fixé à $350 \text{ m}^3/\text{h}$.
- sur forage, en descente, calcul $\rightarrow T = 62 \text{ m}^2/\text{h}$; $S = 4,2 \times 10^{-4}$
(méthode de Boulton).
- sur forage, en remontée, calcul $\rightarrow T = 90 \text{ m}^2/\text{h}$; $S = 7 \times 10^{-4}$
(méthode Berkhaloff).

3 - 4 Forage F 6 (77/6X/0096) :

- Essai de puits :

- $s/Q = 1,5 \times 10^{-5} Q + 3,3 \times 10^{-3}$
- les pertes de charge linéaires ne sont que de 3,3 mm par m³/h.

- Essai de nappe (72 heures) :

- débit fixé à 420 m³/h
- sur forage, en descente, calcul → $T = 86 \text{ m}^2/\text{h}$
- sur forage, en remontée, calcul → $T = 105 \text{ m}^2/\text{h}$

3 - 5 Forage F 14 (77/6X/0099) :

- Essai de puits :

- $s/Q = aQ + b$ jusqu'à $Q = 260 \text{ m}^3/\text{h}$, avec
 $a = 7,4 \times 10^{-5}$
 $b = 1,5 \times 10^{-2}$
- au-delà de $Q = 260 \text{ m}^3/\text{h}$ le rabattement est fonction du débit d'exhaure, élevé à une puissance supérieure à 2

- Essai de nappe (72 heures) :

- débit fixé à 220 m³/h
- sur forage, en descente, → $T = 108 \text{ m}^2/\text{h}$ et $S = 1,3 \times 10^{-2}$

3 - 6 Forage F 14 bis (77/6X/0098) :

- Essai de puits :

- $s = aQ = bQ^2$
- après 1 heure de pompage, s reste très faible = 8 mm/m³/h
- les coefficients caractéristiques du puits a et B ne peuvent pas être calculés.

- Essai de nappe (72 heures) :

- débit fixé à 315 m³/h
- sur forage, en descente, calcul → $T = 80 \text{ m}^2/\text{h}$ et $S = 2 \times 10^{-2}$
- sur forage, en remontée, calcul → $T = 93 \text{ m}^2/\text{h}$

3-7 Conclusions :

- Forations et essais se sont échelonnés de janvier à mai 1980, en période de précipitations abondantes ; il s'ensuit une recharge de la nappe au cours des pompages d'essai qui se trouvent ainsi perturbés. Un pluviographe et un limnigraphe non influencé ont permis de faire les corrections nécessaires.

- Le coefficient d'emmagasinement est très variable selon que la craie est recouverte d'un niveau très perméable (silex roulés propres), ou au contraire très peu perméables (colluvions argileuses).

- La transmissivité montre des valeurs beaucoup plus homogènes ; elles peuvent être mises en corrélation avec les conditions géologiques locales (faciès et fracturation de la craie). Il en ressort deux zones de forte transmissivité au long de la vallée :

- 1ère zone :
 - # concerne les ouvrages F3, F4, F5, F6 et F7
 - # liée à un niveau de craie plus dure, donc mieux fissurée (Santonien/Coniacien)
 - # ce niveau se trouve à une profondeur favorable pour accumuler des réserves.
- 2ème zone :
 - # concerne les ouvrages F14 et F14 bis
 - # probablement liée à une zone de craie particulièrement fracturée, à proximité de la faille de Petit-Tendos, qui donne à la craie du Turonien une transmissivité élevée inhabituelle.
- zone de transmissivité faible due à une craie turonienne argileuse pour F8, F10, F11, et F15.

- Productivité :

- deux tableaux donnent Q, s, Q/s et s/Q pour le groupe des nouveaux forages et pour le groupe des plus anciens : il n'y a pas de corrélation avec les conditions géologiques, car la productivité des ouvrages dépend de T et de S, mais aussi des paramètres de l'ouvrage lui-même, donc de la qualité de sa réalisation (foration, acidification, nettoyage, équipement...).
- on peut distinguer 3 groupes d'ouvrages :
 - # pour la moitié des ouvrages → débit spécifique $Q/s = 20$ à $36 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$
 - # F3, F10, et F12 sont peu productifs → $Q/s < 20 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$
 - # F5, F6, et F14 bis sont fort productifs → $Q/s > 65 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$Ils doivent bénéficier de la présence du vide karstique recoupé par le F6 (1m de hauteur). Après 3 jours d'essai, ces 3 ouvrages produisent globalement $1 \text{ 200 m}^3/\text{h}$.

3 - 8 Extrapolation des observations :

- influence des conditions locales :

- conditions favorables : réalimentation par la rivière, tarissement des sources...
- conditions défavorables : coteau peu perméable, diminution rapide de la fissuration avec la profondeur...
- l'influence des coteaux, provoquant la baisse des niveaux a souvent été observée ; dans certains cas, une compensation a probablement été apportée par les sources qui ont donc vu leur débit diminuer.
- lors des essais sur les forages de la première campagne, aucune stabilisation de niveau traduisant une réalimentation de la nappe par la rivière n'a été constatée. Ceci conduit à penser que le lit du Cailly est le plus souvent colmaté et perché.
- il y a interaction entre les forages voisins lorsque l'on effectue des pompages simultanés de longue durée.

Les évolutions constatées correspondent à seulement 3 jours d'essais ; toutes les extrapolations envisagées sont conditionnées par cette trop brève durée et ne doivent être prises qu'avec réserve.

Seul un suivi du champ captant, en cours d'exploitation, pourra permettre d'apprécier l'évolution à long terme des rabattements et des débits, et d'adapter les prélèvements à chacun des ouvrages.

3 - 9 Qualité des eaux :

- Pas de radiations ionisantes détectées.

- Turbidité parfois élevée -----> poursuite du nettoyage des ouvrages.

- Pas de germes pathogènes ---> ? dû à la proximité des acidifications ? (quelques jours).

- Sur les plateaux, les bétouilles constituent des points de pollution potentielle qui sont une réelle menace pour la qualité des eaux de nappe.

4 - Commentaires après lecture :

- Ce rapport est essentiellement technique ; il apporte la connaissance de nombreux paramètres hydrodynamiques en de nombreux endroits de la nappe.

- Les informations générales relatives au fonctionnement de l'aquifère du sous-bassin du haut Cailly, et à sa géométrie sont peu développées et la valeur des extrapolations est limitée par la faible durée des essais (3 jours seulement).

- Les remarques faites à propos de l'effet de coteau en tant que phénomène défavorable à la productivité sont quelque peu en contradiction avec l'hypothèse, pourtant étayée d'un karst important sous le coteau en rive gauche. Cette hypothèse apparaît en 1981 dans l'étude faite pour définir l'état initial du sous-bassin. Il faudrait pouvoir confirmer ou condamner cette disposition.

→80 SGN 280 HNO [J. Chemin, J.P. Holé] : Adduction du Cailly. Détermination des ressources en eaux souterraines de la haute-vallée du Cailly.

1 - Motivation

Nécessité de renforcer l'adduction en eau potable de la région de Maromme.

2 - Objectifs et méthodologie

Compléter les données géologiques et hydrogéologiques acquises sur le secteur ; effectuer un bilan hydraulique du bassin. Estimer les possibilités d'exploitation du champ captant, et son comportement pour des débits d'exploitation fixés pour répondre aux exigences des consommateurs (15 000 m³/j et 20 000 m³/j en pointe).

3 - Travaux

Pompages d'essai simultanés sur 6 forages.
7 forages ont été creusés en 1978 et 79.

4 - Eléments remarquables

- Géologie :

Une faille NNW/SSE coupe le sous-bassin du haut Cailly en deux. Le compartiment ouest est relevé de 20 à 30 m. Les forages de la campagne précédente (F 7 à F 15) sont tous dans le compartiment abaissé.

Un axe anticlinal, parallèle à la faille et passant par Gouville a pour effet de maintenir la craie coniacienne à faible profondeur jusqu'à Cailly.

A l'ouest de la faille, c'est la craie turonienne, plus marneuse, qui occupe le thalweg, tandis que le Coniacien affleure en coteaux.

Il existe un profil géologique longitudinal de Cailly à Cardonville.

- Hydrogéologie :

Le réservoir (craie) a une puissance de 80 à 100 m sous les vallées et 150 à 200 m sous les plateaux. Le mur de la nappe est constitué par les argiles du Gault (Albien), qui n'affleurent pas dans la région.

- la perméabilité d'interstices, faible (0,5 %) intéresse toute la puissance de la craie,

- la perméabilité de fissures, très variable, est cependant bien développée sous les vallées sèches ou humides (parfois jusqu'au réseau karstique), mais peu sous les plateaux, (sauf bétoires et drains karstiques).

5 - Commentaires après lecture :

La description du réservoir est probablement trop théorique ; en particulier, le mur de la nappe attribué aux argiles du Gault est certainement très théorique ; les puissances de craie (80 à 100 m minimum sous les vallées) ne sont probablement pas aquifères sur toute l'épaisseur. La fracturation diminue généralement très vite avec la profondeur et la craie n'est productive que sur 30 à 50 m maximum. Il peut exister des secteurs faisant exception à cette règle lorsqu'une faille ou un faisceau de failles importantes et profondes recoupe la craie.

→80 / GA / 008 [P. de la Quérière] : Alimentation en eau potable du syndicat d'eau potable de la région de Maromme. Définition des périmètres de protection des captages de la vallée du Cailly (S 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15)

1 - Motivation :

Protection des captages de la vallée du Cailly ; définition des périmètres de protection de 7 ouvrages :

77 / 6X / 0088 (S07)
77 / 6X / 0087 (S08)
77 / 5X / 0087 (S10)
77 / 5X / 0089 (S11)
77 / 5X / 0092 (S12)
77 / 5X / 0091 (S13)
77 / 5X / 0088 (S15)

2 - Travaux :

Il n'y a pas de travaux de terrain. L'élaboration du rapport comporte des bilans de consommation, de prévisions d'exploitation, la relation de pompages d'essai, des tableaux relatifs aux paramètres hydrauliques des ouvrages et de l'aquifère, aux qualités chimiques de l'eau, et de nombreux documents cartographiques délimitant les périmètres de protection de chacun des forages.

3 - Eléments remarquables :

Les ouvrages ont été réalisés d'après une étude des ressources en eau du bassin du haut Cailly (71 SGN 123 PNO). Ils sont tous situés entre l'aval de Gouville et l'aval de Grand-Tendos.

L'étude menée de 1968 à 1970 a montré que l'aquifère est constitué par des alluvions et la craie du Coniacien (des forages S7 à S12), ou la craie du Turonien (au delà de S12).

- Deux campagnes de pompages d'essai ont été réalisées :

- 1ère campagne : essais continus de 72 h, au fur et à mesure de la réalisation des ouvrages.
- 2ème campagne : pompage continu, simultané, sur l'ensemble des puits, pendant 10 jours (20 / 30 novembre 1978), avec jaugeage des débits du Cailly.

- Ces deux campagnes ont permis les observations suivantes :

- la rivière ne réalimente pas la nappe dans la zone des cônes d'appel des forages.
- les débits prélevés proviennent de la nappe,
pour moitié, du sous écoulement de la vallée (6 à 700 m³/h),
pour moitié, du flux d'alimentation de la rivière par la nappe (# 700 m³/h).

Vallée du Haut Cailly (Seine-Maritime)
Relations nappe / rivière

- il existe une influence réciproque des forages F 12, F 13 et probablement F 11.
- la productivité est maximale pour F 7 (aval de Gouville) et F 11 (nord de Fontaine le Bourg).

- résultats des pompages d'essai (2 tableaux suivants)

	<i>Profondeur NS m</i>	<i>Débit en m³/h</i>	<i>Rabattement</i>
<i>F 07</i>	1.04	300	16.38
<i>F 08</i>	1.72	161	9.12
<i>F 10</i>	9.33	95	12.46
<i>F 11</i>	1.35	215	6.16
<i>F 12</i>	1.09	190	11.66
<i>F 13</i>	0.68	300	13.39
<i>F 15</i>	1.45	104	8.25

Pompage d'essai de 72 h, entre décembre 1978 et mars 1979.

Vallée du Haut Cailly (Seine-Maritime)
Relations nappe / rivière

	<i>Profondeur NS m</i>	<i>Débit en m³/h</i>	<i>Rabattement</i>
<i>F 07</i>	1.10	300	15.46
<i>F 08</i>	0.74	160	8.10
<i>F 10</i>	8.82	80	10.68
<i>F 11</i>	1.40	250	7.33
<i>F 12</i>	1.14	165	12.04
<i>F 13</i>	0.60	215	11.87
<i>F 15</i>	/	/	/

Pompage d'essai de 10 jours, du 20 au 30 avril 1979.

- les paramètres hydrauliques déduits des essais et ayant guidé la détermination des périmètres de protection sont rassemblés dans le tableau suivant.

	<i>F 07</i>	<i>F 08</i>	<i>F 10</i>	<i>F 11</i>	<i>F 12</i>	<i>F 13</i>	<i>F 15</i>
<i>Débit d'exploitation (m³/h)</i>	300	160	80	250	165	215	90
<i>Transmissivité (m²/h)</i>	85	40	25	60	30	30	20
<i>Porosité cinématique</i>	0.026	0.047	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
<i>Gradient hydraulique</i>	6 . 10 ⁻³	6 . 10 ⁻³	6 . 10 ⁻³	6 . 10 ⁻³	6 . 10 ⁻³	6 . 10 ⁻³	6 . 10 ⁻³
<i>Epaisseur productive de la nappe (m)</i>	30	30	30	30	30	30	30

Paramètres hydrauliques des forages du bassin du haut Cailly.

- Qualité des eaux : un tableau donne les valeurs des 7 principaux éléments chimiques (non reproduit) ; on note une concentration élevée en chlorures (jusqu'à 51 mg/l), qui est probablement une séquelle des opérations d'acidification.

- Périmètres de protection : les forages sont groupés dans la vallée, et un seul périmètre de protection inclut tous les ouvrages.

Pour chaque forage, sont données une description de l'environnement, une définition des périmètres, et les réglementations afférentes.

- en annexe, on trouve :

- une carte à 1/25 000,
- des extraits de plans cadastraux,
- un état parcellaire,
- des tableaux des prescriptions en matière de réglementation,
- des analyses chimiques,
- un additif à l'avis du géologue agréé.

4 - Commentaires après lecture :

Ce rapport donne des informations techniques très appliquées, mais relativement peu sur l'organisation et le fonctionnement de l'aquifère du bassin du haut Cailly.

**→81 SGN 791 / HNO [J. Chemin, G Deuss, J.P. Hole] : Adduction d'eau du Cailly
- Etat initial du système hydraulique de la haute vallée du Cailly.**

1 - Motivation :

La motivation de l'étude tient dans la nécessité de connaître les répercussions de l'exploitation sur l'équilibre du système hydraulique du bassin du haut Cailly.

La prochaine mise en service de 6 nouveaux forages, puis à terme, de 6 autres encore, destinés à assurer l'alimentation de la région de Maromme, détermine la nécessité d'établir un état initial permettant d'apprécier les impacts ultérieurs.

La prévision de prélèvement est de 20 000 m³/j soit 230 l/s, ce qui risque de porter atteinte aux droits des riverains ; c'est pourquoi la DUP prescrit les études nécessaires pour connaître avec précision le régime actuel (1981) du haut Cailly.

2 - Travaux / dispositif technique :

- réseau d'observation hydrologique : (périodicité mensuelle des mesures).

- 2 pluviographes + réseau de la météo nationale,
- 3 stations limnigraphiques + 4 sections jaugées périodiquement,
- 5 limnigraphes sur forages et piézomètres,
- jaugages sur 5 sources ou groupes de sources exploitées.

3 - Objectifs de l'étude et méthodologie :

Pour définir le régime du haut Cailly, il convenait d'établir ,
- le débit moyen interannuel.

- le débit d'étiage pour différentes périodes de retour, pour chacune des sections du cours étudiées.

Les chroniques de mesures de la station limnigraphique de Notre-Dame de Bondeville (1969 - 1981), serviront, par comparaison, pour l'estimation des débits.

4 - Eléments remarquables :

- informations hydrologiques

Plusieurs tableaux donnent des informations hydrologiques :

- débits moyens annuels, en divers points du cours : de 0,194 à Cailly à 0,885 à Grand-Tendos et 3,040 à ND de Bondeville.
- débits spécifiques correspondant, en l/s/km² : 6,87 à 10,60 et 14,50
- débits moyens interannuels : de 0,141 à Cailly à 2,230 à ND de Bondeville.
- débits spécifiques correspondant, en l/s/km² : 5,02 à 10,60

- informations hydrogéologiques :

- tableau des jaugeages des sources.
Les sources mesurées varient peu (20%) autour de la moyenne : cette régularité est caractéristique des sources de la craie.
- piézométrie : un tableau rassemble les mesures mensuelles sur les 23 points d'observation.
On constate que les variations d'amplitude sont importantes sous plateau (8 m), et très faibles en vallée (0,20 à 0,50 m). de plus, il existe entre les périodes d'alimentation et la recharge effective de la nappe, un déphasage important sous plateau (1 à 4 mois), et une réponse immédiate en vallée.

Le rôle régulateur des plateaux crayeux est ici confirmé : ils apportent en été, au champ captant, les réserves accumulées en hiver.

- profil en long du Cailly et de la nappe selon l'axe de la vallée, à 1/500 (Annexe III).
Ce profil très détaillé montre la complexité du cours du Cailly et des relations rivière / nappe.
Le Cailly est coupé de nombreuses écluses, chutes, semé d'étangs installés dans la nappe alluviale d'accompagnement, il montre des sections colmatées, d'autres endiguées, canalisées artificiellement, d'où des sections de cours perché et des sections de cours drainant ...
Ainsi, la diminution de débit constatée à la station de Gouville pourrait s'expliquer par une perte des eaux de surface le long du parcours artificiellement perché en amont de la ferme de Gouville. Cela suppose que le lit ne soit pas colmaté dans cette section. La nappe restituerait ensuite le débit perdu en rivière, sans doute à l'aval de l'étang où la nappe est à un niveau supérieur au Cailly, de plus d'un mètre.
- axes naturels de drainage : en étiage comme en hautes eaux, les écoulements sont orientés vers deux axes de drainage,
 - # l'un dans les alluvions au droit du Cailly,
 - # l'autre dans la craie, sous le coteau de la rive gauche : probablement dû à un développement important de la fracturation de la craie, pouvant donner un réseau karstique (tel que celui recoupé par le forage F 6).

- Régime des eaux souterraines :

- régime annuel de référence des eaux souterraines.
Au niveau du piézomètre de Rocquemont, on dispose de chroniques de mesures mensuelles sur 13 années consécutives. On en tire des courbes des valeurs minimales, maximales et médianes des niveaux moyens intermensuels

de la nappe de la craie. En comparant la courbe des niveaux piézométriques de l'année en cours (1981), on en déduit la tendance annuelle et le niveau de recharge de la nappe.

En mai 1981, le niveau est proche des cotes maximales connues. Le volume de la réserve régulatrice de l'aquifère sera donc proche du maximum lors de la mise en exploitation du champ captant.

- formule du bilan hydraulique et calcul de ce bilan :
Pour une période où les réserves initiales et finales de la nappe et du sol sont relativement différentes, l'équation du bilan sera de la forme :

Écoulement Sortant + VR eaux souterraines = Pluie - ETR + VR eaux du sol
VR = Variations des Réserves ...
ETR = Evapotranspiration réelle

D'après les calculs de la météo nationale, pour la station de Boos, la variation de réserve du sol était de l'ordre de 35 mm d'eau ; faute d'autres valeurs, cette mesure est reprise pour le bassin du Cailly.

Écoulement sortant = Pluie - ETR - 35
Écoulement Sortant = 1 008 - 522 - 35 = 451 mm arrondi à 455 mm

- part des écoulements souterrains et de surface :

Il existe deux moyens de procéder à ces calculs.

bilan de bassin :

Pour la période d'observation (du 01/06/1980 au 31/05/1981), la lame d'eau écoulée correspond à 40 millions de m³ d'eau, soit débit moyen = 1,3 m³/s

Les limnigraphes de Grand-Tendos montrent pour le même temps que le Cailly a évacué une lame de 310 mm, soit 27 millions de m³ et débit moyen = 0,9 m³/s

Part d'écoulement souterrain = 1,3 - 0,9 = 0,4 m³/s (soit 31 % des eaux)

calcul hydrodynamique :

$Q = T \cdot i \cdot l$ avec $T = 2,8 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

$i = 4 \%$ (gradient = 4 m par km)

$l = 450 \text{ m}$ (largeur de la section d'écoulement)

$Q = 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$

Ce résultat est 8 fois plus faible que le bilan.

Il semble confirmer l'hypothèse de 2 axes de circulation souterraine préférentielle, l'un au droit du Cailly, dans ses alluvions, l'autre sous le coteau, en rive gauche (circulation karstique probable).

- Orage du 31 mai 1981

Le caractère exceptionnel de cet orage a permis d'observer le comportement du nouveau champ captant dans des conditions extrêmes : 60 mm en 1 heure = pluie du mois de mai. L'infiltration n'a pas été très forte, mais le ruissellement a été exceptionnel sur le secteur limité correspondant aux averses (une partie a été captée par les bétoires). Plusieurs villages ont été gravement inondés : Fontaine-le-Bourg, Grand-Tendos... Les fossés et les grands collecteurs qui existaient autrefois ont été comblés ou très réduits. Ils étaient pourtant, d'après les témoignages, parfaitement efficaces, bien que rarement fonctionnels !

Le Cailly a connu un niveau très élevé à partir de Fontaine-le-Bourg : le débit de pointe a été supérieur à 5 m³/s pour un débit moyen de 1 m³/s, à cet endroit). Cependant, le lit naturel du Cailly s'est montré capable d'évacuer la crue, sans débordements ...si ce n'est à proximité de quelques unes des écluses, bloquées par des débris ou dans l'incapacité d'être manoeuvrées, car trop vétustes.

Tous les forages situés à l'aval de Fontaine-le-Bourg se sont trouvés en zone inondée ; F 14 a été submergé. En amont de F 10, un important élevage situé en fond de vallée a été inondé : il constitue une source de pollution dangereuse pour ce forage et au delà.

Il convient de penser à protéger les ouvrages des risques futurs d'inondation. La pollution qui risque de passer par les bétoires reste très difficile à juguler.

- prélèvements d'eaux souterraines par des particuliers (haute vallée du Cailly).
Les prélèvements sont au nombre de 14 (13 particuliers + l'usine Legrand).

- les particuliers prélèvent 24 m³/j (8 400 m³/an)
- l'usine Legrand prélève 1 680 m³/j (394 800 m³/an)

Ce dernier prélèvement influence le F 12 → rabattement de 0,12 m après 5 jours.

Un tableau détaille les prélèvements des particuliers qui pourraient, pour certains, subir des dommages.

5 - Commentaires après lecture :

Quelques éléments démontrés ou avancés comme hypothèses, avec l'appui d'un cortège d'observations démonstratives apportent une amélioration de la connaissance du bassin et de son mode de fonctionnement :

- Les relations nappe / rivière sont complexes mais ont été bien mises en évidence, grâce au profil en long très précis, et au découpage du cours du Cailly en sections colmatées ou drainantes.

- Les pertes du Cailly trouvent leur justification dans la mise en évidence du dispositif où la rivière se trouve couler au-dessus du niveau de la nappe, et lui restitue ainsi une partie de son débit au travers des berges filtrantes.

Le dispositif inverse se présente un peu en aval : la nappe est à environ 1m au-dessus de la rivière et lui restitue ainsi tout ou partie des pertes comptabilisées en amont.

- La mise en évidence de 2 axes de circulation souterraine préférentielle est un élément important de la géométrie et du fonctionnement du bassin.

- l'existence d'un karst en rive gauche accentue la vulnérabilité du champ captant du Cailly et en particulier pour les forages situés en rive gauche (F 3, 4, 11, 14 et 14 bis).

- L'orage exceptionnel du 31 mai 1981 aura permis d'envisager des mesures efficaces de protection des ouvrages.

→81 HNO 032 [J. Chemin, J.P. Holé, P. de La Quérière] : Compte rendu des observations faites sur la haute vallée du Cailly après l'orage du 31 mai 1981.

1 - Motivation :

Le caractère exceptionnel des pluies liées à cet orage fourni l'occasion d'observer le bassin du Cailly et les nouveaux ouvrages dans des conditions extrêmes.

2 - Objectifs de l'étude et méthodologie :

Observer afin de dégager les mesures nécessaires à la protection future des ouvrages, de reconnaître les risques de pollutions et les parades possibles.

Des visites sur le terrain ont été faites le 31 mai et 1er juin, puis du 1er au 3 juin.

3 - Eléments remarquables :

- compte-rendu détaillé des inondations et de l'influence exercée sur les forages (par P. de La Quérière).

- compte-rendu par J. Chemin et J.P. Holé :

- observations concernant l'averse, l'infiltration, le ruissellement, les inondations, la crue du Cailly, les conséquences sur le champ captant.
- mesures de protection :
 - Protection du champ captant par mise hors d'eau des périmètres immédiats des ouvrages, pompages de nettoyage
 - Inventaire des causes de pollution potentielles, et mesures conservatoires.
 - Pour éviter les inondations par ruissellement, --> recréer fossés et grands collecteurs au débouché des vallées sèches, --> créer des bassins de rétention à l'amont des vallées pour stocker le ruissellement provenant des pâtures et des champs.
 - Pour éviter le débordement du Cailly --> curer le lit, supprimer les écluses inutiles, remettre en état de marche les écluses à conserver, vérifier et entretenir les digues de l'étang de Gouville.

4 - Commentaires après lecture :

Les observations présentent le plus grand intérêt ; elles ont permis de dresser une liste des mesures de sauvegarde des ouvrages, et des moyens de lutte contre les inondations.

→85 OUV 002 [Agence de Bassin Seine-Normandie / Université de Haute-Normandie (Laboratoire de Géologie)] : Proposition d'objectif de qualité du Cailly.

1 - Motivation, objectifs

L'objectif est l'amélioration de la qualité des eaux du Cailly, conformément à l'opération lancée en 1971.

2 - Méthodologie

- analyses de sédiments, qualité bactériologique.

- graphiques de qualités comparées du Cailly.

3 - Eléments remarquables

- La qualité actuelle (1985) du Cailly sur le secteur amont est classée 1B ; elle respecte la vocation piscicole salmonicole ; l'objectif à atteindre est la classe 1A.

- des stations d'épuration sont déjà construites à Cailly (1973) et Montville (1975). La fromagerie de Cléville traite ses effluents individuellement.

- en aval, la qualité actuelle du Cailly se dégrade : il existe de nombreux rejets industriels incorrects mais ce tronçon du Cailly n'est plus concerné par la synthèse du bassin du Haut Cailly.

- pour améliorer la qualité des eaux de surface, les mesures suivantes sont préconisées :
 - station d'épuration de Cailly : pré-traitement et amélioration du traitement des boues.

- station d'épuration de Clères : amélioration du dégraisseur et du traitement des boues.
- station d'épuration de Montville : création d'un bassin écréteur, d'un pré traitement efficace et amélioration du traitement des boues.
- usine Legrand-Normandie : séparation des hydrocarbures au niveau de la chaîne et amélioration du fonctionnement du dispositif existant.
- information aux riverains : branchement aux réseaux d'assainissement, pas de rejets d'ordures à la rivière).

- proposition d'objectifs de qualité : l'objectif "qualité piscicole salmonicole" est réaffirmée.

- pour l'amont, l'objectif de qualité 1A est abandonné, et reste fixé à 1B;
- le débit de référence est estimé à 1,4 m³/s.

5 - Commentaires après lecture

Ce rapport développe surtout recommandation d'amélioration concernant la partie moyenne et aval du Cailly. Le haut Cailly est peu concerné : il était déjà classé en 1B et il n'est pas recherché de meilleure classification

→86 SGN 221 HNO [J.M. Barrat] : Modèle de gestion de la ressource en eau du Haut bassin du Cailly (76).

1 - Motivation, objectifs

L'objectif de la réalisation de ce modèle est de pouvoir préciser le comportement de la ressource en périodes de recharges déficitaires de la nappe, et de pouvoir évaluer le débit optimal prélevable en nappe. Le syndicat envisage un débit maximum d'exploitation de 20000 m³/j.

2 - Méthodologie

L'étude utilise deux modèles mathématiques : un modèle hydrologique global pluie/niveau - pluie/débit (GARDENIA), et un modèle hydrodynamique (programme DYNAFLOW), pour les écoulements souterrains prenant en compte les écoulements superficiels.

Les données utilisées proviennent des stations météorologiques, des stations de jaugeages, des piézomètres et des études hydrogéologiques antérieures

3 - Eléments remarquables

- Le débit réservé pour garantir les objectifs de qualité du Cailly est fixé à 350 l/s.

- GARDENIA

- pluie efficace 252 à 294 mm/an
- écoulement superficiel 70 à 81 mm/an
- écoulement souterrain rapide 120 mm/an
- écoulement souterrain lent 70 à 93 mm/an

- carte de perméabilité du sous-bassin du haut Cailly : elle montre les contrastes de perméabilité existant au sein de l'aquifère crayeux, selon la situation géomorphologique.

- vallée principale $K = 1 \times 10^{-3}$ m/s (S = 8 à 10 %)
- vallées secondaires $K = 0,5 \times 10^{-3}$ m/s
- sous plateaux $K = 1 \times 10^{-5}$ m/s (S = 1 %)

- simulations des prélèvements :

- P = 10 000 m³/j : pour les années les moins pluvieuses (1973/74), le débit du Cailly descend à environ 200 l/s.
- P = 20 000 m³/j : pour les années déficitaires en pluies, il ne resterait qu'un débit de quelques l/s. Si l'on prend en charge le débit réservé, un prélèvement de 20 000 m³/j n'est envisageable qu'épisodiquement, les années de pluies > à la moyenne.
- P = 40 000 m³/j : pour les années de pluies déficitaires ou faibles, le Cailly serait largement asséché. Pour les années moyennes à très pluvieuses, ce prélèvement est envisageable.

- pour une année normale, l'exploitation est possible à 20 000m³/j, en ne touchant pratiquement pas au débit réservé ; en revanche, si la recharge était nulle, le débit réservé serait entamé dès le mois de septembre avec seulement 10 000 m³/j de prélèvements.

Il est proposé un modèle de gestion prévisionnel : il permet de faire des prévisions de prélèvements en période de recharge déficitaire, ou des prévisions d'exploitation importante en période normale à très pluvieuse.

5 - Commentaires après lecture

Ce rapport fait un bilan du fonctionnement du bassin et fixe les débit d'exploitation envisageables, en rapport avec l'importance de la pluviométrie et l'état de la recharge.

C'est une étape importante dans la connaissance du bassin du haut Cailly.

→R 31 168 HNO 4S 90 [P. de la Quérière, P. Jacquot, F. Pernel] : Vulnérabilité du champ captant du Haut Cailly - Evaluation des travaux de protection contre les ruissellements.

1 - Motivation :

A la suite d'un accident de pollution sur le forage F 10, le syndicat d'adduction d'eau de Maromme a décidé de lancer une étude de la vulnérabilité de la nappe de la craie au regard des problèmes de ruissellement, dans le bassin du Haut Cailly.

2 - Objectifs et méthodologie

- objectif : établir les facteurs de vulnérabilité de la nappe et des captages, lister les activités anthropiques et les établissements susceptibles de menacer la qualité de l'eau.

- Méthodologie :

- Inventaire des points de vulnérabilité et des points de pollution potentielle.
- Evaluation des volumes et des débits des eaux ruisselées, à partir des données de l'averse exceptionnelle du 31 mai 1981.

3 - Eléments remarquables

- Les volumes ruisselés peuvent atteindre plusieurs centaines de milliers de m³.

- l'impact des ruissellements porte surtout sur les zones habitées : les forages F 10 et F 11 sont les plus vulnérables.

- Les travaux de protection des captages proposés sont :

- la réalisation de retenues rustiques, de haies dans le fond des vallons adjacents au Cailly,
- l'aménagement d'exutoires à la rivière ou de fossés,
- la mise en place de canalisations ou de bassins de stockage,
- la mise en conformité des principaux établissements agricoles présentant des risques de pollution.

5 - Commentaires après lecture

Le rapport présente des informations techniques très précises et en particulier, l'impact des flux de ruissellement est étudié individuellement pour chaque forage ou groupe de forages. Cette technique est reprise en annexe de façon très détaillée et très précise.

→93 OUV 95 [ASTER] : Vulnérabilité du champ captant du haut Cailly - Aspects agronomiques.

1 - Motivation

Le syndicat de Maromme désire prendre des précautions pour prévenir les risques de pollution de la nappe du haut Cailly, en particulier en ce qui concerne les pollutions agricoles potentielles (engrais, produits phytosanitaires). Cette étude est une extension du travail mené pour la définition des périmètres de protection.

2 - Objectifs et méthodologie

L'étude vise à proposer des modes de conduite des parcelles agricoles du secteur, en ce qui concerne les intrants (azote et produits phytosanitaires), adaptés à la préservation de la ressource en eau.

La méthodologie adoptée procède en 4 étapes :

- Analyse du milieu (sols et morphologie) : détermination des grands types de sols, de modelé, de paysages (documents, photos aériennes, visites de terrain...).

- Occupation du sol : détermination de l'occupation actuelle du sol dans les secteurs sensibles (cartes topographiques, photos récentes, visites de terrain...).

- Système de culture et systèmes de production : ces aspects de l'économie agricole locale s'avèrent indispensables pour éclairer les possibilités de prévention des pollutions agricoles potentielles.

- Conclusions et propositions concrètes : le croisement des 3 paramètres ci-dessus permet de formuler des propositions concrètes destinées à la protection des forages et des eaux de nappe en général.

3 - Eléments remarquables

- Document cartographique à 1/50 000, présentant une zonation des types de pédopaysages de la vallée du haut Cailly. Cinq grands types sont définis :

- les plateaux limoneux sont essentiellement exploités en labours
- les limons caillouteux et limons sur argile à silex sont surtout occupés par des prairies permanentes
- les sols de versants prononcés sont le domaine de la forêt et des prairies permanentes
- les vallons limoneux sont exploités soient en labours soient en prairies permanentes
- la vallée du Cailly, très humide, est essentiellement exploitée en prairies permanentes, avec quelques parcelles boisées ou plantées éparées.

- Les sols des périmètres de protection rapprochés et immédiats sont détaillés en 6 unités de sols déterminées.

- Sur le plateau, les risques les plus importants résultent du ruissellement ; dans les versants, l'infiltration peut jouer un rôle actif ; en fond de vallée, la proximité de la nappe constitue une source importante de risques.

- Il existe 4 grands types de systèmes de culture ou de production, qui avec quelques subdivisions font 6 cas possibles :

- système traditionnel à faibles structures (culture et élevage avec peu d'animaux)
- système lait : 30 à 50 ha avec 80 % en cultures fourragères, avec système à base élevage laitier
- système lait + viande : 30 à 50 ha avec 80 % en cultures fourragères, avec système à base lait + élevage bovins/viande
- système polyculture / lait intensif : > 50 ha avec 50 à 70 % de la surface en fourrage
- système polyculture / viande : peu répandu : > 50 ha avec élevage bovin et engraissement dominant sur prairies permanentes
- système grandes cultures : > 80 ha voués à la culture de produits destinés à la vente (céréales, betteraves, pommes de terre, lin, pois, colza...).

- Propositions pour protection des forages contre les pollutions agricoles :

- actuellement (en 1993), la nappe de la vallée du haut Cailly ne présente pas de pollution ni par les nitrates, ni par les produits phytosanitaires. Cependant, en zone non saturée, on trouve des teneurs de l'ordre de 60 mg/l, ce qui est inquiétant pour l'avenir. Les teneurs sont donc appelées à augmenter.
- dans les périmètres de protection rapprochés : les prairies permanentes sont recommandées, avec peu d'intrants.
- pour l'ensemble de la vallée du Cailly : il sera souhaitable de conserver l'utilisation actuelle en prairies extensives ou peu intensives voire en bois ou peupleraies ; assainissement et drainage sont exclus.
- dans les périmètres de protection éloignés et en position de versants, rebord de plateau et talwegs sains : les forages étant assez loin, il sera souhaitable de conseiller :
 - # la culture en prairies peu intensives, voire jachère fixe ou gel des terres.
 - # en cas de labours, faire des bilans de fertilisation azotée et fractionner les apports.
 - # pas de labours dans les pentes.
 - # dans les versants, rebords de plateau et talwegs sains, les bétoures constituent des points très sensibles (risques de pollution rapide par ruissellement et engouffrement).
 - # le golf constitue une zone de risques de pollution non négligeable, car les intrants en azote et produits phytosanitaires y sont généralement élevés.

- dans le périmètre de protection éloignée et sur les plateaux, il convient de faire des bilans de fertilisation, de fractionner les apports d'azote, d'interdire les vidanges de cuves de traitement...

4 - Commentaires après lecture

La production d'eau pour le syndicat de Maromme est de l'ordre de 15 000 m³/j en 1993. Ce rapport entièrement tourné vers l'activité agricole est une annexe précieuse à la définition des périmètres de protection. Les recommandations qui sont données sont de bon sens, mais leur mise en application sans directives autoritaires manque peut-être un peu de réalisme, ou demandera beaucoup de temps et de persuasion de la part des autorités administratives et techniques qui gravitent autour des problèmes de la ressource en eau et de son exploitation.

2 - Synthèse des informations essentielles

2.1. GEOLOGIE DU SOUS-BASSIN DU HAUT CAILLY

Le sous-sol du bassin du haut Cailly est constitué par la craie du Turonien et du Coniacien, et par ailleurs, la tectonique joue un rôle primordial dans la nature, la géométrie et le fonctionnement hydraulique du bassin du haut Cailly :

- Une faille NNW/SSE coupe le sous-bassin du Haut Cailly en deux. Le compartiment ouest est relevé de 20 à 30 m, tandis que le compartiment est, où se trouvent les forages F 7 à F 15, est abaissé. A l'ouest de la faille, c'est la craie turonienne, plus marneuse, qui occupe le thalweg, tandis que le Coniacien affleure en coteaux.
- un axe anticlinal orienté NO/SE coupe transversalement la vallée quelques centaines de mètres en aval de Gouville ; il a pour effet de maintenir la craie coniacienne à faible profondeur jusqu'à Cailly. Cette structure intéresse la craie plutôt argileuse du Turonien, moins perméable que la craie blanche. La nature lithologique (tendance moins perméable), combinée à la structure anticlinale (remontée des couches), détermine probablement un seuil hydraulique à l'amont duquel s'accumuleraient les eaux souterraines. L'amont de l'axe anticlinal serait une zone d'accumulation, donc de ressources privilégiées en eaux souterraines.
- par ailleurs, la haute vallée du Cailly semble avoir un tracé d'origine tectonique. Il y aurait donc un développement de la fissuration et de l'altération constituant un véritable drain.

Un intéressant profil géologique longitudinal, de Cailly à Cardonville est proposé dans l'étude réalisée en 1980 par Chemin et Holé (80 SGN 280 HNO).

2.2. HYDROLOGIE

Le cours du Cailly est complexe, coupé de nombreuses écluses, de chutes, semé d'étangs installés dans la nappe alluviale d'accompagnement. Il montre des sections colmatées, d'autres endiguées, canalisées artificiellement, d'où des sections de cours perché et des sections de cours drainant ...

L'étude 81 SGN 791 HNO, réalisée par Chemin, Deuss et Holé en 1981, présente un profil en long du Cailly et de la nappe selon l'axe de la vallée, (Annexe III à 1 / 500).

Ce profil très détaillé montre la complexité du cours du Cailly et des relations rivière/nappe.

Des débits caractéristiques du cours du Cailly ont été par ailleurs mesurés ou calculés:

- débits moyens annuels, en divers points du cours : de 0,194 à Cailly à 0,885 à Grand-Tendos et 3,040 à Notre-Dame de Bondeville.
- débits spécifiques correspondant, en l/s/km² : 6,87 à 10,60 et 14,50
- débits moyens interannuels : de 0,141 à Cailly à 2,230 à ND de Bondeville.
- débits spécifiques correspondant, en l/s/km² : 5,02 à 10,60

Enfin, à l'occasion de l'orage du 31 mai 1981, le Cailly a connu un niveau très élevé à partir de Fontaine-le-Bourg : le débit de pointe relevé à cette occasion s'est montré supérieur à 5 m³/s.

2.3. HYDROGEOLOGIE

2.3.1. Fonctionnement hydraulique du sous-bassin

Le réservoir (craie) a une puissance de 80 à 100 m sous les vallées et 150 à 200 m sous les plateaux. Le mur de la nappe est théoriquement constitué par les argiles du Gault (Albien), qui n'affleurent pas dans la région. En effet, la craie n'est probablement pas aquifère sur toute son épaisseur. La fracturation diminue généralement très vite avec la profondeur et la craie n'est probablement productive que sur 30 à 50 m maximum. Il peut cependant exister des secteurs faisant exception à cette règle, lorsqu'une faille ou un faisceau de failles importantes et profondes recoupe la craie.

Les éléments caractéristiques du réservoir et de son fonctionnement, issus des différentes observations et devant être retenus sont les suivants :

- l'hypothèse d'un barrage hydraulique existant au niveau de l'axe anticlinal est parfaitement plausible et doit être retenue.

- la perméabilité d'interstices est faible (0,5 %) ; elle peut intéresser toute la puissance de la craie.
- la perméabilité de fissures, très variable, est cependant bien développée sous les vallées sèches ou humides (parfois jusqu'au réseau karstique), mais peu sous les plateaux, (sauf bétoires et drains karstiques).
- Le coefficient d'emménagement est très variable selon que la craie est recouverte d'un niveau très perméable (silex roulés propres), ou au contraire très peu perméables (colluvions argileuses).
- La transmissivité montre des valeurs beaucoup plus homogènes ; elles peuvent être mises en corrélation avec les conditions géologiques locales (faciès et fracturation de la craie). Il en ressort deux zones de forte transmissivité, et une zone de faible transmissivité, au long de la vallée :

* la 1ère zone concerne le secteur des ouvrages F3, F4, F5, F6 et F7 . Elle est liée à un niveau de craie plus dure, donc mieux fissurée (Santonien/Coniacien). Ce niveau se trouve à une profondeur favorable pour accumuler des réserves.

* la 2ème zone concerne le secteur des ouvrages F14 et F14 bis. Elle est probablement liée à une zone de craie particulièrement fracturée, à proximité de la faille de Petit-Tendos, qui donne à la craie du Turonien une transmissivité élevée inhabituelle.

* la 3ème zone concerne le secteur des forages F8, F10, F11, et F15. Elle présente une transmissivité faible due à une craie turonienne argileuse.

Les relations nappe / rivière, précisées par des observations diverses et en particulier les informations fournies par les pompages d'essai réalisés sur les différents ouvrages, sont caractérisées par les éléments suivants :

- axes naturels de drainage : en étiage comme en hautes eaux, les écoulements sont orientés vers deux axes de drainage,
 - * l'un dans les alluvions au droit du Cailly,
 - * l'autre dans la craie, sous le coteau de la rive gauche : probablement dû à un développement important de la fracturation de la craie, pouvant donner un réseau karstique (tel que celui recoupé par le forage F 6).
- les débits prélevés proviennent de la nappe dans les proportions suivantes :
 - * pour moitié, du sous écoulement de la vallée (6 à 700 m³/h),

* pour moitié, du flux d'alimentation de la rivière par la nappe (# 700 m³/h).

- les coteaux, peu perméables, car la fissuration diminue rapidement avec la profondeur, ont tendance à provoquer la baisse des niveaux ; dans certains cas, une compensation a probablement été apportée par les sources qui ont donc vu leur débit diminuer. Cependant, a contrario, l'existence d'un karst important sous le coteau en rive gauche constituerait plutôt une alimentation importante. Cette hypothèse apparaît en 1981 dans l'étude faite pour définir l'état initial du sous-bassin ; elle n'est pas totalement confirmée.
- à l'occasion des essais sur les forages de la première campagne, aucune stabilisation de niveau traduisant une réalimentation de la nappe par la rivière n'a été constatée. Ceci conduit à penser que le lit du Cailly est le plus souvent colmaté et perché.
- Cependant, une diminution de débit du Cailly a été constatée à la station de Gouville. Elle pourrait s'expliquer par une perte des eaux de surface le long du parcours artificiellement perché en amont de la ferme de Gouville. Cela suppose que le lit ne soit pas colmaté dans cette section. La nappe restituerait ensuite le débit perdu en rivière, sans doute à l'aval de l'étang où elle se trouve à un niveau supérieur au Cailly, de plus d'un mètre.

Les relations nappe / rivière sont complexes mais ont été bien mises en évidence, grâce à l'établissement d'un profil en long très précis, et au découpage du cours du Cailly en sections colmatées ou drainantes. Ce profil est placé en annexe du rapport 81 SGN 791 HNO.

Les observations piézométriques montrent que les variations d'amplitudes sont importantes sous les plateaux (8 m), et très faibles en vallée (0,20 à 0,50 m). de plus, il existe entre les périodes d'alimentation et la recharge effective de la nappe, un déphasage important sous plateau (1 à 4 mois), et une réponse immédiate en vallée.

- il existe globalement une interaction entre les forages voisins lorsque l'on effectue des pompages simultanés de longue durée, et en particulier entre F12, F 13 et probablement F 11.
- la productivité est maximale pour F 7 (aval de Gouville) et F 11 (nord de Fontaine le Bourg).

Le rôle régulateur des plateaux crayeux est confirmé : ils apportent en été, au champ captant, les réserves accumulées en hiver.

2.3.2. Bilan hydrique

Un bilan hydrique du bassin du haut Cailly est proposé dans le rapport 81 SGN 791 HNO. Il est destiné à préciser l'état initial du système hydraulique local, avant de passer à une exploitation importante des réserves en eaux souterraines.

Les principaux éléments de ce bilan hydrique sont rapportés ci-dessous :

- formule du bilan hydraulique et calcul de ce bilan :
Pour une période où les réserves initiales et finales de la nappe et du sol sont relativement différentes, l'équation du bilan sera de la forme :

$$\text{Écoulement Sortant} + \text{VR eaux souterraines} = \text{Pluie} - \text{ETR} + \text{VR eaux du sol}$$

$$\text{VR} = \text{Variations des Réserves ...}$$

$$\text{ETR} = \text{Évapotranspiration réelle}$$

D'après les calculs de la météo nationale, pour la station de Boos, la variation de réserve du sol était de l'ordre de 35 mm d'eau ; faute d'autres valeurs, cette mesure est reprise pour le bassin du Cailly.

$$\text{Écoulement sortant} = \text{Pluie} - \text{ETR} - 35$$

$$\text{Écoulement Sortant} = 1\,008 - 522 - 35 = 451 \text{ mm arrondi à } 455 \text{ mm}$$

- part des écoulements souterrains et de surface : il existe deux moyens de procéder à ces calculs.

* bilan de bassin :

Pour la période d'observation (du 01/06/1980 au 31/05/1981), la lame d'eau écoulée correspond à 40 millions de m³ d'eau, soit débit moyen = 1,3 m³/s

Les limnigraphes de Grand-Tendos montrent pour le même temps que le Cailly a évacué une lame de 310 mm, soit 27 millions de m³ et un débit moyen → Q = 0,9 m³/s

Part d'écoulement souterrain = 1,3 - 0,9 soit

$$\text{Q sout.} = 0,4 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{soit } 31 \% \text{ des eaux}).$$

* calcul hydrodynamique de l'écoulement souterrain :

$$Q = T \cdot i \cdot l \text{ avec,}$$

$$T = 2,8 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$i = 4 \% \quad (\text{gradient} = 4 \text{ m par km})$$

$$l = 450 \text{ m (largeur de la section d'écoulement)}$$

$$\text{Q sout.} = 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ce dernier résultat est 8 fois plus faible que le bilan. Il peut s'expliquer par l'hypothèse de deux axes de circulation souterraine préférentielle, l'un au droit du Cailly, dans ses alluvions, l'autre, karstique, sous le coteau, en rive gauche. Le calcul hydrodynamique

ne représenterait que la partie de l'écoulement transitant par les alluvions, et plaiderait en faveur de la confirmation de l'existence du karst.

2.3.3. Ouvrages de reconnaissance et d'exploitation

En 1969, trois forages (30 m, et 24 m) et six piézomètres ont été exécutés. Les Ponts et Chaussées ont réalisé les travaux de forage, et le BRGM a assuré le suivi et l'interprétation des expérimentations hydrogéologiques.

En 1978, 7 ouvrages ont été réalisés. Il s'agit des forages F7, F8, F10, F11, F13 et F15.

Enfin, en 1980 6 forages viennent compléter le champ captant. Il s'agit des forages F3, F4, F5, F6, F14 et F14 bis.

2.3.4. Pompages d'essai, paramètres hydrodynamiques

Plusieurs séries de pompages d'essai ont permis de calculer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère au voisinage immédiat des ouvrages concernés.

En 1969, pour les forages F1, F2 et F3, ces calculs ont donné :

- Transmissivité $T \text{ m}^2/\text{s}$ = 38.9×10^{-3} ; 8.4×10^{-3} ; 7.77×10^{-3}
- Coefficient d'emmagasinement $S \%$ = 1 à 2 % ; 4 % ; 20 %
- Débit spécifique $Q \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ = 80 ; 26 ; 10

les paramètres hydrodynamiques déduits des essais réalisés en 1978 et ayant guidé la détermination des périmètres de protection sont rassemblés dans le tableau suivant.

	<i>F 07</i>	<i>F 08</i>	<i>F 10</i>	<i>F 11</i>	<i>F 12</i>	<i>F 13</i>	<i>F 15</i>
<i>Débit d'exploitation (m³/h)</i>	300	160	80	250	165	215	90
<i>Transmissivité (m²/h)</i>	85	40	25	60	30	30	20
<i>Porosité cinématique</i>	0.026	0.047	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
<i>Gradient hydraulique</i>	$6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
<i>Epaisseur productive de la nappe (m)</i>	30	30	30	30	30	30	30

Paramètres hydrauliques des forages du bassin du haut Cailly.

Les essais de puits et les essais de nappe menés en 1980 sur F3, F4, F5, F6, F14 et F14 bis ont donné les résultats suivants :

- on peut distinguer 3 groupes d'ouvrages :
 - * pour la moitié des ouvrages \rightarrow débit spécifique $Q/s = 20$ à $36 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$
 - * F3, F10, et F12 sont peu productifs $\rightarrow Q/s < 20 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$
 - * F5, F6, et F14 bis sont fort productifs $\rightarrow Q/s > 65 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$
- Ils doivent bénéficier de la présence du vide karstique recoupé par le F6 (1m de hauteur). Après 3 jours d'essai, ces 3 ouvrages produisent globalement $1 \text{ 200 m}^3/\text{h}$.

2.4. MODELISATION

L'étude modélisée de la ressource en eau du bassin du haut Cailly a fait l'objet en 1986, de la réalisation de deux modèles mathématiques. Cette modélisation est exposée dans le rapport de J.M. Barrat référencé 86 SGN 221 HNO.

L'étude utilise en fait deux modèles mathématiques : un modèle hydrologique global pluie/niveau - pluie/débit (GARDENIA), et un modèle hydrodynamique (programme DYNAFLOW), pour les écoulements souterrains prenant en compte les écoulements superficiels.

Les données utilisées proviennent des stations météorologiques, des stations de jaugeages, des piézomètres et des études hydrogéologiques antérieures

Le débit réservé pour garantir les objectifs de qualité du Cailly est fixé à 350 l/s .

Informations chargées dans le modèle GARDENIA :

- pluie / écoulements :

* pluie efficace	252 à 294 mm/an
* écoulement superficiel	70 à 81 mm/an
* écoulement souterrain rapide	120 mm/an
* écoulement souterrain lent	70 à 93 mm/an
- perméabilité du sous-bassin du haut Cailly : La carte des perméabilités montre les contrastes de perméabilité existant au sein de l'aquifère crayeux, selon la situation géomorphologique.

* vallée principal	$K = 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ ($S = 8$ à 10%)
* vallées secondaires	$K = 0,5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$
* sous plateaux	$K = 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ ($S = 1 \%$)

Sur des simulations de prélèvements, GARDENIA donne les réponses suivantes :

- $P = 10\,000\text{ m}^3/\text{j}$: pour les années les moins pluvieuses (1973/74), le débit du Cailly descend à environ 200 l/s.
- $P = 20\,000\text{ m}^3/\text{j}$: pour les années déficitaires en pluies, il ne resterait qu'un débit de quelques l/s. Si l'on prend en charge le débit réservé, un prélèvement de $20\,000\text{ m}^3/\text{j}$ n'est envisageable qu'épisodiquement, les années de pluies $>$ à la moyenne.
- $P = 40\,000\text{ m}^3/\text{j}$: pour les années de pluies déficitaires ou faibles, le Cailly serait largement asséché. Pour les années moyennes à très pluvieuses, ce prélèvement est envisageable.

Pour une année normale, l'exploitation sera donc possible à $20\,000\text{ m}^3/\text{j}$, en ne touchant pratiquement pas au débit réservé ; en revanche, si la recharge était nulle, le débit réservé serait entamé dès le mois de septembre avec seulement $10\,000\text{ m}^3/\text{j}$ de prélèvements.

En fin de rapport, Il est proposé un modèle de gestion prévisionnel : il permet de faire des prévisions de prélèvements en période de recharge déficitaire, ou des prévisions d'exploitation importante en période normale à très pluvieuse.

2.5. VULNERABILITE ET PROTECTION

L'existence d'un karst en rive gauche accentue la vulnérabilité du champ captant du Cailly, en particulier pour les forages situés en rive gauche (F3, 4, 11, 14 et 14 bis).

L'exceptionnelle averse d'orage du 31 mai 1981 et les observations qui en découlent, ont permis d'envisager les méfaits et les conséquences de l'infiltration, du ruissellement, des inondations, et de la crue du Cailly sur le champ captant. Il en résulte bien sûr des mesures de protection adaptées.

- Protection du champ captant par mise hors d'eau des périmètres immédiats des ouvrages, (pompages de nettoyage pour remise en état des ouvrages envahis).
- Inventaire des causes de pollution potentielles, et mesures conservatoires adéquates.

- Pour éviter les inondations par ruissellement, il faut envisager la recréation des fossés et des grands collecteurs au débouché des vallées sèches, ainsi que la création de bassins de rétention à l'amont des vallées pour stocker le ruissellement provenant des pâtures et des champs.
- Réalisation de retenues rustiques, de haies dans le fond des vallons adjacents au Cailly.
- Pour éviter le débordement du Cailly, il faudra procéder au curage du lit de la rivière, à la suppression des écluses inutiles, à la remise en état de marche des écluses à conserver, à la vérification et à l'entretien des digues de l'étang de Gouville.

L'étude du milieu et de l'environnement de la vallée du haut Cailly ont permis d'identifier les points de vulnérabilité de la nappe ou des ouvrages et de proposer une série de mesures propres à lutter contre les diverses causes de pollutions potentielles.

Pour améliorer la qualité des eaux de surface, les mesures suivantes sont préconisées :

- station d'épuration de Cailly : pré traitement et amélioration du traitement des boues.
- station d'épuration de Clères : amélioration du dégraisseur et du traitement des boues.
- station d'épuration de Montville : création d'un bassin écréteur, d'un pré traitement efficace et amélioration du traitement des boues.
- usine Legrand-Normandie : séparation des hydrocarbures au niveau de la chaîne et amélioration du fonctionnement du dispositif existant.
- information aux riverains : branchement aux réseaux d'assainissement, pas de rejets d'ordures à la rivière.
- la mise en conformité des principaux établissements agricoles présentant des risques de pollution.

Certaines de ces recommandations ne touchent pas directement le sous-bassin du haut Cailly, mais l'ensemble du bassin du Cailly.

Les aspects agricoles de la vulnérabilité du champ captant du haut Cailly ont fait l'objet d'une étude effectuée par le bureau ASTER en 1993 (93 OUV 95 - ASTER). Les propositions de protection des captages contre les pollutions agricoles sont les suivantes:

- actuellement (en 1993), la nappe de la vallée du haut Cailly ne présente pas de pollution ni par les nitrates, ni par les produits phytosanitaires. Cependant, en zone non saturée, on trouve des teneurs de l'ordre de 60 mg/l, ce qui est inquiétant pour l'avenir. Les teneurs sont donc appelées à augmenter.
- dans les périmètres de protection rapprochés : les prairies permanentes sont recommandées, avec peu d'intrants.
- pour l'ensemble de la vallée du Cailly : il sera souhaitable de conserver l'utilisation actuelle en prairies extensives ou peu intensives voire en bois ou peupleraies ; assainissement et drainage sont exclus.
- dans les périmètres de protection éloignés et en position de versants, rebord de plateau et talwegs sains : les forages étant assez loin, il sera souhaitable de conseiller :
 - * la culture en prairies peu intensives, voire jachère fixe ou gel des terres.
 - * en cas de labours, faire des bilans de fertilisation azotée et fractionner les apports.
 - * pas de labours dans les pentes.
 - * dans les versants, rebords de plateau et talwegs sains, les bétouilles constituent des points très sensibles (risques de pollution rapide par ruissellement et engouffrement).
 - * le golf constitue une zone de risques de pollution non négligeable, car les intrants en azote et produits phytosanitaires y sont généralement élevés.
- dans le périmètre de protection éloignée et sur les plateaux, il convient de faire des bilans de fertilisation, de fractionner les apports d'azote, d'interdire les vidanges de cuves de traitement...

Au regard des propositions d'objectifs de qualité, l'objectif "qualité piscicole salmonicole" est réaffirmée. Le débit de référence du Cailly est estimé à 1,4 m³/s.

Pour l'amont, l'objectif de qualité 1A qui avait été envisagé un moment est abandonné, et reste fixé à 1B par souci de réalisme.

ANNEXES

**Principaux ouvrages de la Vallée du Haut Cailly
(Correspondances n°BSS / Désignation)**

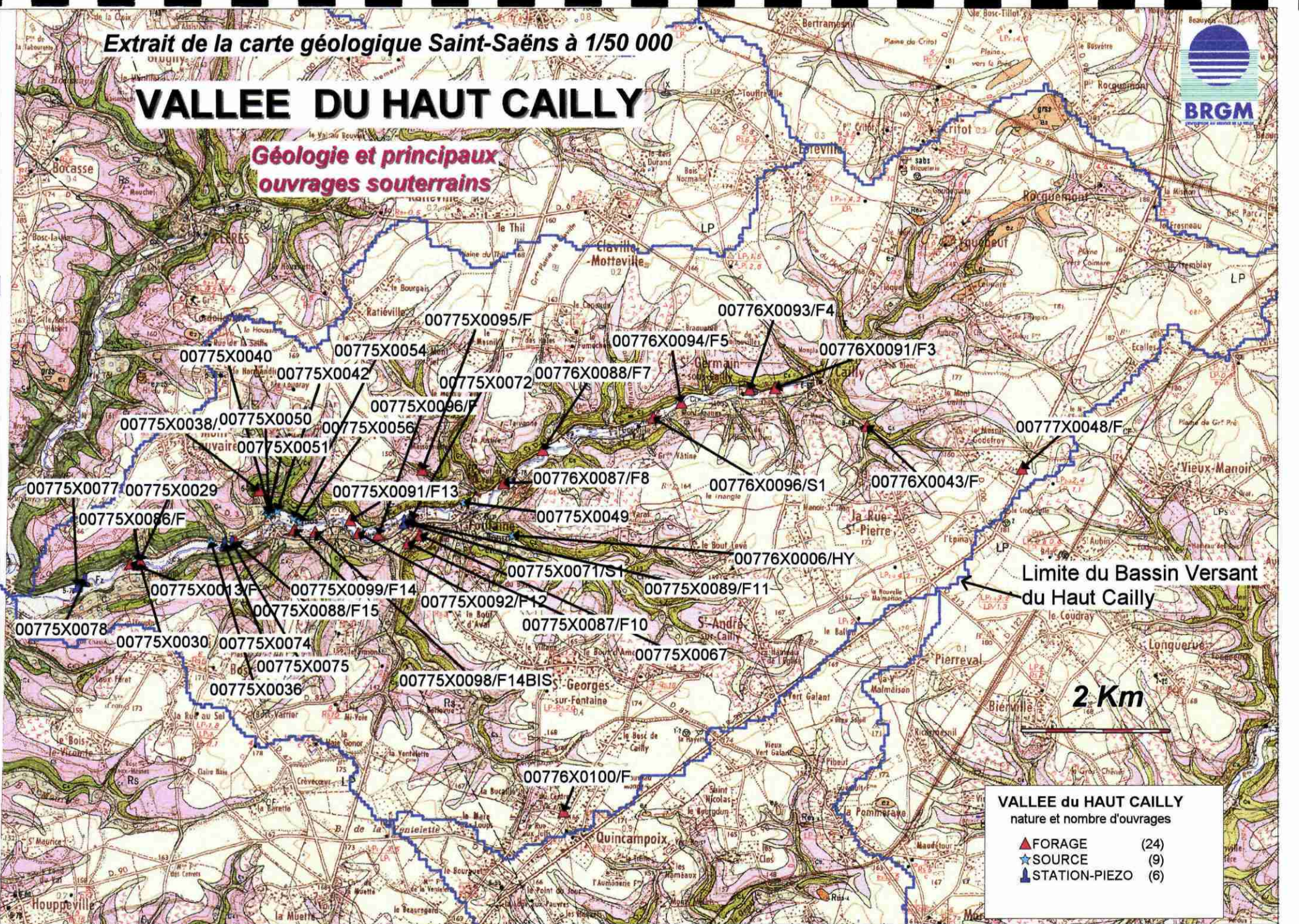
N° BSS	Désignation	Nature
77-5X-87	F10	Forage AEP
77-5X-88	F15	Forage AEP
77-5X-89	F11	Forage AEP
77-5X-90	Piézo	Piézomètre proche F10
77-5X-91	F13	Forage AEP
77-5X-92	F12	Forage AEP
77-5X-93	Piézo	Piézomètre proche F13
77-5X-94	Piézo	Piézomètre proche F12
77-5X-98	F14 bis	Forage AEP
77-5X-99	F14	Forage AEP
77-6X-89	Piézo 1	Piézomètre 1 proche F7
77-6X-90	Piézo 2	Piézomètre 2 proche F7
77-6X-91	F3	Forage AEP
77-6X-92	Piézo	Piézomètre proche F3
77-6X-93	F4	Forage AEP
77-6X-94	F5	Forage AEP
77-6X-95	Piézo	Piézomètre proche F5
77-6X-96	F6	Forage AEP

Extrait de la carte géologique Saint-Saëns à 1/50 000



VALLEE DU HAUT CAILLY

Géologie et principaux ouvrages souterrains



Limite du Bassin Versant du Haut Cailly



VALLEE du HAUT CAILLY	
nature et nombre d'ouvrages	
▲ FORAGE	(24)
★ SOURCE	(9)
⊥ STATION-PIEZO	(6)

BRGM
SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL
Service Géologique Régional Haute-Normandie
10 rue Sakharov - Parc de la Vatine. 76130 MONT-SAINT-AIGNAN. Tél : 02.35.60.12.00.