

Figure 17 : périmètres de protection du forage F1.

5 – DESCRIPTION DU SYSTÈME D’ALIMENTATION EN EAU

5.1 – Présentation des caractéristiques du système et traitement

5.1.1 – Situation

L’unité de potabilisation de Leugny est implantée au sein du périmètre de protection immédiate du forage F1 ; son implantation a été reportée sur la figure suivante. La station se situe sur la parcelle cadastrale n° 19 de la section ZK – commune de Leugny.

Elle alimente le secteur de Forterre intégralement et celui de Toucy (en partie). La station est équipée d’un groupe électrogène installé derrière la station. Ce groupe électrogène se met en marche automatiquement lors d’une coupure de l’alimentation électrique. On peut noter qu’aucun démarrage hebdomadaire du groupe n’est réalisé.

5.1.2 – Filière de traitement

L’eau brute est extraite du forage F2 par une pompe de 150 m³/h (à 26 m de HMT) qui l’achemine jusqu’à la station de traitement. Un stabilisateur optimise le fonctionnement de la pompe (consigne amont de 2 bars) et assure la protection de la filière de traitement (consigne aval de 1 bar). La station de potabilisation permet de traiter les teneurs en fer et les pesticides (micro-polluants).

- **Déferrisation :**

En raison d’une teneur moyenne en fer de ~80 µg/l (sur F1) pour une norme de qualité fixée à 200 µg/l, une unité de traitement du fer par oxydation physico-chimique a été mise en place. Le fer est un oligo-élément indispensable, à l’état de trace, à la santé humaine. Des concentrations en fer, même élevées, ne constituent pas de risques pour la santé humaine. Toutefois la présence de fer dans l’eau peut générer les nuisances suivantes :

- Problème organoleptique (couleurs, goûts),
- La neutralisation d’une partie des désinfectants due à l’oxydation du fer,
- Le risque de corrosion des canalisations dû au développement de micro-organismes ferrobactériens.

L'origine de cette teneur en fer est attribuée à la dissolution des roches comme pourrait le confirmer la présence de trace de manganèse. Dans les eaux souterraines l'absence d'oxygène fait que le fer reste en solution. Lorsque le pH est supérieur à 4 (pH moyen des eaux extraites est de 7,3 +/- 0,1 unités), le fer dissous est présent sous forme de fer ferreux (Fe^{2+}). La technique d'élimination consiste à oxyder le fer ferreux pour qu'il précipite en fer ferrique (Fe^{3+}) selon la réaction suivante :

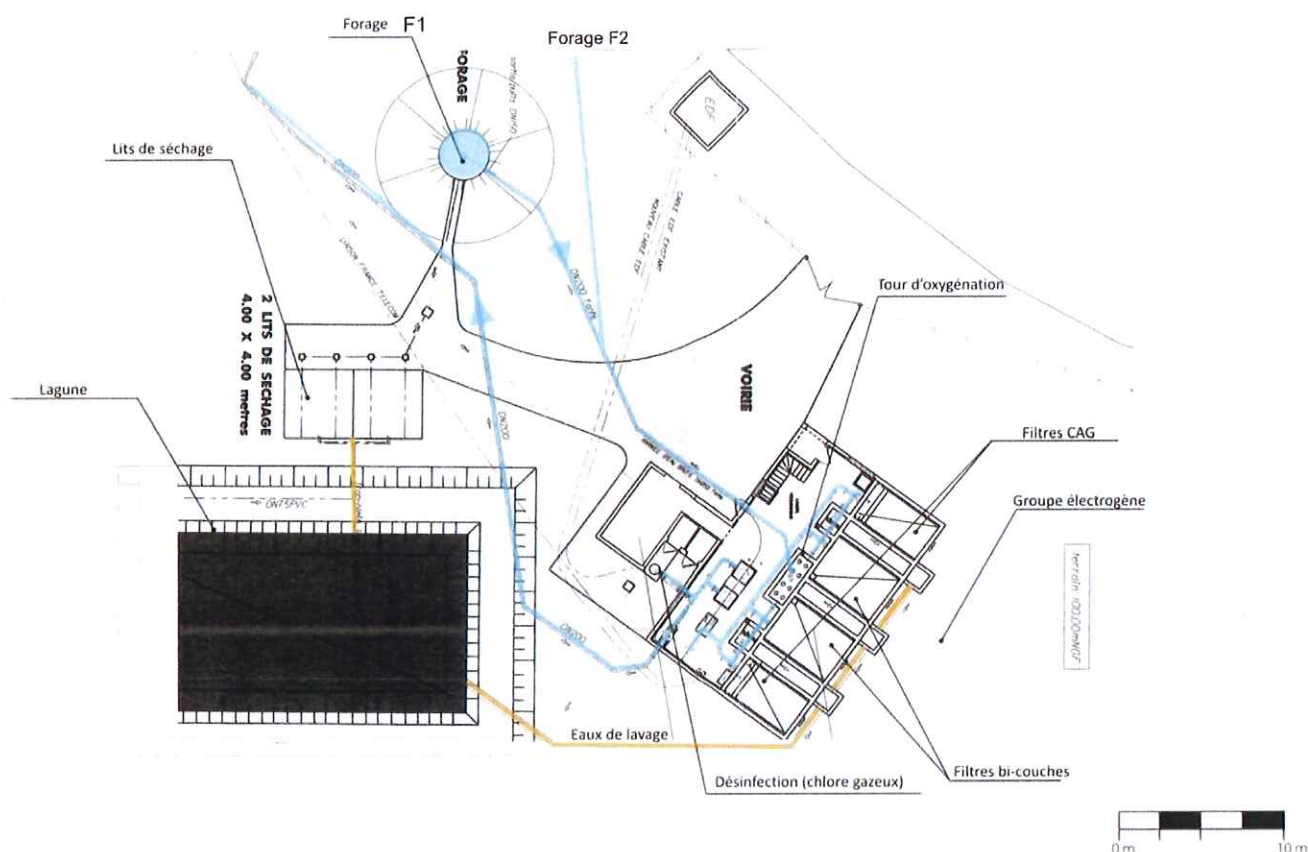
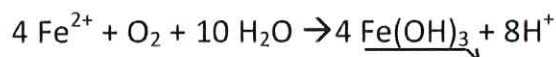


Figure 18 : plans de la station de traitement.

La réaction d'oxydation est d'autant plus rapide que le pH est élevé et que l'eau est proche de la saturation en oxygène. Ainsi plus le pH sera faible plus le temps de contact entre O_2 et Fe^{2+} devra être élevé. La quantité d'air minimum nécessaire pour oxyder 1 g de Fe^{2+} est de 0,5 litre d'air (1013,25 hPa, 15°C).

Dans le cas de la station de Leugny, une tour d'aération est en tête de traitement. Il s'agit d'une colonne d'eau où de l'air est injecté par un surpresseur au travers de diffuseurs équipés de membranes micro-perforées produisant de fines bulles d'air permettant l'oxydation du fer ferreux.

Lorsque le pH est inférieur à 7,2 unités, la déferrisation biologique pourrait intervenir par l'intermédiaire de ferrobactéries qui tirent leur énergie de l'oxydation du fer pour leur développement. Cependant le pH étant majoritairement supérieur ou égal à 7,2, on peut penser que cette déferrisation est minoritaire voire quasi inexistante.

Cette étape permet d'éliminer également l'H₂S et le CO₂ agressif vers l'atmosphère. En effet les eaux extraites sont dotées d'une concentration non négligeable en sulfate (autour de 40 mg/l). Le soufre provient probablement de l'altération des roches contenant des minéraux sulfurés comme la pyrite (FeS₂). L'oxydation entraîne donc la production de sulfure d'hydrogène dans l'atmosphère au niveau de la tour d'oxydation et donc au sein du bâtiment contenant l'unité de traitement. Une accumulation de ce gaz, considéré comme un poison à large spectre, est possible comme en témoigne l'odeur (parfois forte) nauséabonde (« œuf pourri ») dans le local des filtres. L'inhalation prolongée de sulfure d'hydrogène peut causer la dégénérescence du nerf olfactif (rendant la détection du gaz impossible) et provoquer la mort juste après quelques mouvements respiratoires. L'inhalation du gaz, même en quantité relativement faible, peut entraîner une perte de connaissance. Le risque est non négligeable pour le personnel intervenant sur le site. Le ministère du travail impose les normes suivantes :

- Valeur Moyenne d'Exposition (VME) = 5 ppm
- Valeur Limite d'Exposition (VLE) = 10 ppm

Pour des raisons évidentes de sécurité, des moyens de détection du sulfure d'hydrogène doivent être mis en place et une aération par circulation d'air devrait être envisagée dans le local.

La présence de matière organique ou de tout élément complexant, retarde la réaction. Il nécessite alors de mettre en place un traitement complémentaire, consistant, soit en une injection d'un oxydant puissant (permanganate de potassium, ozone...), soit en une coagulation suivie d'une filtration bi-couche. D'après les analyses étudiées, les eaux sont relativement « chargées » avec une turbidité de 0,60 NFU en moyenne. Il est donc probable que la turbidité interfère le processus d'oxydation du fer. Si les teneurs en fer venaient à augmenter et que le traitement s'avérait insuffisant, la mise en place d'une filière coagulation/filtration devrait être envisagée.

Une fois les eaux aérées, elles doivent être filtrées afin de retirer l'hydroxyde ferrique précipité. Pour cela la station de Leugny est dotée de deux filtres bi-couche de 3,07 m par 4,30 m composés d'une suspension d'antracite puis de sable.

Si les teneurs en fer des eaux brutes dépassent les 700 µg/l, une étape de décantation doit être interposée entre l'aération et la filtration. Les teneurs mesurées (83 µg/l en moyenne sur F1) n'imposent pas cette étape.

Au regard des teneurs en fer, toujours en quantité inférieure à la référence de 200 µg/l, on pourrait s'interroger sur la nécessité de ce traitement. D'après le Syndicat, ce traitement a été mis en place pour palier au problème organoleptique de l'eau (plainte des consommateurs), éviter l'oxydation dans les réservoirs et augmenter l'efficacité de la désinfection. En effet la présence de fer influe sur la quantité de matière à oxyder et donc sur le rendement de la chloration.

- **Traitement paramètres organoleptiques**

Les analyses effectuées sur les eaux brutes ne montrent pas la présence de pesticides dans les eaux profondes du forage cependant une unité de traitement constituée de deux filtres à Charbon Actif en Grains (CAG) est en place. Son objectif est le traitement des paramètres organoleptiques. D'une surface unitaire de 10,59 m², il s'agit donc d'un lit filtrant où l'eau percole à travers et où les

molécules de pesticides sont adsorbées. Le charbon actif est pré rincé et permet donc d'éviter la formation de poussières pendant le remplissage des filtres et aussi d'atténuer l'effet de flottaison durant le premier contre lavage. En sortie de filtre CAG, l'eau est dirigée vers la bache de lavage.

- **Désinfection :**

Même si la qualité bactériologique des eaux est très bonne, une unité de désinfection est obligatoire pour maintenir la bonne qualité tout au long de sa distribution. On peut noter que l'eau extraite est dépourvue de pathogènes mais sa température élevée (entre 16 et 18 °C) met en évidence que la prolifération peut être rapide dans le réseau. Dans le cas de la station de Leugny, il s'agit d'une chloration gazeuse. Le dispositif de chloration se trouve dans un local spécifique dont l'accès s'effectue par l'extérieur, comme l'exige la réglementation. Le local abrite le système de chloration ainsi que deux bonbonnes de chlore gazeux. Un radiateur est installé afin de mettre le local hors gel. Un chlorimètre associé à un hydro-injecteur couplé à un inverseur de bouteille, permettent la gestion automatique de la stérilisation de l'eau. Le local est dépourvu de détecteur de chlore dans l'air, l'installation d'un tel système permettrait d'éviter une intoxication accidentelle par le personnel. L'injection est réalisée dans la bache de reprise au niveau de la pompe d'exhaure (90 m³/h). La désinfection se faisant au niveau de la crépine de la pompe de refoulement, la désinfection se fait au niveau du réservoir ou le temps de contact est plus long.

Le cheminement de l'eau dans l'unité de captage est le suivant.

La pompe d'exhaure dirige les eaux extraites du forage vers la station de traitement. Les eaux sont tout d'abord envoyées vers la tour d'aération où le fer est oxydé. Il faut noter que l'eau brute peut être bypassée directement vers la bache de reprise. La surverse de la tour d'aération alimente les filtres bicouches qui permettent de filtrer les précipités d'oxyde de fer à travers une suspension d'antracite puis de sable. Cette eau, une fois clarifiée, est renvoyée vers les filtres à CAG par un système de vases communicants avec les filtres bicouches. L'eau y percole et les molécules de pesticides, quand elles sont présentes, sont retenues sur le charbon actif (adsorption). L'eau assainie est ensuite stockée dans une bache de lavage puis dans une bache de reprise permettant l'alimentation vers le réseau. La désinfection a lieu dans cette bache (injection de chlore gazeux). La désinfection est gérée automatiquement par une pompe doseuse associé à un chlorimètre (Cifec). Chacun des 2 syndicats (Forterre et Toucy) dispose de leur propre bache de reprise avec leur groupe de reprise. Le volume total d'eau traitée stockée est de 340 m³. Pour la région de Toucy, l'eau désinfectée est renvoyée vers le réseau par l'intermédiaire d'un doublet de pompes KSB débitant 45 et 55 m³/h.

La disposition de la tour d'aération et des deux filtres bicouches est centrale. Les filtres CAG sont disposés de part et d'autre des filtres bicouches, en position latérale.

Lavage :

Le fonctionnement du retro-lavage est conditionné par le temps de traitement. Le déclenchement du lavage peut également être initié par le colmatage des filtres. Celui-ci va induire une augmentation du niveau d'eau pouvant aller jusqu'au débordement. L'eau de lavage est acheminée

grâce à deux pompes de 320 m³/h. Les séquences de lavage sont différentes sur les filtres bi-couche et les filtres CAG :

- Pour le filtre bi-couches :
 - Air : Injection d'air pour décompacter le sable et l'Anthracite,
 - Air/Eau : Injection d'eau et d'air pour la mise en surverse des filtres,
 - Eau : Injection d'eau à petit débit puis à fort débit pour le reclassement de l'Anthracite sur le sable.
- Pour le filtre CAG :
 - Air : Injection d'air pour décompacter les grains de charbon actif,
 - Eau : Injection d'eau à petit débit pour le lavage.

Les eaux issues du lavage sont dirigées vers une lagune de décantation d'un volume de 320 m³ suivie d'une filtration sur sable d'une surface de 30 m² avant le rejet dans le milieu récepteur. L'alimentation du lit de séchage ce fait par une pompe de reprise de 15 m³/h. On peut noter le mauvais état de la bêche de la lagune qui ne semble plus jouer son rôle de barrière étanche. Par ailleurs, il n'existe pas de protection vis-à-vis du risque d'intrusion aussi bien humain qu'animal

5.2 – Interconnexion

5.2.1 – Secteur Forterre

Actuellement le forage F2 est la seule ressource du secteur de Forterre. En cas de problème sur le forage, seul F1 peut se substituer au nouveau forage. Par contre en cas de problème sur la ressource, le syndicat se retrouverait sans solution.

Notons cependant que les captages de Gulène (Druye-LesBelles Fontaines) et des Glonds (Courson-les-Carières) complètent les besoins ponctuellement, mais ne pourraient pas satisfaire à l'intégralité des besoins du secteur Forterre. Les captages de Gulène et des Glonds sont utilisés en cas de fortes fuites sur le réseau pour réapprovisionner les réservoirs. Notons que la source des Glonds n'est plus utilisée depuis début 2013 en raison de problèmes de qualité. Au niveau de la source de Gulène, la capacité de pompage est de 30 m³/h.

Une sécurisation pérenne du syndicat pourrait être mise en œuvre en connectant au réseau le réservoir de Diges qui est alimenté en eau par le captage de Dracy.

5.2.1 – Secteur Toucy

En raison du maillage de son réseau, le secteur peut être alimenté facilement par d'autres ressources (Dracy ou Saints) en cas de problème sur le forage F2.

5.3 – Modalités de surveillance

Le suivi du fonctionnement du forage et de la nappe seront assurés grâce à :

- Une sonde piézométrique pour mesurer en continu le niveau de la nappe et assurer la sécurité ;
- Un compteur de production ;
- Un capteur de pression en sortie du forage ;

Notons que le compteur de production prend aussi en compte les volumes pompés sur F1. Au regard des faibles volumes mis en œuvre, le syndicat considère ces volumes insignifiants.

Toutes ces données feront l'objet d'une télésurveillance et seront transmises au centre de surveillance de la Fédération Eaux Puisaye Forterre, opérationnel 24h/24 et 365 jours par an.

La qualité de l'eau fait l'objet de contrôles réguliers (contrôle sanitaire + autocontrôle). Des analyses périodiques seront effectuées sur les paramètres listés dans l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R.1321-2, P.1321-3, R.1321-7 et R.1321-38 du code de la santé publique.

L'exploitant adresse chaque année à l'ARS un bilan de fonctionnement du système de production et de distribution (surveillance et travaux) et indique, pour l'année suivante, les éventuelles modifications apportées au programme de surveillance.

L'exploitant s'assure de la présence permanente d'un résiduel de désinfectant en tout point du réseau. A cet effet, il dispose d'un matériel permettant la mesure de résiduel de chlore. L'ensemble de ces mesures est consigné dans un carnet sanitaire mis à disposition des agents des services de l'ARS.

5.4 – Prise en compte du potentiel de dissolution du plomb

5.4.1 – Inventaire des branchements publics en plomb

Pour le secteur Foterre, le réseau comprend environ 926 branchements en plomb qui devront être remplacés, soit environ 34 % du nombre total de branchements (données 2014).

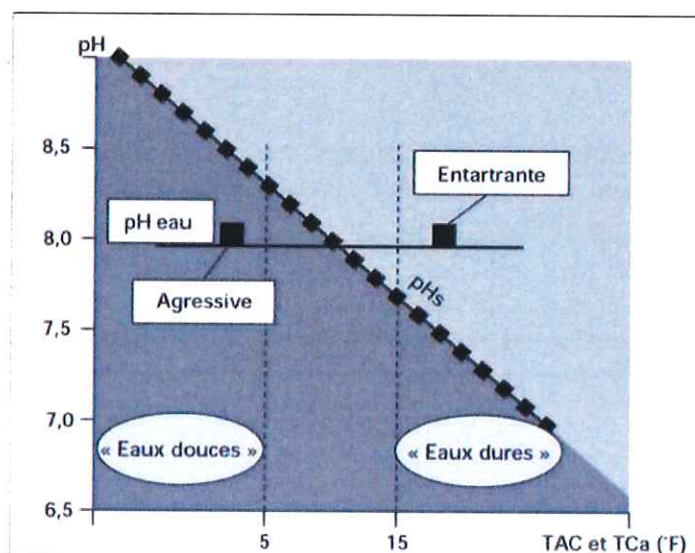
Pour le secteur de Toucy, à l'échelle de l'ensemble du réseau c'est en moyenne 15 % des branchements qui sont en plomb. Cette valeur est transposable aux seuls secteurs desservis par le forage F2.

5.4.2 – Bases de calcul du potentiel de dissolution du plomb

La solubilité du plomb dépend des caractéristiques physico-chimiques de l'eau et ce en particulier vis à vis de sa position par rapport à l'équilibre calco-carbonique.

En effet, à une minéralisation donnée (TH et TAC définis), il existe un pH de saturation (pH_s) ou d'équilibre au-delà duquel il va être observé une précipitation carbonates de calcium. Si le pH est inférieur au pH_s , des réactions de dissolution du carbonate de calcium peuvent se produire et l'eau est dite agressive.

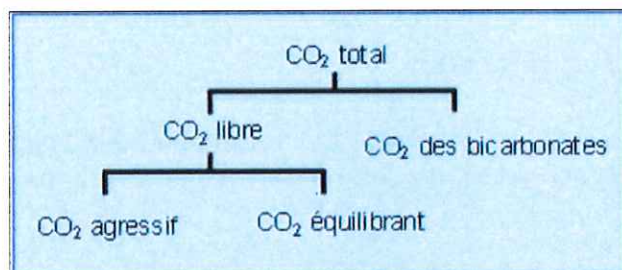
Si le pH est supérieur au pH_s , des réactions de précipitation du carbonate de calcium peuvent se produire et l'eau est dite entartrante. L'objectif pour toute eau sortant d'une usine de traitement est d'être à l'équilibre voire légèrement incrustante mais en respectant des valeurs de pH compatibles avec la potabilité de l'eau ($pH < 8,5$) ou avec la dissolution d'autres sels tel le plomb qui est susceptible d'apparaître dès $pH < 7,5$. Ainsi, en terme de minéralisation, l'eau ne devra être également ni trop dure, ni trop douce.



Une eau de distribution, légèrement entartrante permettant la formation d'une fine couche de protection (couche de Tillmans) doit donc présenter les caractéristiques suivantes :

- $8 < TAC < 15$ °F,
- $8 < TH < 15$ °F
- $pH > pH_s + 0,2$

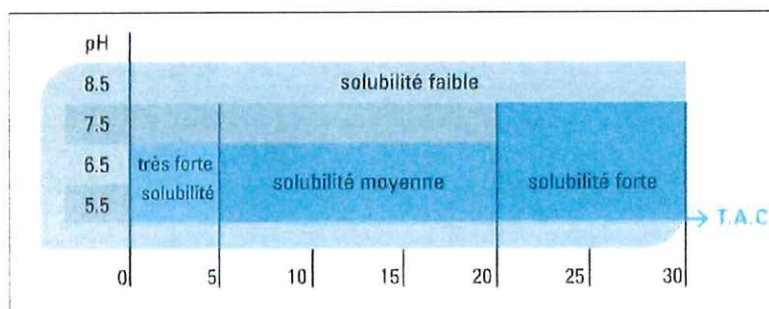
Une eau à l'équilibre contient une quantité faible mais non nulle de gaz carbonique (CO_2) dit équilibrant. Une eau agressive contiendra donc plus de CO_2 qu'une eau à l'équilibre et l'on définit alors le CO_2 agressif comme la différence entre le CO_2 libre et le CO_2 à l'équilibre.



Ainsi, l'appréciation du niveau risque de dissolution du plomb qui s'effectue en première approche par l'étude du pH peut être affinée par l'évaluation de la position d'une eau vis à vis de l'équilibre calco-carbonique et ce en particulier lorsque le pH est inférieur à 8.

$\text{pH} < 7.0$	Risque très élevé	[pb] moyen $> 50 \mu\text{g/l}$
$7 < \text{pH} < 7.5$	Risque élevé	[Pb] moyen $> 25 \mu\text{g/l}$
$7.5 < \text{pH} < 8$	Risque moyen	[Pb] moyen $> 10 \mu\text{g/l}$
$\text{pH} > 8$	Risque faible	

Dans ce dernier cas, une eau proche de l'équilibre, légèrement entartrante, offre un niveau de risque de dissolution du plomb faible. Dans le cas d'eaux dures à très dures (teneur en bicarbonate importante, $\text{TAC} > 20 \text{ }^\circ\text{F}$) présentant des $\text{pH} < 7,5$, le niveau de risque augmente. En effet, à partir d'une certaine concentration en bicarbonate au voisinage de la paroi, il peut se former du carbonate de plomb puis de l'hydroxycarbonate de plomb dissous mobile dans les eaux de distribution. Ainsi, quatre classes de solubilité permettent de caractériser le risque de dissolution du plomb dans l'eau :



Le tableau présenté à la page suivante permet, à partir des données physico-chimiques obtenues dans le cadre du contrôle sanitaire, d'évaluer la position de l'eau distribuée vis à vis de l'équilibre calco-carbonique et de déduire un certain nombre d'indices d'appréciation :

- Indice de Langelier : $I_L = \text{pH} - \text{pH}_s$

Un indice négatif montre que l'eau est agressive et susceptible de dissoudre le calcaire sous l'action du CO_2 agressif. Si l'indice est positif, il y a formation d'une couche de protection protégeant les tuyauteries.

- Indice de Ryznar : $I_R = 2\text{pH}_s - \text{pH}$

Cet indice de stabilité permet de définir la tendance agressive ou entartrante d'une eau aérée. Le tableau suivant montre la relation entre I_R est la tendance incrustante ou corrosive de l'eau.

I_R	Tendance
4 à 5	Entartrage important
5 à 6	Entartrage faible
6 à 7	Équilibre
7 à 7,5	Légère corrosivité
7,5 à 8,5	Corrosivité notable
> à 8,5	Corrosivité importante

- Indice de Larson : $I_C = ([\text{Cl}^-] + 2 \times [\text{SO}_4^{2-}]) / [\text{HCO}_3^-]$

Cet indice basé sur une formule empirique (valeurs expérimentales) tient compte de la présence des ions chlorures et sulfates dont la présence peut rendre le dépôt de protection poreux (Remarque : Pour certains auteurs, des valeurs d'indices allant jusqu'à 1 sont acceptables).

I_C	Tendance
< à 0,2	Pas de tendance à la corrosion
0,2 à 0,4	Faible tendance
0,4 à 0,5	Légère tendance
0,5 à 1	Tendance moyenne
> à 1	Nette tendance à la corrosion

Remarque : Pour certains auteurs, des valeurs d'indices allant jusqu'à 1 sont acceptables.

- Forage F2

<u>Paramètres</u>	<u>Valeurs</u>
Température (°C)	16
pH	7,32
pH _s	7,10
CO ₂ Libre (mg/L)	24,42
Indice de Saturation	0,22
TAC (°F)	26,73
Alc/CaO	0,90
Sel dissous (mg/L)	444,27
CaCO ₃ précipitable (mg/L)	6,89

Tableau 5: résultats obtenus pour le forage F2.

Indice de Langelier : $I_L = \text{pH} - \text{pH}_s = 0,22$

L'indice est positif donc l'eau est entartrante, il y a formation d'une couche de protection protégeant les tuyauteries.

Indice de Ryznar : $I_R = 2\text{pH}_s - \text{pH} = 6,89$

Cet indice nous indique que l'eau aérée a une tendance entartrante

Indice de Larson : $I_L = ([\text{Cl}^-] + 2 \times [\text{SO}_4^{2-}]) / [\text{HCO}_3^-] = 0,18$

Cet indice nous indique que l'eau ne présente pas de tendance à la corrosion des métaux.

L'eau brute présente un caractère entartrant. En sortie d'usine, d'après les informations obtenues auprès de la fédération des Eaux Puisaye-Forterre l'eau distribuée conserve ce caractère.

6 – CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

6.1 - Géologie

6.1.1 – Contexte géologique

Le secteur de Leugny se situe dans la région naturelle de la Puisaye qui correspond à la limite Sud-Est du bassin parisien. La structure caractéristique en « piles d'assiettes » du bassin sédimentaire de Paris confère aux couches géologiques un pendage général très faible, de l'ordre de 2° à 5° vers le Nord-Ouest. En Puisaye les terrains rencontrés sont datés du Jurassique supérieur (Malm) au Crétacé et sont constitués majoritairement de marnes, calcaires et de sables. Ces couches, exclusivement sédimentaires, se sont donc déposées au cours de l'Ere Secondaire (Mésozoïque) par dépôts successifs parallèles sur le fond marin. Ceci explique leur disposition actuelle en couches superposées et stratifiées même si des déformations tectoniques récentes ont permis de leur donner une inclinaison. L'épaisseur totale maximale est d'environ mille mètres, favorisée par un enfoncement du bassin durant la sédimentation par le poids des sédiments (phénomène de subsidence). Cette subsidence a été variable au cours de l'histoire du bassin, ce qui peut notamment expliquer les variations d'épaisseur de couche d'un secteur à un autre.

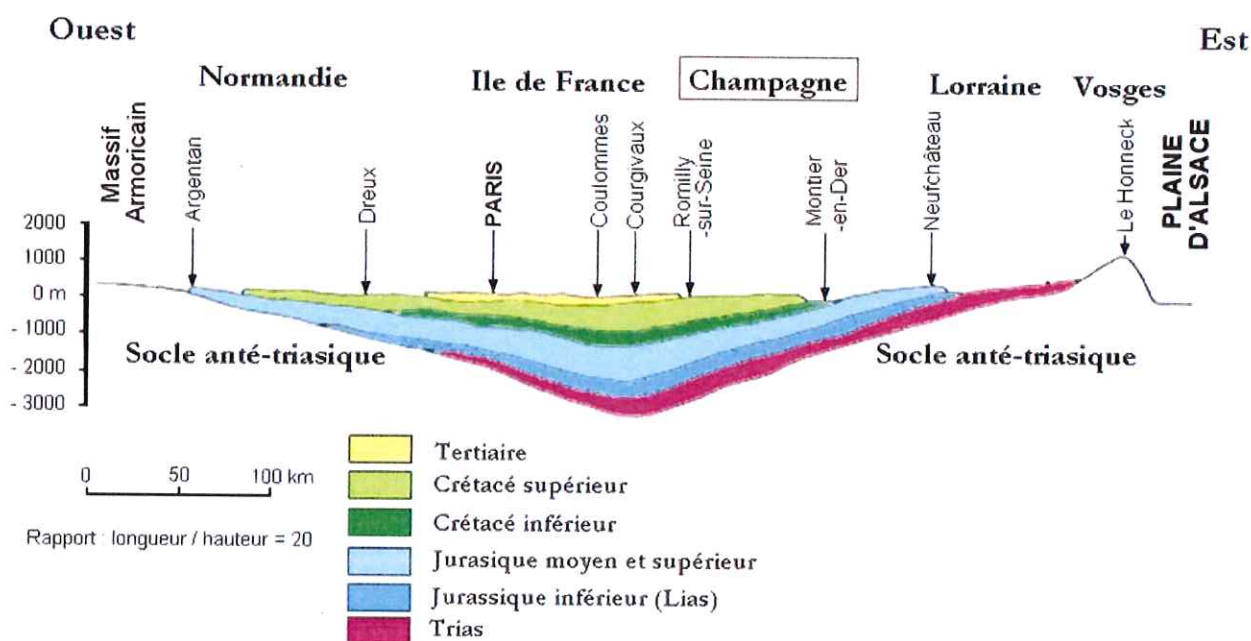
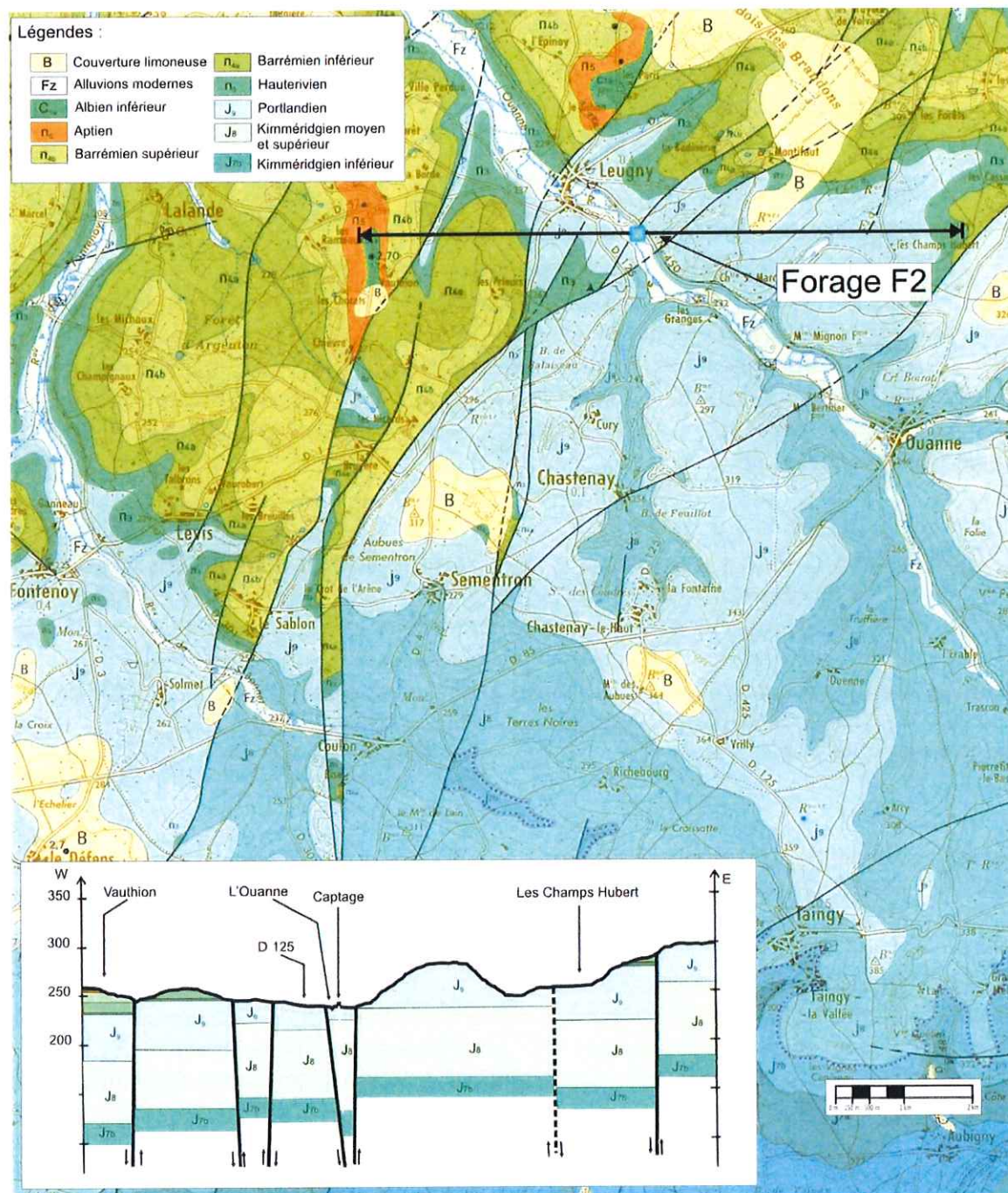


Figure 19 : Coupe géologique Ouest-Est du Bassin de Paris.

D'une manière générale, les failles contribuent à augmenter l'abaissement progressif des couches vers le centre du Bassin de Paris. De nombreuses diaclases perpendiculaires aux failles majeures ont influencé le tracé des cours d'eau et favorisé le creusement de nombreuses combes (aspect en

baionnettes caractéristique). Les dolines, grottes et résurgences sont souvent alignées sur ces cassures.

La zone de Leugny figure sur la carte géologique au 1/50 000 de Courson-les-Carières (n°434 Ed. BRGM).



6.1.2 – Couches stratigraphiques

La nature des terrains géologiques est primordiale dans l'appréciation du fonctionnement de la ressource car elle conditionne en grande partie la qualité (chimisme de l'eau hors impact anthropique – protection naturelle) et la quantité (volumes mobilisables) de la ressource.

Les principales formations géologiques rencontrées sur le territoire communal sont, des plus anciennes au plus récentes, les suivantes :

Formations jurassiques

Calcaires de Bazarnes et de Cravant (Oxfordien supérieur- faciès Séquanien) :

Ils sont constitués par un premier ensemble de formations calcaires très diversifiées, offrant de grandes variations de faciès et d'une puissance d'une trentaine de mètres. Il est surmonté par des formations aux faciès multiples dont le plus fréquent est un calcaire sublithographique rosâtre, riche en bioclastes, formations qui deviennent de plus en plus blanches en s'élevant et renfermant de petits polypiers correspondant à l'horizon de Bazarnes. Cet horizon sert de transition avec le Calcaire de Tonnerre sus-jacent.

Kimméridgien inférieur, calcaires de Tonnerre – J_{7a} : Il s'agit d'une formation assez régulière de calcaires crayeux marneux blancs, mal stratifiés, microcristallins, oolithiques ou pisolithiques vers le sommet, à faune récifale, puissants d'une quarantaine de mètres et comprenant de bas en haut :

- un calcaire sublithographique ou crayeux à Brachiopodes, épais de quelques mètres
- des calcaires blancs, crayeux, à polypiers, à niveaux graveleux ou pisolithiques, épais de 10 m
- des calcaires crayeux, tendres, cryptocristallins, riches en fossiles, sans polypiers à formes massives, puissants de 25m.

Kimméridgien inférieur, calcaires à Astartes – J_{7b} :

Il s'agit d'un ensemble de calcaires sujet à très nombreuses variations latérales de faciès, puissant d'une trentaine de mètres.

La notice de la carte géologique d'Auxerre permet néanmoins de reconnaître, de bas en haut :

- le marbre de Bailly faisant la transition entre le Calcaire de Tonnerre et les Calcaires à Astartes, avec quelques mètres de calcaire jaunâtre, graveleux, tendre, riche en débris coquilliers.
- Les calcaires lithographiques en petits bancs, gris clair, argileux, en bancs décimétriques se débitant en plaquettes.
- Un ensemble d'une quinzaine de mètres composé d'alternances répétées de petits bancs calcaires sublithographiques gris à joints schisteux, de calcaires à pâte grumeleuse, de calcaires micrograveux et oolithiques en dalles blanchâtres et de niveaux marneux gris jaunâtre, à nodules calcaréo-marneux, riches en brachiopodes.
- Un ensemble de lumachelles à Huîtres et de conglomérats à gros galets roulé, riches en glauconie vers le sommet.

Ils affleurent, comme les niveaux précédents, au Sud et au Sud Est d'une ligne : Molesmes, Taingy, Lain, Thury, Lainsecq. Cet ensemble de calcaires a été observé sur 30 m au forage F2 à partir de 129,5 m de profondeur jusqu'à 161 m.

Kimméridgien moyen et supérieur, calcaires et marnes à *Exogyra virgula* – J₈ :

Cette série montre une alternance de marnes et de calcaires argileux qui peuvent être très fossilifères, on parle alors de lumachelles. L'épaisseur totale est d'environ 80 mètres. De bas en haut, on distingue un petit banc de calcaire gris-blanc surmonté de quelques mètres d'une marne noire ou grise très plastique, une importante masse de calcaire lithographique gris-beige très compacte séparée par des joints marneux, un niveau composé d'alternances de lumachelles à *Exogyra virgula* et de marnes noires, sept à huit mètres de calcaires marneux tendre, farineux et blanchâtre, des alternances de calcaires rognoneux blancs crayeux à lumachelles et de marnes argileuses grisâtres et enfin un ensemble de marnes gris-bleu à noir contenant quelques bancs de calcaires argileux lumachelliques. Dans le forage F2, ils ont été traversés de 27 à 129,5 m de profondeur, soit sur plus de 100 m d'épaisseur.

Portlandien : calcaires du Barrois – J₉ :

D'une puissance de 40 à 60 mètres, cet ensemble calcaire se décompose en deux faciès. La partie inférieure de cette formation montre des calcaires jaunâtres à blancs, souvent sublithographiques à bancs pluri-décimétriques séparés par des lits marneux parfois très fossilifères. La partie supérieure est composée de calcaires sublithographiques beiges sans niveaux marneux se terminant par un banc calcaire compact dont la surface est souvent ondulée et perforée. Ils ont forés de 3,5 à 27m de profondeur sur F2.

Formations crétacées

Valanginien : calcaire de Bernouil – n₂ :

Il n'apparaît que dans les sommets de quelques localités où l'érosion l'a épargné, au sommet perforé du Portlandien. Il est généralement de faible épaisseur.

Hauterivien : calcaire à spatanges – n₃ :

Ces calcaires sont roux à verdâtre, épais de 5 à 10 m, légèrement gréseux et bioclastiques. On peut observer des petits nodules de limonite et des niveaux marneux intercalés vers le sommet. Cet ensemble est très fossilifère, on y retrouve notamment des oursins de type *toxaster*. Il se rencontre le plus souvent au contact par faille avec le Jurassique et tapisse fréquemment les fissures du portlandien sous-jacent.

Barrémien inférieur : Lumachelle et marnes ostréennes – n_{4a} :

Il s'agit de formations marneuses grises à noires et marno-calcaires silteuses rousses alternées, passant en s'élevant à des calcaires lumachelliques durs, pétris de petites *exogyres*.

D'une puissance voisine de 20 m, cet ensemble semble s'affiner au fur et à mesure que l'on se déplace au Sud-Ouest.

Barrémien supérieur : Sables et argiles panachés – n_{4b} :

C'est un dépôt de type continental à lagunaire sablo-argileux très souvent teinté par de l'oxyde de fer. Ces sédiments sont assez variés et il est fréquent d'observer le passage des sables aux argiles. Du bas vers le haut, on observe des sables argileux fins roussâtres puis des sables argileux panachés gris clair et ocre, des argiles plastiques bariolées gris clair, des sables fins avec bancs de grès ferrugineux. Il est fréquent d'observer le passage des sables aux argiles.

Aptien : argiles à plicatules – n₅ :

Dans l'Yonne, l'Aptien supérieur fait défaut et les argiles à plicatules représentent seules l'aptien. Cette formation est représentée principalement par des argiles noires, glauconieuses au sommet. À l'affleurement, ces argiles ont un aspect proche de celui du mastic et sont riches en inclusions pyriteuses et gypseuses. Il existe un niveau de 0,10 m de calcaire à oolithes ferrugineuses associé à *Exogyra aquila* (huître de grande taille abondante dans l'Aptien). La formation présente une puissance comprise entre 10 et 25 m.

Albien inférieur : sables verts et argiles noires – C_{1a} :

Cet ensemble est formé d'alternances d'argiles noires et de sables glauconieux, les argiles pouvant se développer aux dépens des sables. De bas en haut, cette formation comprend 5 à 10 mètres de sables verts glauconieux et argileux avec nodules pyriteux, puis 5 à 8 mètres (20 à 30 mètres selon l'auteur de la notice de la carte géologique d'Auxerre) d'argiles noires dites « argiles de Myennes » et enfin un complexe de sables blancs (5 à 10 mètres) et d'argiles tégulines sableuses (5 à 15 mètres).

Albien supérieur : sables de Puisaye – C_{1b} :

C'est une masse de 45 à 50 mètres de sables hétérométriques. Dans la partie supérieure la granulométrie devient grossière. Ces sables contiennent des feldspaths potassiques, des granules phosphatées et des grains de glauconie. Par endroit, ces graviers ont un ciment ferrugineux ou phosphaté. Dans la masse de sables, on rencontre des bancs de grès à ciment ferrugineux et des alternances de filets d'argiles kaoliniques blanches.

Albien supérieur – Cénomaniens inférieurs : marnes de la Brienne et argiles de Gault – C₂₋₁ :

Les marnes de Brienne appartiennent au « Vraconien », contrairement aux argiles de Gault qui appartiennent à l'Albien. Cet ensemble, d'une épaisseur totale de 20 mètres, présente un faciès qui évolue progressivement des argiles vers les marnes. La série débute par un à deux mètres d'argiles sableuses verdâtres, se poursuivant par des argiles plastiques d'un bleu noirâtre devenant marneuses vers le sommet. Le sommet est occupé par les marnes de Brienne.

Formations superficielles**Formations Alluvionnaires:**

Sur le secteur d'étude elles occupent le fond de la vallée de l'Ouane. Leur composition est très variable et se trouve très influencée par la nature du bassin versant. Elles sont en général peu épaisses.

Couverture Limoneuse (B) :

Ces dépôts occupent en général les sommets des reliefs. Ils sont assez fins, argileux et silteux, renfermant parfois des granules d'oxyde de fer ou quelques grains de quartz. Généralement de couleur brun clair, ils sont le plus souvent décalcifiés en surface. Appelés localement « aubues » ils sont épais et étendus sur les plateaux. Ils peuvent prendre une teinte très foncée, brun rougeâtre lorsqu'ils sont situés au sommet du Portlandien ou sur les calcaires hauteriviens.

STRATIGRAPHIE LITHOLOGIE

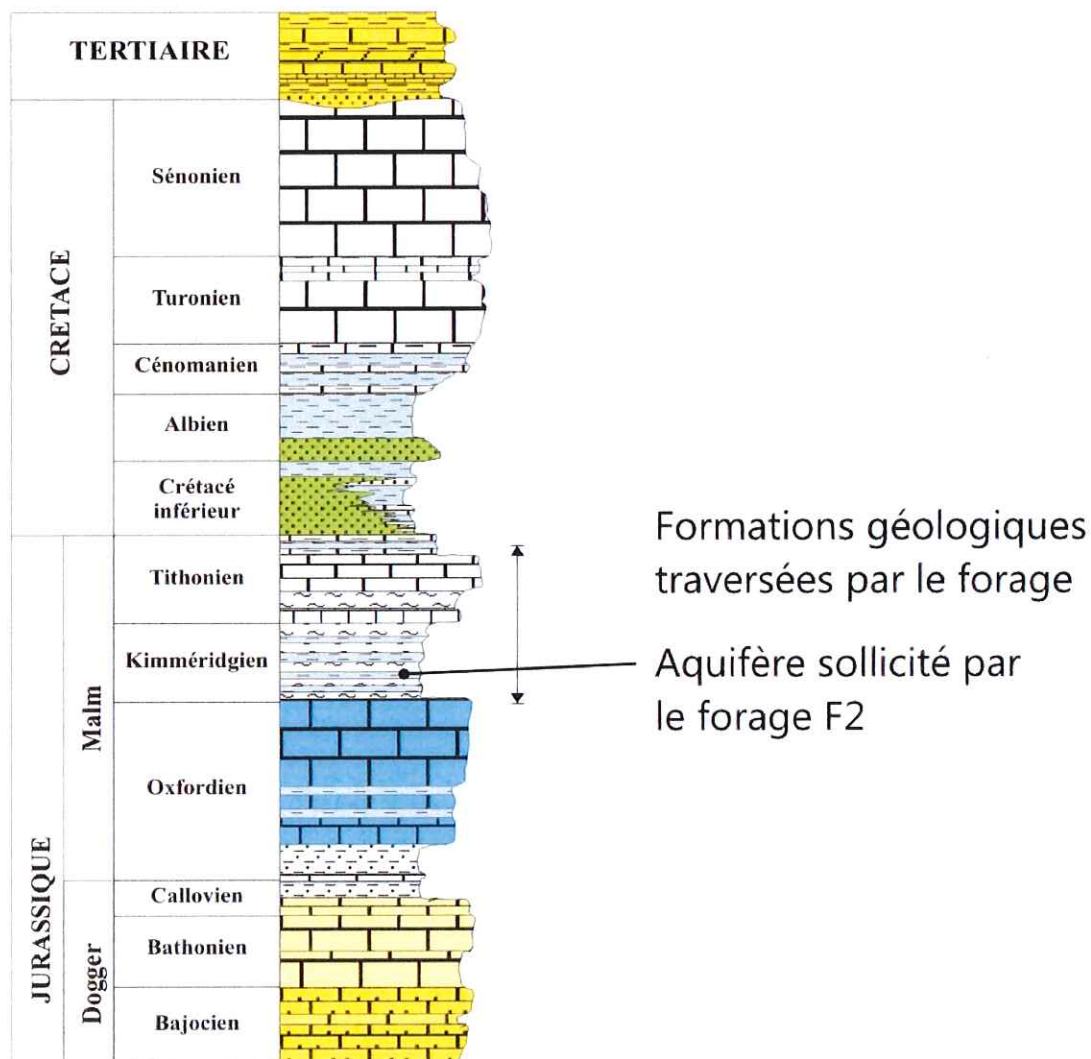


Figure 21 : log géologique régional et formations concernées par le forage.

6.1.3 – Coupe géologique du forage F2

La lithologie relevée lors de la foration permet de préciser que contexte géologique local. Les formations rencontrées sont :

- 0 à 3,5 m : alluvions ;
- 3,5 à 27 m : calcaires, avec un passage marneux de 5 à 13 m (Portlandien – Calcaires du Barrois) ;
- 27 à 129,5 : alternance de calcaires, calcaires argileux et marnes (Kimméridgien moyen et supérieur – Calcaires et marnes à Exogyres) ;
- De 129,5 à 161 : calcaires biogéniques ou oolithiques (Kimméridgien inférieur – Calcaires à Astartes).

Les cotes de passage entre les différents étages géologiques sont mal déterminées. La diaggraphie gamma-ray donne des limites légèrement différentes pour les marnes du Kimméridgien moyen et supérieur (profondeur 31 à 126 m). Elle montre surtout des variations importantes de la teneur en argile en fonction de la profondeur. Les passages les plus argileux se situent entre 34 et 62 m et entre 98 et 110 m.

Des fissures aquifères sont recoupées de 142 à 146,5 m (80 % de la production) et de 151 à 157 m (10 % de la production).

La coupe géologique de F2 est tout à fait similaire à celle de F1. La principale différence concerne la cote des venues d'eau, plus profondes d'une vingtaine de mètres sur F2.

6.1.4 – Contexte géomorphologique et structural

Dans son ensemble la série plonge vers le cœur du Bassin parisien avec un pendage stratigraphique moyen de 2 à 5%. Les formations calcaires et marno-calcaires sont affectées par une tectonique cassante qui contribue à affaïsser graduellement l'ensemble de la série vers le Nord- Ouest.

Les accidents structuraux fracturants majeurs sont majoritairement orientés NNE-SSO, admettant parfois des rejets verticaux de plusieurs dizaines de mètres de part et d'autre des plans de fracturation, et pouvant être d'une grande continuité géographique.

On mentionnera l'accident de Leugny passant par le bourg de cette commune et qui admet un rejet de 25 à 30 m et qui amène le toit des calcaires du Portlandien à l'Est au contact des argiles du Barrémien Supérieur à l'Ouest.

Au niveau du forage F1, deux accidents de même nature recoupent transversalement la vallée de l'Ouanne pour constituer un palier d'effondrement dans lequel a été foré verticalement l'ouvrage, amenant de part et d'autre de l'accident les marnes à exogyres en contact anormal des Calcaires à astartés sous-jacents. Le pendage moyen du "plan" de faille a été évalué à 75°, ce qui est vraisemblable au sein des formations kimméridgiennes, marneuses, moins compétentes à la fracturation. Autrement, les calcaires présentent une micro fracturation très fréquente, à plans subverticaux à obliques, voire subhorizontaux soulignant les différences de compétence dans le litage des formations calcaires et marneuses leur conférant une perméabilité en grande importance.

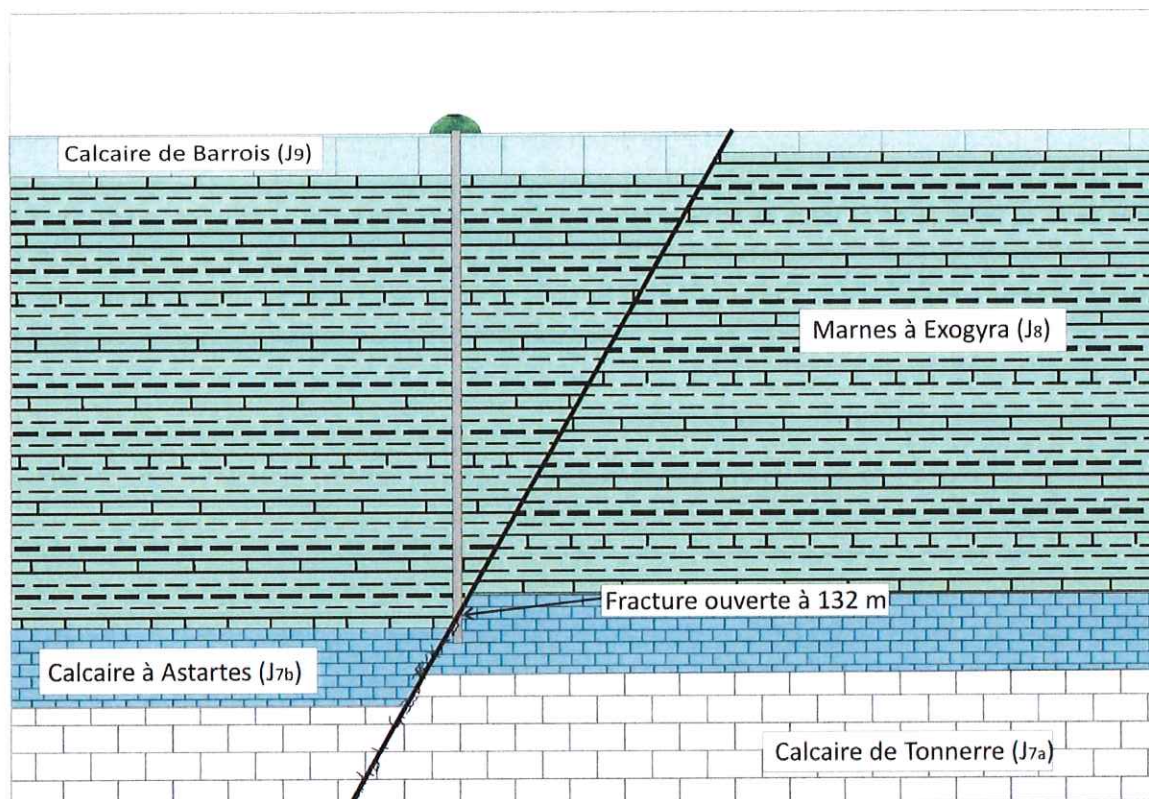


Figure 22 : schéma de principe de la géologie locale au droit de F1.

Au niveau de F2, des fissures aquifères sont recoupées de 142 à 146,5 m et de 151 à 157 m.

Le forage F1 (et F2 par extension) a été implanté sur la base d'une analyse géomorphologique menées par Jean Bolze et Joël Loiseau.

La méthode consiste à interpréter en termes géologiques et structuraux la géomorphologie, c'est-à-dire l'organisation des formes du relief et des réseaux hydrographiques. Le développement de l'hydrologie qui commande la naissance puis l'évolution du modelé du relief est en effet sous la dépendance directe et étroite de deux facteurs géologiques :

- la lithologie du matériel qui se fait éroder,
- la structure tectonique qui affecte ce matériel.

La lithologie commande la forme des versants des vallées et des collines, la densité des thalwegs du début des réseaux (thalwegs d'ordre 1, 2, 3...).

La structure par contre est l'essentiel du développement des réseaux hydrographiques et des lignes directrices du modelé du relief. En effet dès que la pluie tombe sur une strate, non encore attaquée par l'érosion, les lignes d'écoulement suivent les lignes de plus grande pente de la strate. Au bout de quelques temps ces lignes d'écoulement s'incisent dans la pente de la strate. Au bout de quelques temps ces lignes d'écoulement s'incisent dans la surface lithologique et les lignes de plus grande pente s'y trouvent gravées, de plus en plus profondément. Si une nouvelle action

tectonique vient déformer même légèrement la structure précédente, l'écoulement de l'eau va s'en trouver modifié et en changeant de direction s'adaptera aux nouvelles lignes de plus grande pente. Ce changement n'est possible cependant que sur les parties de la strate encore dépourvues de vallées. Ainsi ce sont les thalwegs dits de 1^{er} ordre (ceux qui n'ont aucun affluent et sont en cours d'installation) qui reflètent les dernières organisations structurales. Les vallées des affluents déjà bien établies ne changent pas de direction mais vont être activées ou ralenties selon que la modification structurale accroît ou diminue la pente de leur profil. La progression plus rapide de certains tributaires va leur faire recouper et capturer d'autres thalwegs qui appartiennent à un autre système de drainage que le leur. Les réseaux évoluent ainsi, se modifiant, se hiérarchisant et devenant de plus en plus complexes.

On conçoit ainsi qu'en reconstituant l'histoire et l'évolution des réseaux hydrographiques et du modelé du relief, on puisse retrouver les facteurs structuraux qui les ont déterminés. Ces facteurs confrontés aux données géologiques conduisent alors à rétablir l'arrangement structural profond réel et son évolution. Le résultat est une carte très parlante donnant la sensation d'un paysage désertique, comparable à une image radar latéral de type SLAR. Son interprétation se fait d'ailleurs de la même façon qu'une image radar.

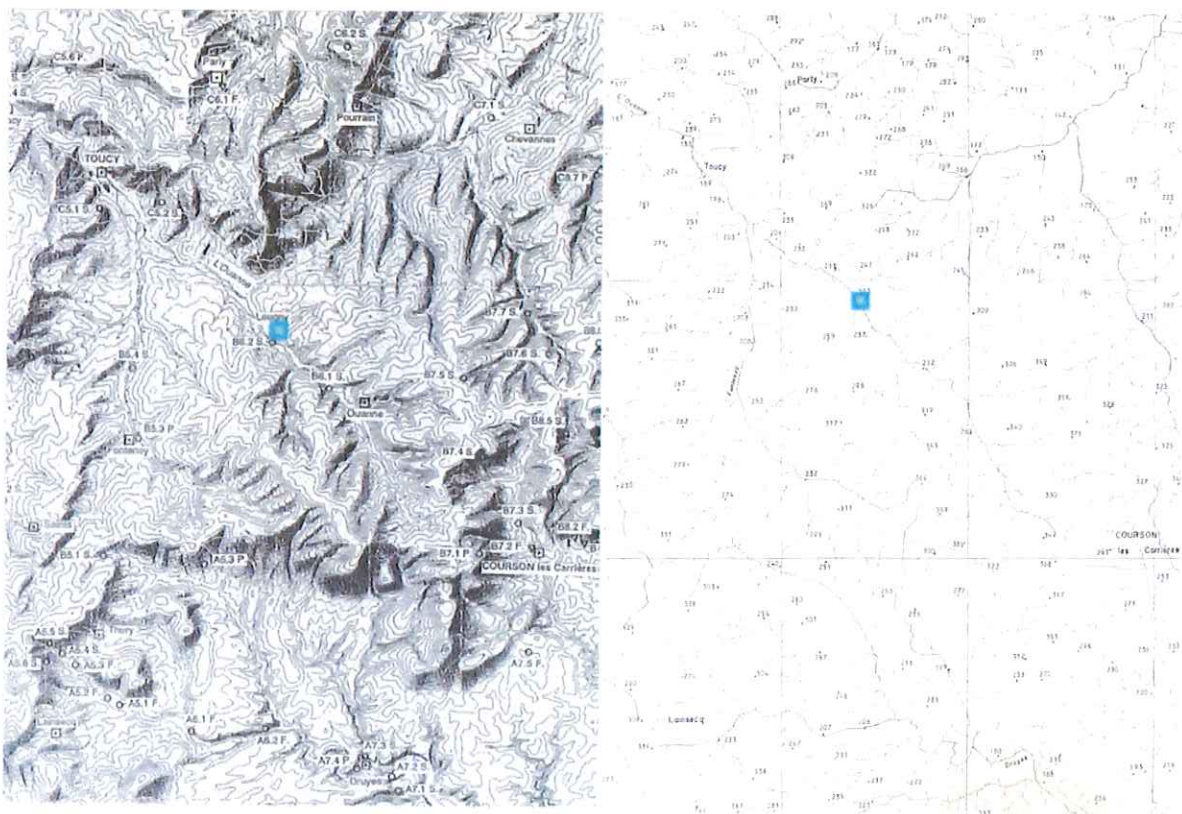


Figure 23 : à gauche extrait de la carte orokiascopique au 1/100 000 – à droite réseau hydrographique total.

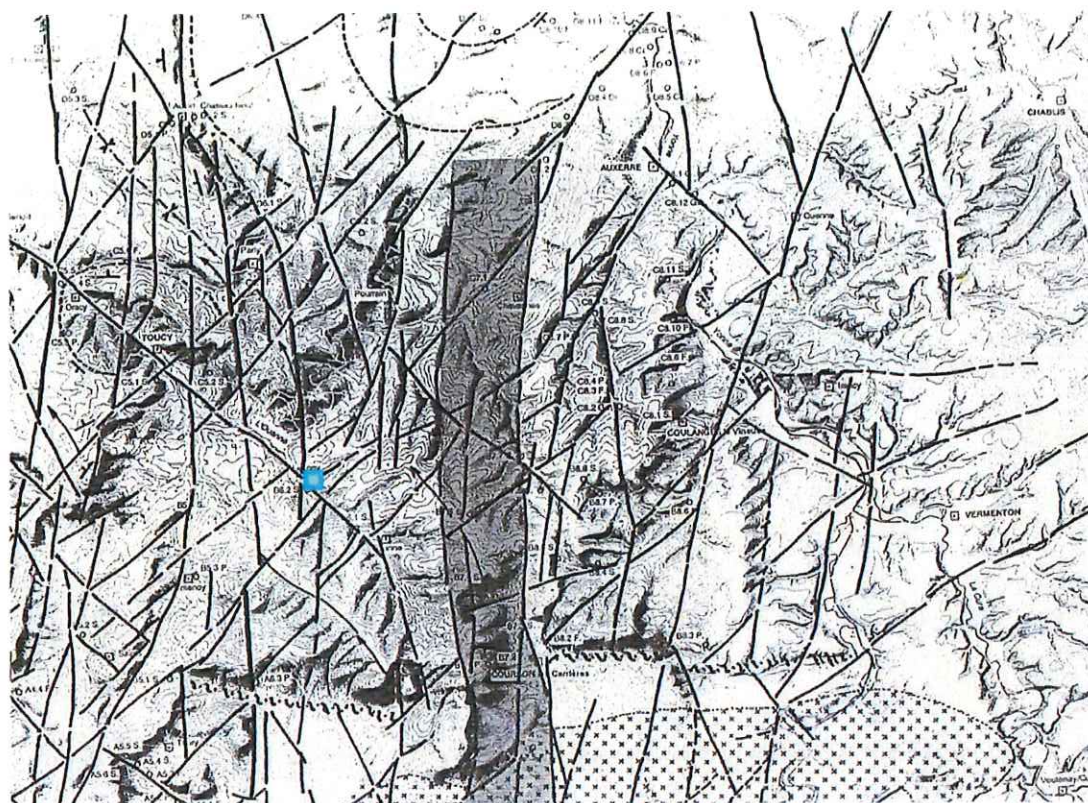


Figure 24 : carte linéamentaire et structurale.

L'interprétation se fait par analyse linéamentaire des deux cartes hydrographiques et oroskiascopiques. On met en évidence des linéaments : alignements remarquables, lignes de discontinuité, de changement d'organisation géomorphologique. On recherche les aires morphologiques cohérentes ; on isole les aires cohérentes et on essaie d'y refaire l'évolution des réseaux hydrographiques. On recherche le type de structure géologique le plus adaptable à chacune de ces aires. Ces observations sont ensuite comparées aux données géologiques disponibles (cartes, publications, coupes de forage, profils sismiques) et complétées par un contrôle de terrain.

La carte oroskiascopique générale recense en outre tous les points d'eau captés inventoriés par la Banque du sous-sol, les 3 forages profonds de Courson les Carrière, Maumont et Parly, et les 2 forages à l'Est de Courson (forages du BEG/Bernard Roy). Avec tous ces éléments on construit la carte de synthèse présentée ci-après ou sont portés les principaux accidents, faisant apparaître l'intérêt du secteur de Leugny.

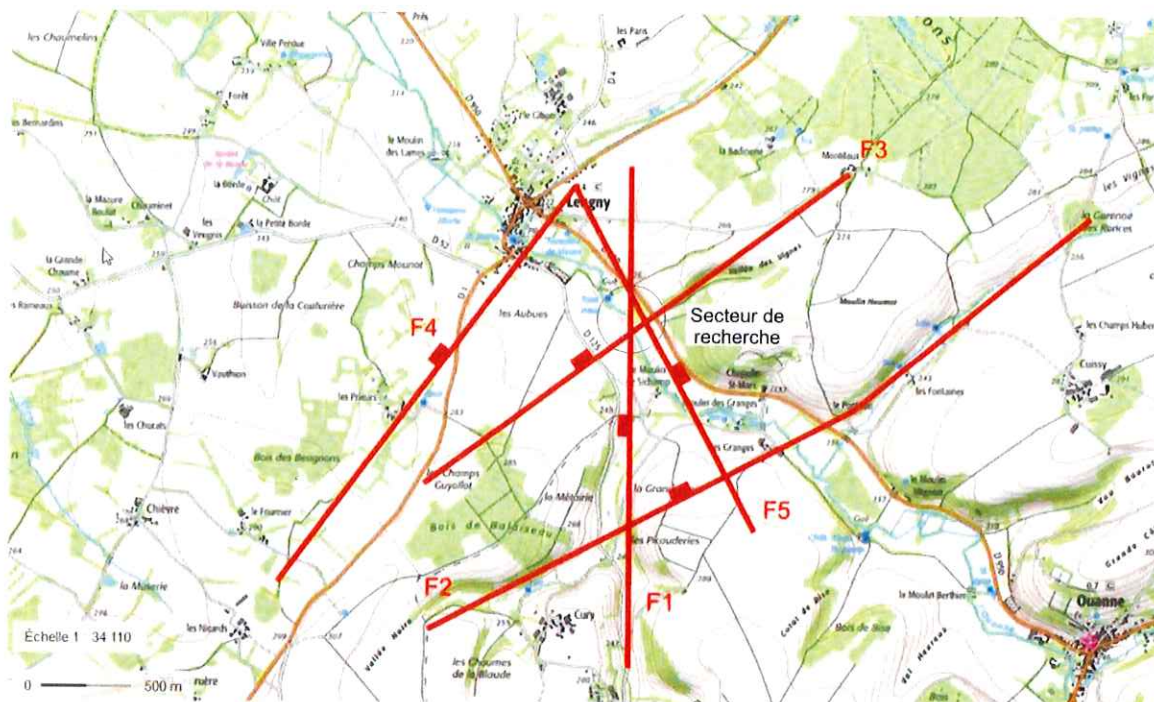


Figure 25 : carte linéaire et structurale sur Leugny Etude Joël Loiseau Consultant – juillet 2012

6.2 - Hydrogéologie

6.2.1 – Hydrogéologie régionale

L'hydrogéologie du secteur d'étude est conditionnée par la lithologie des formations rencontrées et par les phénomènes structuraux qui les affectent. Au sein de la série géologique précédemment décrite alternent des formations calcaires ou sableuses perméables (porosités matricielle et/ou fissurale voire karstique) et d'autres imperméables (argilosité développée).

Les formations perméables, lorsqu'elles affleurent, correspondent aux zones d'infiltration des eaux météoriques et de tout ou une partie des eaux de surface (au niveau des zones de pertes). Elles constituent le siège du stockage et de la circulation des eaux souterraines. Les formations à dominante argileuse constituent le mur de ces aquifères, et participent dans certains cas de figure structuraux à leur mise en charge. Le pendage général des couches en direction du Nord-Ouest donne le plus souvent aux nappes leur sens d'écoulement général. Dans le détail, ces circulations sont également influencées par la topographie, l'hydrographie, la karstification et le réseau de fractures.

L'alimentation des aquifères se fait par infiltration des eaux de pluie, mais également par la perte de cours d'eau, et dans certaines situations par drainance de l'aquifère sus-jacent. Ces pertes

favorisent le soutirage des cours d'eau les moins actifs par les plus actifs dont les vallées se trouvent à des altitudes inférieures.

Le forage de Leugny, comme cela a été expliqué dans le paragraphe dédié exploite une nappe captive, c'est-à-dire isolée de la surface par des formations considérées comme peu perméables voire imperméables. Au sein de l'aquifère les circulations sont fortement liées à la porosité de fracture. Les caractéristiques de cet aquifère lorsqu'il est captif et présent à des profondeurs telles que celle atteinte à Leugny sont peu connues en raison d'un très faible nombre d'ouvrages similaires.

En général, les réservoirs de l'aquifère supérieur et moyen du Jurassique se présentent au sein d'une alternance de calcaires, de marnes et d'argiles qui affleurent successivement. Ils sont affectés par une tectonique cassante avec des failles d'orientation prédominantes SO-NE et N-S qui a favorisé le développement et/ou l'ouverture des fractures subméridiennes aboutissant à une karstification. La fréquence des fractures karstifiées varie selon les faciès, ainsi les calcaires massifs seront karstiques alors que les calcaires en bancs développeront leur perméabilité via les fractures les plus importantes et par les joints de stratification (J. Cornet, 1987). Les marno-calcaires du Bathonien constituent la base du réservoir. Les sources sont rares mais importantes (Drues débite à 230-350 L/s et peut dépasser 2 m³/s en crue). D'autres sources existent en bordure de vallée.

Les réservoirs de l'aquifère du Kimméridgien se développent tout d'abord dans les calcaires à Astartes. Cet aquifère possède une perméabilité principalement structurale. Il constitue un réservoir important qui accumule et transfère rapidement les masses d'eau grâce aux nombreuses fractures (diaclasses) qui l'affectent.

Dans les calcaires de Tonnerre se développe un aquifère ayant une plus grande perméabilité texturale que l'aquifère précédent car les calcaires qui le composent sont plus tendres. Il est également un réservoir important caractérisé par de grandes capacités de stockage et des vitesses de transferts importantes.

Les couches géologiques du Kimméridgien moyen et supérieur sont peu perméables et aucune perméabilité structurale ne peut s'y développer du fait de la teneur en argile. Cette formation constitue par conséquent un aquifère très restreint. Ce niveau est plutôt considéré comme aquifuge. L'eau qui y arrive, ruisselle et s'infiltré dans les niveaux inférieurs. La présence de bancs plus marneux dans la formation provoque l'émergence de nombreuses petites sources. L'alternance marno-calcaire forme un niveau imperméable à la base de la nappe du Portlandien. De petites nappes localisées existent entre les couches marneuses. La minéralisation de ces eaux est proche de celles du Portlandien (488 µS/cm à 667 µS/cm et une dureté de 32° à 36°).

Les calcaires portlandiens constituent un aquifère où les circulations peuvent être très rapides du fait de leur nature favorisant les circulations de type karstique. Lors des travaux de terrassement de la ligne de chemin de fer d'Auxerre à Toucy, A. RAOUL (1900) a pu observer, non seulement des traces de dislocation d'origine tectonique, mais aussi de nombreuses diaclasses, fentes, fissures avec concrétions calcaires, soit vides, soit remplies de dépôts remaniés. En plus petit, des phénomènes semblables sont visibles sur les fronts de taille des carrières exploitant cette formation.

6.2.2 – Identification de l'aquifère capté

L'ouvrage ne capte que l'eau en provenance des calcaires à Astartes. Les circulations d'eau captées sont maintenues captives sous les calcaires et marnes à Exogyres du Kimméridgien moyen et supérieur. Les fissures aquifères recoupées de 142 à 146,5 m fournissent 80 % du débit et celles présentes de 151 à 157 m 10 %.

Entité BDLisa :

La BDLisa, Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères, est le référentiel hydrogéologique à l'échelle du territoire national mis au point par le BRGM depuis 2006. Il fournit un découpage du territoire national en entités hydrogéologiques selon 3 niveaux d'utilisation : national (niveau 1), régional (niveau 2) et local (niveau 3).

Les calcaires exploités à Leugny peuvent être rattachés à l'entité hydrogéologique suivante :

- Nom : Marnes et calcaires de l'Oxfordien et du Kimméridgien inférieur du Bassin parisien;
- Code : 135AA57 ;
- Nature : aquifère sédimentaire ;
- Etat : entité hydrogéologique à parties libres et captives ;
- Type de milieu : double porosité : matricielle et de fissure.

Masse d'eau souterraine :

- Nom : Calcaire kimmeridgien-oxfordien karstique entre Yonne et Seine
- Code européen : FRHG307 (ex 307)
- Type : Dominante sédimentaire
- Écoulement : Libre et captif, majoritairement libre
- Surface totale : 3 647km²
- Surface affleurante : 2 101 km²
- Surface sous couverture : 2 101 km²

Code de l'Entité Hydrogéologique locale 135AA57



Nom de l'Entité Hydrogéologique Marnes et calcaires crayeux de l'Oxfordien et du Kimméridgien inférieur du Bassin Parisien

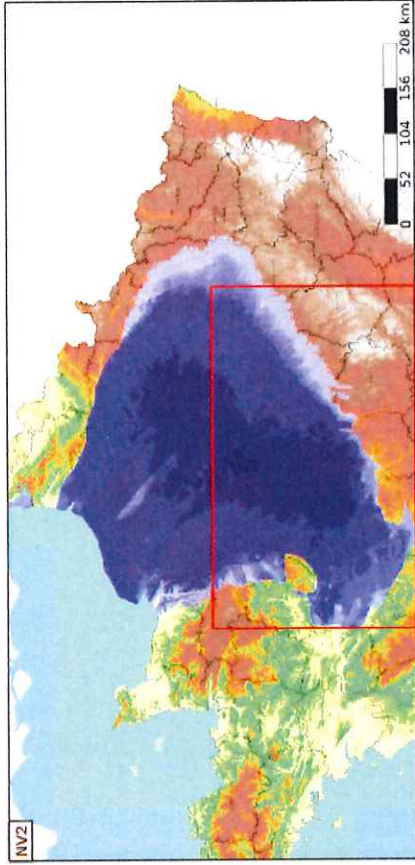
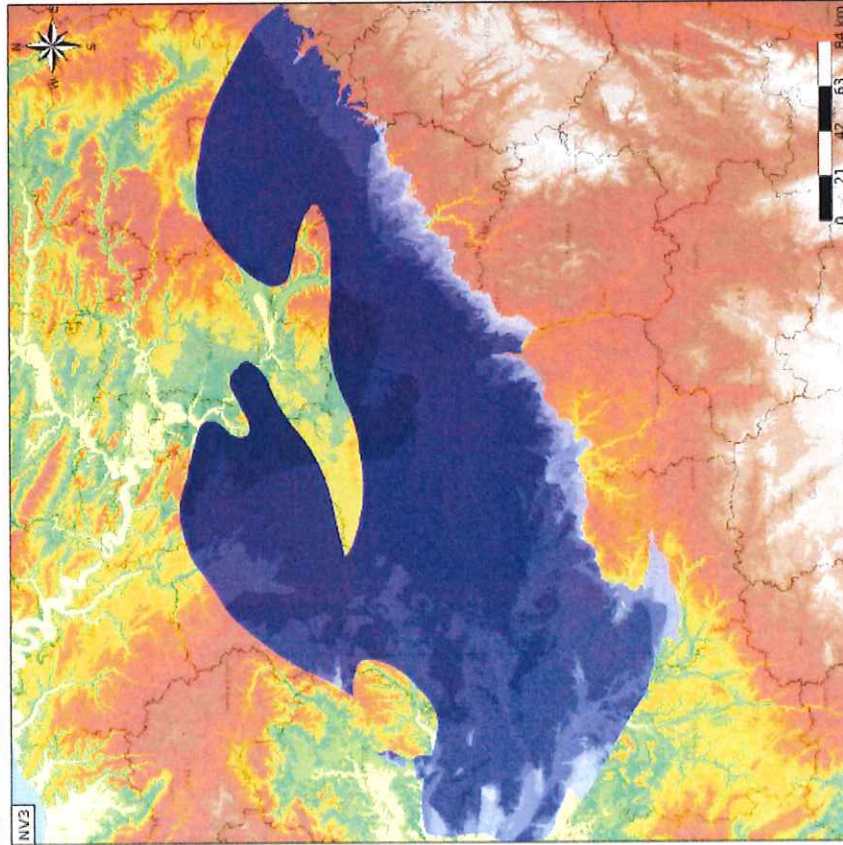
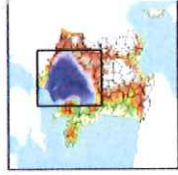
Caractéristiques de l'entité

- Nature : 6 Unité semi-perméable
- Etat : 3 Entité hydrogéologique à parties libres et captives
- Thème : 2 Sédimentaire
- Type de milieu : 4 Double porosité : matricielle et de fissures
- Origine de la construction : 1 Carte géologique ou hydrogéologique

Evolution entre la BDLISA V0 et la V1:

Type de modification : Aucune modification

Est incluse dans l'Entité Hydrogéologique 135AA
Calcaires de l'Oxfordien supérieur au Kimméridgien du Bassin Parisien



Est incluse dans l'Entité Hydrogéologique 135

Grand système aquifère du Kimméridgien à l'Oxfordien sup. du Bassin Parisien

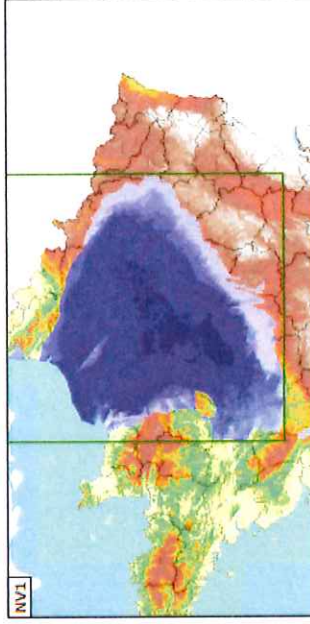
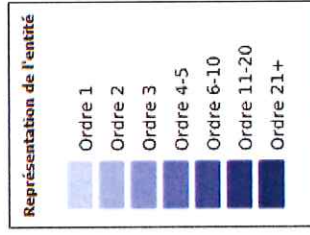


Figure 26 : référentiel BDLisa – fiche nationale de l'entité 121AR30.

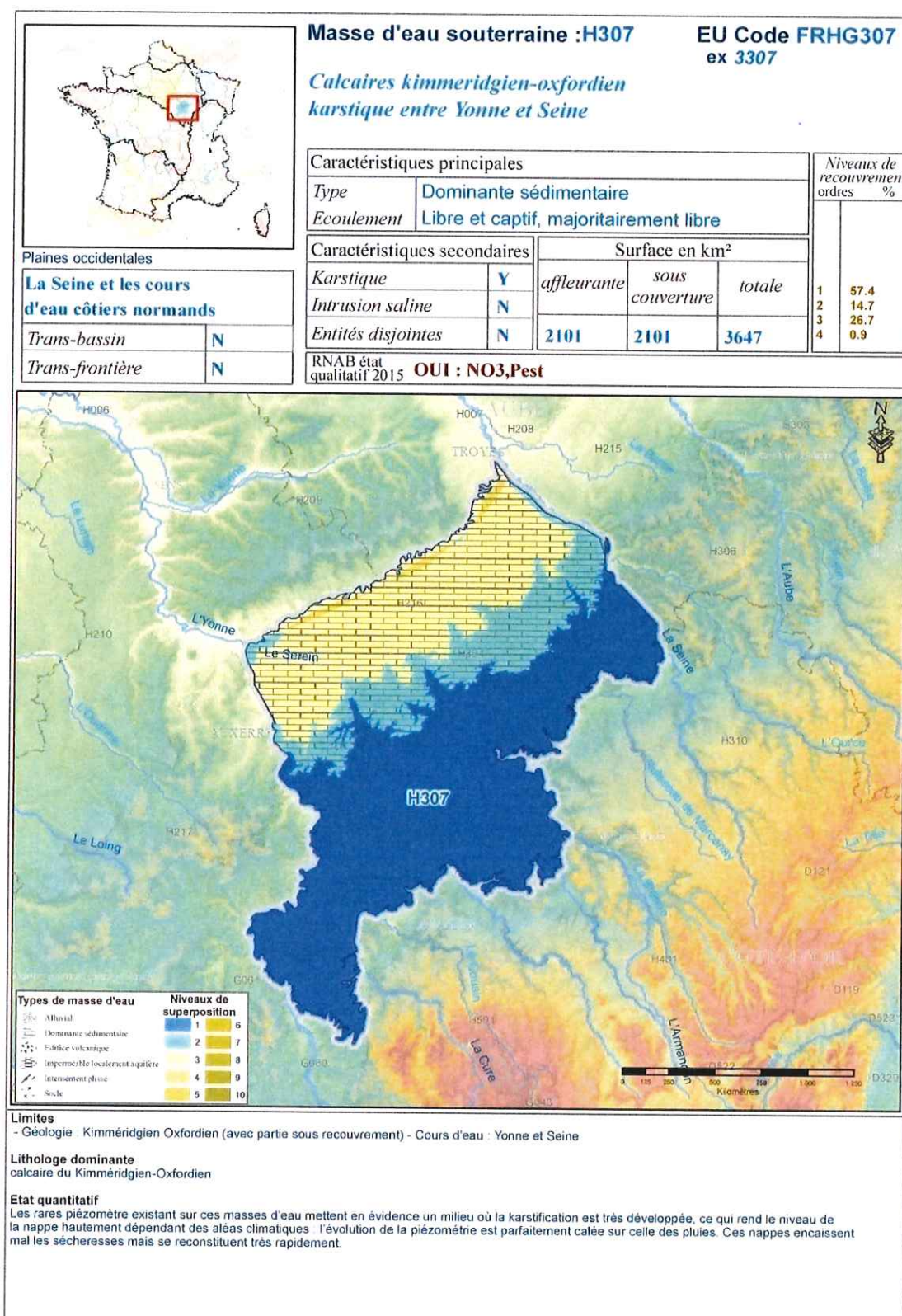


Figure 27 : fiche de la masse d'eau H 307.

6.2.3 – Caractéristiques de l'aquifère capté

Les essais de pompage sur F1, préalablement à la création de F2 ont montré :

- un débit spécifique de 81 m³/h/m à 73 m³/h, et 42 m³/h/m à 187 m³/h
- la transmissivité est de l'ordre de 5. 10⁻² m²/s.

Dans son rapport de décembre 2012, l'hydrogéologue agréé définit le programme des pompages à mener sur F2 :

- 5 paliers de 2 heures, espacés par des remontées de durée équivalente ;
- Un pompage de longue durée à débit constant de 72 heures, suivi de 24 heures de remontée.

Le programme effectivement réalisé en juin 2013 a comporté 6 paliers d'une durée de 35 à 80 minutes, pour un débit compris entre 39 et 292 m³/h, séparés par des remontés de 35 à 100 minutes (14 heures entre les 5^{ème} et 6^{ème} paliers). Les trois premiers paliers ont été réalisés en écoulement artésien (débit maximum 120 m³/h). La colonne de mesure des niveaux n'était pas positionnée directement sur la tête, mais sur le piquage latéral, à l'aval d'une vanne de garde et d'une réduction, ce qui réduit significativement la fiabilité des mesures. Lors du pompage de longue durée, les mesures de niveau sur F2 n'ont pas été réalisées pendant les nuits. A l'arrêt du pompage, la remontée n'a été suivie que pendant 3 heures.

La vérification de la sonde de niveau présente sur F1 n'a pas été réalisée avant le démarrage des essais. Le maître d'œuvre n'a constaté qu'après coup que les mesures étaient incomplètes (absence de mesure au-delà d'une certaine cote, présumé être la cote d'artésianisme). Le calage de cette sonde n'a pas été réalisé. De ce fait, les enregistrements disponibles sur F1 sont inexploitable.

Les interprétations des essais fournies par le maître d'œuvre sont excessivement succinctes.

Les pompages par palier indiquent un débit spécifique compris entre 46 et 15 m³/h/m. Les pertes de charges quadratiques sont très largement prédominantes par rapport aux pertes de charges linéaires, ce qui est lié à l'écoulement turbulent dans les fissures du terrain aux alentours du forage. La courbe caractéristique ne montre pas de point d'inflexion pouvant être interprété comme un débit maximum d'exploitation.

Une réinterprétation plus poussée de l'essai longue durée de juin 2013 apporte les éléments suivants :

- Pendant le pompage de F2, la pompe de F1 a continué de fonctionner. La durée des créneaux de fonctionnement varie entre 1h10 et 1h50 (moyenne 1h20), celle des phases de repos varie entre 0h30 et 0h45 (moyenne 0h30). Lors des pompages sur F1, les niveaux de F2 subissent une influence pouvant atteindre 80 cm ;
- La transmissivité calculée par les méthodes de Jacob ou de Theis est de 1,4 10⁻² m²/s ;
- En l'absence de mesures fiables sur F1, il n'est pas possible de calculer le coefficient d'emmagasinement ;
- A partir de 35 à 40 heures de pompage sur F2, malgré l'influence de F1, on discerne sur le graphique semi-logarithmique un accroissement des rabattements pouvant évoquer un effet de limite étanche. Il pourrait également s'agir d'une réduction de transmissivité des terrains. Si l'on admet un emmagasinement de 1.10⁻⁵ à 1.10⁻⁴ (cohérent avec le contexte de

nappe captive), cette ou ces discontinuités seraient situées à une distance de plusieurs kilomètres des forages.

- La durée de la remontée est trop courte pour apporter des informations fiables, surtout compte tenu de l'influence de F1. La sonde de pression placée sur F2 lors du test de février-mars 2015 semble ne pas avoir enregistré les variations de niveau de nappe pendant la majeure partie du test. Ce test ne peut donc être utilisé pour vérifier la valeur de la transmissivité.

Au plan hydrogéologique, plusieurs ensembles potentiellement aquifères peuvent être rencontrés :

- Aquifère des Calcaires du Portlandien

Dans la région de Leugny, l'aquifère capté au niveau de " la source du Château " est celui des calcaires du Portlandien. Ces calcaires, très tectonisés, favorisent la circulation des eaux en leur sein, circulation vraisemblablement commandée et drainée par les réseaux karstiques qui se signalent par l'existence de nombreux appareils morphologiques superficiels caractéristiques jalonnant les accidents structuraux.

L'écoulement régional des eaux au sein de cet aquifère, libre à semi-captif, est probablement orienté du Nord au Nord-Ouest.

- Aquifère des Calcaires du Kimméridgien

Les formations kimméridgiennes, caractérisées par une alternance de niveaux marneux et calcaires, avec à la base des bancs calcaires plus massifs, comme les Calcaires à Astartes et le Calcaire de Tonnerre, niveaux tectonisés, peuvent être le siège d'aquifères multicouches, maintenus en charge sous les formations argilo-marneuses peu ou pas perméables, comme celles des Marnes à Exogyres. C'est le cas du forage F1 où c'est la nappe des Calcaires à Astartes qui a été recherchée, nappe dont la productivité semble ici considérablement accrue par les ouvertures qui l'affectent au droit d'une zone fracturée favorisant la circulation de ses eaux.

- Aquifère des Calcaires antérieurs au Kimméridgien

Les formations « rauraciennes », tectonisées et aussi très karstifiées, recèlent plusieurs niveaux aquifères dont la base est tenue par les termes marno-calcaires du Bathonien.

Elles sont à l'origine des émergences captées au niveau de Druyes Les Belles Fontaines dont la nature karstique a été mise en évidence au moyen de multiples expériences de traçage des eaux réalisées dans la région.

Les aquifères des calcaires du Portlandien et des calcaires du Kimméridgien-Oxfordien sont nettement séparés par l'écran des calcaires et marnes à *Exogyra virgula*, dont l'épaisseur atteint ici une centaine de mètres. On peut en revanche s'interroger sur la séparation entre aquifère du Kimméridgien-Oxfordien et aquifère du Jurassique moyen, dans la mesure où le niveau marneux qui devrait les séparer est épais de moins de 10 m, ce qui est complètement insuffisant pour assurer un écran imperméable, surtout dans un contexte où des failles de plusieurs dizaines de mètres de rejet sont identifiées.

Les venues d'eau recoupées par le forage correspondent au calcaire à Astartes du Kimméridgien inférieur. Il s'agit de circulations fissurales. Les débits disponibles dépendent donc étroitement de la

densité de fracturation, de l'ouverture des fissures, et de la présence ou non d'un colmatage de ces dernières.

Il n'existe aucune donnée sur la vitesse de circulation de l'eau dans l'aquifère et sur son débit d'alimentation. L'augmentation des prélèvements se traduira certainement par une baisse du niveau piézométrique dont l'importance est quasi impossible à évaluer aujourd'hui.

6.2.4 – Piézométrie

La piézométrie de la nappe sollicitée n'est pas connue faute d'ouvrages en nombre suffisant sur le secteur.

A sa réalisation en janvier 1994, le forage F1 était artésien avec une charge de 13 m au-dessus du sol, soit une cote piézométrique de 237 m environ. Depuis sa mise en exploitation, le niveau piézométrique montre une baisse marquée, et il n'est plus artésien que par intermittence.

D'après les relevés réalisés sur le forage F1 depuis janvier 2010 (les mesures antérieures sont inexploitable), la cote piézométrique fluctue entre 213 m et plus de 227 m. La cote maximale n'est pas connue, car jusque début 2015, lorsque le forage devenait artésien, la sonde ne fonctionnait plus.

A la date des pompages d'essai (juin 2013), le forage F2 était artésien, avec une charge au dessus du sol de 5,0 m (cote piézométrique 228,7 m NGF).

Des relevés piézométriques ont ensuite été réalisés par le cabinet TERRE entre octobre 2014 et mars 2015 sur différents ouvrages de la région, censés capter la même nappe que le forage de Leugny. Les points suivis sont situés à Saints, Vessy-Mézilles, Parly et Courson-Les-Carières.

Les caractéristiques des ouvrages utilisés sont données dans le tableau ci-dessous.

	F2 Parly	Saints	Vessy-Mezilles	Courson les carrières	Leugny F2
N° BSS	04026X0161	04341X0051	04334X0007	04348X0037	04342X0038
Coordonnées géomètre (lambert 93)	X = 726340,2 Y = 6740359.5	X = 718738.8 Y = 6725552.5	X = 715967.1 Y = 6729527.6	X = 739373.9 Y = 6720328	X = 728591 Y = 6731090.3
Haut de l'ouvrage mesuré par le géomètre (m NGF)	19 107	22 887	21 894	18 995	224,56

Profondeur de l'ouvrage en m	331	231	212	45	162
Aquifère capté	Aquifère des Calcaires du lusitanien	Aquifère des Calcaires du Kimméridgien	Aquifère des Calcaires du portlandien	Aquifère des calcaires de l'Oxfordien	Aquifère des calcaires du Kimméridgien

Tableau 6: principaux éléments d'identification et de localisation des ouvrages de captages étudiés.

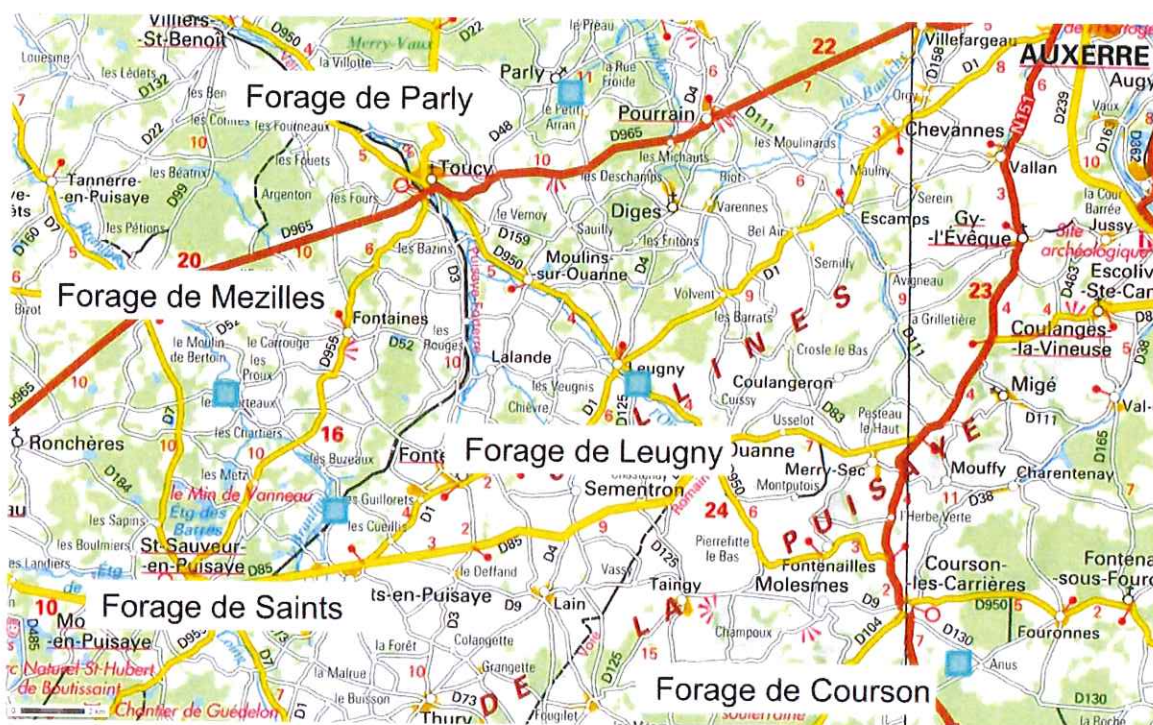


Figure 28 : localisation des forages de suivi.

La tournée de mesures la plus intéressante est celle du 12/12/2014, car à cette date, toutes les mesures ont pu être réalisées, et elles ne sont pas influencées par les tests de production sur Leugny et Parly. Les ouvrages de Saints, Vessy-Mézilles et Courson-Les-Carières présentent des cotes plus basses que celles de Leugny et Parly, en particulier Courson-Les-Carières, ce qui interroge sur leur représentativité. Pour Vessy-Mézilles, cela s'explique aisément car il s'adresse au Portlandien et non au Kimméridgien. Par ailleurs, il n'est pas précisé si les mesures de Leugny sont réalisées F1 étant au repos ou en fonctionnement. Les variations dues aux pompages sur F1 étant de 2 m, on peut estimer que, en décembre 2014, le niveau au repos de la nappe à Leugny se situe entre 224,3 et 226,3 m NGF. Si l'on s'en tient aux mesures fournies pour Parly et Leugny, on notera que le gradient entre ces deux points est voisin de zéro (au maximum 1,1 m pour une distance de 9,6 km, soit un gradient de 0,1 ‰). Cette indication fait supposer un écoulement de la nappe quasiment nul. Il s'agit donc d'une nappe dont le débit d'alimentation est faible, et qui peut facilement être sujette à des problèmes de surexploitation.

Les évolutions de niveau à Parly et Leugny sont parfaitement comparables, et les cotes piézométriques sont quasi identiques sur les deux points. L'amplitude de variations mesurées à Parly sur le second semestre 2015 est de 2,5 m. Par analogie avec le forage de Leugny, on peut envisager à Parly des fluctuations interannuelles d'au moins une quinzaine de mètres.

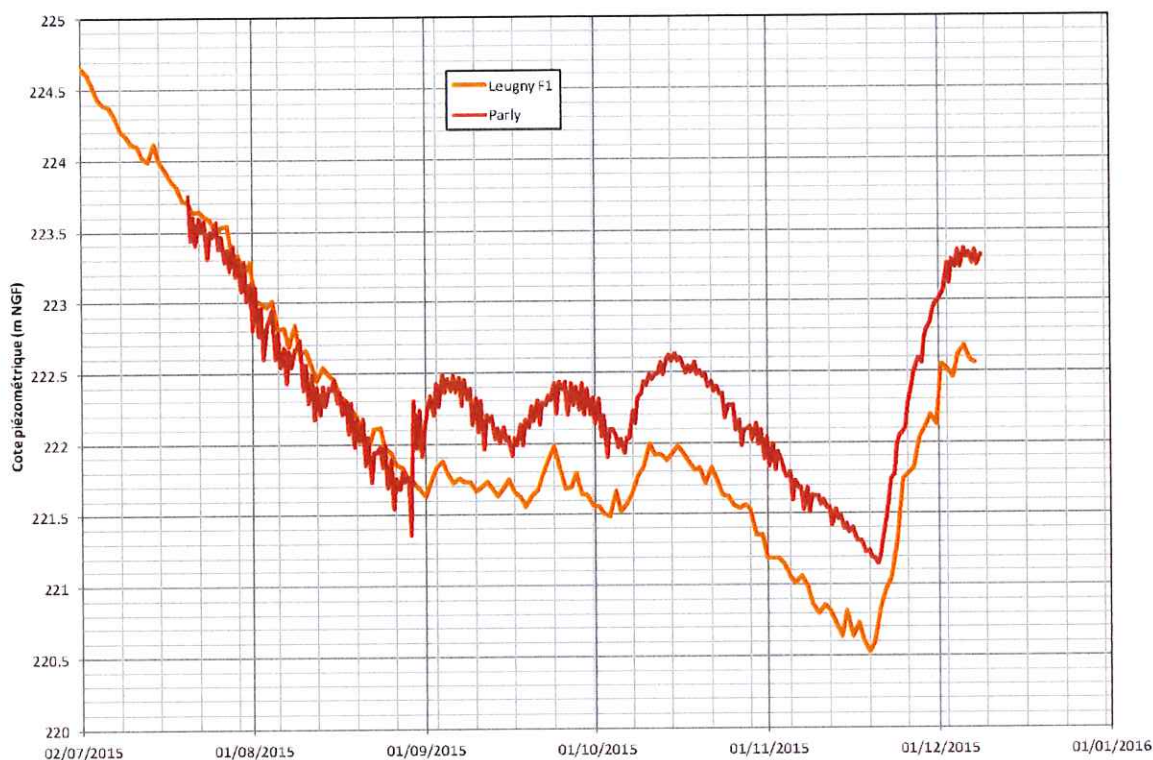


Figure 29 : comparaison des cotes piézométriques à Parly et Leugny.

La cote des zones d'alimentation est comprise entre 240 et 290 m d'altitude.

6.2.5 – Détermination de l'aire d'alimentation

La circulation des eaux souterraines se fait essentiellement dans le sens d'enfouissement des formations suivant une direction approximativement sud-nord.

L'impluvium est constitué des formations affleurant au sud. L'ensemble des formations carbonatées constitue une seule et même unité hydraulique.

L'éloignement et l'important temps de transport font qu'en cas de pollution dans ces zones géographiques, les polluants seront "digérés" par les terrains traversés.

Une petite partie des apports peut provenir d'infiltrations conduites par la fracturation. Les failles découpent des panneaux, et orientent les écoulements. Ces failles nord-sud sont entrecoupées d'autres de direction sud-ouest à nord-est. On peut considérer que l'écoulement principal est de direction sud-nord, mais qu'au contact des failles SW/NE, localement l'écoulement s'oriente dans cette direction.

On observe que les forages F1 et F2 de Parly et Leugny sont sur un même panneau bordé par des failles de direction nord-sud, et qu'ils présentent une piézométrie similaire.

Peut-on considérer que ces failles NS, bien qu'ouvertes isolent partiellement ce panneau de la nappe, expliquant l'absence d'impact des extractions d'eau sur le niveau piézométriques des forages géographiquement hors du panneau ?

6.2.6 – Datation

Une datation de l'eau a été tentée sur un échantillon du 19/06/2013 à l'aide d'une analyse isotopique carbone 13 et carbone 14. Le laboratoire indique un âge apparent de 2700 à 4800 ans d'après le carbone 14, mais souligne une incohérence avec le résultat obtenu sur le carbone 13, qui indiquerait un âge plus jeune, ou un mélange d'une eau jeune et d'une eau ancienne. L'âge obtenu paraît élevé au regard de la distance limitée entre le forage et sa zone d'alimentation, et compte tenu du fait que F1 est exploité depuis une vingtaine d'années, ce qui contribue à accélérer le renouvellement de l'eau. Si l'on admet que l'alimentation de l'aquifère se fait à une distance de 6 km environ, la vitesse de circulation de l'eau serait d'après cette datation de 1 à 2 m par an seulement.

La méthode C13-C14 est peu adapté aux réservoirs carbonatés, dans lesquels les échanges avec le carbone fossile de la matrice rocheuse sont possibles et contribuent à augmenter l'âge apparent de l'eau. A noter que l'analyse tritium réalisée dans le cadre de l'analyse réglementaire ne peut être utilisée pour une datation, car son seuil de détection est trop élevé.

Une nouvelle datation par la méthode CFC-SF6 a été réalisée sur un échantillon prélevé le 4 février 2015. Cette analyse révèle la présence de trois traceurs, à des teneurs faibles, proches de la limite de détection pour deux d'entre eux. Selon le modèle d'écoulement dans la nappe pris en compte, il s'agit soit d'une eau d'un âge compris entre 55 et plus de 300 ans, soit d'une eau ancienne comportant une proportion de 5 à 10 % d'eau récente. Dans tous les cas, cela souligne une vitesse de renouvellement faible dans la nappe, et une alimentation probablement limitée.

6.3 – Résultats des pompages d'essai

Le programme d'essai prévu par le cahier des charges du chantier de forage prévoyait :

- 5 paliers de 2 heures, espacés par des remontées de durée équivalente ;
- Un pompage de longue durée à débit constant de 72 heures, suivi de 24 heures de remontée.

Le programme effectivement réalisé en juin 2013 comporte 6 paliers d'une durée de 35 à 80 minutes, d'un débit compris entre 39 et 292 m³/h, séparés par des remontées de 35 à 100 minutes (14 heures entre les 5ème et 6ème paliers). Les trois premiers paliers ont été réalisés en écoulement artésien (débit maximum 120 m³/h). La colonne de mesure des niveaux n'était pas positionnée directement sur la tête, mais sur le piquage latéral, à l'aval d'une vanne de garde et d'une réduction, ce qui réduit significativement la fiabilité des mesures. Lors du pompage de longue

durée, les mesures de niveau sur F2 n'ont pas été réalisées pendant les nuits. A l'arrêt du pompage, la remontée n'a été suivie que pendant 3 heures.

La vérification de la sonde de niveau présente sur F1 n'a pas été réalisée avant le démarrage des essais. Le maître d'œuvre n'a constaté qu'après coup que les mesures étaient incomplètes (absence de mesure au-delà d'une certaine cote, présumé être la cote d'artésianisme). Le calage de cette sonde n'a pas été réalisé. De ce fait, les enregistrements disponibles sur F1 sont inexploitable.

Les interprétations des essais fournies par le maître d'œuvre sont excessivement succinctes. Les pompages par palier indiquent un débit spécifique compris entre 46 et 15 m³/h/m. Les pertes de charges quadratiques sont très largement prédominantes par rapport aux pertes de charges linéaires, ce qui est lié à l'écoulement turbulent dans les fissures du terrain aux alentours du forage. La courbe caractéristique ne montre pas de point d'inflexion pouvant être interprété comme un débit maximum d'exploitation.

Une réinterprétation plus poussée de l'essai longue durée de juin 2013 apporte les éléments suivants :

- Pendant le pompage de F2, la pompe de F1 a continué de fonctionner. La durée des créneaux de fonctionnement varie entre 1h10 et 1h50 (moyenne 1h20), celle des phases de repos varie entre 0h30 et 0h45 (moyenne 0h30). Lors des pompages sur F1, les niveaux de F2 subissent une influence pouvant atteindre 80 cm ;
- La transmissivité calculée par les méthodes de Jacob ou de Theis est de $1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
- En l'absence de mesures fiables sur F1, il n'est pas possible de calculer le coefficient d'emmagasinement ;
- A partir de 35 à 40 heures de pompage sur F2, malgré l'influence de F1, on discerne sur le graphique semi-logarithmique un accroissement des rabattements pouvant évoquer un effet de limite étanche. Il pourrait également s'agir d'une réduction de transmissivité des terrains. Si l'on admet un emmagasinement de $1 \cdot 10^{-5}$ à $1 \cdot 10^{-4}$ (cohérent avec le contexte de nappe captive), cette ou ces discontinuités seraient situées à une distance de plusieurs kilomètres des forages.
- La durée de la remontée est trop courte pour apporter des informations fiables, surtout compte tenu de l'influence de F1.

La sonde de pression placée sur F2 lors du test de février-mars 2015 semble ne pas avoir enregistré les variations de niveau de nappe pendant la majeure partie du test. Ce test ne peut donc être utilisé pour vérifier la valeur de la transmissivité.

7 – VULNÉRABILITÉ DE L'AQUIFÈRE ET INVENTAIRE DES ACTIVITÉS ET REJETS DANGEREUX

7.1 – Vulnérabilité intrinsèque

Compte tenu du caractère captif de la nappe et de sa bonne protection par les couches marno-calcaires du Kimméridgien moyen et supérieur et du Crétacé inférieur, l'aquifère présente une vulnérabilité intrinsèque faible. En atteste, l'absence de nitrates et pesticides malgré un territoire rural largement dédié à l'agriculture intensive. Les nappes libres sont fortement marquées par cette activité avec des teneurs en nitrates souvent élevées et la présence significatives de produits phytosanitaires.

Par ailleurs, malgré la présence plus au Sud des formations aquifères à l'affleurement, les temps de transferts et le caractère captif de la nappe au droit du forage permettent de lutter naturellement contre les pollutions.

Pour les nitrates, les conditions anaérobies du milieu conduisent à une dénitrification.

Pour les autres polluants, les transferts longs favorisent des processus tels que la détoxification, la fixation, la bio dégradation, la solubilisation...

7.2 – Inventaire des activités à risques

Le caractère captif de la nappe la protège efficacement des activités polluantes et potentiellement polluantes présentes sur le territoire étudié. Pour les nappes non captives sur le secteur, la principale source de pollution locale est l'activité agricole avec l'utilisation de fertilisants et de produits phytosanitaires. L'usage non professionnel de ces substances (collectivités, particuliers...) peut également impacter fortement les masses d'eaux souterraines.

Néanmoins, malgré son caractère captif la nappe reste vulnérable à toute pollution engendrée par des forages profonds pouvant conduire à une dégradation de la ressource par :

- Le mélange de différentes nappes ;
- Pollution accidentelle lors des travaux.
- ...

De plus, outre le risque de dégradation de la qualité de la ressource tout nouveau forage peut induire un risque de surexploitation de la nappe si les volumes envisagés ne sont pas contrôlés.

Les préconisations de l'hydrogéologue dans son avis vont dans le sens d'une gestion de ces risques avec la réglementation des forages en périmètre de protection éloignée (cf pièce n°8).

8 – DÉLIMITATION DES PÉRIMÈTRES DE PROTECTION

Deux périmètres de protection ont été définis autour du forage de Leugny par M. SONCOURT, hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique pour le département de l'Yonne, dans son rapport janvier 2016. Il définit dans ce document un périmètre de protection immédiate et un périmètre de protection éloignée. L'intégralité de ce document figure dans la pièce n° 8 du dossier d'enquête publique.

Les prescriptions relatives à ces périmètres sont énoncées dans le projet de servitudes rédigé par l'ARS (pièce n°5) et dans l'avis de l'hydrogéologue agréé (pièce n°8).

Les caractéristiques des parcelles et le nom des propriétaires concernés se trouvent dans le document parcellaire (pièce n°10). En, l'absence de périmètre de protection rapprochée, ce document ne concerne que le périmètre de protection immédiate.

Ces périmètres ont été établis sur la base d'un débit d'exploitation horaire de 150 m³/h.

8.1 – Périmètre de protection immédiate

La réglementation impose que le captage soit protégé par un périmètre de protection immédiate. Ce périmètre doit être acquis en toute propriété par le Syndicat comme l'exige la loi (Code de la santé publique, article L-1321-2). Toute activité est interdite hormis l'entretien de l'ouvrage et de ses abords.

Dans son avis, M. SONCOURT définit le périmètre de protection immédiate de la façon suivante :

« Le périmètre de protection immédiate (PPI) a pour objet de protéger le forage contre tout accident, acte de malveillance ou vandalisme. Il est délimité de manière à englober le forage, en ayant en tout point une distance minimale de 10 m entre la limite du périmètre et la tête de puits. Il occupera la pointe Sud de la parcelle ZK 22. La limite Nord du PPI passera à au moins 10 m du forage F2.

La périmètre de protection immédiate instauré en 1997 autour de F1 reste valable.

Conformément à la réglementation, le périmètre de protection immédiate devra être clos sur toute sa périphérie. Il sera acquis en pleine propriété par la collectivité.

Ne pourront y être exercées que les activités directement nécessaires à l'exploitation, à la protection et au traitement de la ressource. Il sera maintenu en herbe. Une plate-forme stabilisée peut être aménagée à coté du forage pour faciliter l'accès des engins de chantier nécessaires à son entretien. La présence d'arbres de faible développement peut être tolérée, pour autant qu'elle n'empêche pas l'accès au forage pour les opérations d'entretien (changement de pompe par exemple).

Tout apport de fertilisants ou produits phytosanitaires, et tout pacage d'animaux est exclu.

L'herbe devra être fauchée régulièrement, et les produits de fauche évacués de la parcelle.»

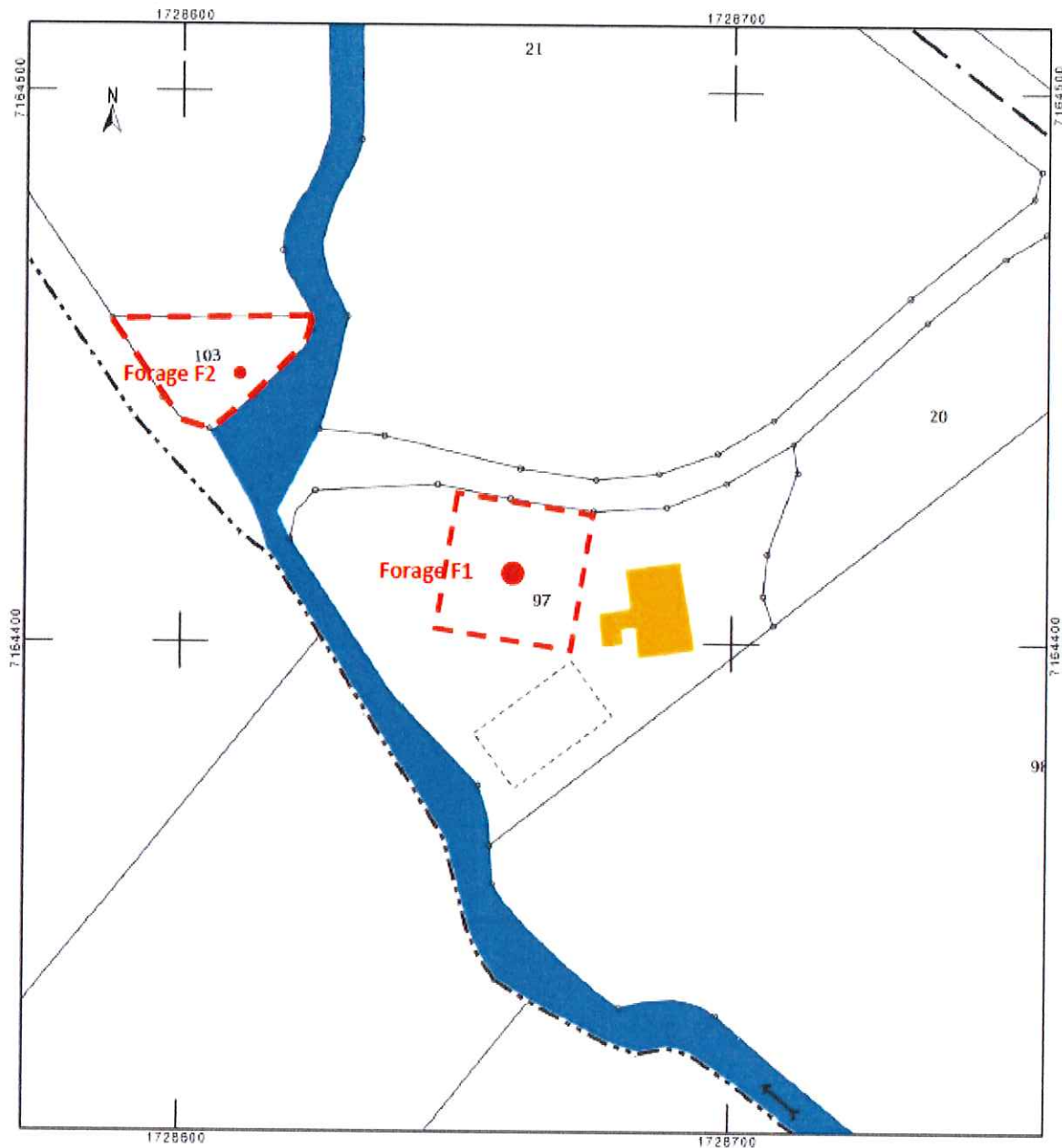


Figure 30 : limites du PPI proposées par M. SONCOURT sur le forage F2, et rappel du PPI du forage F1.

8.2 – Périmètre de protection rapprochée

Compte tenu du caractère captif de la nappe et de sa bonne protection par les couches marnocalcaires du Kimméridgien moyen et supérieur et du Crétacé inférieur, il n'est pas proposé de périmètre de protection rapprochée.

Le périmètre de protection rapprochée instauré en 1997 autour de F1 reprenait des servitudes classiquement associées aux forages en nappe libre, ayant un objectif de protection contre des

déversements accidentels à proximité du captage, susceptibles de contaminer la nappe. Ces servitudes sont ainsi non adaptées pour une nappe captive, le périmètre n'a donc pas lieu d'être et pourra être abrogé.

8.3 – Périmètre de protection éloignée

D'une manière générale ce périmètre a pour rôle la préservation globale de la qualité de la nappe en amont des captages. Toutefois, les activités, installations et dépôts qui présentent un danger de pollution pour les eaux prélevées ou transportées, peuvent être réglementés.

Dans son avis, M. SONCOURT définit le périmètre de protection éloignée de la façon suivante :

« Il est proposé la définition d'un périmètre de protection éloignée ayant pour but :

- La protection de la nappe contre des contaminations qui pourraient s'y introduire par le biais d'autres forages ;
- La protection de la nappe contre tout risque de surexploitation.

Ce périmètre concerne les deux ouvrages F1 et F2.

Compte tenu du gradient quasiment nul, et en l'absence d'autres informations sur le sens des circulations souterraines, le périmètre de protection éloignée aura sensiblement la forme d'un cercle de 7 km de rayon, centré sur les forages. Le tracé du périmètre est ajusté sur des limites tangibles (routes, chemins, limites communales, cours d'eau,...) en suivant au plus près le cercle théorique. Dans quelques rares cas, en l'absence de ligne tangible, la limite relie en ligne droite deux points remarquables. Ce périmètre remonte jusqu'aux premiers affleurements du calcaire à Astartes au voisinage de Lain et Taingy.

A l'intérieur de ce périmètre, les travaux de forages seront réglementés :

- Tout projet de forage de plus de 30 m de profondeur atteignant les terrains du Kimméridgien inférieur, moyen ou supérieur sera soumis à l'avis de l'ARS, qui vérifiera que toutes les précautions nécessaires sont prises pour éviter une contamination de la nappe pendant ou après le chantier de forage ;
- Tout projet de forage d'exploitation d'eau s'adressant aux calcaires du Kimméridgien inférieur, de l'Oxfordien, du Callovien, du Bathonien et du Bajocien devra faire la démonstration qu'il ne risque pas d'entraîner une surexploitation de la nappe. A noter que les niveaux ci-dessus sont parfois également appelés Séquanien, Rauracien, Argovien, Dogger ou Lusitanien, sans compter les multiples appellations de faciès (calcaire à Astartes, calcaire de Tonnerre, ...). »



Figure 31 : limites du PPE proposées par M. SONCOURT.

9 – COMPATIBILITÉ DU PROJET AVEC LES DOCUMENTS D'URBANISME

La commune de Leugny est concernée par le Plan Local d'Urbanisme intercommunal (PLUi) de la communauté de communes du Toucycois.

Au sein des périmètres de protection immédiate et éloignée, l'hydrogéologue agréé n'impose pas de réglementation qui ne soit compatible avec ce document.

ANNEXES