

2.9 – USAGES DE L’EAU

2.9.1 – Eau potable

Sur la zone d'étude très peu d'ouvrages atteignent la nappe exploitée par le forage de Leugny. Ces ouvrages ont été présentés dans le chapitre relatif à la piézométrie. Il s'agit des forages de Saints, Vessy-Mézilles et Parly.

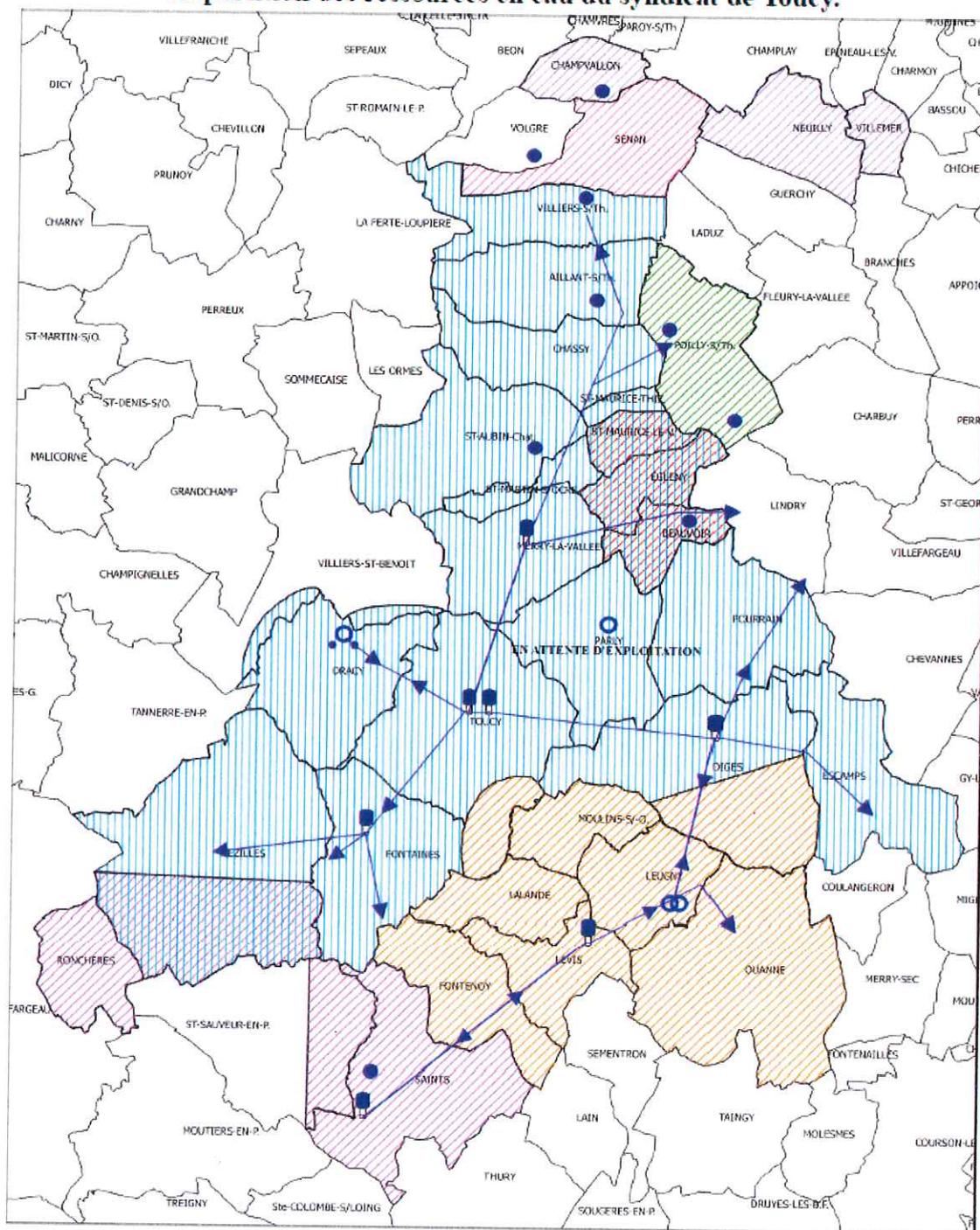
Parmi ces ouvrages seuls celui de Parly est exploité en vue de l'alimentation des populations en eau potable. Le forage est également exploité par la fédération des Eaux de Puisaye-Forterre. Le forage de Leugny alimente à la fois le secteur de Forterre dont il est quasiment la seule source d'approvisionnement, et celui de Toucy.

Le secteur de Forterre compte 14 communes : Andryes, Chastenay-Moulin-Mignon-Vrilly (commune d'Ouane), Coulangeron, Courson-Les-Carières, Druyes, Fontenailles, Lain, Le Deffand (commune de Saints en Puisaye), Merry-Sec, Molesmes, Mouffy, Sementron, Sougères en Puisaye, Taingy. La commune de Charentenay a rejoint le SIAEP en avril 2014. Il regroupe 3 787 habitants desservis (chiffres extraits du rapport annuel 2014). Ce syndicat est adhérent à la Fédération des eaux Puisaye-Forterre depuis le 01/01/1975.

Concernant le secteur de Toucy, le forage de Leugny permet de l'alimenter partiellement. L'eau pompée permet de fournir les communes de Fontenoy, Lalande, Levis, Leugny, Ouane, Moulin-Sur-Ouane, et Diges, Fontaines et en partie Toucy.

RÉGIE DES EAUX PUISAYE-FORTERRE

Répartition des ressources en eau du syndicat de Toucy.



Légende

Utilisation des sources et des forages au travers des couleurs

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Source Beauvoir |  Source Saints |
|  Source Champvallou |  Source Volgré |
|  Source Dracy |  Forage |
|  Source Leugny |  Source |
|  Source Poilly |  Réservoir |

Figure 26 : zones desservies par les différents captages du syndicat de Toucy.

Plusieurs captages exploitant les nappes libres sont présents à proximité de l'ouvrage. Le captage de la source du château est situé à 600 m au Nord-Ouest, dans le bourg de Leugny, et le captage du Moulin Mignon est situé au Sud-Est près du bourg d'Ouane. Les eaux captées sont issues de la nappe contenue dans les calcaires portlandiens ; elles montrent une dégradation de leur qualité due à la présence de nitrates et pesticides.

2.9.2 – Eau industrielle

Aucun ouvrage n'exploite la nappe captive sollicitée à Leugny à des fins industrielles.

2.9.3 – Eau domestique

Aucun ouvrage domestique ne sollicite la nappe captée par le forage de Leugny.

3.- ANALYSE DES EFFETS TEMPORAIRES OU PERMANENTS

3.1 – EFFETS SUR L’HYDROGÉOLOGIE ET L’HYDROGRAPHIE

3.1.1 – Impact des prélèvements sur les ouvrages du secteur

Comme indiqué dans les paragraphes qui précèdent, seuls quelques ouvrages atteignent la nappe captive sollicitée par le forage de Leugny et seul celui de Parly est utilisé.

Lors des essais de pompage menés sur le forage de Leugny, l’impact du prélèvement a été suivi sur le forage de Parly. Toutefois les résultats obtenus n’ont permis de mettre en évidence aucune influence d’un forage sur l’autre. Le forage F1 de Leugny a également été suivi durant ces essais de pompage, mais encore une fois aucune influence du pompage sur F2 n’a pu être mise en évidence

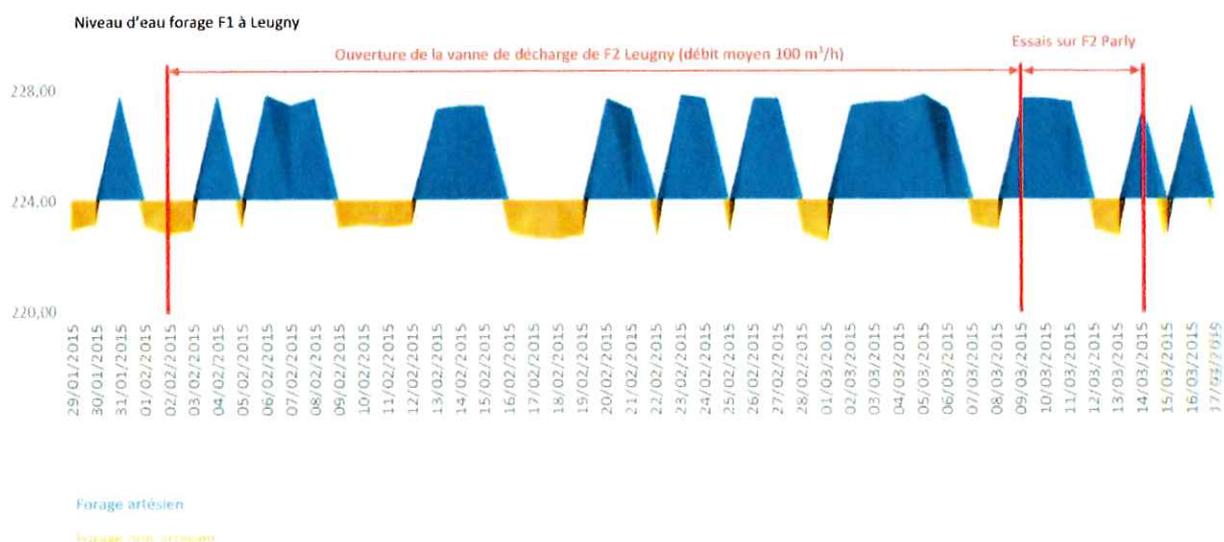


Figure 27: niveau d'eau dans le forage F1 de Leugny durant l'essai de pompage sur le forage F2 – Source rapport TERRE.

Le gradient entre les captages de Leugny et Parly 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.

Une augmentation importante des prélèvements dans ce milieu pourrait entraîner un appauvrissement de la ressource, et une forte baisse du débit d’artésianisme, voire sa disparition.

Pour les ouvrages sollicitant les nappes plus superficielles, les prélèvements effectués à Leugny n’auront aucun impact. Cela s’explique par la protection naturelle offerte par le recouvrement des marnes du Kimméridgien moyen et supérieur et par les argiles du Crétacé inférieur. Ces niveaux isolent la nappe captive de l’influence des prélèvements dans les nappes de surface.

3.1.2 – Incidence sur les débits des cours d'eau

La profondeur de la nappe et son isolement interdisent toute relation avec le réseau hydrographique. Les prélèvements n'ont aucun impact sur le débit des cours d'eau.

3.1.3 – Incidence sur la qualité de l'eau

Qualité des eaux de la nappe des calcaires de l'Oxfordien et de la partie basale des calcaires à astartes du Kimméridgien inférieur :

Les prélèvements d'eau n'affectent pas la qualité de la nappe captive. Par ailleurs, la mise en place des périmètres de protection va dans le sens d'une préservation de sa qualité. La bonne conception du forage interdit toute dégradation de la ressource par intrusion des eaux de surface dans l'ouvrage.

Qualité des eaux de superficielles :

En l'absence de relation entre les cours d'eau et la nappe captive, les prélèvements d'eau issus du forage n'ont aucun impact sur la qualité des eaux superficielles.

3.2 – EFFETS SUR LES ACTIVITÉS INDUSTRIELLES ET LES SITES POLLUÉS

En raison de l'isolement de la nappe captée avec la surface, l'exploitation du forage n'a pas d'impact sur les activités industrielles et les sites pollués présents sur le secteur.

3.3 – EFFETS SUR LA FAUNE ET LA FLORE

Hormis l'emprise au sol de l'ouvrage et des bâtiments attenants (traitement), la protection immédiate des prélèvements dans la nappe n'a aucune incidence sur le milieu naturel.

3.4.1 - Bruit

Seul le fonctionnement des pompes peut entraîner un bruit dans le cadre des prélèvements d'eau, mais ceux-ci restent cantonnés à l'intérieur de l'abri métallique et de la station de traitement.

3.4.2 - Odeurs

Non concerné.

3.4.3 - Poussières

Non concerné.

3.4 – AUTRES THÈMES

3.4.1 – Gaz à effet de serre

Les différents équipements électromécaniques de la station de pompage (pompe, vannes...) sont alimentés en électricité via le réseau moyenne tension. En liaison avec les prélèvements, aucun gaz à effet de serre n'est dégagé dans l'atmosphère.

3.4.2 – Climat

Non concerné.

3.4.3 – Risques technologique

Non concerné.

3.4.4 – Santé, salubrité, sécurité humaine

Les prélèvements n'entraînent pas de dangers pour la santé, la salubrité et la sécurité humaine.

3.4.5 – Accès

Le captage de Leugny se trouve en bordure d'un chemin communal. L'accès peut être limité en cas de débordement de l'Ouagne.

3.5 – ANALYSE DES EFFETS CUMULÉS

Cette partie consiste à effectuer une analyse des effets cumulés du captage avec d'autres projets du secteur qui ont fait l'objet d'une étude d'incidence ou d'impact soumise à enquête publique.

Compte tenu de l'isolement de la nappe vis-à-vis des activités de surface aucun impact cumulé n'est à envisager. Le seul impact envisageable est une influence du pompage sur celui de Parly. L'influence des 2 ouvrages l'un sur l'autre est présentée dans le chapitre 2.3.4 – Piézométrie. En l'état actuel des connaissances, aucune influence d'un captage sur l'autre n'a pu être mise en évidence. Cependant, 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. Une augmentation importante des prélèvements dans ce milieu pourrait entraîner un appauvrissement de la ressource, et une forte baisse du débit d'artésianisme, voire sa disparition.

3.6 – 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 pas compatible avec ce document.

4. – MESURES COMPENSATOIRES ET SOLUTIONS DE SUBSTITUTION

4.1 – MESURES COMPENSATOIRES

Aucune mesure compensatoire n'est envisagée au regard du faible impact des prélèvements et des installations sur l'environnement.

4.2 – SOLUTIONS DE SUBSTITUTION

Les communes du secteur de Toucy qui sont alimentées en eau potable par le captage de Leugny peuvent également être alimentées par les captages de Dracy et Parly. Concernant le secteur de Forterre, aucun captage de débit suffisant n'est raccordé au réseau et actuellement utilisable.

ANNEXE



PLATEFORME CONDAtE Eau
OSUR
Campus de Beaulieu Bat 15
263 av du général Leclerc
35042 RENNES
osur_data@univ-rennes1.fr

Projet : Société TERRE
Opérateur du prélèvement : Société TERRE
Date de prélèvement :

RAPPORT D'ANALYSE

Echantillon : **Leugny**

Paramètres terrain

pH
Conductivité $\mu\text{S.cm}^{-2}$
O₂ dissous : mg/L
Température : °C

Résultats des analyses :

Composé	SF6*	CFC-12	CFC-11	CFC-113
concentration (pmol/L)	0.0002	0.21	<ld	0.01
Limite de détection (LD)	0.0002	0.07	0.13	0.01
Incertitude de mesure	+/- 0.0004	+/- 0.12	+/- 0.13	+/- 0.03
concentration atmosphérique équivalente (pptv)	0.6	44.8	<ld	2.0
c. atmos. en 2012	8.07	523	236	73
Date de recharge indiquée suivant modèle piston (+/- 3ans)	1977	1962	<1957	1961
remarques	proche ld			proche ld

Température de recharge estimée à 12 °C

INTERPRETATION

Modèle	Résultats (âges moyens +/- 3 ans)
Modèle piston	55 ans
Modèle à recharge continue	>300
Mélange binaire	eau ancienne avec 5 à 10 % d'eau récente

Remarques:

L'estimation de l'âge de l'eau n'est donnée qu'à titre indicatif, il est nécessaire de valider ces informations à partir des connaissances géologique et hydrogéologique disponibles sur le site. Les modèles sont équilibrables, seule la géologie de site ou l'histoire de la qualité de l'eau permet de trancher. Le client reste seul responsable des décisions prises en termes de gestion de la ressource.

Document à accès réservé
Version définitive



Estimation de l'âge des eaux du forage de Leugny (89, Yonne) – Interprétation de l'analyse isotopique

Rapport final

BRGM/RC-62785-FR

Septembre 2013

A. Winkel

89 3740 46 -625 5



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Ce document a été vérifié par : Gourcy Laurence date : 08/10/2013

Approbateur :

Nom : Dörfliger Nathalie

Date : 11/10/2013

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié
par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Mots clés : eaux souterraines, datation, carbone-14, chimie

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

Winckel A. (2013) – Estimation de l'âge des eaux du forage de Leugny (89, Yonne) – Interprétation de l'analyse isotopique. Rapport BRGM/RC-62785-FR, 16 p., 3 fig., 1 ann.

© BRGM, 2013, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le présent rapport concerne les résultats obtenus sur les eaux du forage Leugny situé dans l'Yonne (89), ouvrage captant les calcaires du Kimméridgien inférieur.

Il a pour objectif de déterminer l'âge des eaux présentes au sein de ce forage. Un échantillon d'eaux a été prélevé par la Société TERRE le 19 juin 2013 sur lequel la composition en carbone-13 et en carbone-14 a été déterminée.

Ce rapport présente en première partie un bref rappel sur l'utilisation des différents traceurs isotopiques en hydrogéologie, avec un focus sur l'utilisation du carbone qui nous intéresse ici. Après une présentation des résultats obtenus, ceux-ci sont interprétés.

L'eau présente au sein du forage de Leugny aurait d'après les résultats en carbone-14 un « âge apparent compris entre 2 700 et 4 800 ans. Cette information, confrontée avec l'interprétation des analyses chimiques, témoigne d'une acquisition de la minéralisation qui confirme un temps de séjour assez long au sein de l'aquifère. Les résultats de l'analyse en carbone-13 quant à eux semblent indiquer que les eaux sont plus jeunes ou qu'elles subissent un phénomène de dilution avec des eaux plus récentes. Seule l'utilisation d'outils adaptés (tritium et/ou CFC/SF6) permettrait de trancher sur ce point.

Sommaire

1. Outils utilisés.....	5
1.1. QUE SONT LES ISOTOPES.....	5
1.2. ETUDE PAR LE CARBONE-14.....	5
1.2.1. Production du radiocarbone.....	5
1.2.2. Principes de la méthode.....	5
1.2.3. Unités utilisées.....	6
2. Résultats.....	8
3. Interprétation des résultats.....	9
3.1. ORIGINE DE L'EAU ET DE LA MINERALISATION.....	9
3.2. AGE DES EAUX.....	9
3.2.1. Etude des teneurs en ¹³ C du CITD.....	9
3.2.2. Estimation de l'âge des eaux par l'activité carbone-14.....	10
3.2.3. Discussion des résultats.....	11
4. Conclusion.....	12
5. Bibliographie.....	13

Liste des figures et/ou tableaux

Illustration 1 - Résultats des analyses isotopiques.....	8
Illustration 2 - Résultats d'analyses chimiques du forage de Leugny (fournis par la Société Terre).	9
Illustration 3 : Tableau de résultats des âges calculés avec les modèles de Pearson, Fontes et Garnier et Evans.....	11

Liste des annexes

Annexe 1 : Présentation des modèles de correction de l'activité initiale pour le calcul de l'âge par le carbone-14.....	14
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

1. Outils utilisés

1.1. QUE SONT LES ISOTOPES

Un élément chimique se définit par sa charge nucléaire, c'est-à-dire son nombre de protons. Les noyaux atomiques renferment des neutrons, en nombre variable, mais généralement proche du nombre de protons. La somme des neutrons et des protons constitue la masse atomique. Les *isotopes* d'un élément se définissent par un même nombre de protons, mais par un nombre différent de neutrons, donc par une masse atomique distincte.

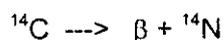
Ainsi les éléments chimiques comprennent des atomes de masse différente appelés isotopes. Les eaux naturelles composées essentiellement d'hydrogène et d'oxygène banals ^1H et ^{16}O contiennent toujours une infime proportion des autres espèces isotopiques de ces éléments, en particulier le deutérium ^2H , le tritium ^3H et l'oxygène-18 ^{18}O .

La distribution de chacune des espèces dans les différentes parties de l'hydrosphère obéit à des mécanismes bien précis dont la connaissance, grâce à la précision des techniques de mesures par spectrométrie de masse, a permis leur emploi comme traceurs des systèmes hydrologiques et hydrogéologiques. L'utilisation des isotopes constitutifs de la molécule d'eau permet un traçage intime, correspondant réellement à l'objet que l'on veut tracer, dans notre cas l'eau.

1.2. ETUDE PAR LE CARBONE-14

1.2.1. Production du radiocarbone

Le radiocarbone, ^{14}C , se forme dans la haute atmosphère à partir des noyaux d'azote-14. Après oxydation, il est distribué dans le cycle du carbone sous forme de CO_2 , mélangé au CO_2 atmosphérique. Il se désintègre en émettant des rayons β :



Le carbone-14 a été produit lors des essais nucléaires et thermonucléaires. L'évolution des teneurs atmosphériques en ^{14}C est comparable à celle du tritium dans les précipitations.

1.2.2. Principes de la méthode

L'utilisation du carbone-14 comme radiochronomètre est fondée sur l'estimation de la décroissance radioactive par unité de temps.

La loi de décroissance radioactive, exprimée en activité spécifique (désintégration par unité de temps et unité de masse), est donnée par la formule suivante :

$$A = A_0 \times e^{-\lambda t} \text{ où}$$

A_0 : activité à la fermeture du système, activité initiale,

A : activité au bout du temps t ,

t : temps écoulé depuis la fermeture du système (en années),

λ : constante de désintégration radioactive

Soit encore si l'on utilise la période radioactive :

$\lambda = \text{Ln}2/T$ où T est la période radioactive ou temps de demi-vie de l'isotope.

L'âge est alors donné par la formule suivante : $t = T/\text{Ln}2 * (\text{Ln}(A_0/A))$

La période de demi-vie du radiocarbone est de 5730 ± 40 ans (Godwin, 1962). Ce chronomètre permet donc l'estimation de l'âge des eaux depuis l'actuel jusqu'à 40 000 ans (par opposition au tritium dont l'usage est limité à quelques dizaines d'années).

En règle générale, grâce à cette loi de décroissance radioactive, on détermine A_0 avec la teneur en noyaux fils produits dans la réaction de décroissance. Ici ce calcul est impossible ; l'azote-14 radiogénique produit est dilué à l'infini par l'azote atmosphérique et donc de ce fait inaccessible à la mesure. Pour déterminer l'âge par la mesure de l'activité spécifique, il faudra estimer A_0 , l'activité initiale du carbone dissous, dès la fermeture du système vis-à-vis de toute variation des teneurs en ^{14}C autre que la décroissance radioactive (et qui pourrait conduire à une mauvaise estimation de la teneur initiale).

La pénétration du carbone dans les cycles hydrologiques se fait selon 2 voies :

- à la surface des eaux libres (CO_2 dissous),
- par assimilation par les plantes.

L'histoire de ce carbone se poursuit dans le sol et plus en profondeur dans la roche.

Pour calculer l'âge de ce carbone dissous, il faut estimer son activité initiale, c'est-à-dire caractériser les processus géochimiques qui l'ont affecté. Des modèles d'estimation de l'activité initiale A_0 ont été élaborés en introduisant des termes correctifs qui tiennent, suivant les modèles, plus ou moins compte des dilutions chimiques et des échanges isotopiques, liés à d'autres sources de carbone que celle du CO_2 atmosphérique. Ces modèles impliquent notamment la connaissance de la teneur en ^{13}C du carbone dissous mais également une bonne connaissance de la chimie.

La teneur en ^{13}C du CITD (Carbone Inorganique Total Dissous, c'est-à-dire l'ensemble des espèces carbonatées en solution) est utilisée comme indice des échanges isotopiques existant entre les différents réservoirs. Les variations de teneur isotopique sont en effet la conséquence du fractionnement entre les différentes phases et les différents composés échangeant du carbone.

1.2.3. Unités utilisées

Carbone-13

Comme pour les isotopes stables de la molécule d'eau, ^{18}O et ^2H , on utilise la notation δ , exprimée en parts pour mille, $\delta = ((R_{\text{échantillon}}/R_{\text{étalon}}) - 1) \times 1000$, où R est le rapport isotopique.

L'étalon de référence international est le P.D.B. qui est une calcite biogénique, rostre de bélemnitoïde de la *Pee Dee formation* du Crétacé supérieur de Caroline du Nord, USA (Craig, 1957).

Carbone-14

Les résultats sont exprimés en parts pour cent de "Carbone Moderne" (pCM). Le "Carbone Moderne" est censé posséder l'activité spécifique du CO_2 atmosphérique avant qu'elle ne se trouve diluée par suite de l'utilisation massive de combustibles fossiles dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle. L'activité du "Carbone Moderne" est égale à 95% de l'activité au cours de l'année 1950 du standard utilisé (acide oxalique du NBS, *National Bureau of Standards*). Ce facteur est également utilisé dans le calcul de l'âge radiométrique, âge BP (*Before Present*).

Dans le cas d'eaux souterraines, la transcription d'une activité ^{14}C du CITD en "âge des eaux" est complexe. La première difficulté dans le calcul de l'âge du CITD et, par extrapolation, de celui de

l'eau est l'estimation de l'activité initiale A_0 du CITD, base de la décroissance radioactive. Il faut déterminer :

- le type du système géochimique "ouvert" ou "fermé" vis-à-vis du réservoir de carbone mis en solution, puisque celui-ci régit la distribution des espèces carbonatées,
- les formes du carbone minéralisant et leur composition isotopique en ^{13}C et ^{14}C .

De nombreux modèles existent dans la littérature pour estimer l'activité initiale A_0 (Annexe 1).

2. Résultats

Les analyses isotopiques ont été réalisées au laboratoire Beta Analytic (Floride, USA).

Les mesures ^{14}C ont été réalisées par spectrométrie de masse par accélérateur de particules. Pour cette technique 1 litre d'eau suffit puisque le seuil minimal pour réaliser l'analyse est de quelques milligrammes de carbone. Le Carbone Inorganique Total Dissous (CITD) est extrait sous forme de CO_2 dans une ligne de préparation, par acidification de l'eau. Le CO_2 ainsi formé est ensuite converti en graphite polycristallin par réduction par de l'hydrogène en présence de fer à 650°C . Ce graphite est mis en plot pour passage à l'accélérateur de particules, où les différentes masses du carbone sont séparées puis mesurées.

Les résultats sont présentés dans le tableau de l'illustration 1.

Dénomination	Date prélèvement	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ vs PDB	A^{14}C en % Carbone Moderne
Forage de Leugny	19/06/2013	$-17,7 \pm 0,1$	$60,8 \pm 0,2$

Illustration 1 - Résultats des analyses isotopiques

3. Interprétation des résultats

3.1. ORIGINE DE L'EAU ET DE LA MINERALISATION

La composition chimique des eaux est le résultat de processus, notamment l'interaction avec les roches constituant l'aquifère et l'éventuelle activité des micro-organismes se développant dans les conditions souterraines.

Les résultats présentés ci-dessous (Illustration 2) sont issus de l'analyse chimique réalisée par l'Institut Départemental de l'Environnement et d'Analyses d'Auxerre.

Date prélevement	pH	Temp	Conductivité électrique à 25°C	Turbidité	TAC	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	NO3	NH4	NO2	SO4
		(°C)	(µS/cm)	(NFU)	°F	mg/L	mg/L								
24/07/2013	7,6	19	579	0,96	26,2	128	3,1	2,1	1,6	320	8	<0,5	0,01	<0,01	43

■ valeur non mesurée (calculée)

Date prélevement	Al	As	Ba	B	Cd	Cr	Cu	Fe	F	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Zn
	µg/L	µg/L	mg/L	mg/l	µg/L	µg/L	mg/L	µg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L
24/07/2013	<5	<5	0,008	<0,01	<0,5	<2	<0,002	129	0,1	<0,3	2,1	<5	<5	<2	<1	<0,005

Illustration 2 - Résultats d'analyses chimiques du forage de Leugny (fournis par la Société Terre).

Les eaux de ce forage présentent des caractéristiques d'eaux moyennement minéralisées, de faciès bicarbonaté-calcique. Ceci indique que les eaux ont acquis leur minéralisation au sein d'un aquifère carbonaté avec un temps de résidence suffisamment long pour justifier ces caractéristiques.

Des indices d'anthropisation, témoins de la présence d'une eau récente, ne sont pas présents dans cette eau. En effet, les concentrations en chlorures ainsi qu'en nitrates sont peu élevées. Néanmoins, l'absence de ce dernier élément est liée à un phénomène de dénitrification. Les analyses portant sur 283 pesticides et 221 molécules organiques (hors pesticides) montrent leur absence totale. Ceci pourrait suggérer que les eaux sont bien protégées. Néanmoins, ces informations ne permettent pas d'exclure un phénomène de dilution par des eaux jeunes.

L'analyse en tritium réalisée dans les eaux de cet ouvrage en 2013 ne peut néanmoins être utilisée pour confirmer cette observation du fait du seuil de quantification qui est trop élevé.

3.2. AGE DES EAUX

3.2.1. Etude des teneurs en ¹³C du CITD

La minéralisation en carbone dissous d'une eau souterraine s'acquiert dans la plupart des cas par apport de CO₂ atmosphérique et dissolution d'une part du CO₂ d'origine « biologique » appelé biogénique résultant de la minéralisation par des micro-organismes de la matière organique du sol

et d'autre part par dissolution des carbonates du sol et des formations géologiques traversées. Un apport de CO₂ par oxydation de matière organique est également possible dans certains cas.

La teneur en ¹³C du CITD de l'eau échantillonnée au sein de l'aquifère est particulièrement appauvrie (teneur de -17,7 ‰ vs PDB). Cette valeur indique une forte influence du CO₂ biogénique, ce qui n'est pas caractéristique d'une eau « vieille » qui a subi des échanges avec une matrice carbonatée, dont la teneur en carbone-13 est généralement proche de 0.

Différents modèles d'estimation de l'âge des eaux sur la base des données en carbone-13 et carbone-14 existent (cf. annexe 1).

Le modèle de Mook est une approche qui s'intéresse principalement aux interactions entre le CITD et l'atmosphère de la zone de recharge, avec peu de prise en compte des échanges avec la matrice. L'eau s'infiltre à la recharge dans les calcaires (souvent karstifiés) suffisamment rapidement pour que très vite le système devienne fermé par rapport au CO₂ atmosphérique. Ce modèle ne sera pas utilisé dans le cadre de cette étude.

Il en est de même pour le modèle de Vogel qui ne prend pas en compte l'échange isotopique dans l'aquifère lui-même. Il ne sera pas utilisé, ainsi que le modèle de Tamers qui se base sur une dilution chimique qui ne tient pas compte des processus d'échanges isotopiques avec la matrice carbonatée et le CO₂ gazeux.

S'il paraît vraisemblable d'invoquer une participation du carbone minéral "mort" au mélange, après fermeture du système sur la phase gazeuse biogène pour expliquer la dilution de l'activité ¹⁴C du CITD, il faut donc admettre un système fermé, et que le CITD soit d'origine mixte, CO₂ biologique et CO₂ d'origine minérale. Les modèles qui prennent en compte des échanges avec la matrice carbonatée (modèles de Pearson, Fontes et Garnier et Evans) ont été appliqués pour estimer l'âge réel (Illustration 3).

Dans ce type d'aquifère, les paramètres liés à la minéralisation de l'eau en zone de recharge sous une période plus ou moins ancienne sont inconnus. Il faut donc faire des approximations sur les conditions qui président (ou présidaient) à l'acquisition de la teneur en carbone dans l'eau.

3.2.2. Estimation de l'âge des eaux par l'activité carbone-14

Hypothèses utilisées pour l'application des modèles de calcul de l'activité initiale :

- δt, teneur en ¹³C du CITD donnée par l'analyse,
- δc, teneur en ¹³C du carbonate solide prise égale à 0 ‰, valeur d'un carbonate marin (remarque : les résultats pourraient être affinés si l'on avait accès à cette valeur pour l'aquifère concerné dans cette étude),
- Ac, activité ¹⁴C du carbonate solide prise égale à 0 %.

On obtient ainsi pour :

- δg, teneur en ¹³C du gaz du sol prise à -21 ‰ vs PDB, valeur correspondant à un couvert végétal de type plantes à cycle Calvin-Benson (C3), régions tempérées.
- Ag, activité ¹⁴C du CO₂ du sol prise à 100 pCM.

<i>Modèle utilisé</i>	<i>Age calculé (années)</i>
<i>Pearson</i>	<i>2703</i>
<i>Fontes et Garnier</i>	<i>4809</i>
<i>Evans</i>	<i>2664</i>

Illustration 3 : Tableau de résultats des âges calculés avec les modèles de Pearson, Fontes et Garnier et Evans

3.2.3. Discussion des résultats

Les fourchettes d'estimation de ces âges présentées par les différents modèles de correction confirment indiquent, sur la base de la teneur en carbone-14 que les eaux du forage de Leugny auraient un « âge apparent » compris entre 2 700 et 4 800 ans. Néanmoins, la teneur en carbone-13, particulièrement faible, laisse supposer que ces eaux pourraient être mélangées avec des eaux plus jeunes.

Afin de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse, une analyse en tritium ou en CFC/SF6, avec des seuils de quantification adaptés, serait nécessaire et permettrait de valider cette gamme d'âge obtenue avec le carbone-14.

Si l'existence d'un mélange est avérée avec l'un de ces outils, la mise en œuvre de différents traceurs pourrait aider à définir les parts de mélange en jeu.

En complément, l'analyse de la composition isotopique en isotopes stables (oxygène-18 et deutérium) des eaux du forage pourrait être réalisée. En effet, la composition isotopique des eaux météoriques varie en fonction de paramètres géographiques ou paléogéographiques : latitude, altitude, saison, période climatique (nombreux exemples d'eaux anciennes précipitées sous un climat qui n'a plus cours actuellement). Au cours de l'holocène, de l'actuel à 10 000 ans, le climat a peu évolué (à l'exception du petit âge glaciaire vers le Moyen-Age), les compositions isotopiques sont relativement stables dans les eaux de recharge. En revanche au sein du Pléistocène, le climat était plus froid et donc la composition isotopique marquée par des appauvrissements en visibles. Ainsi, si la composition isotopique des eaux du forage est proche de celle des précipitations atmosphériques actuelles, il sera confirmé que les eaux ont bien des temps de séjour inférieurs à 10 000 ans, ce qui est indiqué par les isotopes du carbone.

4. Conclusion

L'eau présente au sein de l'aquifère a un faciès bicarbonaté calcique avec une minéralisation moyenne. Il s'agit d'une eau souterraine qui a circulé dans des formations calcaires.

D'après la teneur en carbone-14, l'eau présenterait un « âge apparent » compris entre 2 700 et 4 800 ans. Néanmoins, la teneur en carbone-13 semble indiquer un âge plus jeune que celui obtenu par le carbone-14, qui pourrait indiquer l'existence d'un mélange entre une eau ancienne et une eau plus jeune.

L'analyse des teneurs en tritium et/ou en CFC/SF6 permettrait d'écarter ou de confirmer l'existence d'un mélange avec une eau récente. Si un mélange est avéré, d'autres outils pourraient être utilisés pour définir les parts de mélange.

La composition isotopique en isotopes stables de l'eau étudiée, ainsi que celles des eaux des autres aquifères du secteur pourrait également permettre de valider l'hypothèse de la gamme de valeur d'âge proposée.

5. Bibliographie

Evans G.V., Otlet R.L., Downing A., Monkhouse R.A., Rae G. (1979) - Some problems in the interpretation of isotope measurements in United Kingdom aquifers. *In* Isotope Hydrology, 78, vol.II, Vienna, IAEA, 679-708.

Fontes J.Ch., Garnier J.M. (1976) - Correction des activités apparentes en ^{14}C du carbone dissous : estimation de la vitesse des eaux des nappes captives. *In* Réunion annuelle sciences de la terre. Paris, SGF, 77, 4 p.

Fontes J.Ch., Garnier J.M. (1979) - Determination of the initial ^{14}C activity of the total dissolved carbon: a review of the existing models and a new approach. *Water Resources Research* 15, n°2, 399-413.

Garnier J.M., Fontes J.Ch. (1980) - Hydrochimie, géochimie des isotopes du milieu et conditions de circulation dans la nappe captive des sables astiens (Hérault). *Revue BRGM*, 2^{ème} série 3, 199-214.

Ingerson E., Pearson F.J. (1964) - Estimation of age and rate of motion of groundwater by the ^{14}C method. *In* Miyake Y. and Koyama T. eds. Recent researches in the field of hydrosphere, atmosphere and nuclear geochemistry, Tokyo, Maruzen, 263-283.

Mook W.G. (1980) - Carbon-14 in hydrogeological studies. *In* Handbook of Environmental Isotopes Geochemistry, vol.1, Fritz and Fontes eds., Elsevier, 50-74.

Salem O., Visser J.H., Dray M., Gonfiantini R. (1980) - Groundwater flow in patterns in the western Lybian Arab Jamahiriya. *In* Arid-zone hydrology: Investigations with Isotope Techniques. Proceedings of an advising group meeting, Vienna, nov.1978, 165-179.

Tamers M.A. (1967) - Radiocarbon ages of groundwater in an arid zone unconfined aquifer. *In* Isotope Techniques in the Hydrological Cycle, American Geophysical Union Monograph 11, 143-152.

Vogel J.C., Enhalt D. (1963) - The use of carbon isotopes in groundwater studies. *In* Radioisotopes in hydrology, Vienna, IAEA, 383-395.

Annexe 1

Présentation des modèles de correction de l'activité initiale pour le calcul de l'âge par le carbone-14

- **Modèle chimique de Tamers (Tamers, 1967)**

Le principe est basé sur le fait que la mise en solution du carbonate solide par le CO₂ du sol conduit à un carbone dont l'activité en carbone 14 est la moyenne pondérée de celles des deux composants. L'activité ¹⁴C du CITD s'écrit après dissolution et avant tout effet de décroissance :

$$A_o = [(a + 0.5b)A_g + 0.5bA_c]/(a + b)$$

Avec a et b, respectivement concentrations en H₂CO₃ (CO₂ dissous) et en HCO₃⁻ en mole.l⁻¹,

A_g, activité ¹⁴C du gaz carbonique du sol,

A_c, activité ¹⁴C du carbonate solide.

- **Modèle isotopique de Pearson (Ingerson et Pearson, 1964)**

Le principe de la correction est fondé sur une simple équation de mélange entre du carbone gazeux actif (CO₂ du sol) et du carbone minéral mort (carbone de la matrice rocheuse), en tenant compte des teneurs isotopiques. Le bilan s'écrit sous sa forme complète :

$$A_o = [(A_g - A_c)(\delta t - \delta c)/(\delta g - \delta c)] + A_c$$

avec

A_g, activité ¹⁴C du gaz carbonique du sol,

A_c, activité ¹⁴C du carbonate solide,

δt, teneur en ¹³C du CITD,

δc, teneur en ¹³C du carbonate solide,

δg, teneur en ¹³C du CO₂ du sol.

Ces deux précédents modèles correctifs prennent en compte des mélanges simples entre le carbone du sol et le carbone ancien ; ils produisent cependant des valeurs de A_o raisonnables et proches de celles obtenues à partir de modèles plus complexes.

- **Modèle AIEA (Salem et al., 1980)**

Ce modèle consiste à affecter un terme d'échange au modèle de simple mélange de Pearson. Le CITD est alors un mélange entre une fraction de carbonate solide mis en solution et une fraction de carbone équilibré avec le CO₂ du sol, échange complet entre le bicarbonate de la phase liquide et le CO₂ biogénique (système ouvert). En considérant que la présence de CO₂ impose un pH tel que les ions CO₃ sont en quantité négligeable, l'équation est du type :

$$A_o = [(\delta t - \delta c)(A_g - A_c)] / (\delta g - \epsilon g b - \delta c) + A_c$$

avec

Ag, activité ^{14}C du gaz carbonique du sol,

Ac, activité ^{14}C du carbonate solide,

δt , teneur en ^{13}C du CITD,

δc , teneur en ^{13}C du carbonate solide,

δg , teneur en ^{13}C du CO_2 du sol.

ϵ_{gb} est le facteur d'enrichissement entre le CO_2 gazeux et HCO_3^- .

Ce modèle ne met en jeu que l'aspect isotopique des réactions, sans prendre en compte la distribution chimique des espèces. Il aboutit à des valeurs proches de celles livrées par le modèle de système ouvert.

- **Modèle empirique de Vogel (Vogel et Ehhalt, 1963)**

Un inventaire réalisé sur des eaux récentes du sud de l'Allemagne conduit Vogel et Ehhalt à proposer une valeur moyenne **empirique** de $85 \pm 5 \%$ pour la distribution de l'activité initiale A_0 du CITD.

- **Modèle de Mook (Mook et al., 1974 ; Mook, 1980)**

Ce modèle combine un bilan chimique et un bilan isotopique, en admettant qu'une partie du CITD est totalement équilibrée avec le gaz du sol.

La forme générale de l'équation s'écrit :

$$A_0 = A_{0\text{TAMERS}} + K_{\text{MOOK}}$$

$$\text{avec } K_{\text{MOOK}} = [0.5(\text{Ag}-\text{Ac})[\delta t(a+b) - \delta g(a+0.5b) - 0.5b\delta c]] / [0.5(\delta g-\delta c) - \epsilon_{gb}](a+b)$$

Ce modèle s'applique aux systèmes pour lesquels l'échange isotopique est dominé par le CO_2 de la zone non saturée des sols. Il ne s'applique pas aux systèmes dominés par l'échange avec le carbonate solide des sols ou de l'aquifère.

- **Modèle de Fontes et Garnier (Fontes et Garnier, 1976, 1979 ; Garnier et Fontes, 1980)**

Ce modèle corrige l'activité initiale dans le cas de processus de mélanges et d'échanges isotopiques incomplets. Il traite d'un mélange entre 2 sources de carbone (CO_2 du sol et carbonate solide) partiellement échangées.

Il combine un bilan isotopique et un bilan chimique. L'équation mathématique s'écrit sous la forme :

$$A_0 = A_{0\text{TAMERS}} + K$$

$$\text{où } K = [(\text{Ag} - \text{Ac})(\delta t(a + b) - (a + 0.5b) \delta g - 0.5b\delta c)] / (\delta g - \epsilon - \delta c)(a + b)$$

avec

ϵ , facteur d'enrichissement isotopique, ajustable en fonction du processus isotopique dominant à prendre en considération (échange avec le gaz ou avec le solide).

Généralement, on adopte celui de l'échange entre H_2CO_3 et HCO_3^-

si K est positif, l'échange a eu lieu effectivement avec la phase gazeuse ; A_0 ainsi calculée est une valeur correcte, en revanche, si K est négatif, l'échange est dominé par la phase solide et il faut recommencer le calcul avec ϵ entre CaCO_3 (carbonate solide) et HCO_3^- .

Les autres variables utilisées sont identiques à celles utilisées pour les équations précédentes.

Ce modèle existe en deux versions, l'une traite un mélange simple entre 2 sources de carbone (le CO₂ biogénique et le carbonate solide) partiellement échangés (Fontes et Garnier, 1979) ; l'autre version considère que tout le carbone qui dérive du gaz du sol est totalement échangé avec lui. La première version conduit à des valeurs plus faibles que la seconde et plus représentatives du cas d'un échange avec la matrice carbonatée.

- **Modèle d'Evans (Evans et al., 1979)**

L'échange isotopique est considéré comme intervenant par dissolution/précipitation à saturation vis-à-vis de la calcite (prise en compte de la dissolution incongruente), en présence d'un réservoir infini de carbonate dans lequel se diluerait la teneur initiale en ¹⁴C biogénique.

L'équation est la suivante :

$$A_o = A_g / [(\delta_c - \epsilon_{cb} - \delta_t) / (\delta_c - \epsilon_{cb} - \delta_t)]^{(1 + \epsilon_{cb}/1000)}$$

En raison de la faible valeur de ϵ_{cb} , le terme de l'exponentielle est négligeable, l'équation se simplifie, on obtient :

$$A_o = A_g [(\delta_c - \epsilon_{cb} - \delta_t) / (\delta_c - \epsilon_{cb} - \delta_t)]$$

Cette correction est très voisine de celle de Pearson (modèle de simple échange).



Géosciences pour une Terre durable

brgm

**Centre scientifique et technique
Direction D3E**

3, avenue Claude-Guillemin

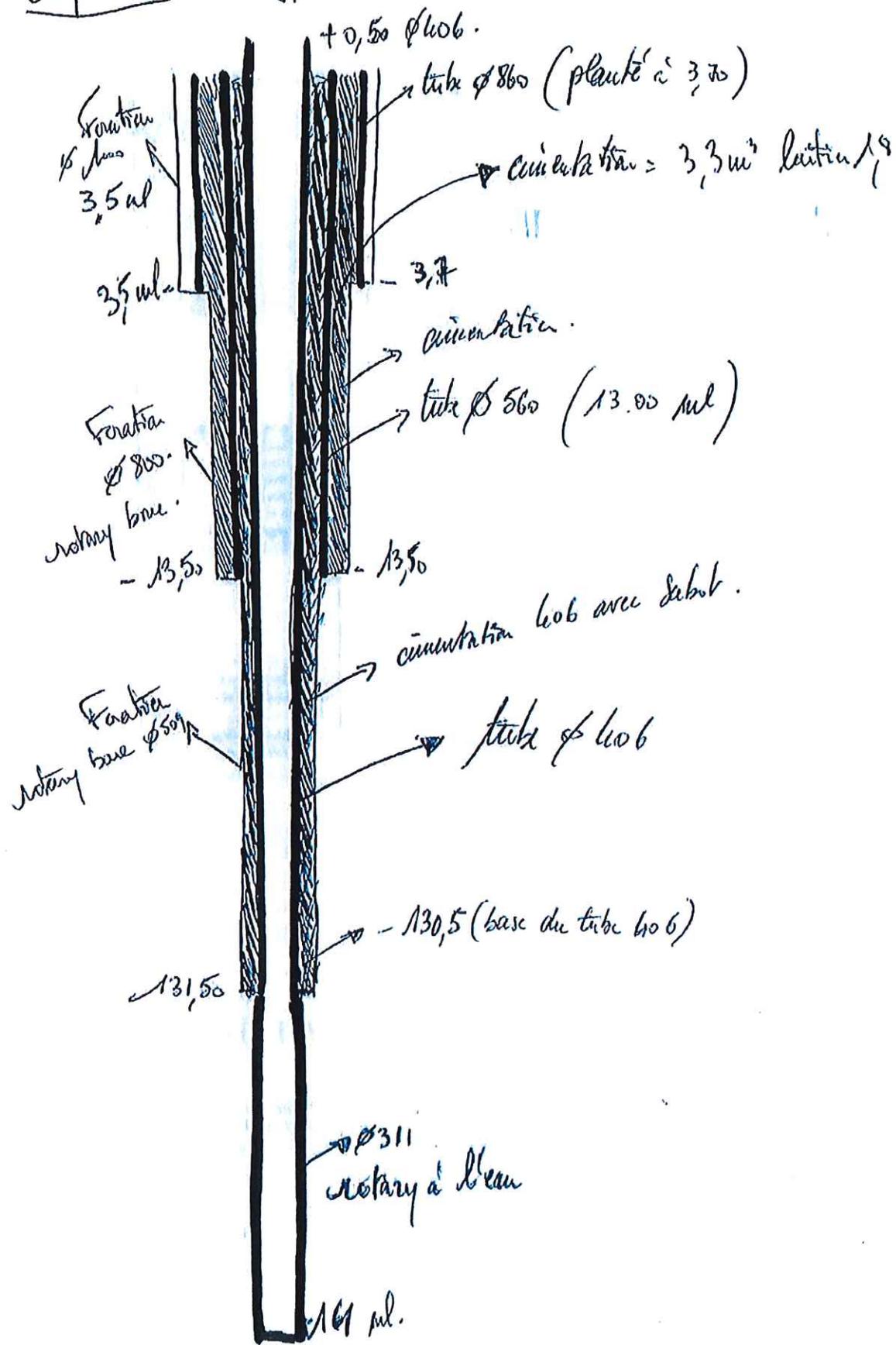
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34

ANNEXE

Coupe technique

(document transmis par FORAGES MASSÉ)

Coupe réel long.





Geo Hydro Investigation

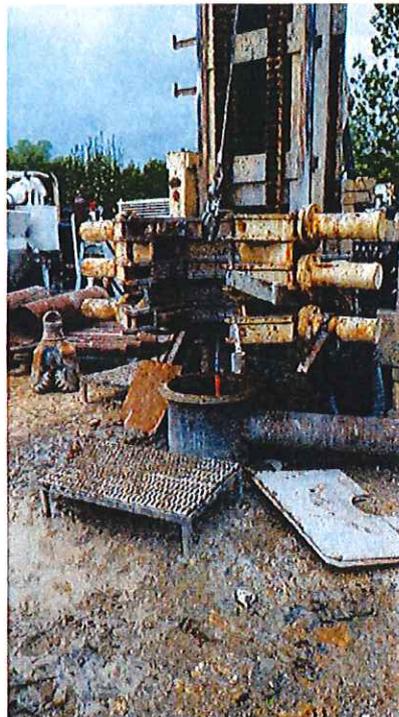
Ingénierie Mesure Etude Conseil Assistance en Sciences de la Terre et Environnement

FORAGES MASSÉ
HÉRISSON
17380 CHANTEMERLE SUR LA SOIE

NOUVEAU FORAGE D'EXPLOITATION

Commune de LEUGNY
Département de l'YONNE

DIAGRAPHIE



13 mai 2013

GHI/R/12-13/148/PB-mai 2013

G.H.I.

Siège social et bureaux : 16, rue de la Planchonnais – BP 58133 – 44981 SAINTE LUCE SUR LOIRE cedex
Tél : 02 51 79 71 08 – Fax : 02 40 58 14 21 – E-mail : ghi@wanadoo.fr

S.A.R.L. au capital de 20 000 Euros – RCS NANTES B 411 957 905 – SIRET 411 957 905 00028 – Code APE-NAF 7112 B

A la demande de la Société FORAGES MASSE (Chantemerle sur la Soie – 17), une mesure de diagraphie (gamma-ray) a été réalisée le 13 mai 2013 au droit du NOUVEAU FORAGE D'EXPLOITATION, localisé sur la commune de LEUGNY (89).

Lors de cette intervention étaient présents :

- ❖ M. le Président du SIAEP,
- ❖ M. Grosjean (société Terre)
- ❖ la société Forages Massé.

L'intervention a été confiée à la S.A.R.L. Geo Hydro Investigation (G.H.I.) de Sainte Luce sur Loire (44). Elle a pour objectif :

- ❖ de préciser la coupe lithologique des terrains traversés et entre autre de vérifier que le toit de l'aquifère a bien été atteint.

Le présent rapport rend compte des travaux réalisés et des résultats obtenus lors de cette intervention.

◆◆◆◆

I PRÉSENTATION GÉNÉRALE

■ **CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE**

□ Localisation de l'ouvrage

(cf. carte de localisation ci-contre)

- département : YONNE (89)

- commune : LEUGNY

- l'ouvrage investigué se situe en bordure de la rivière "L'Ouanne", à proximité de la station de pompage

□ Coupe technique de l'ouvrage

(D'après les informations récupérées sur place)

- date de réalisation : 2013

- profondeur : 131 m

- numéro BSS : non renseigné

- foration :

‣ de 0 à -13.50 m : rotary boue – diamètre 800 mm

‣ de -13.50 à -131 m : rotary boue – diamètre 509 mm

- équipement :

‣ de 0 à -13.50 m : tubage acier lisse – diamètre 600 mm intérieur

‣ de -13.50 à -131 m : trou nu – diamètre 509 mm

□ Contexte géologique

(cf. carte ci-après, cartes géologiques du BRGM, feuilles n°402 et 434 – Auxerre et Courson les carrières)

- l'ouvrage étudié se situe dans les formations sédimentaires localisées en bordure Sud-Sud-Est du Bassin de Paris,

- les formations forées sur les 130 m réalisées sont constituées de calcaires, marnes avec intercalations de bancs calcaires attribuées au Portlandien et Kimméridgien (Jurassique supérieur)

□ Utilisation de l'ouvrage

- A.E.P.

■ **TRAVAUX REALISES**

□ Date d'intervention

- 13 mai 2013

□ Matériel de diagraphie

- appareil de marque MOUNT SOPRIS, système digital de diagraphie MGXII
- sonde 2PGA-1000 pour mesure de gamma-ray
- acquisition des données avec logiciel ALT – MATRIX
- mise en forme et sortie des données à l'aide du logiciel WELLCAD 4.3

□ Nature des travaux

- l'investigation a consisté en :

- . une mesure de gamma-ray, lors de la descente et de la remontée de la sonde afin de préciser la coupe lithologique des terrains traversés et entre autre de vérifier que le toit de l'aquifère a bien été atteint.

II DIAGRAPHIE

■ **LOG GAMMA-RAY**

□ Conditions d'acquisition

- le niveau repère a été pris au niveau du sol
- l'acquisition s'est effectuée du niveau du sol à -131 m, soit 131 m d'investigation
- mesures effectuées lors de la descente et de la remontée de la sonde

□ Mesure

(cf.log sur figure jointe)

- les mesures réalisées apportent les informations suivantes :

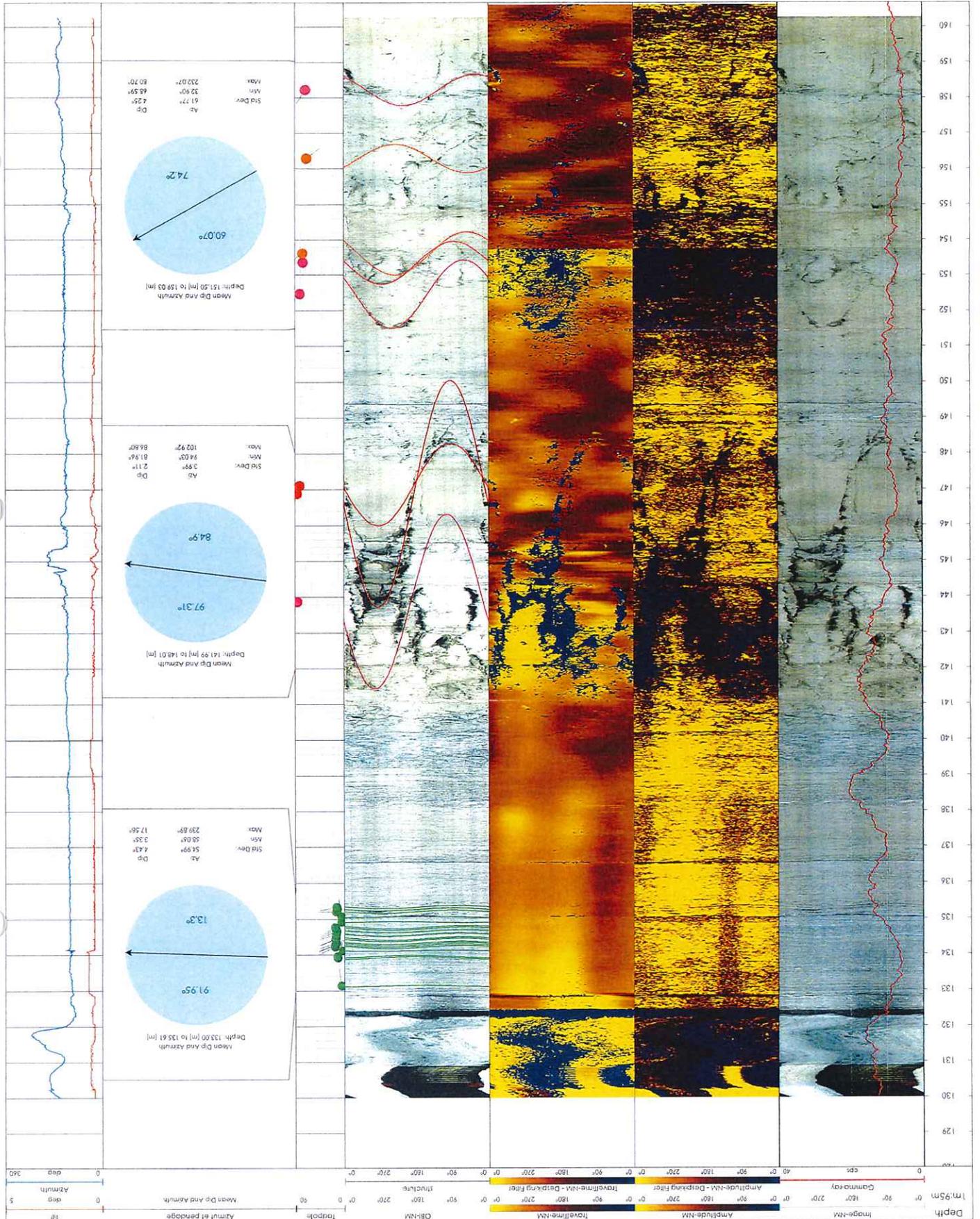
- . de 0 à -8.50 m : matériaux carbonatés - Portlandiens ? (7 à 17 cps), atténuation du signal du à la présence du tubage acier de diamètre 600 mm ?
- . de -8.50 à -31.40 m : matériaux carbonatés - Kimmeridgien (11 à 22) avec pics à 29 et 27 cps traduisant des niveaux plus marneux ou marno-calcaires
- . de -31.40 à -128 m : alternances de niveaux carbonatés et de niveaux marneux (kimméridgien) où peuvent être distingués :
 - des passages nettement marneux entre 34 et 48 m (22 à 49 cps), entre 78 et 88 m (17 à 44 cps) et entre 98 et 110 m (25 à 54 cps)
 - des passages plus "carbonatés" entre 66 et 76 m (13 à 28 cps), entre 88 et 98 m (11 à 24 cps)
 - des passages en alternances (marno-calcaires) entre 48 et 66 m (20 à 47 cps), entre 110 et 128 m (15 à 34 cps)
- . de -128 à -131 m : passage dans la formation carbonatée "aquifère" (10 à 16 cps)

◇◇◇◇◇

Fait à Sainte Luce sur Loire, le 28 mai 2013
Pour **G.H.I.**



Ph. BARDY



FORAGE		MESURES		REMARQUES
Paqs	FRANCE	Client	FORAGES MASSE	
Département	YONNE (89)	Date	30/05/2013	
Commune	LEUGNY	Opérateur	MORVAN	
Lieu-dit	-	Repère	Sol	
Désignation	Nouveau forage d'exploitation	Log		
Profondeur	161,60 m			
Coordonnées	X Y Z			

Geo Hydro Investigation
 16, rue de la Recherche - BP 58135
 44931 SAINTE LUCE SUR LOIRE cedex
 Tél : 0251 797 108 - www.geohydroinvestigation.com



■ LOGS IMAGERIE DE PAROI OPTIQUE ET ACOUSTIQUE

□ Conditions d'acquisition

- le niveau repère a été pris au niveau du sol
- l'acquisition s'est effectuée de -130 à -161 m, soit 31 m d'investigation
- mesure en eau (forage artésien)

□ Interprétation

(cf. logs sur figure jointe)

- les mesures réalisées apportent les informations suivantes :

. de -130 à -132.5 m : les images obtenues sont difficilement exploitables du fait du décentrage de la sonde au droit de cette section de plus gros diamètre. On distingue cependant le sabot de cimentation avec sa partie acier jusqu'à -131 m environ puis la base de la cimentation à -132 m ;

. de -132.5 à -142 m : les images obtenues ne mettent aucune structure faillée ou fracturée en évidence, mais plutôt une paroi assez régulière présentant tout de même quelques figures de compaction (stylolites) et quelques litages assez plans notamment entre -133 et -136 m environ. Ces derniers sont globalement orientés Nord-Sud avec des pendages de 10 à 15° et direction N92°

. de -142 à -148 m : les images obtenues mettent clairement en évidence une première zone fracturée et ouverte. Quelques figures ont été individualisées et sont orientées Nord-Sud à Nord-Est/Sud-Ouest pour des pendages à 85° et de direction N97°. Ces structures sont très redressées ou subverticales ;

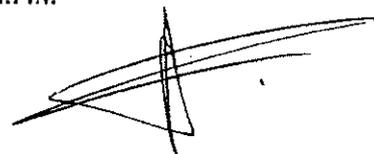
. de -148 à -151.5 m : les images obtenues ne mettent aucune structure faillée ou fracturée en évidence. Cette section apparaît plus compacte et exempte de figure caractéristique ;

. de -151.5 à -159 m : les images obtenues mettent en évidence une seconde zone fracturée, mais sensiblement moins ouverte que la première. Ces figures sont moins ouvertes et moins verticales. Quelques unes ont été identifiées et sont globalement orientées Nord-Ouest/Sud-Est pour des pendages de 75° et de direction N60°

. après -159 m : les images obtenues ne mettent aucune structure faillée ou fracturée en évidence.

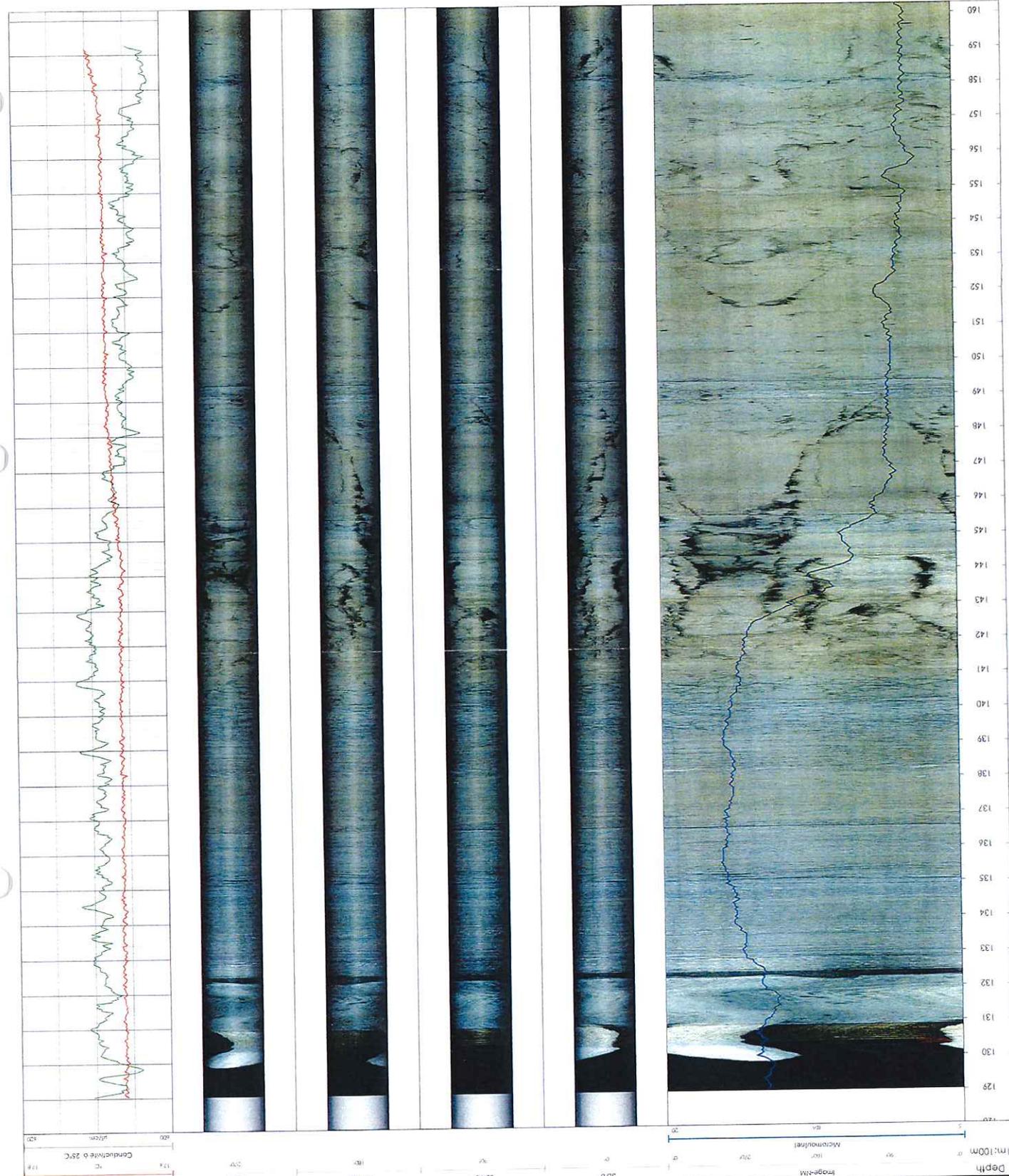
◇◇◇◇◇

Fait à Sainte Luce sur Loire, le 15 juillet 2013
Pour G.H.I.



Ph. BARDY

P. MORVAN



FORAGE	
Pays	FRANCE
Département	YONNE (89)
Commune	LEUGNY
Lieu-dit	-
Désignation	Nouveau forage d'exploitation
Profondeur	161,60 m
Coordonnées	Z Y X

MESURES	
Client	FORAGES MASSE
Date	30/05/2013
Opérateur	MORVAN
Repère	Sol
Log	OB1, Micromoulinet, temp., cond.
Mesures effectuées sans pompage	
Débit d'artésianisme : 20 m ³ /h	

REMARQUES	

■ **LOG CONTRÔLE DE CIMENTATION CBL**

□ Conditions d'acquisition

- le niveau repère a été pris au niveau du sol
- l'acquisition s'est effectuée de 0 à -133 m, soit 133 m d'investigation
- mesure en eau (forage artésien)

□ Mesure CBL (contrôle de cimentation)

(cf.log sur figure jointe)

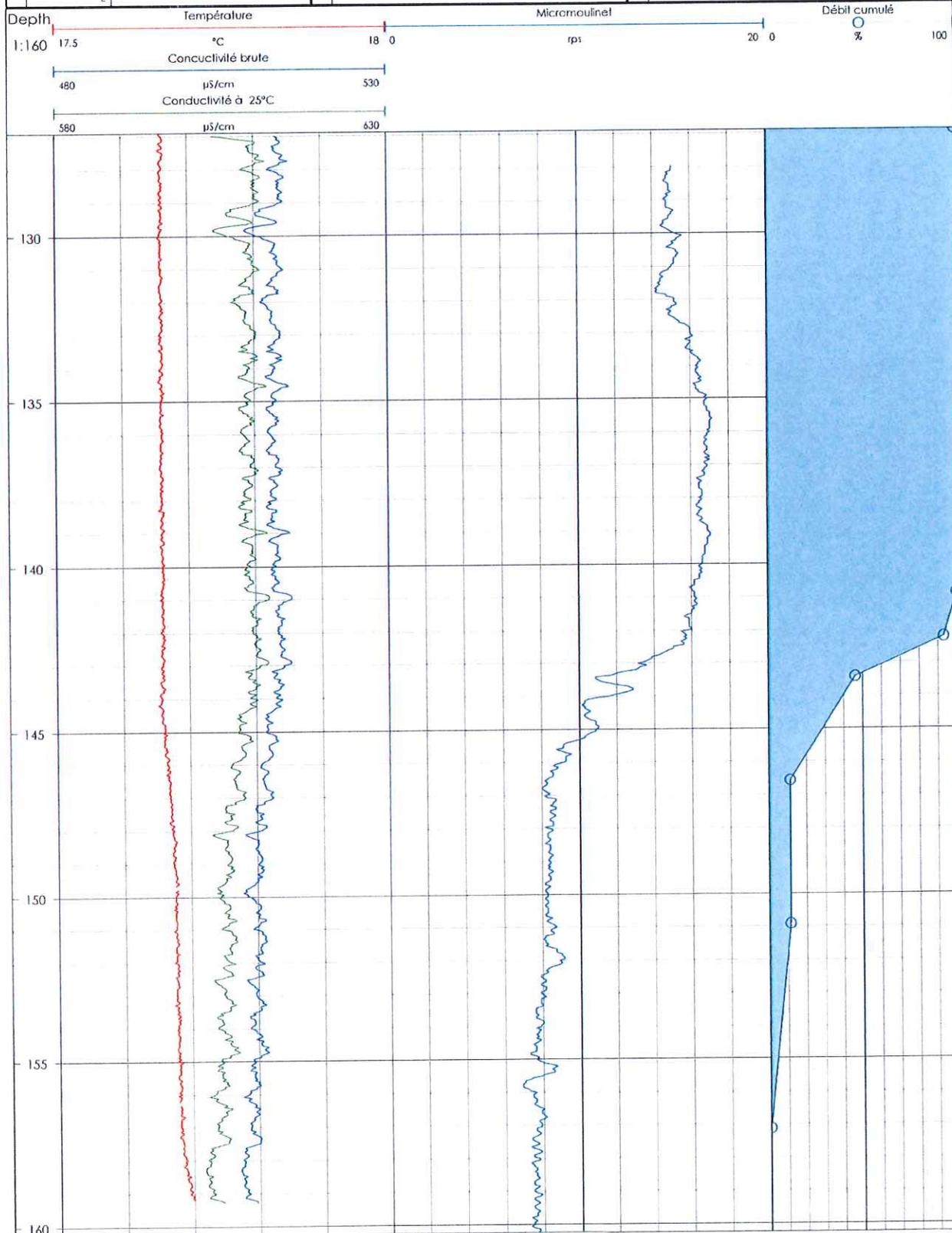
- les mesures réalisées apportent les informations suivantes :
 - . de 0 à -34 m : le signal est plutôt stable et les amplitudes sont globalement faibles (<20), la cimentation au droit de cette section semble être de très bonne qualité ;
 - . de -34 à -110 m : le signal est toujours stable mais les amplitudes ont globalement sensiblement augmentées (<30) avec des sections au droit desquelles elles sont plus fortes (>30 vers 35, 55 et 106 m notamment). Cette observation traduit une cimentation globalement de bonne qualité avec des passages au droits desquels le contact tubage/ciment est vraisemblablement sensiblement moins parfait ;
 - . de -128 à -130 m : le signal est assez stable mais les amplitudes augmentent considérablement à partir de 129 m. Cette augmentation ne traduit pas une mauvaise cimentation mais plutôt la présence du sabot de cimentation, du ciment à l'intérieur du tubage et enfin le passage en trou nu ;
 - . après -130 m : le signal est instable et les amplitudes sont fortes. Ceci est provoqué par le passage en trou nu dont les parois sont irrégulières.

FORAGE	Pays	FRANCE	MESURES	Client	FORAGES MASSE	REMARQUES
	Département	YONNE (89)		Date	30/05/2013	
	Commune	LEUGNY		Opérateur	MORVAN / BARDY	
	Lieu-dit	-		Repère	Sol	
	Désignation	Nouveau forage d'exploitation		Log	Micromoulinet ; Temp. /Cond.	
	Profondeur	161.60 m				
	Coordonnées					
X						
Y						
Z						
						Mesure effectuée sans pompage. Débit d'artésianisme : 20 m3/h



Geo Hydro Investigation

16, rue de la Planchonnais - BP 58133
44981 SAINTE LUCE SUR LOIRE Cedex
02 51 79 71 08 - geohydroinvestigation.com



■ **LOGS TEMPÉRATURE / CONDUCTIVITÉ ET MICROMOULINET**

□ Conditions d'acquisition

- le niveau repère a été pris au niveau du sol
- l'acquisition s'est effectuée de -127 à -160 m, soit 33 m d'investigation
- mesure sans pompage : ouvrage artésien au débit de 20 m³/h

■ **LOG TEMPERATURE**

(cf. logs sur figures jointes)

- les mesures réalisées apportent les informations suivantes :
 - . de -127 à -144.5 m : la température est stabilisée à 17.66°C
 - . de -144.5 à -149.5 m : la température augmente très sensiblement pour atteindre 17.68°C
 - . de -149.5 à -157 m : la température est stabilisée à 17.68°C
 - . après -157 m : la température augmente sensiblement pour atteindre 17.70°C à la base de l'ouvrage

■ **LOG CONDUCTIVITE (à 25°C)**

(cf. logs sur figures jointes)

- les mesures réalisées apportent les informations suivantes :
 - . de -127 à -143 m : la conductivité est approximativement stabilisée à 610 µS/cm
 - . après -143 m : la conductivité diminue sensiblement et régulièrement pour atteindre 602 µS/cm à la base de l'ouvrage

■ **LOG MICROMOULINET**

(cf. logs sur figures jointes)

- les mesures réalisées apportent les informations suivantes :
 - . de -127 à -141 m : aucune arrivée d'eau significative, la hausse du nombre de rps est la traduction de la réduction de diamètre ;
 - . de -141 à -142 m environ : petite arrivée d'eau secondaire représentant environ 7 % du débit d'artésianisme ;
 - . de -142 à -146.5 m environ : arrivée d'eau principale et très localisée représentant environ 82 % du débit d'artésianisme ;
 - . de -146.5 à -151 m : aucune arrivée d'eau identifiée au droit de cette section ;
 - . de -151 à -157 m environ : petite arrivée d'eau secondaire représentant environ 11 % du débit d'artésianisme ;
 - . après -157 m : aucune arrivée d'eau exceptée observée.