

**POLLUTION AU THALLIUM
DE LA NAPPE AQUIFÈRE BAJO-BATHONIENNE
DANS LE SECTEUR
DE MÉZIDON/SAINT-PIERRE-SUR-DIVES
(14, CALVADOS)**

mars 2014

Olivier Dugué
Coordonnateur des hydrogéologues agréés pour le Calvados

POLLUTION AU THALLIUM DE LA NAPPE AQUIFÈRE BAJO-BATHONNIENNE DANS LE SECTEUR DE MÉZIDON/SAINT-PIERRE-SUR-DIVES (14, CALVADOS)

INTRODUCTION

• Objet de l'étude

L'ARS du Calvados a sollicité l'avis du coordonnateur des hydrogéologues agréés du Calvados concernant les conclusions du rapport du bureau d'étude Safège, sur « l'Étude de l'origine du thallium dans les eaux souterraines et les réseaux ».

• Historique de la pollution des eaux souterraines par le thallium

Les syndicats d'eau de la vallée du Laizon et de la région du Mesnil-Mauger, exploitent deux forages (F1 et F2) situés sur la commune de Ouezy (Calvados) et réalisés entre juin 1986 et février 1987.

Une teneur anormale en thallium ($55 \mu\text{g/l}$) qui a été mesurée lors d'un contrôle sanitaire du 24 octobre 2011 a conduit à l'interdiction de cette eau, pour la consommation humaine. Cette analyse est intervenue quelques heures après un surpompage, à la suite de fuites importantes sur le réseau constatées par la SAUR qui exploite ces installations. Ce surpompage a entraîné l'apparition d'un épisode turbide dans les eaux produites. Les analyses de contrôle réalisées les 28 et 31 octobre, ont montré une baisse notable des teneurs en thallium, voisines de $1 \mu\text{g/l}$, mais confirmé l'existence d'un bruit de fond. De nouveau, la consommation de l'eau a été autorisée à partir du 31 octobre 2011.

• Rapport d'étude Safège

Les causes de cette pollution au thallium ont été recherchées par le bureau d'étude Safège.

Le premier rapport présente deux parties. La première partie est une compilation bibliographique très complète sur les origines naturelles et anthropiques du thallium, ses propriétés physico-chimiques et son comportement dans les réseaux d'eaux. Une seconde partie est consacrée à la mesure des concentrations en thallium et à la recherche des sources de thallium dans le secteur d'Ouezy où initialement la pollution a été décelée dans les forages, en octobre 2011.

Dans un second rapport, cette étude a été étendue au sud de Caen, entre Mézidon et Saint-Pierre-sur-Dives, en menant de nouvelles campagnes de mesures de recherche du thallium dans les sols, roches, eaux souterraines et superficielles.

I. - PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ÉTUDE SAFÈGE SUR LA RECHERCHE DE LA POLLUTION DES EAUX PAR LE THALLIUM

• objectifs de l'étude

Face à cette pollution des eaux souterraines par le thallium, les objectifs fixés au bureau d'étude Safège étaient nombreux et ambitieux :

- recherche de l'origine de la ou des source (s) de pollution, pour pouvoir ensuite les supprimer ;
- définition des seuils de dangerosité du polluant vis-à-vis des populations ;
- compréhension des phénomènes de transfert au sein de l'aquifère pour délimiter la zone d'impact de cette pollution ;
- caractérisation du rôle de la dénitrification naturelle dans le relargage du thallium au sein de la nappe ;
- compréhension du comportement du thallium dans les réseaux pour comprendre et prévoir l'évolution des stocks accumulés dans les systèmes de distribution ;
- définition des modalités de gestion et/ou les plans d'actions à mettre en œuvre pour améliorer la qualité de l'eau et protéger les consommateurs.

• principales conclusions

À l'issue des campagnes de mesures dans les sols, roches, eaux souterraines et superficielles (rapport II), dans un secteur étendu au Sud de Caen, les principales conclusions sont les suivantes :

- l'origine anthropique (pollution atmosphérique ou rejets de substances toxiques) du thallium trouvé dans les eaux souterraines du Syndicat de production d'eau potable du Sud Calvados (SPEP Sud Calvados) est écartée ;

- l'absence de thallium retrouvé dans les eaux superficielles de la Dives et du Laizon ainsi que les faibles concentrations mesurées dans les sédiments des rivières excluent sa présence dans le substratum du secteur d'étude ;

- le thallium a été décelé dans les eaux souterraines, sur environ 2/3 du territoire du SPEP Sud Calvados et selon avec des concentrations variant entre 0 et 4,2 µg/l ;

- l'origine du thallium serait naturelle dans les eaux souterraines, en relation avec la discordance varisque, au-dessus de laquelle ce métal s'accumule préférentiellement dans des dépôts organiques anciens ;

- le thallium se concentre préférentiellement dans les terrains géologiques situés entre la discordance varisque et les Caillasses de Fontaine-Henry (Bathonien moyen) et il est absent dans les dépôts triasiques ;

- la présence de thallium dans la nappe aquifère située au-dessus des Caillasses de Fontaine-Henry est mise en relation avec des pompages qui l'auraient remobilisé vers les terrains supérieurs.

Le scénario de transfert du thallium au sein de la nappe aquifère proposé par le bureau d'étude Safège est le suivant :

- des minéraux sulfurés présents sur le socle sont la source originelle de thallium, avant son recouvrement par la transgression des terrains mésozoïques. L'oxydation de ces sulfures libère le thallium sous sa forme la plus mobile Tl^+ ;

- dans les milieux réducteurs (ex. sédiments organiques), l'ion Tl^+ précipite sous une forme métallique ou sous la forme d'un sulfure insoluble Tl_2S , en présence de soufre. Dans les sols, il est adsorbé sur certains minéraux argileux et oxydes métalliques hydratés, mais l'adsorption du thallium par les matières organiques, (dans des conditions réductrice) est aussi possible. L'hypothèse que les sédiments des rivières constituent un piège actif pour le thallium est aussi émise ;

- dans le bassin de la Dives, la présence d'une couche organique trouvée au-dessus de la discordance varisque (paléosol ou sédiments fluviatiles à lacustres) serait la source du thallium, ce métal se liant grâce à la présence de matières organiques ;

- la circulation de l'eau conduit à une oxydation lente des composés réduits contenant du TI dans le niveau organique, puis à sa libération dans la nappe aquifère sous forme Tl^+ ;

- la concentration du thallium diminue très rapidement en s'éloignant de la source et explique un gradient sur une tranche d'eau assez peu épaisse.

En conclusion, l'étude Safège soupçonne une relation directe entre la présence d'une couche organique déposée au-dessus de la discordance varisque du secteur de la Dives et une pollution des eaux par le thallium, dans les forages AEP proches.

II. - LE SYNDICAT DE PRODUCTION D'EAU POTABLE DU SUD CALVADOS

Le Syndicat de production d'eau potable du Sud Calvados (SPEP Sud Calvados) exploite 7 forages (FE1, FE2, FE3, FE4, FE5, FE7 et FE8) qui alimentent 8 syndicats d'eau (SAEP de la région d'Ussy, Syndicat d'eau de Falaise Sud-Est, Syndicat d'eau de la Vallée du Laizon, SYMPERC, Syndicat d'eau de Morteaux-Coulbœuf, SIAEP de la Laize, SIAEP de la région de St-Sylvain et Syndicat d'eau du Pays d'Auge) et 6 communes (Falaise, Percy-en-Auge, Mézidon-Canon, Saint-Pierre-sur-Dives, Potigny et Soumont) de la plaine de Caen.

2.1.- Description des forages

Les forages exploités sur la zone d'étude concernée par la pollution au thallium sont ceux des syndicats d'eau de la Vallée du Laizon et de la région du Mesnil-Mauger (F1 et F2) et ceux du champ captant du SPEP Calvados (FE1, FE2, FE3, FE5, FE7 et FE8).

Le tableau ci-après regroupe leurs caractéristiques géographiques :

Nom	Lieu-dit	Commune	Indice BRGM (BSS)	X (m)	Y (m)	Z (m)
FE1	Les Cangéliques	Percy-en-Auge	0146-4X-0028/FE1-94	424 249	2 454 533	21
FE2	L'Oudon	Bretteville-sur-Dives	0146-8X-0061/FE2	428 108	2 452 123	22
FE3	Le chemin	Chausse Magny-la Campagne	0146-8X-0046/FE3-94	423 939	2 452 264	32
FE4	Le chemin vert	Saint-Pierre-sur-Dives	0146-8X-0048/FE4-95	424 841	2 448 894	51
FE5	Le Bas Gueret	Thieville	0146-8X-0047/FE5-94	426 478	2 451 147	37
FE7	Le Moulin	Ouville-la-Bien-Tournée	0146-4X-0029/FE7-95	426 968	2 453 000	26
FE8	Iainville	Percy-en-Auge	0146-4X-0040/FE8	425 471	2 454 374	19
F1	Ouezy	Cesny-aux-Vignes	0146-3X-0130/F1	421 851	2 456 159	30
F2	Ouezy	Cesny-aux-Vignes	0146-4X-0131/F2	421 844	2 456 185	30

Depuis 2007, les 9 forages du champ captant de la zone d'étude produisent environ 4 millions de m³ par an, soit un peu plus de 11 200 m³/j. Les deux forages F1 et F2 de Quezy représentent respectivement 2% (vallée du Laizon) et 7% (Mesnil-Mauger) du volume total produit.

2.2.- Qualité des eaux

Les analyses 2011 des eaux brutes restent conformes aux normes sanitaires, pour les paramètres bactériologiques et physico-chimiques.

Entre janvier 2007 et octobre 2012, les valeurs moyennes des analyses d'eaux brutes sont les suivantes, pour chaque forage :

	Thallium	Turbidité	pH	TAC	TH	Conduc	K	SO4	FET	NO3	COT	O2	Fluorure	MG	NA	SIL
	µg/l	NFU	-	°F	°F	µS/c	mg/	mg/	µg/l	mg/	mg/	mg/	mg/	mg/	mg/	mg/
F1	1,0	0,2	7,26	23	34	718	2,27	49,30	8,07	33,99	0,67	3,20	0,08	4,17	14,10	8,1
F2	1,0	0,4	7,2	24	35	727	2,29	57,45	36,56	27,69	0,68	3,30	0,09	4,19	13,87	8,0
FE1	0,1	0,3	7,15	26	34	718	2,94	62,47	16,46	0	0,80	1,58	0,36	4,68	14,63	8,7
FE2	0	2,4	7,37	23	25	597	3,65	42,66	250,10	0	0,65	3,07	1,65	7,8	29,37	9,2
FE3	0,8	0,7	7,14	25	36	738	3,08	64,64	44,70	17,23	0,96	2,90	0,13	3,90	14,12	8,4
FE4	3,3	03	7,28	23	34	692	1,1	66,00	6,32	12,40	0,64	3,23	0,04	6,04	13,16	7,7
FE5	1,2	03	7,24	23	34	705	1,48	78,22	7,24	13,03	0,84	2,60	0,14	0,14	13,30	7,2
FE7	0	1,3	7,42	23	34	607	1,4	58,20	145,54	0	0,84	2,69	0,64	4,13	10,04	7,8
FE8	0,9	07	7,2	24	30	704	2,05	72,84	37,96	7,97	0,89	2,74	0,55	3,70	12,65	8,1

- les plus fortes concentrations en thallium sont trouvées dans le forage FE4 (3,35 mg/l)
- les forages FE2 et FE7 ne présentent aucune trace de thallium ;
- les teneurs en fer total les plus importantes sont mesurées dans les forages FE2 et FE7 (>100 mg/l) ;
- à l'exception de FE2, tous les forages possèdent une eau très calcaire (dureté moyenne élevée de 34°F, sauf FE2 où TH = 25 °F) ;
- les forages FE1, FE2 et FE7 ne présentent aucune trace de nitrates ;
- le cadmium, antimoine, sélénium ne sont pas décelés dans tous les forages ;
- l'arsenic est présent à l'état de traces dans le forage F2, le nickel dans FE3 (1,8 mg/l) et FE7 (0,9 mg/l) et le bore dans FE2 (0,2 mg/l) et FE5 (0,1 mg/l) ;

Par ailleurs, la concentration moyenne en thallium dans les eaux distribuées est de 0,21 mg/l, mais des pics de « pollution » peuvent atteindre des concentrations 15 à 85 fois plus élevées.

2.3.- Recherche du thallium

• Recherche de l'origine du thallium dans les sols

À l'issue des campagnes de mesures de la concentration en thallium dans les sols, à proximité des forages et de la discordance varisque (rapport II Safège), les principales conclusions sont les suivantes :

- présence de thallium à l'état de traces, dans les horizons superficiels du sol, sur 90% du territoire étudié. Les concentrations mesurées sont faibles et inférieures aux valeurs « standard » de la bibliographie ;
- absence de gradient vertical dans les couches superficielles du sol et les faibles teneurs observées dans les 50 premiers centimètres infirme l'hypothèse d'une source de pollution par retombée atmosphérique ;
- absence de traces de thallium dans les 3 échantillons du minerai de fer ordovicien ;
- présence de thallium à des concentrations très importantes (x 30 à 40) sur la discordance varisque laissant envisager une origine naturelle du thallium dans les eaux souterraines.

• Recherche de l'origine du thallium dans les roches

Les roches prélevées dans le secteur étudié (juillet 2013) sont des argiles organiques trouvées au-dessus de la discordance varisque (carrières de Perrières : 5 échantillons, carrière de Sassy : 1 échantillon et carrière de Villedieu-les-Bailleul : 1 échantillon) ainsi que des roches présentes de part et d'autre de cette discontinuité (6 échantillons).

Les principales conclusions sont les suivantes :

- les concentrations les plus importantes en thallium sont trouvées à Perrières (Calvados). À Villedieu-les-Bailleul (Orne), le niveau argileux « ocre jaune », présente une concentration plus faible (entre 1 et 3 mg/kg MS). L'échantillon prélevé dans la discontinuité intra-bajocienne de Sassy a une concentration de l'ordre de 0,45 ppm ;
- absence de thallium dans les calcaires situés au-dessus de la discordance varisque (carrière de Perrières).

En conclusion, le thallium s'accumulerait plutôt dans les dépôts organiques présents au sein de la discordance. Ces analyses confirmeraient l'origine naturelle du thallium dans les eaux souterraines du SPEP Sud Calvados.

• Recherche de l'origine du thallium dans les eaux souterraines du secteur d'étude

Une campagne de 25 prélèvements d'eaux souterraines (25 au 29 mars 2013) a été répartie sur 23 ouvrages distincts, l'un des piézomètres faisant l'objet de prélèvements à profondeurs multiples.

Dans les exemples bibliographiques cités dans le rapport, la concentration en thallium dans les eaux naturelles est dépendante du cadre géologique local, il n'est donc pas possible de définir une « teneur moyenne standard ». Le Canada a retenu en 2004, une limite de 0,8 µg/l pour les eaux douces, tandis que les Etats-unis (US EPA, 2012) ont fixé un MCLG (Niveau Maximum de Concentration Cible = valeur au-dessous de laquelle il n'est pas connu de risque pour la santé) à 0,5 µg/l.

Dans la zone d'étude du SPEP Sud Calvados, 64 % des ouvrages analysés présentent des traces de thallium. Avec une concentration moyenne de 0,8 µg/l, les 17 échantillons présentant du thallium se situent à la limite du seuil de qualité fixé par le Canada pour préserver la vie aquatique et 8 échantillons dépassent le Niveau Maximum de Concentration Cible (MCLG) fixé par l'US EPA.

Dans les eaux souterraines du SPEP Sud Calvados, la concentration en thallium est indépendante des autres paramètres physico-chimiques analysés, mais la teneur en métal semble varier avec la profondeur du prélèvement, selon deux tendances différentes :

- La première, qui correspond aux trois prélèvements effectués dans un même ouvrage à proximité de FE4, présente un gradient vertical, d'augmentation des concentrations en profondeur ;
- La seconde, qui présente une pente beaucoup plus faible, correspond aux points de prélèvement Z8, Z11, Z16 et Z18 dans la nappe aquifère infra-Caillasses de Fontaine-Henry (à l'exception du prélèvement Z11 dont l'aquifère n'est pas connu).

• Recherche des niveaux aquifères pollués par le thallium et exploités par le SPEP Sud Calvados

Dans le secteur d'étude, deux principaux aquifères sont exploités par les forages du SPEP Sud Calvados :

- un aquifère bajo-bathonien basal (exploité par les forages F1, F2, F4, F5 et F7), limité au toit par les Caillasses de Fontaine-Henry (Bathonien moyen) ;
- un aquifère bathonien sommital dans la formation bathonienne du Calcaire de Bon Mesnil ; il est limité au toit par les Caillasses de Blainville (Bathonien supérieur).

Par ailleurs, les 5 ouvrages qui exploitent la nappe aquifère du Trias présentent une concentration de thallium inférieure au seuil de détection (0,1 µg/l). Les sables et cailloutis du Trias du secteur d'étude ne contiennent donc pas un réservoir susceptible de contenir des minéralisations riches en thallium.

• Concentration du thallium dans les eaux souterraines entre le socle et les Caillasses de Fontaine-Henry (Bathonien moyen)

- entre le socle paléozoïque et les Caillasses de Fontaine Henry (Bathonien moyen), les 9 échantillons prélevés présentent des traces de thallium, à des concentrations comprises entre 0,22 µg/l à 4,7µg/l ;

- dans les 5 prélèvements réalisés dans les eaux souterraines s'écoulant au dessus des Caillasses de Fontaine-Henry, les concentrations sont très variables (1 prélèvement dépourvu de thallium, 2 prélèvements avec des concentrations inférieures à 0,25µg/l, 2 prélèvements avec des concentrations comprises entre 0,4 et 0,8 µg/l). La concentration en thallium est donc faible dans ces eaux (inférieure au seuil de contamination retenu pour la préservation de la vie aquatique et de l'ordre de grandeur du MCLG de l'US EPA pour la consommation humaine).

- le prélèvement d'eau souterraine dans une source captant les eaux s'écoulant à travers les formations calloviennes n'a pas détecté de thallium.

Les plus fortes concentrations en thallium mesurées dans les eaux souterraines exploitées par le SPEP Sud Calvados sont trouvées entre le socle et les Caillasses de Fontaine-Henry. Les niveaux les moins concentrés en thallium sont le Trias et les terrains déposés au dessus des Caillasses de Fontaine-Henry. Mais, la variabilité de leurs teneurs en thallium laisse supposer un transfert vertical *per ascencum*, probablement à la suite de modification de pression dues aux pompages.

• Stratification géochimique du thallium

Les concentrations en thallium présentent une stratification, dans les eaux souterraines (prélèvements Z23, Z24 et Z25, avec prélèvements d'échantillon d'eau à 30, 40 et 50 m de profondeur).

Il existe un gradient décroissant de concentration en thallium de la base vers le sommet de l'ouvrage, dans les eaux souterraines, laissant supposer une origine profonde du métal et la recherche d'une source de thallium à proximité de la discordance, entre le socle et les faciès jurassiques.

III.- GÉOLOGIE DU SECTEUR DE MÉZIDON/SAINT-PIERRE-SUR-DIVES

L'une des conclusions pertinentes des deux rapports de Safège est d'établir une relation entre la pollution des eaux souterraines et le cadre géologique local, après avoir exclu d'autres sources possibles de pollution.

Il est donc important de préciser le cadre géologique local pour comprendre son incidence sur la pollution des eaux souterraines au thallium.

3.1. - Rppels succincts de l'histoire géologique du secteur de Mézidon/Saint-Pierre-sur-Dives

L'histoire géologique du secteur de Mézidon/Saint-Pierre-sur-Dives s'inscrit dans celle de la Basse Normandie. Elle résulte de la formation puis de l'érosion successive de deux grandes chaînes de montagnes (Massif armoricain), avant d'être recouverts par les mers jurassiques puis crétacées du Bassin parisien et d'émerger définitivement à partir du Cénozoïque.

• Histoire précambrienne de la Basse-Normandie

Les roches sédimentaires les plus anciennes trouvées dans le secteur d'étude et affleurent dans les vallées de l'Orne et de la Laize ; elles appartiennent au Précambrien supérieur (entre -585 et -540 millions d'années ou Briovérien). Ces roches correspondent à une puissante série de plusieurs milliers de mètres d'épaisseur, d'alternances décimétriques à métriques de grès et de silts à passées conglomératiques.

Ces roches sont redressées avec des bancs souvent verticaux orientés en moyenne selon une direction Nord 70°. Cette déformation correspond à une phase de plissement en relation avec la formation de la chaîne de montagnes cadomienne (de *Cadomus* : ancien nom latin de Caen) formée entre -560 et -540 millions d'années. Cette déformation a été ensuite reprise lors des déformations varisques.

• Histoire paléozoïque de la Basse-Normandie

Au début du Cambrien, vers - 540 millions d'années, les reliefs de la chaîne cadomienne sont disloqués et érodés, permettant ensuite la transgression marine paléozoïque. Vers -475 Ma (Ordovicien), la mer y dépose en particulier des sables sur toute la partie nord-est de l'actuel Massif armoricain, qui, après cimentation, deviendront le Grès armoricain ou le Grès de May. Au Carbonifère inférieur (-350 à -290 millions d'années), vers la fin du

Paléozoïque, l'orogénèse varisque déforme les dépôts paléozoïques en une succession d'anticlinaux et de synclinaux, ayant pour conséquence l'émersion prolongée du Massif armoricain (Carbonifère supérieur au Trias supérieur). Cette nouvelle chaîne de montagnes, chaîne hercynienne ou varisque, déforme aussi les séries du Briovérien sous-jacentes.

Les hauts reliefs émergés armoricains subissent une érosion, avec la troncature des anticlinaux paléozoïques qui ne laissent plus subsister en leur cœur que les séries briovériennes sous-jacentes. L'intensité de l'érosion des synclinaux paléozoïques est fonction de la lithologie des dépôts : importante dans les schistes, plus modérée dans les grès, aboutissant à la pénéplanation des reliefs armoricains, avec localement des écueils ou paléoreliefs restés en saillie. Certaines dépressions de cette pénéplaine sont ensuite remplies de sables et graviers d'origine continentale (Trias supérieur), tandis que subsistent de longues crêtes rocheuses formant les paléoreliefs constitués par les couches les plus dures des synclinaux paléozoïques (conglomérats du Cambrien inférieur, Grès armoricain et Grès de May) affleurant aujourd'hui dans le secteur de Mézidon/Saint-Pierre-sur-Dives.

• Histoire mésozoïque de la Basse-Normandie

C'est sur une pénéplaine irrégulière que la transgression mésozoïque (entre Trias et Crétacé supérieur) envahit la Normandie au début du Jurassique (-190 millions d'années). Elle est à l'origine d'une succession de formations marneuses ou calcaires qui se déposent dans des eaux marines peu profondes et sous un climat tropical. La transgression jurassique s'avance sur les terrains armoricains déformés ; elle est progressive et saccadée, la mer recouvrant une pénéplaine varisque aux morphologies très irrégulières. Les paléoreliefs de barres gréseuses constituent des zones de rivage et des écueils. La transgression atteint le secteur de Mézidon/Saint-Pierre-sur-Dives au Jurassique inférieur (Pliensbachien), mais à l'échelle de toute la bordure occidentale armoricaine, les derniers paléoreliefs ne sont définitivement ennoyés qu'à la fin du Jurassique moyen (Callovien), dans le département de l'Orne.

• Histoire cénozoïque de la Basse-Normandie

Dans le secteur de Mézidon/Saint-Pierre-sur-Dives, il n'existe pas d'affleurements de terrains entre le Jurassique supérieur et le Crétacé. Ils sont décrits plus au nord (feuille de Caen) ou vers l'est (feuille de Livarot). Ces terrains ont néanmoins recouvert le secteur actuel de Mézidon/Saint-Pierre-sur-Dives, mais ont été ensuite érodés, à la limite Jurassique/Crétacé et surtout durant tout le Cénozoïque où la plus grande partie de la Normandie demeure émergée et soumise à une altération continentale. Les terrains calcaires émergés jurassiques et crétacés subissent des altérations et des dissolutions, sous un climat chaud et humide, ne laissant sur place, qu'une phase insoluble d'argiles, de sables et surtout de silex (Argiles à silex).

Au Quaternaire (à partir de -2,6 millions d'années), la présence de glaciers fixés sur le sud de l'Angleterre et sur la Scandinavie d'une part et le lent soulèvement du bloc armoricain d'autre part, contrôlent désormais la formation des reliefs normands actuels.

Au début des refroidissements, la couverture végétale disparaît. La mer de la Manche se retire vers l'Atlantique et libère un vaste espace émergé où s'écoule un immense fleuve drainant les rivières et fleuves côtiers des bassins versants normands (Vire, Orne, Dives, Seine) et anglais. Les fonds émergés et gelés de la mer de la Manche sont balayés par des vents d'ouest et de nord-ouest qui transportent et déposent des poussières argilo-silteuses (löss) sur les campagnes de Caen, Falaise, Argentan et Alençon. Le retour à des températures plus tempérées provoque ensuite la fonte des glaces, la remontée du

niveau marin et le retour de la mer en Manche, ennoyant les basses vallées fluviales. Les terrains émergés sont de nouveau colonisés par la végétation, favorisant la formation d'un sol fixant les loëss.

Le lent soulèvement des reliefs provoque parallèlement l'enfoncement généralisé du réseau hydrographique, l'étagement des terrasses fluviales et le décapage des formations meubles de surface. Au Quaternaire, les fleuves bas-normands ont entaillé le plateau calcaire jurassique faisant apparaître les synclinaux paléozoïques auparavant cachés sous la couverture du Bassin parisien, dans les vallées de l'Orne, de la Laize et du Laizon.

Le secteur de Mézidon/Saint-Pierre-sur-Dives résume ainsi la longue histoire géologique de la Basse-Normandie. Les couches calcaires ou marneuses subhorizontales du Bassin parisien reposent en discordance angulaire sur les très épaisses séries gréseuses ou schisteuses redressées et imperméables du Massif armoricain.

3.2. - Série jurassique de la campagne de Caen-Falaise

La stratigraphie et la paléogéographie des terrains jurassiques de la bordure est-armoricaine sont bien connues depuis les travaux des géologues régionaux (Bigot, Pareyn, Rioult, Fily....)

• Transgression liasique

La transgression liasique recouvre tardivement la campagne de Caen-Falaise au Pliensbachien. Les dépôts pliensbachiens, marneux à la base, puis calcaires à bélemnites au sommet (Banc de roc) présentent une épaisseur maximale dans le Bessin (22,55 m), diminuant vers le sud de Caen (4,2 m dans la coupe du périphérique sud de Caen, à l'écart des écueils ; 5,5 m dans la carrière de Feuguerolles sur écueils) (Dugué *et al.*, 1998).

Au Toarcien, l'épaisseur des "schistes-carton" ou Argiles à poissons (Toarcien inférieur) est en relation directe avec les irrégularités de la pénéplaine post-hercynienne, les dépôts argileux et pyriteux s'amincissant, voire disparaissant au droit des écueils paléozoïques, au sud de Caen. Le Calcaire à ammonites sus-jacent (Toarcien moyen et supérieur) a une épaisseur qui croît d'ouest (entre 3 et 4,5 m autour de Caen) en est, en direction du centre du Bassin parisien (forage de Dives : 4,02 m ; Le Havre : 5,6 m et Villequier 101 : 13,05 m).

• Plate-forme carbonatée bajo-bathonienne (Jurassique moyen)

Au début du Jurassique moyen (Aalénien et Bajocien inférieur), la sédimentation est peu épaisse, présentant de fréquents épisodes d'érosion ou d'oolithes ferrugineuses.

En Normandie, au-dessus d'une surface d'érosion nivelant le sommet de la Malière (Aalénien à Bajocien inférieur), se dépose l'Oolithe ferrugineuse de Bayeux (0,05 à 0,5 m). Du Cotentin au pays de Caux et du Bessin au Maine, un changement de sédimentation marque la limite Bajocien inférieur/supérieur, avec le Calcaire à spongiaires (Bessin : 10 à 12 m). Son dépôt est homogène du Bessin à la campagne de Caen, mais son épaisseur diminue du nord au sud, ne dépassant pas 2 m sur les écueils de May.

Vers le sud, dans les campagnes de Falaise et d'Argentan, l'Oolithe ferrugineuse de Bayeux et le Calcaire à spongiaires passent latéralement au Calcaire à *Acanthothis spinosa* ou Calcaire de Fresné-la-Mère, avec passées conglomératiques à la base

(galets phosphatés et roches du socle). Ces couches disparaissent contre les écueils au sud et à l'est.

La série marneuse bathonienne sus-jacente qui affleure dans les falaises littorales du Bessin (Marnes de Port-en-Bessin, Bathonien inférieur et moyen, 35 à 40 m) se biseaute très rapidement vers le sud, des calcaires marneux sont connus dans la campagne de Caen (Bancs bleus) mais disparaissent avant les paléoreliefs de Falaise.

La plate-forme carbonatée bathonienne se développe en plusieurs étapes le long de la bordure est-armoricaine, avec le dépôt de sables calcaires coquilliers, oolithiques ou pellétoïdaux selon les conditions locales d'énergie. Toutes ces formations calcaires se biseautent du nord vers le sud. Ce sont autant de séries calcaires qui ont pu être exploitées comme pierres de construction (Calcaire de Caen, Calcaire de Creully, Calcaire de Blainville, Calcaire de Ranville, Calcaire de Langrune et équivalents latéraux).

Le développement de la plate-forme carbonatée bathonienne est jalonné par des épisodes transgressifs, souvent éphémères, durant lesquels se déposent des calcaires plus argileux et plus riches en fossiles, appelés caillasses, vieux terme de carrier pour désigner une stratification grossière en moellons. Le long de la bordure est-armoricaine, ces différentes caillasses ont une extension latérale, d'autant plus importante qu'elles sont récentes dans la série bathonienne : Caillasses de Longues ou de Fontaine-Henry (Bathonien moyen) décrites du Bessin jusqu'au nord de Falaise, Caillasses de Blainville (Bathonien supérieur) de la campagne de Caen à Argentan et Caillasses de la Basse-Écarde (Bathonien supérieur) de la côte de Nacre au Maine. Elles constituent de précieux jalons stratigraphiques tant à l'affleurement que dans les forages où elles se caractérisent par des pics d'argilosité.

L'épaisseur de la totalité de la série bathonienne est estimée entre 70 à 103 m à l'affleurement ; elle atteint 96 m dans le forage de Touffreville, à l'est de Caen (Riout *et al.*, 1989).

3.3. - Nappes aquifères jurassiques de la campagne de Caen-Falaise-Argentan

• nappe aquifère bajocienne

Situé dans les formations calcaires de l'Aalénien-Bajocien, l'aquifère est développé dans les fissures et présente une karstification intense, sous les vallées. Cet aquifère est libre dans la région de Bayeux et au sud-ouest de Caen, dans la vallée de l'Orne. Ailleurs, la nappe aquifère bajocienne est captive sous le toit des Marnes de Port-en-Bessin ou des Bancs bleus.

Sur la feuille de Mézidon, l'aquifère bajocien est associé à celui du Bathonien, les formations de l'Aalénien au Bajocien étant directement surmontées par le Calcaire de Caen (Bathonien moyen).

• nappe aquifère bathonienne

La nappe aquifère bathonienne est également présente dans un réseau de fissures et de pores au sein des calcaires bathoniens. Le mur de la série calcaire bathonienne est représenté par des marnes (Bessin : base des Marnes de Port-en-Bessin) ou des calcaires argileux (campagne de Caen : Bancs bleus) du Bathonien inférieur. La rythmicité de formations calcaires homogènes et épaisses (Calcaire de Caen, de Creully, de Blainville, de Ranville et de Langrune) et d'épisodes de caillasses de plus en plus épais au cours du temps explique le caractère multicouche de la nappe aquifère bathonienne des campagnes de Caen-Falaise-Argentan.

Dans la campagne de Falaise, les séries carbonatées bajocienne et bathonienne ne sont pas séparées par un intervalle marneux. Dans les campagnes de Caen-Falaise-Argentan, les niveaux aquifères bathoniens les plus productifs sont localisés dans les formations du Calcaire de Blainville (ou de Bon-Mesnil, Bathonien moyen) et de Ranville (Bathonien supérieur).

Dans le secteur de Mézidon/Saint-Pierre-sur-Dives, les Caillasses de Blainville constituent également un intervalle marneux semi-imperméable favorisant les processus de dénitrification au sein de la nappe aquifère bathonienne. La nappe aquifère exploitée est celle du bathonienne, nappe semi-captive sous les marnes calloviennes du pays d'Auge et libre dans la plus grande partie du secteur de Mézidon-Saint-Pierre-sur-Dives (campagne de Caen-Falaise). Cet aquifère multicouches est en outre séparé par des niveaux plus marneux des caillasses.

3.4. - Nappes aquifères du secteur de Mézidon/Saint-Pierre-sur-Dives

Dans les forages du secteur de Saint-Pierre-sur-Dives, les forages du SPEG Sud Calvados et d'Ouezy l'aquifère exploitent la nappe aquifère bajo-bathonienne ; les principales arrivées d'eau sont localisées :

- dans le faciès des calcaires d'écueil lorsque l'on remonte dans le bassin de la Dives (F1 et F2)
- au toit des calcaires de Rouvres/Caen, sous les calcaires plus argileux attribués à la Caillasse de Fontaine Henry (F1, F2, F4, F5, Fe7 et Fe8)

Les forages exploitent les niveaux producteurs de part et d'autre des niveaux de caillasses. Ces caillasses sont rarement décrites dans les coupes géologiques des forages, les cuttings des forages destructifs, étant souvent difficiles à différencier, notamment dans la partie amont où la caillasse de Fontaine Henry s'amincit et n'est décelable que dans les diagraphies au gamma ray. Ces horizons plus argileux confèrent un caractère semi captif aux calcaires sous jacents.

Ainsi, le pompage sur le forage Fe5 n'a pas d'influence sur un puits situé à 200 m et captant la nappe aquifère du Calcaire de Langrune. Le rôle des caillasses peut aussi être mis en évidence par la chimie des eaux. Le forage Fe3 contient 29,3mg/l de nitrates contre 79,7mg/l pour le piézomètre Pz2 qui capte les calcaires situés au dessus de la Caillasse de Fontaine-Henry (Safège, 1994).

La Dives draine la nappe aquifère bajo-bathonienne entre Vendevre et Saint-Pierre-sur-Dives. Dans les marais de la Dives, le forage Fe8 est artésien et la nappe du Bathonien alimente les eaux de surface. À l'amont du bassin de la Dives, le Laizon s'écoule sur les schistes et grès ordoviciens du synclinal d'Urville.

À la traversée de la cluse du Laizon à Rouvres, le Laizon peut alimenter la nappe aquifère du Bathonien en amont du champ captant en passant du socle aux calcaires. Des pertes sont aussi signalées sur la Dives, entre Coulibœuf et Jort (Safège, 1994) et entre Saint-Pierre-sur-Dives et Ecajeul (CPGF, 1974). Des transferts de pression entre la nappe et la Dives ont été mis en évidence entre les forages F5 et F7, malgré l'échec d'un marquage depuis un piézomètre en bord de Dives (Pz12).

• influence de la dénitrification naturelle

Les processus de dénitrification naturelle sur les ouvrages du SPEG Sud Calvados ont été étudiés par Sogreah (2000). Cette étude a distingué deux nappes aquifères, avec à la base, celle du Bathonien supérieur (calcaires à bryozoaires ou équivalent des Calcaires de Langrune et d'Airan-Rainville) et au sommet, celle des alluvions de la Dives. ces deux nappes aquifères sont séparées par un niveau marneux (Argiles de Lion, Bathonien

terminal). L'étude a mis en évidence des variations latérales et verticales dans les teneurs en nitrates. Des analyses d'eau, réalisées sur un sondage destructif, ont aussi mis en évidence l'absence de nitrates sous un niveau marneux à 35 m de profondeur qui correspondrait à la Caillasse de Blainville.

Deux hypothèses expliqueraient ces phénomènes de dénitrification (rapport Sogreah, 2000) :

- dénitrification réalisée par la bactérie *Thiobacillus denitrificans* en présence de pyrite ; cette bactérie a été identifiée dans les niveaux oolithiques entre 25 et 35 m de profondeur ;
- dénitrification réalisée par la bactérie *Pseudomonas denitrificans* en présence de matière organique.

3.5.- Synclinaux paléozoïques de la bordure armoricaine du Bassin parisien

Au sud de Caen, les vallées de l'Orne, de la Laize et du Laizon incisent à travers les terrains précambriens, paléozoïques et mésozoïques, mettant en évidence plusieurs synclinaux paléozoïques. Les affleurements les plus remarquables appartiennent au synclinal de May.

Le synclinal de May de direction N110 est dissymétrique avec un flanc nord déversé, tronqué par une faille inverse. De nombreuses carrières ont autrefois exploité les grès paléozoïques sur son flanc sud (Grès de May pour les pavés) et des mines souterraines ont extrait le minerai de fer ordovicien.

D'autres synclinaux de même direction sont en partie ou entièrement cachés sous la couverture jurassique. Ils ont été découverts lors de sondages de recherche minière ou de campagnes géophysiques. Du nord au sud, ce sont :

- le synclinal de Ranville au nord-est de Caen, entièrement caché sous une couverture jurassique. Il est connu par les forages miniers de Trouffreville ;
- le synclinal de May au sud de Caen, recoupé par les vallées de la Laize et de l'Orne. Il s'étend vers l'est sous la couverture jurassique ;
- le synclinal d'Urville (ou de la Brèche-au-Diable) recoupé par la vallée du Laizon. Il s'étend également vers l'est sous la couverture jurassique ;
- le synclinal de la Zone bocaine retrouvé de Falaise jusqu'à Granville, de Mortain-Domfront et d'Halouze.

Entre Rouvres et Mézidon, deux synclinaux vont orienter les écoulements d'eau souterraine

• Synclinal d'Urville

Les pointements gréseux de Sassy, Olendon ou de Perrières représentés sur la carte géologique de Mézidon dessinent la terminaison orientale du synclinal d'Urville qui se prolonge jusqu'au Mont d'Eraines (carte géologique de Falaise). La structure synclinale d'Urville a été détaillée par Cayeux (1913).

Les terrains paléozoïques du synclinal d'Urville affleurent dans les vallées de la Laize et du Laizon et se prolongent sous la couverture jurassique à partir du secteur de Potigny, avec quelques pointements gréseux à Olendon, Sassy et Perrières et jusqu'aux Monts d'Eraines. Les affleurements ont été exploités dans des carrières. Cette structure mesure environ 30 km de long pour 7 km de large avec un axe orienté N110°. Dans sa terminaison orientale (secteur d'étude), les deux flancs sont symétriques avec des pendages entre 30 à 80°. Au cœur du synclinal, il existe des replis visibles dans la carrière de Perrières.

Le synclinal d'Urville à cœur silurien (ex Schistes à calymènes) présente une structure plus complexe que celle représentée dans la coupe de la feuille de Mézidon. À l'ouest de la vallée de la Laize, le synclinal d'Urville correspond dans le détail, à deux cuvettes synclinales séparées par un anticlinal dans les Grès de May. Il s'agit du synclinal de Gouvix au nord, et du synclinal de Saint-Germain-le-Vasson, au sud. Plus vers l'est à Olendon, la même dispositif de deux synclinaux est retrouvé, mais deviennent plus resserrés. Au sud, le premier dessiné par les affleurements ordoviciens est situé dans le prolongement du synclinal de Saint-Germain-de-Vasson ; le second, au nord, est dans le prolongement du synclinal de Gouvix. Ils sont séparés par un pli anticlinal dans le Grès armoricains au droit de l'exploitation de la carrière de Perrières.

• Synclinal de May

Les terrains paléozoïques du synclinal de May n'affleurent pas dans ce secteur, mais ont été traversés par de nombreux forages. Le forage de Berville, situé à 2,5 km au SE de Saint-Pierre-sur-Dives, a atteint vers 11,20 m NGF le Grès armoricain du flanc sud du synclinal de May (Pareyn & Dangeard, 1959). L'extension du synclinal de May sous la couverture est surtout connue depuis les campagnes de prospection du minerai de fer, en 1910 et la réalisation de 5 sondages miniers (Fierville, Condé-sur-Iffs, Saint-Pierre-sur-Dives) pour la délimitation des concessions minières.

Les terrains paléozoïques du synclinal de May n'affleurent pas dans ce secteur, mais ils ont été traversés par de nombreux forages. Le forage de Berville, situé à 2,5 km au SE de Saint-Pierre-sur-Dives, a atteint vers 11,20 m NGF le Grès armoricain du flanc sud du synclinal de May (Pareyn & Dangeard, 1959). L'extension du synclinal de May sous la couverture est surtout connue depuis les campagnes de prospection du minerai de fer, en 1910 et la réalisation de 5 sondages miniers (Fierville, Condé-sur-Iffs, Saint-Pierre-sur-Dives).

En conclusion, dans le secteur d'étude, entre Rouvres, Jort, Saint-Pierre-sur-Dives, Mézidon et Ouezy, le substratum est limité au sud (Rouvres à Perrières) par le flanc nord du synclinal d'Urville (pendage 35 à 65° vers le sud du Grès armoricain) et vers le nord (Saint-Pierre-sur-Dives à Mézidon), par le flanc sud du synclinal de May caché sous la couverture jurassique. Il est nécessaire d'envisager :

- un socle paléozoïque élevé à Perrières, au droit de la terminaison du synclinal d'Urville ; les bancs gréseux présentent un pendage entre 50 à 55° vers le SW ;
- un socle déprimé entre Perrières et Saint-Pierre-sur-Dives au droit des séries schisteuses du Cambrien et du Briovérien ;
- un socle paléozoïque élevé entre Saint-Pierre-sur-Dives et Mézidon de Perrières, au droit du synclinal de May.

3.6.- Les zones d'écueils ou de paléoreliefs paléozoïques

Les paléoreliefs de la pénéplaine varisque sont formés par les barres gréseuses des synclinaux paléozoïques (Grès de May ou Grès armoricain) visibles à l'affleurement. Les plus nombreux paléoreliefs sont connus à l'affleurement dans le département de l'Orne (Perche), autour de Saint-Pierre-sur-Dives et au Sud de Caen. La plupart d'entre eux sont recouverts entre le Lias (sud de Caen, ancienne carrière de Feuguerolles-Bully) et le Bathonien moyen (sud-ouest de Saint-Pierre-sur-Dives, carrière de Perrières, département de l'Orne, carrière Villedieu-les-Bailleul) et au plus tard, sous les apports terrigènes calloviens.

Tous ces reliefs gréseux sont donc recouverts par des dépôts calcaires d'âges variables, mais qui se caractérisent toujours, à la fois par des lacunes de sédimentation et par une sédimentation carbonatée coquillière plus grossière et condensée. Les terrains liasiques et le Toarcien en particulier qui sert de substratum à l'aquifère du Dogger, y sont souvent absents ou réduits.

Ces paléoreliefs jouent un rôle dans la circulation des eaux souterraines, en faisant office de barrage à l'écoulement des eaux souterraines (ex. sources de Moulines).

• Paléoécueil de Perrières

La carrière de Perrières est exploitée par le groupe des Vignats, au hameau du Breuil, pour la production de granulats, dans les grès ordoviciens (Grès armoricain). Le paléorelief de Perrières est situé à l'extrémité orientale du synclinal paléozoïque d'Urville, en partie cachée sous une couverture de terrains calcaires jurassiques et de loëss quaternaires.

La partie actuellement exploitée est située au sud de la carrière, avec un front de taille d'une quinzaine de mètres de hauteur environ. Dans la partie nord de la carrière, l'ancien front de taille est aujourd'hui ennoyée. Au sommet du front de taille ouest, des calcaires coquilliers et grossiers bathoniens, subhorizontaux, reposent en discordance sur le Grès armoricain redressé. Sur le front de taille est, à proximité des installations d'exploitation, les faciès calcaires jurassiques de bordure d'écueils comblent les irrégularités de la surface d'érosion post-varisque. Le sommet de ces calcaires de bordure d'écueils est secondairement affecté par la gélifraction quaternaire, lui donnant un débit en plaquettes.

Les relations géométriques et les faciès calcaires bathoniens d'écueil discordants ont été décrits par Bigot (1935), au début de l'exploitation de la carrière de Perrières. La surface structurale du Grès armoricain déformé est décrite très irrégulière, bosselée, avec de larges sillons qui suivent les diaclases, certains reliefs atteignant 3 à 4 m de haut. Cette surface est rarement encroûtée par des huitres et il n'existe pas de lit continu de galets à son contact. Les galets anguleux sont concentrés en paquets dans les creux, cimentés par une gangue calcaire.

Les premiers dépôts calcaires très cimentés sont coquilliers et grossiers (20 à 30 cm d'épaisseur), nivelant les dépressions. Cette lumachelle blanc-grisâtre est pétrie de petits quartz, avec quelques galets disséminés de Grès armoricain, de petite taille (< 3 cm) et de galets de couleur noire souvent perforés. Cette roche peut présenter un aspect caverneux par dissolution des tests de fossiles.

A l'ouest de la carrière, le calcaire au contact du Grès armoricain (épaisseur 1,80 m) est cimenté, avec des graviers de quartz et se termine par une surface durcie. La paroi nord de la carrière présente des grandes fosses remplies par des calcaires durs compacts englobant des blocs anguleux de grès disposés obliquement ou verticalement.

Au-delà du paléorelief, ces calcaires lumachelliques grossiers de bordure d'écueils passent latéralement au Calcaire de Rouvres (équivalent latéral du Calcaire de Creully), calcaire bioclastique à litages obliques.

D'autres pointements gréseux paléozoïques affleurent autour de la carrière de Perrières : écueils ordoviciens de Sassy au Nord (flanc nord du synclinal paléozoïque d'Urville) et d'Olendon au Sud (flanc sud du synclinal paléozoïque d'Urville).

Les relations géométriques et sédimentaires entre les calcaires jurassiques d'écueil et le Grès armoricain ont été examinés les 28 février et le 21 mars 2014. Ces observations confirment celles de Bigot (1935).

- Il existe un niveau argileux de couleur marron foncé, homogène et d'épaisseur variable (0 à 5 cm) décrit dans le rapport Safège, au contact de la discordance angulaire varisque. Cet intervalle se situe préférentiellement dans les morphologies en cuvette de la discordance et se buseaute latéralement contre les écueils ordoviciens.

Les lavages réalisés dans les échantillons argileux prélevés au sud et au nord-ouest de la carrière présentent de nombreux silts argileux, des tests cassés de calcite (couche prismatique de bivalves) souvent encroûtés par des enduits de pyrite. Il n'existe pas microfaunes, de bioclastes reconnaissables ou d'oolithes calcaires. Ce niveau argileux ne correspond pas à un niveau organique jurassique ou triasique. La charge silteuse des échantillons présente beaucoup de similitudes avec celle des lœss sus-jacents.

- Les calcaires jurassiques d'écueil présentent une géométrie lenticulaire, en comblement des dépressions entre deux écueils gréseux ; les bancs se biseautent contre les écueils. Au sein des calcaires d'écueils, être deux éperons gréseux, il existe plusieurs discontinuités sédimentaires, chacune est soulignée par un liseré argilo-ferrugineux rougeâtre, voire un liseré argileux centimétrique identique à celui trouvé au contact de la discordance varisque.

- Au-dessus des premiers calcaires d'écueils, il existe une alternance de deux principaux faciès, l'un calcaire gréseux, de couleur grisâtre et recristallisé, présentant une macrofaune souvent dissoute qui est à l'origine de géodes, avec des enduits de calcédoine (épaisseur 0,4 m) et un second faciès blanchâtre, de calcaire oolithique à ciment sparitique, moins bien recristallisé et devenant pulvérulent à l'altération. Tous ces calcaires présentent également de fins lisérés argilo-limonitiques d'épaisseur millimétrique, laissés par les battements de la nappe aquifère.

- Les calcaires sont diaclasés et le Grès armoricain est très altéré au contact des failles. La série jurassique est surmontée par un intervalle de cryoturbation d'épaisseur métrique, donnant un débit en plaquettes, puis par des grèzes lités sous forme de graviers calcaires bathoniens et par des dépôts de versant remaniant des silex jurassiques et des grès, avant d'être recouvert par d'épais lœss (3 à 4 m).

Interprétation

Le niveau argileux trouvé au contact de la discordance varisque provient du lessivage des lœss, lors d'épisodes de haut niveau de la nappe aquifère. La saturation en eau des silts argileux quaternaires liquéfie la matrice argileuse.

À la faveur d'un réseau dense de diaclases dans les calcaires jurassiques, ouvertes par les déformations alpines, et à la cryoturbation quaternaire bien exprimée dans cette carrière, les argiles s'infiltrèrent dans des fissures ouvertes verticales et se décantent à la surface de chaque hétérogénéité de perméabilité : discontinuité sédimentaire associé à une surface durcie bathonienne ou au contact de la discordance angulaire varisque.

Trois conditions semblent donc réunies dans la carrière de Perrières :

- morphologie en cuvettes au contact d'un socle imperméable ;
- présence d'une épaisse couverture lœssique,
- nombreuses fissures verticales ouvertes (diaclases, failles, cryoturbation) favorisant les infiltrations).

CONCLUSIONS ET PRÉCONISATIONS

La feuille de Mézidon (Deroin *et al.*, 1999) n'a sans doute pas bénéficié du même soin dans le lever et dans la rédaction de la notice que pour les feuilles voisines de Caen, Falaise et Villers-Bocage. Le secteur de Mézidon/Saint-Pierre-sur-Dives reste néanmoins un secteur clef pour comprendre les relations entre la couverture mésozoïque (Trias et Jurassique) et le substratum paléozoïque et ses conséquences hydrogéologiques.

La série jurassique transgressive sur les écueils de Perrières a été détaillée par Bigot (1934). Ce dernier a auparavant signalé à Olendon, le contact du Toarcien sur le Grès de May (Bigot, 1927). À proximité des paléoreliefs de Perrières, la série jurassique a été précisée par Pareyn (1959), à partir de nouveaux forages traversant la couverture sédimentaire au cœur de la structure synclinale d'Urville. Il insiste sur le rôle du Grès armoricain qui forme une barrière hydraulique maintenant en charge la nappe bajo-bathonienne, à l'intérieur du synclinal. Il confirme la présence lenticulaire de séries triasiques et liasiques à l'extérieur de la carrière et leur absence dans la carrière de Perrières.

• les géométries synclinales sont des pièges à thallium

Il n'existe pas de niveaux argileux organiques correspondant à des paléosols ou à d'anciens dépôts continentaux, au-dessus de la discordance varisque. Il s'agit d'argiles de lessivage comblant les irrégularités morphologiques des géométries d'écueil. Ces écrans argileux ne constituent pas la source de thallium, mais favorisent leur concentration.

La concentration des eaux souterraines en thallium autour de Perrières s'explique par la morphologie en cuvettes liée à la présence de synclinaux très resserrés dans les terrains paléozoïques, et à plus petite échelle, par la morphologie très irrégulière de la surface varisque, avec des dépressions et des reliefs d'échelle métrique.

Les barres gréseuses des synclinaux compartimentent la nappe aquifère à la base de la série jurassique et expliquent la concentration relative en thallium des eaux souterraines piégées dans ces synclinaux. Les écueils sont recouverts à partir du Bajocien supérieur et définitivement au Bathonien moyen (Calcaire de Blainville) ; il s'ensuit la disparition d'un cloisonnement d'origine structurale. Les calcaires présentent une homogénéité et une continuité latérale à travers le secteur de Mézidon-Saint-Pierre-sur-Dives.

• les sources possibles de thallium seraient à rechercher dans les terrains liasiques à proximité des écueils, dans l'hypothèse d'une origine organique naturelle

L'étude Safège a restreint les sources de thallium polluant les eaux souterraines à des niveaux organiques. Dans cette hypothèse, les seuls terrains géologiques présentant des caractères comparables sont à rechercher dans les Argiles à poissons (Toarcien inférieur), argiles noires pyriteuses feuilletées dont l'épaisseur est fonction de sa position par rapport aux paléoreliefs paléozoïques. Au voisinage des synclinaux, ces terrains sont d'extension lenticulaire et surmontés par des calcaires bajo-bathoniens de plus grande extension latérale.

• étude des transferts de thallium des loëss à la discordance varisque

Dans la carrière de perrières, une concentration plus élevée en thallium existe au nord-est (carrière abandonnée et remblayée) et moindre au sud-ouest (carrière en cours d'exploitation). Cette carrière étant pour l'instant l'un des secteurs connus concentrant le thallium, il serait nécessaire d'envisager une analyse au contact de la discordance, à l'échelle de toute la carrière et à la verticale, de la discordance aux loëss quaternaires

• l'extension à l'échelle de la bordure armoricaine

Des géométries synclinales comparables, recouvertes par des calcaires grossiers, existent au Nord de Caen (synclinal de Ranville), entre Falaise et le département de l'Orne (Zone bocaine).

Au nord de Caen, les aquifères exploités concerne la série calcaire du Bathonien moyen-supérieur ; le risque de pollution par le thallium reste donc minime si les aquifères à la base (Lias, Bajocien ? et Bathonien inférieur-moyen) ne sont pas sollicités.

Dans la zone bocaine, les structures sont plus complexes et les faciès calcaires d'écueils sont fréquents. Il y a la possibilité d'y retrouver des concentrations en thallium, dans les nappes aquifères triasiques ou liasiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bigot A. (1934). - Les récifs bathoniens de Normandie. Bull. soc. Géol. France 5, IV, pp. 697-736.

Cayeux L. (1913). - Structure du bassin d'Urville. Revue de métallurgie, X, pp. 336-351

Deroin J.-P., Lerouge G., Barbier G., Vernhet Y., Coutard J.-P., Ozouof J.-C. & Langevin C. (1999). - Notice explicative de la carte géologique France (1/50 000) feuille de Mézidon (146) Ed. B.R.G. M. , 150 p.

Dugué O., Fily G. & Rioult M. (1998). - Le Jurassique des Côtes du Calvados. Biostratigraphie, sédimentologie, paléoécologie, paléogéographie et stratigraphie séquentielle. Bull. trim. Soc. géol. Normandie et Amis Muséum du Havre, 85, 2, 132 p.

Pareyn C. (1959). - La série jurassique dans l'enceinte des écueils de Perrières (terminaison orientale du synclinal de Bretteville-La Brèche au Diable (Calvados). Bull. Soc. Linn. Normandie,

Pareyn C. & Dangeard L. (1959). - Forage de Berville (Calvados). Prolongement du synclinal de May et découverte du grès armoricain sous la couverture secondaire. faciès spéciaux du Bathonien moyen. Bull. Soc. Linn. Normandie, 9, 10, pp. 13-17

Rioult M. (1968). - Contribution à l'étude du Lias de la bordure occidentale du Bassin de Paris. - 1ère Thèse Doct. État Univ. Caen, 585 p.

Rioult M., Dugué O., Jan du Chêne R., Ponsot C., Fiy, G., Moron J.-M. & Vail P.R. (1991). - Outcrop sequence stratigraphy of the Anglo-Paris Basin, Middle to Upper Jurassic (Normandy, Maine, Dorset). Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine, 15, 1, pp. 101-194.

Safège (2013a). - Étude de l'origine du Thallium dans les eaux souterraines et les réseaux Rapport d'étude » Phase 1 : compilation documentaire (Rapport Safège, janvier 2013), 98 p.

Safège (2013b). Étude de l'origine du Thallium dans les eaux souterraines et les réseaux Rapport d'étude » Phase 2 : Campagnes de mesures (Rapport Safège, septembre 2013), 78 p.

**POLLUTION AU THALLIUM DE LA NAPPE AQUIFÈRE BAJO-BATHONNIENNE DANS LE
SECTEUR DE MÉZIDON/SAINT-PIERRE-SUR-DIVES (14, CALVADOS)**

Introduction.....	2
I. - Principaux résultats de l'étude Safege sur la recherche de la pollution des eaux par le thallium	3
II. - Le Syndicat de production d'eau potable du Sud Calvados	4
2.1.- Description des forages	4
2.2.- Qualité des eaux	5
2.3.- Recherche du thallium	5
III.- Géologie du secteur de Mézidon/Saint-Pierre-sur-Dives	8
3.1. - Rppels succincts de l'histoire géologique du secteur de Mézidon/Saint-Pierre-sur-Dives	8
3.2. - Série jurassique de la campagne de Caen-Falaise	10
3.3. - Nappes aquifères jurassiques de la campagne de Caen-Falaise-Argentan	11
3.4. - Nappes aquifères du secteur de Mézidon/Saint-Pierre-sur-Dives	12
3.5.- Synclinaux paléozoïques de la bordure armoricaine du Bassin parisien	13
3.6.- Les zones d'écueils ou de paléoreliefs paléozoïques	14
Conclusions et préconisations.....	17
Références bibliographiques	18