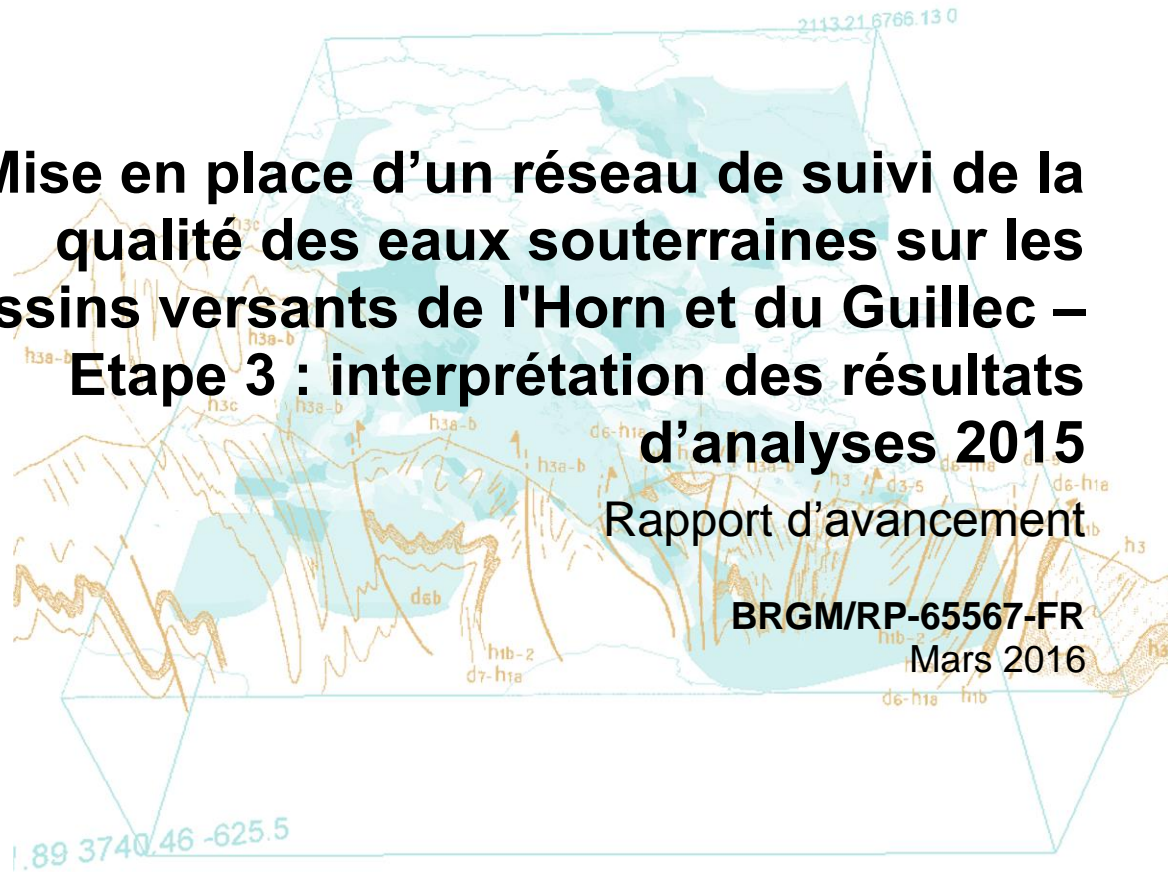




Mise en place d'un réseau de suivi de la
qualité des eaux souterraines sur les
bassins versants de l'Horn et du Guillec –
Etape 3 : interprétation des résultats
d'analyses 2015
Rapport d'avancement

BRGM/RP-65567-FR
Mars 2016



Mise en place d'un réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec - Etape 3 : interprétation des résultats d'analyses 2015

Rapport d'avancement

BRGM/RP-65567-FR
Mars 2016

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 14OBS0877

F. Lucassou, A. Winckel, avec la collaboration de F. Koch

Vérificateur :

Nom : B. MOUGIN
Responsable scientifique de
programme
Date : 10/03/2016
Signature :



Approbateur :

Nom : M. BARDEAU
Directrice du BRGM Bretagne
Date : 18/03/2016

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 : eau souterraine, aquifère, socle, qualité, réseau qualité, Bretagne, Finistère, Horn, Guillec

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

Lucassou F., Winckel A., avec la collaboration de Koch F. (2016) – Mise en place d'un réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec - Etape 3 : interprétation des résultats d'analyses 2015. Rapport d'avancement. BRGM/RP-65567-FR, 43 p., 25 ill.

Synthèse

L'Anse de l'Horn-Guillec, dans le Finistère, fait partie des baies algues vertes identifiées dans le SDAGE Loire-Bretagne 2010-2015 et 2016-2021. Dans le cadre de l'établissement du Diagnostic Territorial sur l'Anse de l'Horn-Guillec pour l'appel à projet du Plan gouvernemental de lutte contre les algues vertes 2010-2015, il a été mis en évidence le manque d'éléments sur la qualité des eaux souterraines dans les bassins versants de l'Horn et du Guillec.

Le Syndicat Mixte de production et de transport d'eau de l'Horn (SMH) a sollicité le BRGM pour mettre en place un réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines et pour mieux appréhender l'influence des eaux souterraines sur la qualité des eaux de surface sur les bassins versants algues vertes de l'Horn et du Guillec, conformément à une action du volet « Amélioration des connaissances des hydrosystèmes » de la Charte de Territoire de l'Anse de l'Horn – Guillec.

L'étape 1 (cf. rapport BRGM/RP-64139-FR) a permis d'établir une caractérisation générale des deux bassins versants Horn et Guillec : géologie, hydrogéologie, suivi qualitatif et quantitatif de l'eau souterraine, occupation du sol, ...

Cette synthèse préalable des connaissances sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec a servi à l'implantation d'un réseau représentatif de la qualité des eaux souterraines sur le territoire en fonction de ses particularités, objet de l'étape 2 de cette étude (cf. rapport BRGM/RP-64707-FR). Ce réseau permettra de caractériser et de suivre la qualité chimique de l'eau souterraine des bassins versants de l'Horn et du Guillec.

Le SMH réalise un suivi de la qualité des eaux souterraines sur environ 20 points qui sont prélevés 4 fois par an (en respectant les périodes de hautes eaux et de basses eaux¹) : 4 points sur la partie Horn amont, 6 points sur la partie Horn aval et ruisseaux côtiers, et 10 points pour le bassin versant du Guillec (dont un point à côté du bassin).

L'étape 3 de l'étude, faisant l'objet du présent rapport, consiste en un appui du BRGM au SMH pour l'interprétation des résultats des analyses annuelles réalisées sur les points du réseau (2015-2016-2017).

Au terme de la première année de suivi de la qualité des eaux souterraines (année 2015), les résultats des analyses confirment la pertinence du réseau de suivi mis en place :

- gamme de valeurs de nitrates variée (d'une teneur inférieure à 0,5 mg/L jusqu'à 179 mg/L),
- présence de dénitrification autotrophe sur quelques points,
- variabilité temporelle des comportements des points de suivi sur chaque bassin versant.

Les premières analyses confirment la complexité du secteur et l'intérêt de poursuivre le suivi sur plusieurs années. En effet, les variations des teneurs en nitrates ne sont pas homogènes à

¹ C'est durant la période de basses eaux que la participation des eaux souterraines aux débits des rivières est la plus élevée entraînant dans ces deux cours d'eau un dépassement important du seuil de 50 mg/l d'azote nitrique.

l'échelle du territoire. Les teneurs enregistrées sur certains points et les variations au cours de l'année 2015 interpellent, sans qu'il soit possible après seulement 3 campagnes de mesures (dont seulement une campagne complète) de fournir une interprétation avancée de ces variations spatiales et temporelles.

Ces premiers résultats constituent le début d'un suivi de la qualité des eaux souterraines sur les points du réseau, qui va se poursuivre en 2016 et 2017. Il sera alors possible d'affiner la synthèse des résultats en ayant un recul sur plusieurs années de suivi et de mieux caractériser l'impact des eaux souterraines sur la qualité des eaux de surface.

Sommaire

1. Contexte de l'étude	7
2. Prélèvements et analyses de la qualité des eaux souterraines	9
2.1. CARACTERISTIQUES DU RESEAU ET PARAMETRES ANALYSES.....	9
2.1.1. Réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines.....	9
2.1.2. Paramètres analysés	13
2.2. PRELEVEMENTS.....	13
2.2.1. Calendrier des prélèvements	13
2.2.2. Protocole de prélèvements	15
2.3. ANALYSES.....	17
3. Présentation des résultats.....	19
3.1. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	19
3.1.1. Paramètres <i>in situ</i>	19
3.1.2. Eléments majeurs	20
3.1.3. Eléments mineurs	25
3.2. ANALYSES REALISEES PAR L'AELB SUR LES EAUX SOUTERRAINES.....	34
3.3. ANCIENNES ANALYSES D'EAU SOUTERRAINE	35
3.4. ANALYSES REALISEES SUR LES EAUX DE SURFACE	37
4. Conclusion.....	41
5. Bibliographie	43

Liste des illustrations

Illustration 1 - Localisation des bassins versants algues vertes de l'Horn et du Guillec (en rouge) (source : Syndicat Mixte de l'Horn).....	7
Illustration 2 – Localisation des points du réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines .	10
Illustration 3 – Caractéristiques des points du réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines	11
Illustration 4 - Calendrier des prélèvements 2015 sur les points du réseau	14
Illustration 5 – Déroulement des prélèvements pendant les campagnes 2015 (source : LABOCEA)	16

Illustration 6 - Liste des paramètres analysés en 2015 et laboratoires d'analyses	17
Illustration 7 - Paramètres in situ (avec en vert : valeur minimale ; en rouge : valeur maximale ; en grisé : valeurs douteuses)	21
Illustration 8 - Résultats des analyses chimiques réalisées en 2015 (avec en rouge : valeurs supérieures aux limites ou références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007 et en italique : valeurs inférieures à la limite de quantification)	21
Illustration 9 - Balance ionique des concentrations en éléments majeurs des points du réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines (campagne complète août 2015).....	24
Illustration 10 - Diagramme de Piper à partir des résultats des analyses d'août 2015	25
Illustration 11 - Résultats des analyses chimiques réalisées en 2015 pour les composés azotés et le fer	27
Illustration 12 - Evolution des teneurs en nitrates sur les points du réseau de suivi en 2015.....	28
Illustration 13 - Caractéristiques des points de suivi (nature, profondeur et contexte géologique)29	
Illustration 14 - Evolution des teneurs moyennes en nitrates par bassin versant	29
Illustration 15 - Evolution des teneurs en nitrates en fonction de la profondeur des ouvrages... 30	
Illustration 16 – Diagramme binaire nitrates-phosphates (campagne d'août 2015).....	31
Illustration 17 - Diagrammes binaire nitrates-fer (campagne d'août 2015) avec zoom sur le graphique de droite	33
Illustration 18 - Localisation de la source de Feunteun Veur à Plouvorn	34
Illustration 19 - Evolution des teneurs en nitrates au niveau de la source de Feunteun Veur à Plouvorn entre 1998 et 2015 (sources : AELB et Agence Régionale de Santé [ARS] – www.adeseaufrance.fr), avec en rouge le seuil de 50 mg/L.....	35
Illustration 20 - Evolution de la teneur en nitrates dans le captage de Kermaria entre 1964 et 1986 (source : Syndicat Mixte de l'Horn)	36
Illustration 21 - Evolution de la teneur en nitrates dans le captage de Feunteun Nevez entre 1973 et 1990 (source : Syndicat Mixte de l'Horn)	36
Illustration 22 - Evolution des concentrations en nitrates au point H011 sur l'année 2014-201537	
Illustration 23 - Concentrations en nitrates (percentile 90) sur les points de suivi des eaux de surface de l'Horn et du Guillec en 2014-2015 (source : SMH)	38
Illustration 24 - Comparaison des teneurs en nitrates mesurées dans les eaux souterraines en 2015 et dans les eaux de surface (percentiles 90) sur l'année hydrologique 2014-2015	39
Illustration 25 - Evolution des concentrations en nitrates sur les points de suivi des eaux de surface de l'Horn et du Guillec entre avril et août 2015.....	40

1. Contexte de l'étude

Parmi ses missions, le Syndicat Mixte de production et de transport d'eau de l'Horn (SMH) a en charge la reconquête de la qualité de l'eau et des milieux sur les bassins versants Horn, Guillec, Kerallé et ruisseaux côtiers jusqu'au Froust. L'Anse de l'Horn - Guillec, située au Nord du Finistère (Illustration 1) est concernée par des proliférations d'algues vertes, et figure à ce titre parmi les baies algues vertes bretonnes identifiées dans le SDAGE Loire Bretagne 2010-2015 et 2016-2021.

Dans le cadre de l'établissement du Diagnostic Territorial sur l'Anse Horn-Guillec pour l'appel à projet du Plan gouvernemental de lutte contre les algues vertes 2010-2015, il a été mis en évidence le manque d'éléments sur la qualité des eaux souterraines dans les bassins versants de l'Horn et du Guillec.

Ainsi, dans le volet « Amélioration des connaissances des hydrosystèmes » de la Charte de Territoire de l'Anse de l'Horn - Guillec, l'action suivante a été retenue : « mise en place d'un suivi de la qualité des eaux souterraines – Influence des eaux souterraines sur la qualité des eaux de surface ».

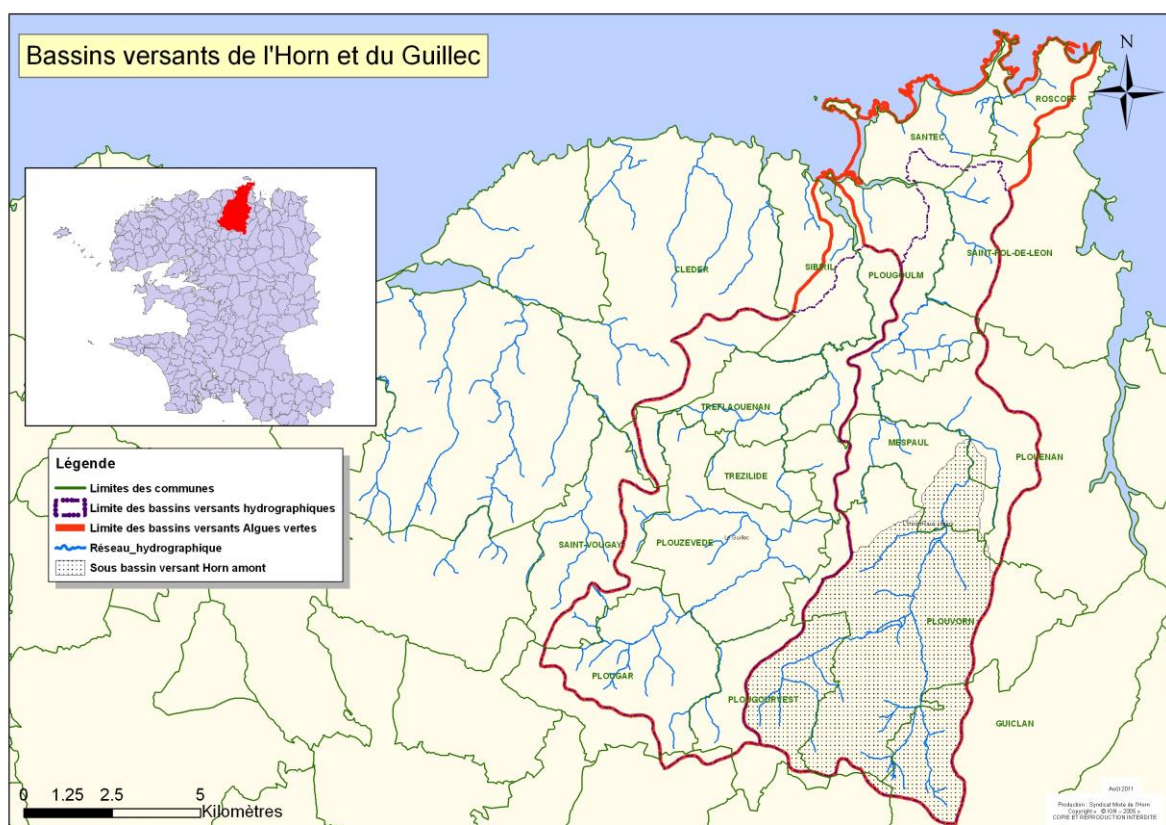


Illustration 1 - Localisation des bassins versants algues vertes de l'Horn et du Guillec (en rouge)
(source : Syndicat Mixte de l'Horn)

L'objectif de la présente étude est de mettre en place un réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines sur les bassins versants algues vertes de l'Horn et du Guillec et de mieux appréhender l'influence des eaux souterraines sur la qualité des eaux superficielles.

L'étape 1 (cf. rapport RP-64139-FR) a consisté à caractériser de manière générale les deux bassins versants Horn et Guillec.

L'étape 2 (cf. rapport RP-64707-FR) a conduit à la mise en place du réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines sur le territoire Horn-Guillec. Le SMH réalise un suivi de la qualité des eaux souterraines sur 20 points qui sont prélevés 4 fois par an (en respectant les périodes de hautes eaux et de basses eaux²) : 6 points sur la partie Horn amont, 4 points sur la partie Horn aval et ruisseaux côtiers et 10 points pour le bassin versant du Guillec.

L'étape 3 a pour objectif d'aider le SMH à interpréter les résultats des analyses réalisées sur les points du réseau pendant 3 ans (2015 à 2017). Le présent rapport correspond à l'interprétation des analyses réalisées durant la première année de suivi en 2015.

² C'est durant la période de basses eaux que la participation des eaux souterraines aux débits des rivières est la plus élevée entraînant dans ces deux cours d'eau un dépassement important du seuil de 50 mg/l d'azote nitrique.

2. Prélèvements et analyses de la qualité des eaux souterraines

2.1. CARACTERISTIQUES DU RESEAU ET PARAMETRES ANALYSES

2.1.1. Réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines

La mise en place du réseau est détaillée dans le rapport BRGM/RP-64707-FR. Après une pré-sélection d'une quarantaine de points par le BRGM et l'ajout de points pertinents par le SMH, des visites de terrain ont permis de sélectionner les points (cf. colonnes « Pré-sélection » et « Date de visite » sur l'illustration 3).

Le réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines des bassins versants Horn-Guillec est constitué de 20 points (Illustration 2), répartis sur l'ensemble du territoire :

- 4 points sur la partie Horn amont,
- 6 points sur la partie Horn aval et ruisseaux côtiers,
- 10 points pour le bassin versant du Guillec (dont un point en dehors du bassin).

Parmi ces 20 stations, deux doublets de points d'eau sont suivis sur le bassin versant du Guillec :

- puits G9 / forage G2 (situés dans des formations géologiques différentes et dans deux sous-bassins versants différents) ;
- source G7 / forage G8.

Leurs caractéristiques sont compilées dans l'illustration 3. Des fiches descriptives de chaque point ont été réalisées par le BRGM et transmises au SMH et à LABOCEA. Par souci de confidentialité du nom des propriétaires des ouvrages, ces fiches descriptives ne sont pas annexées au présent rapport.

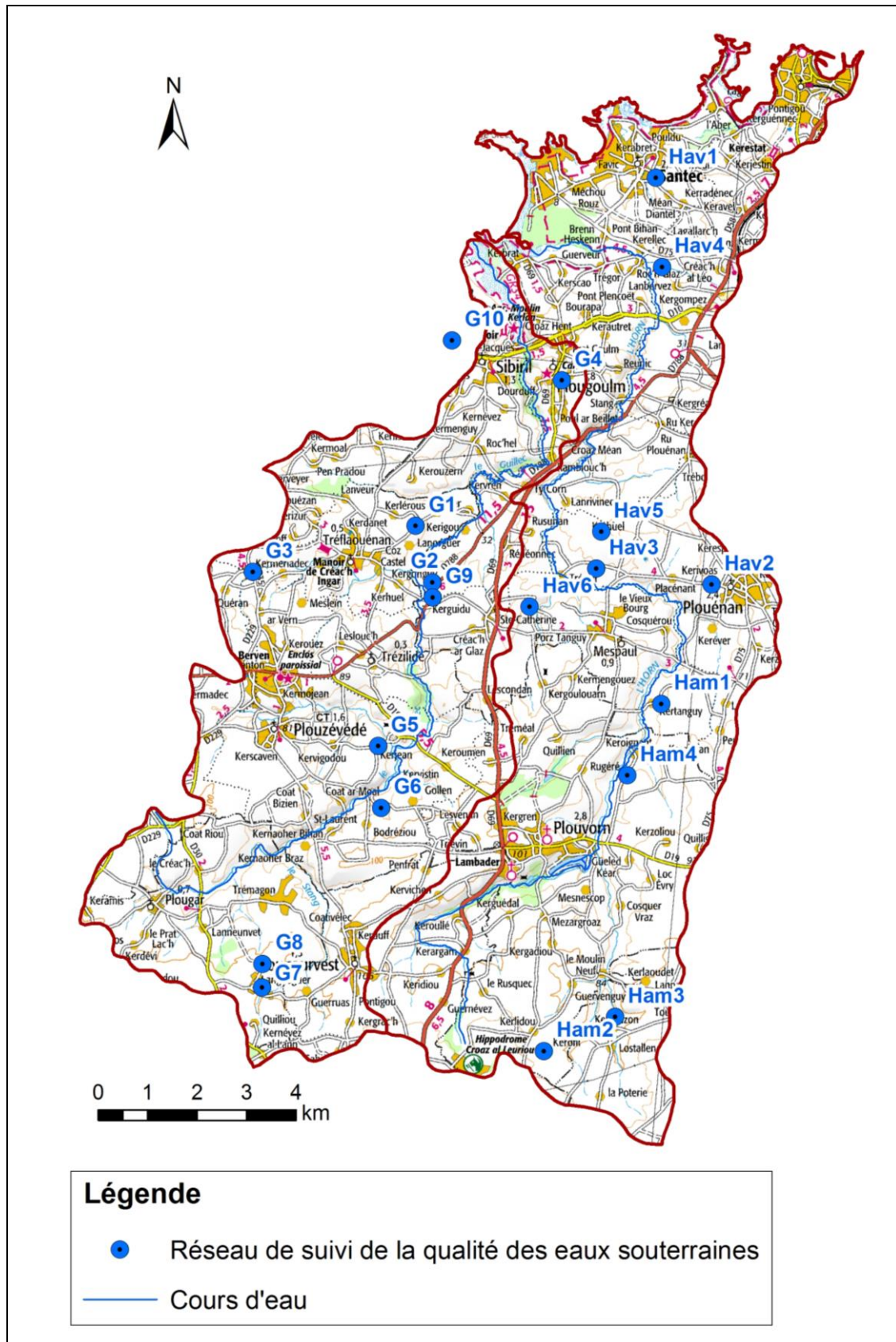


Illustration 2 – Localisation des points du réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines

Nom	Commune	Altitude (m)	Nature	Profondeur (m)	Date travaux	Utilisation	Coupe géologique	Géologie (1/50 000)	Bassin versant	amont/aval	Sous-bassin versant	Pente	Occupation du sol	Pression de prélèvements	Date de visite	Pompe	Traitement	Analyses nitrates existantes	Mesure nitrates visite (mg/L)	Pré-selection BRGM
G1	TREFLAOUENAN	48	FORAGE	94	01/01/1996	EAU-IRRIGATION, LAVAGE LEGUMES	Presente	Gneiss migmatitique de l'Horn	Guillec	aval	16	plateau	légumes (serres)	> 10 000 m3/an en 2009 (AELB)	24/03/2015	oui			>100	1
G2	PLOUGOULM	51	FORAGE	50	28/10/2003	EAU-IRRIGATION	Presente	Monzogranite de Moguéric	Guillec	amont	16	versant	légumes		24/03/2015	oui			30-40	2
G3	TREFLAOUENAN	62	FORAGE			AEP	Absente	Monzogranite de Cléder	Guillec	aval	17	talweg	non agricole		24/03/2015	oui		oui	>100	
G4	PLOUGOULM	51	FORAGE	52	07/07/2003	EAU-IRRIGATION	Presente	Gneiss migmatitique de l'Horn	Guillec	aval	15	plateau	non agricole		24/03/2015	oui			100-110	1
G5	PLOUZEVEDE	65	FORAGE	40	10/10/1996	EAU-DOMESTIQUE, EAU-AGRICOLE	Presente	Orthogneiss de Plouéan	Guillec	amont	19	plateau	élevage		24/03/2015	oui			50-60	2
G6	PLOUZEVEDE	75	FORAGE	61	09/04/2009	EAU-CHEPTEL	Presente	Orthogneiss de Plouéan	Guillec	amont	20	versant	élevage		24/03/2015	oui	acidification		< 2	
G7	PLOUGAR	85	SOURCE	/	/	EAU-DOMESTIQUE	Absente	Orthogneiss de Plouéan	Guillec	amont	22	versant	prairie		23/03/2015		chloration		30-50	
G8	PLOUGAR	105	FORAGE	67	21/12/2011	EAU-CHEPTEL	Presente	Orthogneiss de Plouéan	Guillec	amont	21	plateau	élevage		23/03/2015	oui	chloration			
G9	PLOUGOULM	41	PUITS	3.43		EAU-CHEPTEL	Absente	Orthogneiss de Plouéan	Guillec	amont	18	versant	élevage		24/03/2015	oui	chloration		90-100	
G10	SIBIRIL	48	SOURCE	/	/	ANCIEN AEP	Absente	Monzogranite de Cléder	Ruisseaux côtiers	/	/	plateau	légumes		24/03/2015			oui		
Ham1	MESPAUL	60	FORAGE	90	24/05/2004	EAU-IRRIGATION	Presente	Micaschistes et quartzites	Horn	amont	28	versant	pépiniériste (serres)		30/03/2015	oui		oui		1
Ham2	PLOUVORN	114	PUITS	2.2		EAU-CHEPTEL	Absente	Micaschistes et quartzites	Horn	amont	30	talweg	élevage		30/03/2015					
Ham3	GUICLAN	80	FORAGE	40		EAU-AGRICOLE	Presente	Micaschistes et quartzites	Horn	amont	30	versant	élevage		23/03/2015	oui			60-80	
Ham4	PLOUVORN	56	FORAGE	48	01/10/2001	EAU-DOMESTIQUE	Presente	Micaschistes et quartzites	Horn	amont	28	versant	cultures		23/03/2015	oui			80-90	1
Hav1	SANTEC	21	FORAGE	50	01/01/2005	EAU-AGRICOLE	Presente	Granite de Roscoff	Horn	aval	G	versant	légumes		30/03/2015	oui				2
Hav2	PLOUENAN	56	FORAGE	58	29/04/1976	EAU-INDUSTRIELLE	Presente	Orthogneiss de Plouéan	Horn	aval	27	plateau	industrielle		23/03/2015	oui	chloration	oui		1
Hav3	PLOUENAN	37.5	FORAGE	50	07/12/1979	EAU-CHEPTEL, EAU-INDIVIDUELLE	Presente	Orthogneiss de Plouenan	Horn	aval	25	versant	légumes et hors sol animal	A 70 m d'un irrigant (AELB)	24/03/2015	oui		oui	30	1
Hav4	SAINT-POL-DE-LEON	12	FORAGE	81	10/07/2001	EAU-IRRIGATION	Presente	Monzogranite de Moguéric	Horn	aval	23	versant	légumes (serres)	> 10 000 m3/an en 2009 (AELB)	24/03/2015	oui				1
Hav5	PLOUENAN	56	FORAGE	61	04/10/2004	EAU-IRRIGATION	Presente	Orthogneiss de Plouéan	Horn	aval	25	plateau	légumes (serres)		30/03/2015	oui				2
Hav6	MESPAUL	50	FORAGE	103	01/09/2004	EAU-IRRIGATION	Presente	Granite de Ste Catherine	Horn	aval	26	versant	légumes	< 5 000 m3/an en 2009 (AELB)	30/03/2015	oui				2

Illustration 3 – Caractéristiques des points du réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines

2.1.2. Paramètres analysés

Pour ce réseau, il est prévu de réaliser 2 types de campagnes:

1. une campagne « complète » avec analyse des éléments majeurs (anions-cations) ainsi que le fer (Fe^{2+}) et le manganèse (Mn^{2+}), en hautes et basses eaux (respectivement en février et en août) :
 - Anions : (CO_3^{2-} , HCO_3^-), Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Br^- , F^- , NO_2^- , PO_4^{3-}
 - Cations et silice : K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , NH_4^+ , SiO_2
2. une campagne « allégée » avec moins de paramètres à analyser (en mai et en novembre) : uniquement Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+

Le pH, la température de l'eau, la conductivité, l'oxygène dissous et le potentiel redox sont également mesurés *in situ* quel que soit le type de campagne.

2.2. PRELEVEMENTS

2.2.1. Calendrier des prélèvements

3 campagnes de prélèvements ont eu lieu en 2015 :

- 2 campagnes allégées : en avril (du 20 au 22 avril) et novembre 2015 (du 16 au 17 novembre),
- 1 campagne complète en août 2015 (du 24 au 27 août).

En août et novembre 2015, le forage Hav4 n'a pu être prélevé en raison d'un problème technique sur la pompe du forage. Lors du comité de pilotage du projet en janvier 2015, il a été précisé que la pompe a été réparée et que ce point pourra à nouveau être prélevé en 2016.

Nom	Commune	Nature	Date de prélèvements 2015		
			avril	août	novembre
G1	TREFLAOUENAN	FORAGE	20/04/2015	24/08/2015	16/11/2015
G2	PLOUGOULM	FORAGE	20/04/2015	24/08/2015	16/11/2015
G3	TREFLAOUENAN	FORAGE	20/04/2015	24/08/2015	16/11/2015
G4	PLOUGOULM	FORAGE	21/04/2015	25/08/2015	16/11/2015
G5	PLOUZEVEDE	FORAGE	20/04/2015	24/08/2015	16/11/2015
G6	PLOUZEVEDE	FORAGE	20/04/2015	25/08/2015	17/11/2015
G7	PLOUGAR	SOURCE	20/04/2015	27/08/2015	16/11/2015
G8	PLOUGAR	FORAGE	20/04/2015	27/08/2015	16/11/2015
G9	PLOUGOULM	PUITS	21/04/2015	24/08/2015	16/11/2015
G10	SIBIRIL	SOURCE	20/04/2015	27/08/2015	17/11/2015
Ham1	MESPAUL	FORAGE	20/04/2015	25/08/2015	16/11/2015
Ham2	PLOUVORN	PUITS	20/04/2015	25/08/2015	17/11/2015
Ham3	GUICLAN	FORAGE	20/04/2015	25/08/2015	16/11/2015
Ham4	PLOUVORN	FORAGE	20/04/2015	25/08/2015	16/11/2015
Hav1	SANTEC	FORAGE	20/04/2015	24/08/2015	16/11/2015
Hav2	PLOUENAN	FORAGE	22/04/2015	25/08/2015	17/11/2015
Hav3	PLOUENAN	FORAGE	22/04/2015	27/08/2015	16/11/2015
Hav4	SAINT-POL-DE-LEON	FORAGE	20/04/2015	/	/
Hav5	PLOUENAN	FORAGE	22/04/2015	25/08/2015	16/11/2015
Hav6	MESPAUL	FORAGE	22/04/2015	25/08/2015	16/11/2015

Illustration 4 - Calendrier des prélèvements 2015 sur les points du réseau

En avril 2015, les prélèvements ont été effectués par temps sec, au début de la phase de décharge des nappes (hautes eaux en janvier-février 2015).

En août 2015, les prélèvements ont été réalisés en basses eaux, en période de pluie (à noter des recharges ponctuelles des nappes suite à la pluviométrie excédentaire des mois de juillet et août).

La campagne de novembre 2015 s'est déroulée au début de la recharge des nappes (la recharge amorcée en août a laissé place à une nouvelle période de décharge des nappes jusqu'à fin octobre, en raison du déficit pluviométrique des mois de septembre et octobre), en période de pluie.

Les objectifs envisagés (campagne complète en basses eaux [août] et campagnes allégées pendant les phases de baisse [avril] et de recharge des nappes [novembre]) ont donc été respectés en 2015.

2.2.2. Protocole de prélèvements

Les prélèvements ont été effectués par LABOCEA (Plouzané) conformément aux prescriptions du guide AQUAREF³ pour la surveillance physico-chimique des milieux aquatiques qui s'appuie sur les normes ou les guides en vigueur, ce qui implique notamment le respect de la norme NF EN ISO 5667-3⁴ et du guide AFNOR FD T90-523-3⁵.

Les agents en charge de la réalisation des prélèvements (un préleveur pour les campagnes d'avril et août et 2 préleveurs pour la campagne de novembre) disposent d'une habilitation pour effectuer les prélèvements et les mesures physico-chimiques de terrain et mettre en œuvre les modes opératoires correspondants.

Les prélèvements ont été réalisés de manières différentes selon les points :

- 16 forages sont équipés d'une pompe à demeure, qui a été utilisée pour les prélèvements,
- 2 sources ont été prélevées directement,
- 2 puits, non équipés de pompe, ont été prélevés à l'aide d'une pompe immergée PST. Le niveau piézométrique est mesuré dans ces 2 ouvrages lors du prélèvement.

La mesure des paramètres non conservatifs tels que le pH, la température, la conductivité, l'oxygène dissous et le potentiel redox est effectuée durant la purge de l'eau souterraine de chaque ouvrage jusqu'à leur stabilisation.

La stabilisation des paramètres physico-chimiques de terrain est considérée comme un critère de fin de purge et de début des opérations d'échantillonnage proprement dites. De plus, un volume minimum d'eau souterraine doit être extrait du point d'eau afin de renouveler la colonne d'eau, notamment pour les ouvrages sans pompe à demeure. Ce volume est fixé à 3 fois le volume d'eau présent dans le puits. En pratique, le laboratoire s'est uniquement basé sur la stabilité des paramètres physico-chimiques pour effectuer les prélèvements et n'a pas renouvelé le volume d'eau présent dans les puits dans la mesure où l'ensemble des ouvrages (y compris les puits) est régulièrement exploité par les propriétaires (il ne s'agit donc pas d'eaux stagnantes).

Dans le cas des forages sur lesquels une chloration ou une acidification est réalisée, l'échantillonnage est fait en amont de tout traitement.

Les échantillons prélevés ont été filtrés (0,45 µm) et acidifiés (acide nitrique) sur le terrain pendant la campagne complète d'août 2015. Il n'y a pas eu de filtration sur site pour les campagnes allégées d'avril et novembre, ce qui n'a pas posé problème compte-tenu des paramètres analysés.

³ Laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques. Il a été créé en 2007 entre 5 partenaires (BRGM, IFREMER, INERIS, IRSTEA, LNE) à la demande de la Direction de l'eau du Ministère en charge de l'écologie et reçoit le soutien de l'ONEMA pour l'exécution matérielle de la plus grande part de ses missions techniques.

⁴ "Qualité de l'eau - Echantillonnage - Partie 3 : Lignes directrices pour la conservation et la manipulation des échantillons d'eau", juin 2004

⁵ « Guide d'échantillonnage pour le suivi de la qualité des eaux dans l'environnement – échantillonnage d'eau souterraine », janvier 2009

La conservation des échantillons est assurée par un maintien d'une température de $5\pm 3^{\circ}\text{C}$ à l'intérieur d'une enceinte réfrigérée (glacière électrique) tout au long de leur transport jusqu'au Laboratoire d'analyses. Les échantillons sont livrés au laboratoire sous 8 h. Il faut noter que la température des échantillons prélevés le 24 août 2015 était élevée au moment de leur réception au laboratoire ($13,3^{\circ}\text{C}$), ce qu'il faut garder en mémoire pour l'interprétation des résultats.

Code station	Nature	Matériel purge	Débit pompe (m3/h)	Durée purge (min)	Date prélèvement	Heure prélèvement	Date de réception	T(°C) à réception
G7	Source	S_O	/	/	20/04/2015	09:25	20/04/2015 15:45	7.1
G8	Forage	pompe à demeure	1.32	13	20/04/2015	10:09	20/04/2015 15:45	7.1
G6	Forage	pompe à demeure	1.12	10	20/04/2015	11:16	20/04/2015 15:45	7.1
G5	Forage	pompe à demeure	1.92	10	20/04/2015	11:53	20/04/2015 15:45	7.1
G10	Source	S_O	/	/	20/04/2015	12:20	20/04/2015 15:45	7.1
G3	Forage	pompe à demeure	33.48	5	20/04/2015	13:51	20/04/2015 15:45	7.1
G1	Forage	pompe à demeure	2.56	17	20/04/2015	14:14	20/04/2015 15:45	7.1
G2	Forage	pompe à demeure	1.01	16	20/04/2015	14:45	20/04/2015 15:45	7.1
Ham2	Puits	12-PST-15.B+12-TUY04.B	0.35	20	21/04/2015	09:52	21/04/2015 16:25	8.3
Ham3	Forage	pompe à demeure	0.80	15	21/04/2015	10:22	21/04/2015 16:25	8.3
Ham4	Forage	pompe à demeure	1.11	10	21/04/2015	10:51	21/04/2015 16:25	8.3
Ham1	Forage	pompe à demeure	5.50	10	21/04/2015	11:27	21/04/2015 16:25	8.3
G9	Puits	12-PST-15.B+12-TUY04.B	0.40	10	21/04/2015	12:00	21/04/2015 16:25	8.3
Hav1	Forage	pompe à demeure	0.84	10	21/04/2015	13:32	21/04/2015 16:25	8.3
Hav4	Forage	pompe à demeure	0.22	12	21/04/2015	14:15	21/04/2015 16:25	8.3
G4	Forage	pompe à demeure	1.36	30	21/04/2015	15:15	21/04/2015 16:25	8.3
Hav6	Forage	pompe à demeure	6.08	15	22/04/2015	09:47	22/04/2015 14:05	7.7
Hav2	Forage	pompe à demeure	0.35	15	22/04/2015	10:23	22/04/2015 14:05	7.7
Hav3	Forage	pompe à demeure	4.8	10	22/04/2015	10:53	22/04/2015 14:05	7.7
Hav5	Forage	pompe à demeure	0.59	10	22/04/2015	11:28	22/04/2015 14:05	7.7
Hav1	Forage	pompe à demeure	1.04	10	24/08/2015	09:05	24/08/2015 15:20	13.3
G1	Forage	pompe à demeure	1.01	20	24/08/2015	10:35	24/08/2015 15:20	13.3
G2	Forage	pompe à demeure	0.48	20	24/08/2015	11:20	24/08/2015 15:20	13.3
G9	Puits	12-PST-15.B+12-TUY04.B	0.36	15	24/08/2015	11:55	24/08/2015 15:20	13.3
G3	Forage	pompe à demeure	33.48	15	24/08/2015	13:30	24/08/2015 15:20	13.3
G5	Forage	pompe à demeure	1.91	15	24/08/2015	14:10	24/08/2015 15:20	13.3
Ham2	Puits	12-PST-15.B+12-TUY04.B	0.26	20	25/08/2015	09:10	25/08/2015 15:00	8.2
Ham3	Forage	pompe à demeure	0.67	20	25/08/2015	09:56	25/08/2015 15:00	5.9
Ham4	Forage	pompe à demeure	1.15	18	25/08/2015	09:56	25/08/2015 15:00	5.9
G6	Forage	pompe à demeure	1.55	20	25/08/2015	10:05	25/08/2015 15:00	8.2
G4	Forage	pompe à demeure	0.64	20	25/08/2015	11:00	25/08/2015 15:00	8.2
Hav2	Forage	pompe à demeure	0.11	20	25/08/2015	12:00	25/08/2015 15:00	8.2
Ham1	Forage	pompe à demeure	1.14	10	25/08/2015	13:46	25/08/2015 15:00	5.9
Hav6	Forage	pompe à demeure	2.09	20	25/08/2015	13:55	25/08/2015 15:00	8.2
Hav5	Forage	pompe à demeure	0.81	20	25/08/2015	14:55	25/08/2015 15:00	5.9
G8	Forage	pompe à demeure	1.44	15	27/08/2015	08:55	27/08/2015 13:30	9.1
G7	Source	S_O	0.6	/	27/08/2015	09:15	27/08/2015 13:30	9.1
Hav3	Forage	pompe à demeure	5.78	10	27/08/2015	10:15	27/08/2015 13:30	9.1
G10	Source	S_O	/	/	27/08/2015	10:45	27/08/2015 13:30	9.1
Hav4	Forage	pompe à demeure						
G8	Forage	pompe à demeure	0.88	15	16/11/2015	09:00	16/11/2015 14:10	7.3
G7	Source	S_O	0.06	/	16/11/2015	09:15	16/11/2015 14:10	7.3
Ham3	Forage	pompe à demeure	0.84	15	16/11/2015	09:36	16/11/2015 17:05	5.8
G5	Forage	pompe à demeure	1.67	15	16/11/2015	10:05	16/11/2015 14:10	7.3
Ham4	Forage	pompe à demeure	1.116	15	16/11/2015	10:16	16/11/2015 17:05	5.8
G2	Forage	pompe à demeure	1	20	16/11/2015	10:40	16/11/2015 14:10	7.3
Ham1	Forage	pompe à demeure	3.33	15	16/11/2015	10:56	16/11/2015 17:05	5.8
G9	Puits	12-PST-15.B+12-TUY04.B	0.33	20	16/11/2015	11:15	16/11/2015 14:10	7.3
Hav6	Forage	pompe à demeure	3.48	22	16/11/2015	11:39	16/11/2015 17:05	5.8
G3	Forage	pompe à demeure	32.76	6	16/11/2015	11:50	16/11/2015 14:10	7.3
Hav3	Forage	pompe à demeure	2.4	10	16/11/2015	12:02	16/11/2015 17:05	5.8
G1	Forage	pompe à demeure	1.3	20	16/11/2015	14:05	16/11/2015 14:10	7.3
Hav5	Forage	pompe à demeure	1.18	15	16/11/2015	14:26	16/11/2015 17:05	5.8
G4	Forage	pompe à demeure	0.378	15	16/11/2015	15:16	16/11/2015 17:05	5.8
Hav1	Forage	pompe à demeure	0.93	15	16/11/2015	15:47	16/11/2015 17:05	5.8
G6	Forage	pompe à demeure	1.4	15	17/11/2015	09:20	17/11/2015 13:45	8.3
Ham2	Puits	12-PST-15.B+12-TUY04.B	0.4	20	17/11/2015	10:05	17/11/2015 13:45	8.3
Hav2	Forage	pompe à demeure	0.2	20	17/11/2015	10:56	17/11/2015 13:45	8.3
G10	Source	S_O	3.39	/	17/11/2015	11:35	17/11/2015 13:45	8.3
Hav4	Forage	pompe à demeure						

Illustration 5 – Déroulement des prélèvements pendant les campagnes 2015 (source : LABOCEA)

2.3. ANALYSES

L'ensemble des analyses a été réalisé par LABOCEA, laboratoire accrédité COFRAC (sauf pour le fer, le brome, le manganèse, la température et le potentiel rédox). Les analyses ont été réalisées sur deux sites LABOCEA (Illustration 6) : le site de Plouzané a analysé certains paramètres qui sont recherchés uniquement pendant la campagne complète et le site de Quimper a analysé les autres paramètres (analyse par colorimétrie, chromatographie ou volumétrie).

Paramètres	2015			Site d'analyse LABOCEA	
	Avril	Août	Novembre	Plouzané	Quimper
T° (°C)	x	x	x	x	
pH	x	x	x	x	
Conductivité à 25°C	x	x	x	x	
Potentiel redox	x	x	x	x	
Taux de saturation en oxygène	x	x	x	x	
Ammonium	x	x	x		x
Chlorures	x	x	x		x
Nitrates	x	x	x		x
Sulfates	x	x	x		x
Bicarbonates		x			x
Bromure		x			x
Calcium		x		x	
Carbonates		x			x
Fluorures		x			x
Fer		x		x	
Magnésium		x		x	
Manganèse		x		x	
Nitrites		x			x
Orthophosphates		x			x
Potassium		x		x	
Silice		x			x
Sodium		x		x	

Illustration 6 - Liste des paramètres analysés en 2015 et laboratoires d'analyses

Les fiches de terrain et les bordereaux d'analyses réalisés par le laboratoire ont été remis au SMH puis transmis au BRGM.

3. Présentation des résultats

3.1. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Les concentrations en éléments chimiques dans les eaux souterraines sont en grande partie acquises par l'altération des roches encaissantes. L'étude des éléments majeurs dissous (Ca, Mg, Na, K, HCO₃, CO₃, Cl, SO₄, NO₃, SiO₂) permet une première différenciation des eaux et une connaissance sur les formations lithologiques traversées ainsi que sur les apports anthropiques (nitrates).

Pour interpréter correctement les données recueillies sur la répartition des éléments chimiques dans les eaux, il est nécessaire de connaître leur spéciation, et pour ce faire de posséder la chimie globale de l'eau des différents pôles potentiels d'alimentation, avec en appui des mesures fiables des paramètres physico-chimiques sur le terrain (pH, potentiel rédox, alcalinité, température,...). La température et la minéralisation (représentée par la conductivité) sont déjà de bons indicateurs d'une origine plus profonde ou différente des eaux.

3.1.1. Paramètres *in situ*

Les paramètres non conservatifs ont été mesurés sur le terrain, tout au long de la purge et jusqu'à leur stabilisation (Illustration 7).

Les eaux analysées en 2015 présentent des **températures** comprises entre 11,7 et 16,8°C pour la campagne du mois d'avril, entre 12,1 et 17,7°C en août et entre 12,1 et 13,7°C en novembre. Lors de cette dernière campagne, on note une certaine homogénéité des températures. En effet, l'écart de température entre les différents points est relativement faible. Les températures les plus élevées sont enregistrées en août pour la majorité des points. Ces températures sont caractéristiques des eaux souterraines dans le secteur d'étude.

Le **pH** (potentiel hydrogène) des eaux s'échelonne globalement entre 5,2 et 7,1. Ces valeurs sont des valeurs habituelles pour des eaux souterraines issues d'aquifères de socle, plaçant celles-ci dans le domaine des eaux légèrement acides pour les plus faibles pH à neutres (pH 7). Le pH de chaque point de prélèvement présente une variation très faible lors des différentes campagnes.

La conductivité électrique de l'eau représente sa capacité à conduire le courant électrique. Elle est directement proportionnelle à la quantité d'ions dissous dans l'eau et traduit donc la minéralisation de l'eau. Plus la conductivité est élevée et plus la minéralisation des eaux est importante. Ce paramètre est dépendant du temps de transit et des roches en contact avec l'eau. Pour les eaux ayant circulé au contact de formations granitiques, les conductivités dépassent rarement 1 000 µS/cm. Les eaux ayant subi une intrusion d'eau de mer ou un contact avec des formations contenant de la halite et/ou du gypse ont des conductivités beaucoup plus élevées qui peuvent atteindre plusieurs milliers voire dizaines de milliers de µS/cm (eau de mer : 50 000 µS/cm).

Les valeurs de **conductivité** des eaux souterraines étudiées révèlent des faciès d'eaux peu minéralisées, avec une moyenne d'environ 500 µS/cm, sauf pour le forage Hav1 de Santec qui présente une conductivité supérieure à 1 000 µS/cm. Cette conductivité élevée peut être liée à la proximité du littoral (biseau salé).

Concernant le **potentiel d'oxydo-réduction**, plus celui-ci est faible et plus le milieu est localement réducteur et inversement plus il est fort et plus le milieu est oxydant.

Les valeurs du potentiel d'oxydo-réduction (valeurs corrigées) des eaux étudiées varient entre 204 et 548 mV (moyenne de 412 mV) en avril, entre 229 et 544 mV (moyenne de 435 mV) en août et entre 217 et 783 mV (moyenne de 347 mV) en novembre. Les valeurs du potentiel d'oxydo-réduction mesuré en avril et août sont du même ordre de grandeur et caractérisent des eaux oxydantes, mis à part les points Hav4 et Hav6 où les eaux sont moins oxydantes, voire réductrices. Les résultats sont très différents en novembre 2015 : les points présentant les potentiels d'oxydo-réduction les plus faibles (valeurs très différentes des 2 campagnes précédentes), ont été mesurés par un autre préleveur. Ces valeurs douteuses (en grisé sur l'illustration 7) seront éventuellement à écarter en fonction des résultats des prochaines campagnes, le potentiel d'oxydo-réduction des eaux souterraines variant généralement assez peu dans le temps.

Les nappes libres présentent généralement des teneurs en oxygène dissous de l'ordre de 5 à 10 mg/L, à l'exception des zones humides. Les nappes captives montrent un déficit en oxygène dissous, celui-ci pouvant être consommé par l'oxydation de la matière organique (activité bactérienne) ou des sulfures présents dans l'aquifère. Les teneurs en oxygène dissous y sont souvent inférieures au seuil des 5 mg/L. Au-dessous de 2 mg/L, le milieu est qualifié de réducteur.

Les teneurs en **oxygène dissous** des points de l'étude sont très variables d'un point à un autre et sont comprises entre 0 et 10,3 mg/L. Les points Hav4 et Hav6, qui présentaient les teneurs en Eh les plus faibles, sont logiquement pauvres en oxygène.

3.1.2. Eléments majeurs

La composition des eaux en ions majeurs permet de déterminer le faciès chimique des eaux, qui est lié aux formations géologiques rencontrées par les eaux au cours de leur parcours.

Dans les eaux de l'étude, les concentrations en **cations majeurs** (calcium Ca^{2+} , magnésium Mg^{2+} , sodium Na^+ , potassium K^+), et **anions majeurs** (carbonates CO_3^{2-} , bicarbonates HCO_3^- , chlorures Cl^- , sulfates SO_4^{2-}) sont très faibles (Illustration 8). Ces eaux très peu minéralisées sont caractéristiques des aquifères de socle. Les teneurs en carbonates sont nulles et celles en bicarbonates sont faibles.

Les teneurs en chlorures et en sulfates, mesurées lors de chaque campagne, montrent peu de variabilité dans le temps.

Nom	Commune	Nature	Prof (m)	2015														
				Avril					Août					Novembre				
				T° (°C)	pH	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Eh corrigé (mV)	Taux de saturation en oxygène (mg/L)	T° (°C)	pH	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Eh corrigé (mV)	Taux de saturation en oxygène (mg/L)	T° (°C)	pH	Conductivité à 25°C (µS/cm)	Eh corrigé (mV)	Taux de saturation en oxygène (mg/L)
G1	TREFLAOUENAN	FORAGE	94	14.6	6.0	670	463	6.7	14.2	5.8	832	476	5.3	14.1	5.9	739	477	7.1
G2	PLOUGOULM	FORAGE	50	13.2	5.6	388	485	2.1	14.6	5.3	368	475	5.2	13.0	5.3	373	516	1.9
G3	TREFLAOUENAN	FORAGE		12.2	6.1	471	421	9.2	12.7	6.0	485	465	7.7	12.7	5.7	490	460	8.8
G4	PLOUGOULM	FORAGE	52	13.0	6.5	726	350	5.5	14.9	6.4	710	312	6.9	13.2	6.7	689	219	6.7
G5	PLOUZEVEDE	FORAGE	40	13.1	5.6	461	470	7.9	13.2	5.4	615	544	2.5	13.2	5.4	647	513	3.7
G6	PLOUZEVEDE	FORAGE	61	13.8	6.6	363	320	0.5	14.3	6.6	355	335	0.2	14.0	6.3	353	313	0
G7	PLOUGAR	SOURCE	/	12.1	5.6	275	509	8.8	12.1	5.4	275	491	5.9	12.1	5.5	280	604	7.6
G8	PLOUGAR	FORAGE	67	11.8	5.5	265	534	9.5	12.2	5.4	262	526	7.2	12.2	5.2	268	783	9.6
G9	PLOUGOULM	PUITS	3.43	12.2	5.9	466	436	4.7	14.6	5.8	468	418	2.5	13.4	5.9	428	470	1.2
G10	SIBIRIL	SOURCE	/	12.5	6.4	651	400	8.7	12.8	6.0	659	394	4.9	13.2	6.1	671	227	9.3
Ham1	MESPAUL	FORAGE	90	12.8	6.8	523	391	6.6	15.4	7.0	475	366	4.8	13.5	6.9	455	218.7	5.4
Ham2	PLOUVORN	PUITS	2.2	11.7	5.5	298	491	6.5	12.2	5.3	293	515	4.8	12.2	5.4	296	241	8.2
Ham3	GUICLAN	FORAGE	40	11.7	5.8	326	548	8.6	13.8	5.7	323	525	7.8	12.6	5.6	323	217	8.2
Ham4	PLOUVORN	FORAGE	48	12.1	6.1	426	482	7.6	13.2	6.1	414	510	6.6	12.8	6.1	419	217.6	6.4
Hav1	SANTEC	FORAGE	50	12.0	7.0	1040	380	9	17.4	7.1	1061	378	8.9	13.5	6.8	1053	219.5	9.3
Hav2	PLOUENAN	FORAGE	58	13.0	6.3	505	388	9.2	13.8	6.4	497	448	7	13.3	6.3	507	234	8.9
Hav3	PLOUENAN	FORAGE	50	13.5	6.2	464	361	6	13.7	6.3	495	451	10.3	13.0	6.5	443	218.3	6.8
Hav4	SAINT-POL-DE-LEON	FORAGE	81	13.7	7.0	852	204	3.4										
Hav5	PLOUENAN	FORAGE	61	16.8	6.5	478	373	4.9	15.1	6.7	488	410	6.9	13.6	6.6	483	217.7	6.9
Hav6	MESPAUL	FORAGE	103	13.2	6.3	396	244	0.3	15.0	6.4	406	229	0	13.7	6.5	412	221.6	0.6

Illustration 7 - Paramètres in situ (avec en vert : valeur minimale ; en rouge : valeur maximale ; en grisé : valeurs douteuses)

Nom	Commune	Nature	2015																								
			Avril					Août										Novembre									
			Ammonium mg/L	Chlorures mg/L	Nitrates mg/L	Sulfates mg/L	Ammonium mg/L	Chlorures mg/L	Nitrates mg/L	Sulfates mg/L	Bicarbonates mg/L	Bromure µg/L	Calcium mg/L	Carbonates mg/L	Fluorure mg/L	Fer µg/L	Magnésium mg/L	Manganèse µg/L	Nitrites mg/L	Ortho-phosphates mg/L	Potassium mg/L	Silice mg/L	Sodium mg/L	Ammonium mg/L	Chlorures mg/L	Nitrates mg/L	Sulfates mg/L
G1	TREFLAOUENAN	FORAGE	< 0.05	48	94	136	< 0.05	54	146	144	44.4	0.372	64	0	0.055	9.1	28	16	< 0.01	0.12	6.5	21.2	44	< 0.05	51	105	146
G2	PLOUGOULM	FORAGE	< 0.05	24	81	46	< 0.05	23	67	46	17.4	0.111	17	0	< 0.05	21	8.7	876	0.04	0.13	25	12.6	19	< 0.05	26	71	46
G3	TREFLAOUENAN	FORAGE	< 0.05	33	85	70	< 0.05	33	92	70	30	0.238	30	0	0.056	5.4	18	1.1	< 0.01	0.09	7	18.4	27	< 0.05	34	90	71
G4	PLOUGOULM	FORAGE	< 0.05	31	49	97	0.14	31	47	97	225.2	0.314	65	0	0.087	8.4	28	2.6	< 0.01	0.16	4.1	12.3	39	< 0.05	33	33	80
G5	PLOUZEVEDE	FORAGE	< 0.05	36	96	52	< 0.05	44	164	46	22	0.162	33	0	0.06	< 5	19	16	0.02	0.16	18	19.2	35	0.06	46	179	46
G6	PLOUZEVEDE	FORAGE	< 0.05	26	21	59	< 0.05	26	11	60	73.3	0.193	23	0	0.146	342	12	209	< 0.01	< 0.02	3.1	26.4	26	< 0.05	26	12	57
G7	PLOUGAR	SOURCE	< 0.05	26	57	22	< 0.05	28	58	20	13.1	0.151	15	0	< 0.05	< 5	8.2	6.2	< 0.01	0.05	3.3	13.1	18	< 0.05	28	59	19
G8	PLOUGAR	FORAGE	< 0.05	24	67	15	< 0.05	25	65	14	< 12.2	0.154	12	0	< 0.05	< 5	9.4	15	< 0.01	0.04	1.8	13.9	18	< 0.05	26	64	13
G9	PLOUGOULM	PUITS	< 0.05	38	76	49	< 0.05	37	79	51	47.2	0.246	28	0	< 0.05	8.3	13	16	< 0.01	0.23	13	16.3	29	< 0.05	34	60	43
G10	SIBIRIL	SOURCE	< 0.05	43	112	98	< 0.05	44	123	103	50.6	0.356	60	0	0.096	< 5	18	< 1	< 0.01	0.15	2.2	14.8	33	< 0.05	45	124	103
Ham1	MESPAUL	FORAGE	< 0.05	32	30	107	< 0.05	34	1.6	96	108	0.181	28	0	0.138	36	22	152	< 0.01	< 0.02	4.1	27.1	30	0.07	30	45	78
Ham2	PLOUVORN	PUITS	< 0.05	31	52	27	< 0.05	29	50	26	21	0.202	14	0	< 0.05	< 5	9.7	3	< 0.01	0.07	2.7	20.5	22	< 0.05	30	50	28
Ham3	GUICLAN	FORAGE	< 0.05	22	76	30	< 0.05	23	77	27	21	0.104	17	0	< 0.05	< 5	11	1.8	< 0.01	0.08	2.7	17	23	< 0.05	24	80	26
Ham4	PLOUVORN	FORAGE	< 0.05	24	79	55	< 0.05	22	72	56	51	0.157	24	0	< 0.05	< 5	14	< 1	< 0.01	0.09	3.4	26.4	31	< 0.05	24	73	57
Hav1	SANTEC	FORAGE	< 0.05	66	89	91	< 0.05	68	91	96	355.6	0.5	108	0	0.23	< 5	30	2.9	< 0.01	0.17	9.7	12.4	68	< 0.05	73	88	101
Hav2	PLOUENAN	FORAGE	< 0.05	32	68	72	< 0.05	30	52	71	90	0.199	34	0	0.091	16	17	5.3	< 0.01	0.14	7.1	17.1	29	< 0.05	30	56	70
Hav3	PLOUENAN	FORAGE	< 0.05	41	4.3	91	< 0.05	36	55	72	73.3	0.214	34	0	0.075	< 5	14	161	0.11	0.02	14	20.9	30	< 0.05	40	5.6	75
Hav4	SAINT-POL-DE-LEON	FORAGE	< 0.05	72	< 0.5	148																					
Hav5	PLOUENAN	FORAGE	< 0.05	46	25	43	< 0.05	43	33	50	124.7	0.238	38	0	0.123	100	15	132	< 0.01	< 0.02	3.6	27.4	32	< 0.05	45	28	49
Hav6	MESPAUL	FORAGE	< 0.05	43	< 0.5	71	< 0.05	44	< 0.5	67	62.6	0.322	18	0	0.179	5268	13	762	< 0.01	< 0.02	3	33.3	33	< 0.05	44	< 0.5	69
Limites de qualité des EDCH (11/01/2007)					50				50						1.5				0.5							50	
Références de qualité des EDCH (11/01/2007)			0.1	250		250	0.1	250		250					200		50					200	0.1	250		250	

Illustration 8 - Résultats des analyses chimiques réalisées en 2015 (avec en rouge : valeurs supérieures aux limites ou références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007 et en italique : valeurs inférieures à la limite de quantification)

Balance ionique

Afin de s'assurer de la fiabilité des analyses chimiques, la balance ionique a été calculée pour toutes les analyses de la campagne complète d'août 2015.

Elle est calculée par différence (en pourcentage) entre les ions de charge positive (cations) et les ions de charge négative (anions). Cette théorie physique se base sur le principe de l'électroneutralité des eaux, c'est-à-dire l'égalité entre la somme des cations et la somme des anions.

Le calcul de la balance ionique se fait grâce à la formule suivante :

$$\text{Balance ionique} = 100 \times \frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}}$$

où les sommes des anions et des cations sont exprimées en meq/L.

La fiabilité de l'analyse au regard de la balance ionique est considérée comme :

- excellente pour une balance entre -1 et + 1 %
- acceptable pour une balance entre -5 et + 5 %
- médiocre pour une balance entre -10 et + 10 %
- mauvaise pour des balances inférieures à -10 % et supérieures à + 10 %.

Au-delà de 10%, la balance met en évidence un problème dans le résultat d'analyse (analyse manquante pour un élément, problème échantillon, problème laboratoire, etc.).

L'illustration 9 présente les balances ioniques calculées sur les résultats d'analyses de la campagne complète d'août 2015. *Remarque : les balances ioniques ne peuvent pas être calculées avec les résultats des campagnes allégées.*

L'examen de ce tableau montre que l'ensemble des échantillons présente une balance ionique inférieure au seuil d'acceptabilité de 5% (balances comprises entre -3 et 0%). Toutes les analyses peuvent donc être prises en compte et représentées sur le diagramme de Piper (Illustration 10).

Nom	Commune	Balance ionique
		Août 2015
G1	TREFLAOUENAN	0%
G2	PLOUGOULM	1%
G3	TREFLAOUENAN	0%
G4	PLOUGOULM	0%
G5	PLOUZEVEDE	0%
G6	PLOUZEVEDE	0%
G7	PLOUGAR	-1%
G8	PLOUGAR	-1%
G9	PLOUGOULM	-1%
G10	SIBIRIL	-2%
Ham1	MESPAUL	-2%
Ham2	PLOUVORN	0%
Ham3	GUICLAN	0%
Ham4	PLOUVORN	0%
Hav1	SANTEC	-1%
Hav2	PLOUENAN	-1%
Hav3	PLOUENAN	-1%
Hav4	SAINT-POL-DE-LEON	non prélevé
Hav5	PLOUENAN	-2%
Hav6	MESPAUL	-3%

Illustration 9 - Balance ionique des concentrations en éléments majeurs des points du réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines (campagne complète août 2015)

Faciès chimique

Le diagramme de Piper est la représentation est la plus appropriée pour déterminer le faciès chimique des eaux souterraines. En effet, il permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. A ces deux triangles est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès chimique de l'eau concernée (Illustration 10).

L'ensemble des points présente une répartition homogène en cations, sans cation majoritaire. En revanche, le triangle des anions fait apparaître plusieurs pôles intermédiaires :

- un pôle bicarbonaté (G4, Hav1 et Hav5 – cf. n°1 sur l'illustration 10),
- un pôle sulfaté et bicarbonaté (Ham1 et G6 – cf. n°2),
- un pôle nitraté et sulfaté (G1, G2, G3 et G10 – n°3),
- un pôle dominé par les nitrates (G5, G7, G8, Ham2, Ham3 – cf. n°4),

- un pôle sans anion majoritaire.

Le diagramme de Piper ne montre pas d'évolution uniquement liée à la géographie (amont/aval du bassin versant) mais pourrait indiquer une tendance d'évolution d'un faciès bicarbonaté à un faciès nitraté-sulfaté, qui ne peut pas être expliquée pour l'instant avec une seule campagne d'analyses.

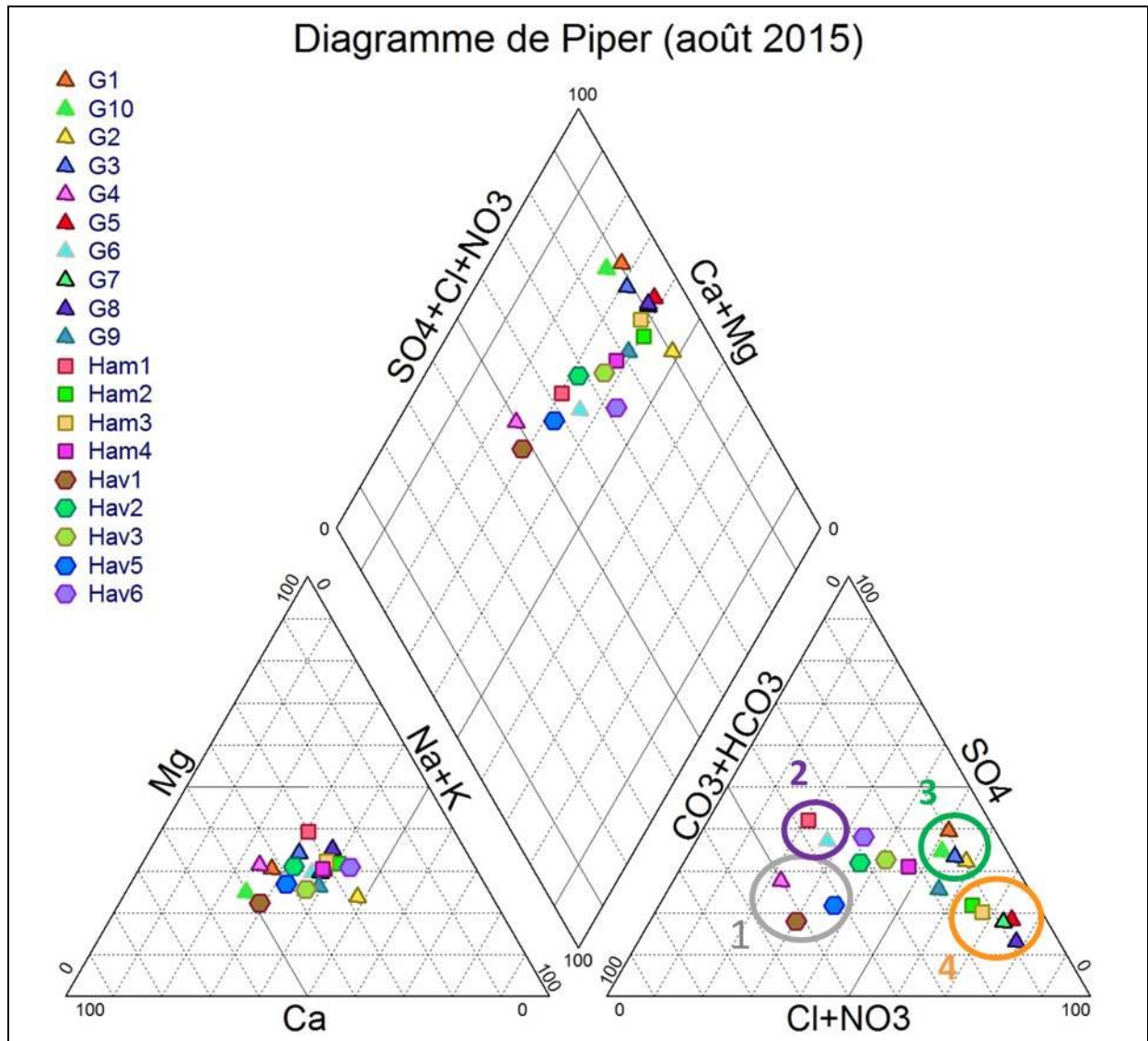


Illustration 10 - Diagramme de Piper à partir des résultats des analyses d'août 2015

3.1.3. Eléments mineurs

Composés azotés

Les résultats sur les composés azotés sont présentés sur l' et l'illustration 11. L'azote présent dans l'eau constitue un bon indicateur de la qualité des eaux.

Plusieurs points présentent des concentrations en composés azotés supérieures aux limites ou références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (arrêté du 11 janvier 2007).

L'azote est l'un des principaux facteurs à maîtriser pour lutter contre la prolifération des algues vertes (avec le phosphore). Le plan « algues vertes » retient un objectif compris entre 10 et 25 mg/L de nitrates à l'exutoire des cours d'eau.

Il existe différentes sources d'azote dans le milieu :

- Azote issu de rejets échappant aux stations d'épuration et à l'assainissement non collectif (flux variable selon l'occupation du sol et les performances épuratoires),
- Azote d'origine agricole (source prépondérante), issu du lessivage des sols ayant bénéficié d'engrais azotés.

L'ion nitrate (NO_3^-) est la forme la plus oxydée de l'azote. Les sources naturelles de nitrates sont principalement les pluies et les interactions avec le sol et la végétation. Les teneurs en nitrates dans les eaux naturelles dépendent de nombreux processus biogéochimiques qui constituent le cycle de l'azote. A l'état naturel, les concentrations en nitrates sont faibles (quelques mg/L au maximum). On admet généralement qu'une teneur supérieure à 10 mg/L traduit un apport anthropique. Les sources anthropiques de nitrates sont nombreuses et sont essentiellement liées au lessivage des engrais et aux rejets domestiques et industriels.

La directive fille eaux souterraines 2006/118/CE et l'arrêté du 17 décembre 2008 fixent une norme de qualité à l'échelle européenne pour les **nitrates** de 50 mg/L. Cette teneur de 50 mg/L constitue également la référence de qualité pour les eaux destinées à la consommation humaine dans l'arrêté 11 janvier 2007.

Sur les points Hav4 et Hav6, les nitrates ne sont pas quantifiés (teneur inférieure à 0,5 mg/L). Pour les points de surveillance où les nitrates sont quantifiés, les teneurs varient entre 4 et 112 mg/L en avril (moyenne de 65 mg/L), entre 2 et 164 mg/L en août (moyenne de 71 mg/L) et entre 6 et 180 mg/L en novembre (moyenne de 68 mg/L).

Les fortes teneurs de certains points de l'étude indiquent un apport anthropique en nitrates important.

Les teneurs en nitrates des points du réseau de mesures sont très variables dans l'espace mais aussi dans le temps sur certains points du réseau, avec des variations parfois supérieures à 50 mg/L entre 2 campagnes. C'est le cas pour les points G1 et G5, où les teneurs en nitrates sont les plus fortes et ont fortement augmenté entre avril et août 2015, mais aussi pour les points Ham1 et Hav3, où les teneurs en nitrates passent de valeurs très faibles (en août 2015 pour Ham1 ; en avril et novembre 2015 pour Hav3) à des teneurs beaucoup plus élevées (en avril et novembre 2015 pour Ham1 ; en août 2015 pour Hav3). Ces variations surprenantes ne sont pas dues à une erreur analytique (résultats d'analyses confirmés par le laboratoire). Les campagnes d'analyses de 2016 et 2017 permettront de confirmer ce type de variation ou au contraire de mettre en évidence le caractère exceptionnel de ces variations.

Après interprétation des résultats de 2015, aucune tendance ne semble se dégager par rapport à la géologie (lithologie et altérites), la profondeur des ouvrages, l'occupation des sols ou par rapport à la position des points dans le bassin versant (amont/aval) (Illustration 12).

Nom	Commune	Nature	Prof. (m)	Géologie (1/50 000)	Altérites	Arrivées d'eau prof en m (débit en m3/h)	Pente	Occupation du sol	2015							
									Avril		Août			Novembre		
									Ammonium mg/L	Nitrates mg/L	Ammonium mg/L	Nitrites mg/L	Nitrates mg/L	Fer µg/L	Ammonium mg/L	Nitrates mg/L
G1	TREFLAOUENAN	FORAGE	94	Gneiss migmatitique de l'Horn	Oui		plateau	légumes (serres)	< 0.05	94	< 0.05	< 0.01	146	9.1	< 0.05	105
G2	PLOUGOULM	FORAGE	50	Monzogranite de Moguériec	Non	16 (1 m3/h), 25 (1), 50 m (3)	versant	légumes	< 0.05	81	< 0.05	0.04	67	21	< 0.05	71
G3	TREFLAOUENAN	FORAGE		Monzogranite de Cléder	?		talweg	non agricole	< 0.05	85	< 0.05	< 0.01	92	5.4	< 0.05	90
G4	PLOUGOULM	FORAGE	52	Gneiss migmatitique de l'Horn	?	22 (5 m3/h), 35 (6), 52 m (11)	plateau	non agricole	< 0.05	49	< 0.05	< 0.01	47	8.4	< 0.05	33
G5	PLOUZEVEDE	FORAGE	40	Orthogneiss de Plouénan	Non		plateau	élevage	< 0.05	96	0.14	0.02	164	< 5	0.06	179
G6	PLOUZEVEDE	FORAGE	61	Orthogneiss de Plouénan	Non		versant	élevage	< 0.05	21	< 0.05	< 0.01	11	342	< 0.05	12
G7	PLOUGAR	SOURCE	/	Orthogneiss de Plouénan	?		versant	prairie	< 0.05	57	< 0.05	< 0.01	58	< 5	< 0.05	59
G8	PLOUGAR	FORAGE	67	Orthogneiss de Plouénan	Oui		plateau	élevage	< 0.05	67	< 0.05	< 0.01	65	< 5	< 0.05	64
G9	PLOUGOULM	PUITS	3.43	Orthogneiss de Plouénan	?		versant	élevage	< 0.05	76	< 0.05	< 0.01	79	8.3	< 0.05	60
G10	SIBIRIL	SOURCE	/	Monzogranite de Cléder	?		plateau	légumes	< 0.05	112	< 0.05	< 0.01	123	< 5	< 0.05	124
Ham1	MESPAUL	FORAGE	90	Micaschistes et quartzites	?	56 (2 m3/h), 76 (5), 90 m (7)	versant	pépiniériste (serres)	< 0.05	30	< 0.05	< 0.01	1.6	36	0.07	45
Ham2	PLOUVORN	PUITS	2.2	Micaschistes et quartzites	?		talweg	élevage	< 0.05	52	< 0.05	< 0.01	50	< 5	< 0.05	50
Ham3	GUICLAN	FORAGE	40	Micaschistes et quartzites	?		versant	élevage	< 0.05	76	< 0.05	< 0.01	77	< 5	< 0.05	80
Ham4	PLOUVORN	FORAGE	48	Micaschistes et quartzites	Oui	48 m (1,5 m3/h)	versant	cultures	< 0.05	79	< 0.05	< 0.01	72	< 5	< 0.05	73
Hav1	SANTEC	FORAGE	50	Granite de Roscoff	Oui	13 (3 m3/h), 18 (10), 26 (22), 34 (38), 40 m (42)	versant	légumes	< 0.05	89	< 0.05	< 0.01	91	< 5	< 0.05	88
Hav2	PLOUENAN	FORAGE	58	Orthogneiss de Plouénan	Oui		plateau	industrielle	< 0.05	68	< 0.05	< 0.01	52	16	< 0.05	56
Hav3	PLOUENAN	FORAGE	50	Orthogneiss de Plouénan	Oui	20, 59 (3 m3/h), 60 m (25)	versant	légumes et hors sol animal	< 0.05	4.3	< 0.05	0.11	55	< 5	< 0.05	5.6
Hav4	SAINT-POL-DE-LEON	FORAGE	81	Monzogranite de Moguériec	Oui	10 (1 m3/h), 69 (5), 67 (8), 81 m (10)	versant	légumes (serres)	< 0.05	< 0.5						
Hav5	PLOUENAN	FORAGE	61	Orthogneiss de Plouénan	?	15 (3,5 m3/h), 20 (3,5), 61 m (7)	plateau	légumes (serres)	< 0.05	25	< 0.05	< 0.01	33	100	< 0.05	28
Hav6	MESPAUL	FORAGE	103	Granite de Ste Catherine	?	20 (2m3/h), 43, 70, 73 (6,5), 85, 88 m (9)	versant	légumes	< 0.05	< 0.5	< 0.05	< 0.01	< 0.5	5268	< 0.05	< 0.5

Illustration 11 - Résultats des analyses chimiques réalisées en 2015 pour les composés azotés et le fer r (cases vertes : teneurs minimales sur une campagne ; cases rouges : teneurs maximales)

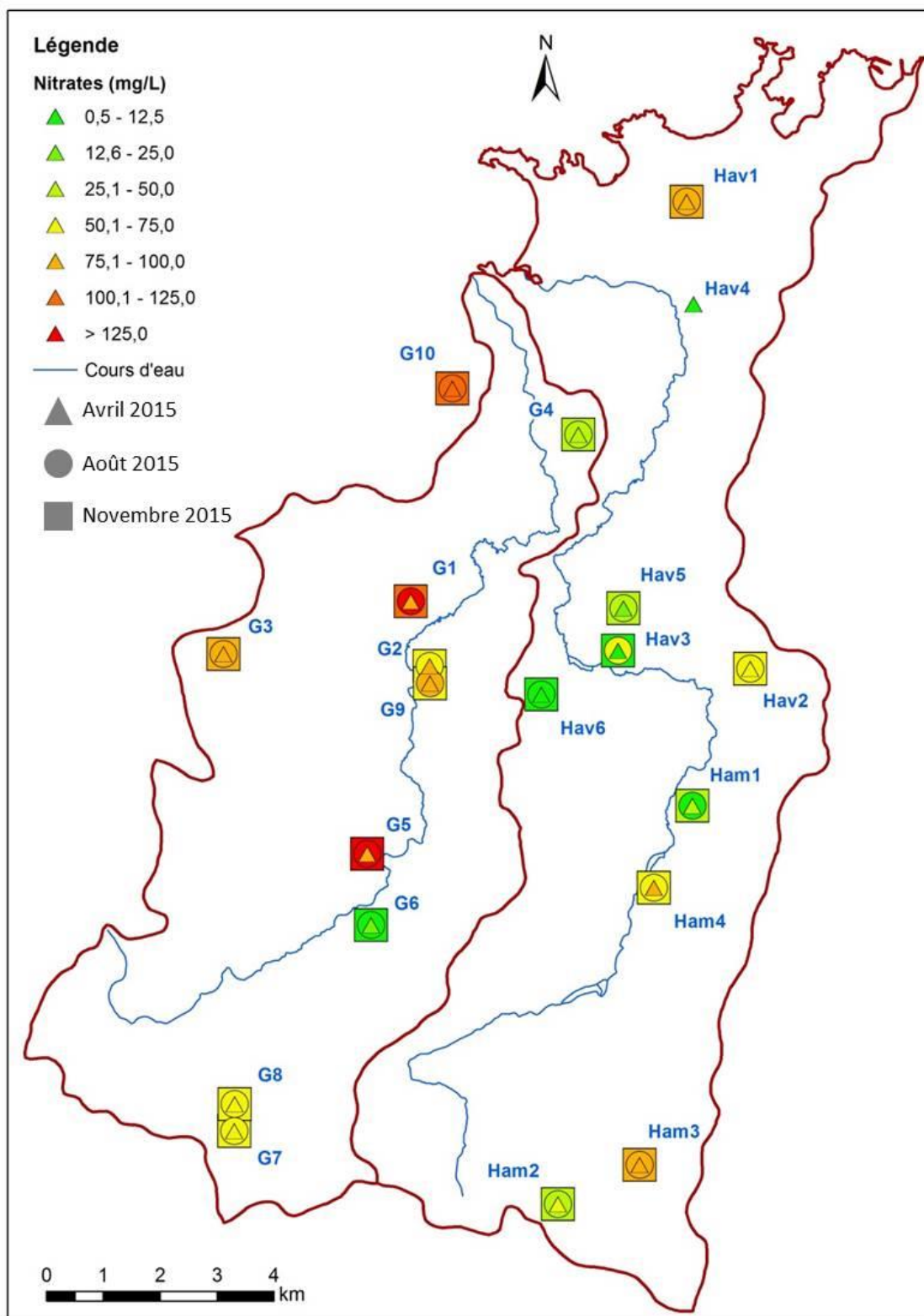


Illustration 11 - Evolution des teneurs en nitrates sur les points du réseau de suivi en 2015

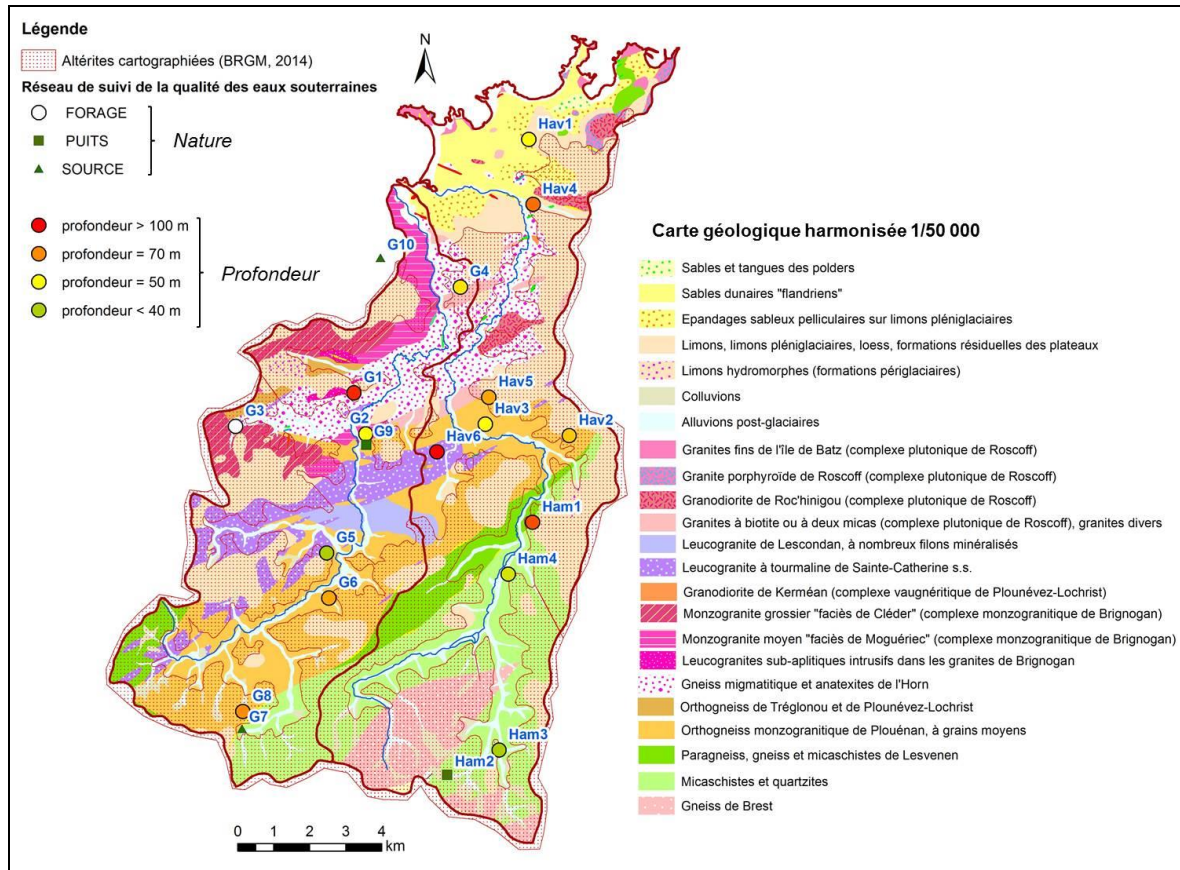


Illustration 12 - Caractéristiques des points de suivi (nature, profondeur et contexte géologique)

A chaque campagne de mesure, les teneurs moyennes en nitrates sont plus élevées sur les points analysés sur le bassin versant du Guillec que sur ceux de l'Horn (Illustration 13). Les concentrations en nitrates sont plus fortes en aval du bassin versant du Guillec (points G1 à G4, G9 et G10) qu'en amont (points G5, G6, G7 et G8). Les points analysés sur le secteur Horn aval présentent en moyenne les concentrations en nitrates les plus faibles (ce qui est sans doute lié à 2 points avec dénitrification autotrophe).

	Avril 2015	Août 2015	Novembre 2015
Guillec amont	60.3	74.5	78.50
Guillec aval	82.8	92.3	80.50
Horn amont	59.3	50.2	62
Horn aval	31.1	46.3	35.6

Illustration 13 - Evolution des teneurs moyennes en nitrates par bassin versant

Il est également intéressant de regarder l'évolution des teneurs en nitrates en fonction de la profondeur de l'ouvrage (Illustration 14). En effet, les aquifères de sub-surface (altérites) sont supposés être plus chargés en nitrates que les aquifères profonds (horizon fissuré), car en contact avec les apports anthropiques. D'autre part, un phénomène de dénitrification peut avoir lieu en profondeur (voir paragraphe sur le fer ci-dessous), ce qui entraîne une diminution des teneurs en nitrates avec la profondeur. En l'absence de phénomène de dénitrification, on peut trouver des teneurs en nitrates élevées à toute profondeur.

On constate que les ouvrages peu profonds (sources, puits) présentent systématiquement des teneurs en nitrates supérieures à 50 mg/L et que ce n'est qu'à partir de 50 m de profondeur que des teneurs en nitrates plus faibles apparaissent. Cependant, certains forages profonds montrent tout de même des teneurs en nitrates très élevées (notamment G1).

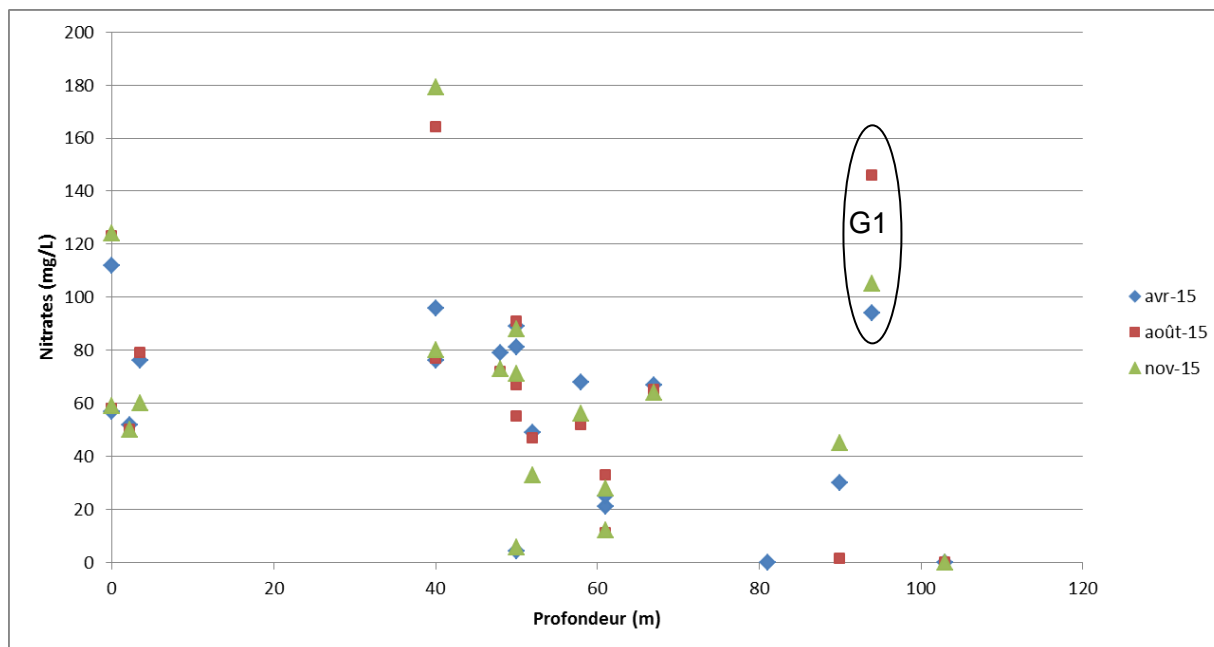


Illustration 14 - Evolution des teneurs en nitrates en fonction de la profondeur des ouvrages

Par ailleurs, sur chacun des 2 doublets, puits (G9) / forage (G2) et source (G7) / forage (G8), les teneurs en nitrates des 2 points de suivi sont très proches et ne montrent pas d'amélioration de la qualité avec l'augmentation de la profondeur ().

Les points présentant les teneurs en nitrates les plus faibles au mois d'août 2015 sont Ham1, Hav6 et G6, avec respectivement 1,6 mg/L, <0,5 mg/L et 11 mg/L de nitrates. Hav 5 s'approche également de par ses caractéristiques chimiques de ces points, avec malgré tout une teneur en nitrates un peu plus élevée (33 mg/L). Ce sont tous des forages dont la profondeur est comprise entre 61 et 103 m.

Ces points ont tous des teneurs en orthophosphates inférieures au seuil de quantification (0,02 mg/L) et des teneurs en fer et manganèse élevées (surtout le point Hav6). Les teneurs en silice de ces points sont également parmi les plus élevées.

Les conditions réductrices au sein de l'aquifère sont à l'origine de l'augmentation des teneurs en fer et manganèse dans les eaux, alors que l'augmentation du temps de résidence (temps que met une goutte d'eau de pluie à s'infiltrer et à arriver jusqu'à l'aquifère capté par le forage profond) est à rapprocher de l'augmentation des teneurs en silice. Ces éléments concourent à une plus faible pollution en éléments de type phosphates et nitrates dans les eaux, que l'on peut également associer à des phénomènes de dénitrification autotrophe (cf. paragraphe « Fer »).

Les **nitrites** (NO_2^-) sont peu stables dans les eaux souterraines et constituent donc un bon indicateur de contamination locale des eaux souterraines. Il s'agit d'un élément intermédiaire entre l'ammonium (présent en milieu réducteur) et les nitrates (en milieu oxydant). La limite de qualité pour les nitrites est de 0,5 mg/L pour les eaux destinées à la consommation humaine

(arrêté du 11 janvier 2007). Les teneurs en nitrites sont faibles, inférieures à la limite de quantification sur 16 points du réseau et inférieures à la limite de qualité pour les 3 points sur lesquels ils ont été détectés.

L'**ammonium** (NH_4^+) provient de la décomposition des chaînes carbonées constituant les matières organiques par les bactéries. Cette dégradation consomme l'oxygène présent dans l'eau et libère également du CO_2 dans les eaux. La présence d'ammonium dans les eaux souterraines résulte d'une contamination de surface liée essentiellement aux activités agricoles et aux rejets d'effluents domestiques et industriels (usine d'engrais, sites d'enfouissement de déchets, boues de station d'épuration, ...). La plupart des points présentent des teneurs en ammonium inférieures à la limite de quantification. Seul le point G5 présente un dépassement de la référence de qualité fixée à 0,1 mg/L (arrêté du 11 janvier 2007) en août 2015. Ce point présente également les plus fortes concentrations en nitrates, on peut donc supposer une contamination anthropique.

Phosphore

Le phosphore n'est naturellement présent dans l'eau qu'en très faible quantité. Le phosphore que l'on retrouve dans l'eau provient essentiellement des rejets d'eaux résiduaire (déjections, lessives, ...) mais aussi des activités agricoles (engrais, effluents).

La forme **orthophosphates** (PO_4^{3-}) est la plus répandue. Les teneurs en orthophosphates mesurées sur les points du réseau de suivi sont faibles, comprises entre 0,02 et 0,23 mg/L lorsqu'elles sont quantifiées. Elles sont inférieures au seuil de 0,5 mg/L qui constitue un indice de pollution anthropique.

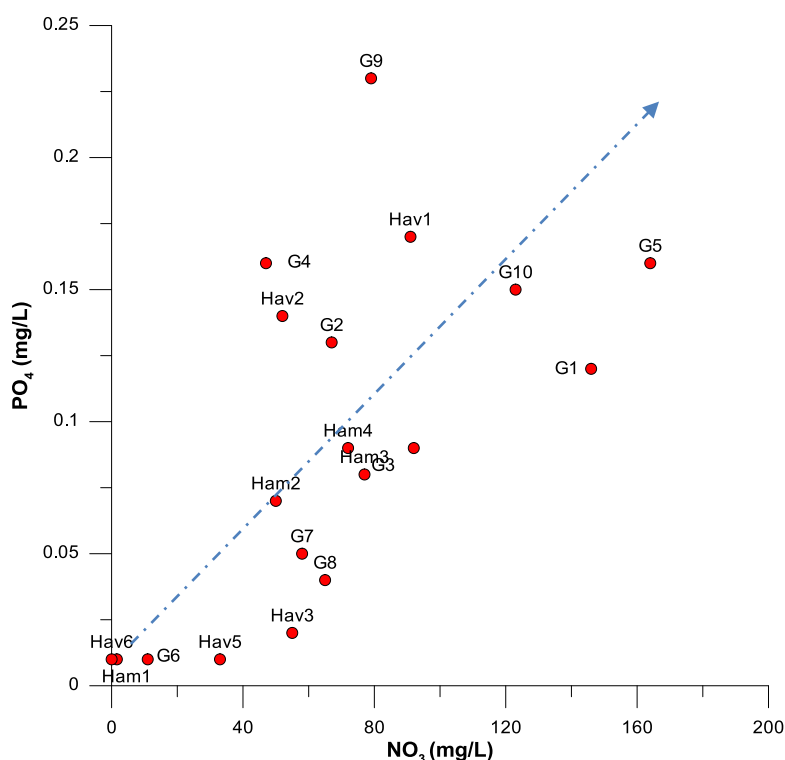


Illustration 15 – Diagramme binaire nitrates-phosphates (campagne d'août 2015)

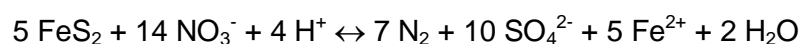
On note une corrélation entre les teneurs en phosphates et en nitrates qui augmentent globalement de pair (Illustration 15). Ceci confirme l'origine anthropique des deux éléments que

l'on retrouve dans les eaux souterraines du secteur. Néanmoins, il n'est pas possible avec les données disponibles de discriminer l'origine de ces éléments qui peuvent être d'origine agricole ou provenir des eaux usées. La mesure des teneurs en bore des eaux pourrait aider à déterminer l'origine de ces éléments.

Il est à noter que l'azote et le phosphore contribuent fortement à l'eutrophisation des eaux littorales.

Fer

La présence de fer en grande quantité, si elle s'accompagne d'une faible teneur en nitrates, est souvent l'indice d'un phénomène de dénitrification autotrophe naturelle au sein de la nappe : ce phénomène est lié à des réactions biochimiques, engendrées par la présence de pyrite en profondeur (sulfure de fer - FeS_2), présente naturellement dans certaines roches (seules certaines formations géologiques sont concernées). L'équation chimique de cette dénitrification est la suivante :



Les teneurs en fer des eaux de l'étude varient fortement entre 5,4 et 5268 $\mu\text{g/L}$, avec une moyenne de 581 $\mu\text{g/L}$. Pour environ la moitié des points, les teneurs en fer sont très faibles et inférieures à la limite de quantification (5 $\mu\text{g/L}$). Pour la majorité des autres points, les teneurs sont faibles (maximum 36 $\mu\text{g/L}$). 3 points font exception : Hav5 avec 100 $\mu\text{g/L}$, G6 avec 342 $\mu\text{g/L}$ et enfin Hav6 avec 5268 $\mu\text{g/L}$.

Si l'on compare les teneurs en fer et en nitrates (Illustration 16), on constate que les teneurs en fer les plus élevées s'accompagnent de faibles teneurs en nitrates sur les points Hav6 (captant l'aquifère du Granite de Sainte Catherine) et G6 (Orthogneiss de Plouéan), ce qui met en évidence la présence d'un phénomène de dénitrification en profondeur sur ces 2 points, notamment au niveau du point G6 où l'eau souterraine est intégralement dénitrifiée (teneur en nitrates inférieure au seuil de quantification lors des 3 campagnes d'analyses de 2015). Le point Hav5 présente des teneurs en fer assez élevées (100 $\mu\text{g/L}$) et des teneurs en nitrates non négligeables (33 mg/L). Son comportement sera surveillé lors des prochaines campagnes.

La gamme de teneurs en fer mesurées sur les points du réseau étant très étendue (< 5 $\mu\text{g/L}$ sur 9 points et jusqu'à 5 268 $\mu\text{g/L}$ pour Hav6), le diagramme binaire nitrates-fer (Illustration 16) est présenté sur l'ensemble des points (à gauche, teneurs en fer comprises entre 0 à 6 000 $\mu\text{g/L}$) et en se focalisant sur les teneurs en fer les plus faibles (à droite, teneurs en fer comprises entre 0 à 160 $\mu\text{g/L}$).

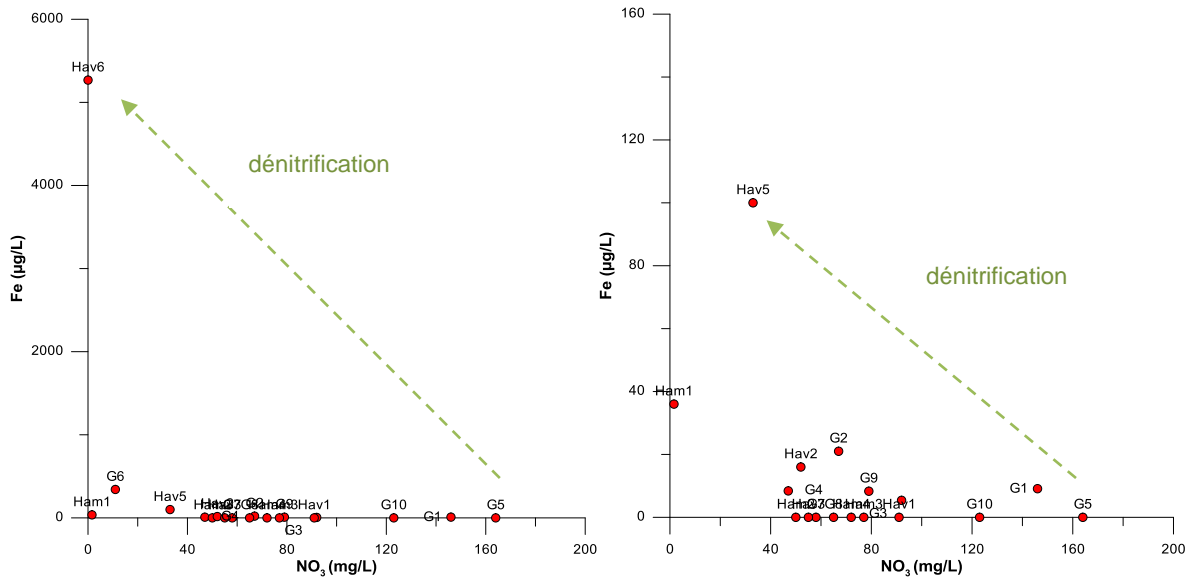


Illustration 16 - Diagrammes binaire nitrates-fer (campagne d'août 2015) avec zoom sur le graphique de droite

Manganèse

Le **manganèse** (Mn^{2+}) est naturellement présent dans les roches. Sa présence sous forme dissoute dans les eaux souterraines dépend de l'état d'oxydo-réduction du système (teneurs plus élevées en milieu réducteur). Les teneurs en manganèse varient fortement et évoluent entre moins de 1,1 µg/L et 876 µg/L, avec une moyenne de 140 µg/L. Deux points (G10 et Ham4) présentent des teneurs inférieures à 1 µg/L. Pour la majorité des points, les valeurs sont faibles (maximum de 16 µg/L), à l'exception de 6 points du réseau (G2, G6, Ham1, Hav3, Hav5 et Hav6) présentant des teneurs élevées (entre 132 et 876 µg/L), supérieures à la référence de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, fixée à 50 µg/L (arrêté du 11 janvier 2007). Aucune explication n'est avancée à ce stade de l'étude.

Bromures

Les **bromures** (Br^-) donnent une indication sur les apports marins. Les teneurs en bromures sont faibles. Elles varient entre 0,1 et 0,5 µg/L avec une moyenne de 0,2 µg/L. la teneur la plus élevée est observée sur le point Hav1, qui est le plus proche du littoral (à 1 km).

Fluorures

Le fluor est présent dans les eaux souterraines sous forme d'ion **fluorure** (F^-). Les teneurs mesurées dans les points du réseau de surveillance sont très faibles. Elles varient entre 0,06 et 0,23 mg/L, avec une moyenne de 0,07 mg/L. Pour certains points, la teneur est même inférieure à la limite de quantification qui est de 0,05 mg/L. Toutes les valeurs mesurées sont inférieures à la limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine qui est de 1,5 mg/L (arrêté du 11 janvier 2007).

Silice

Le silicium est, après l'oxygène, l'élément le plus abondant de la croûte terrestre. Il est présent dans de nombreux minéraux, en particulier dans les roches ignées, les grès et les argiles

(silicates, alumino-silicates). D'une manière générale, les minéraux silicatés sont peu altérables, si bien que les teneurs mesurées dans les eaux souterraines sont souvent faibles (quelques mg/L à 10-20 mg/L). Il sert donc de référence en milieu contaminé et constitue un bon indicateur du temps de séjour de l'eau dans un aquifère (interaction eau/roche).

Les teneurs en silice des points du réseau sont assez homogènes et varient entre 12 et 33 mg/L, avec une moyenne de 19 mg/L.

3.2. ANALYSES REALISEES PAR L'AELB SUR LES EAUX SOUTERRAINES

Mis à part les points suivis dans le cadre du réseau mis en place au cours de cette étude, la qualité d'autres points d'eau souterraine est surveillée dans le secteur. C'est le cas de la source de Feunteun Veur à Plouvorn (qualitomètre 02393X0030/HY) qui est suivie depuis septembre 2001 par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne (Illustration 17 et Illustration 18). Ce qualitomètre fait partie des réseaux qualité DCE (Directive Cadre européenne sur l'Eau) : du contrôle de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Loire, cours d'eau côtiers vendéens et bretons (code SANDRE 0400000124) et du contrôle opérationnel de l'état chimique (code SANDRE 0400000128).

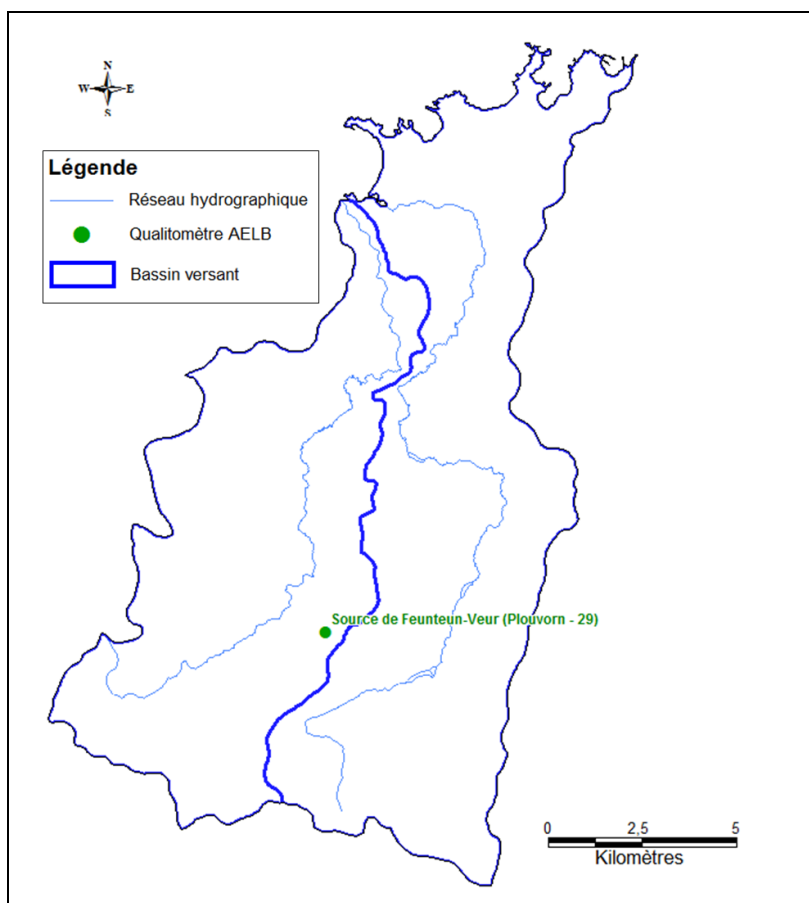


Illustration 17 - Localisation de la source de Feunteun Veur à Plouvorn

En 2015, 2 prélèvements ont été effectués sur cette source (avril et juillet). Depuis 2013, une évolution annuelle cyclique des concentrations en nitrates est observée, avec les teneurs les plus faibles enregistrées en avril et les teneurs les plus élevées en basses eaux. Cependant,

même si une tendance générale à la baisse est constatée depuis une quinzaine d'année, les teneurs en nitrates sur ce captage restent très élevées et proches de 100 mg/L.

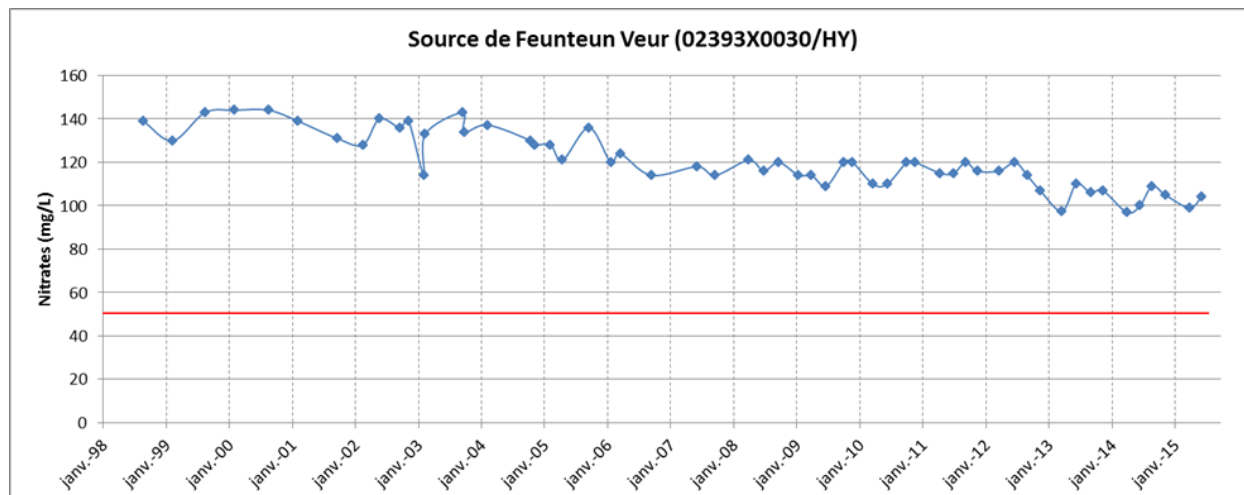


Illustration 18 - Evolution des teneurs en nitrates au niveau de la source de Feunteun Veur à Plouvorn entre 1998 et 2015 (sources : AELB et Agence Régionale de Santé [ARS] – www.adeseaufrance.fr), avec en rouge le seuil de 50 mg/L

3.3. ANCIENNES ANALYSES D'EAU SOUTERRAINE

Le SMH a transmis au BRGM des résultats d'anciennes analyses de nitrates, réalisées sur les captages d'Alimentation en Eau Potable (AEP) de Kermaria (ouvrage G3 du réseau qualité suivi en 2015) et ancien AEP de Feunteun Nevez (ouvrage G10) dans les années 1960-1990.

Les teneurs en nitrates au niveau du captage de Kermaria à Tréflaouénan ont été suivies entre 1964 et 1986 (Illustration 19). On constate une augmentation de la teneur moyenne en nitrates dans le captage : les valeurs étaient inférieures à 50 mg/L au début des années 1960, puis les teneurs étaient comprises entre 50 et 100 mg/L entre 1968 et 1974 et enfin des teneurs supérieures à 100 mg/L ont été mesurées dans les années 1980. La valeur maximale a été atteinte en 1984 (130 mg/L). La date exacte des analyses n'est pas connue. En 2015, sur ce point G3, les teneurs en nitrates mesurées sont inférieures à 100 mg/L (comprises entre 85 et 92 mg/L).

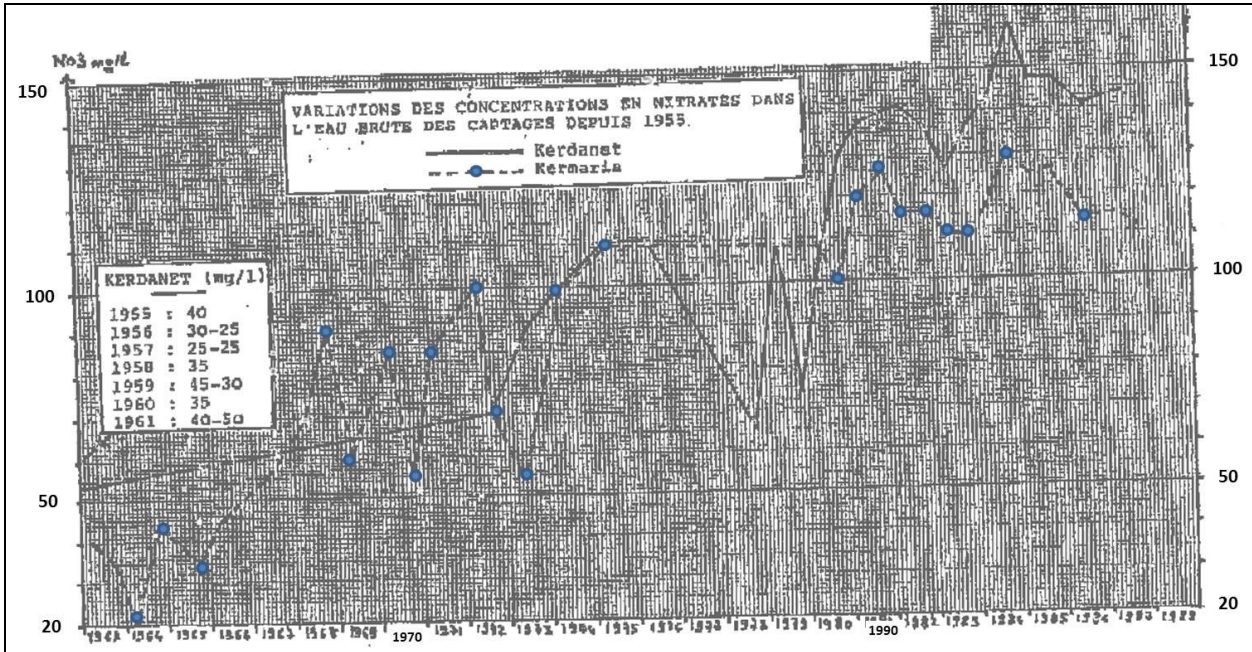


Illustration 19 - Evolution de la teneur en nitrates dans le captage de Kermaria entre 1964 et 1986 (source : Syndicat Mixte de l'Horn)

Les teneurs en nitrates au niveau du captage de Feunteun Nevez à Sibiril ont été suivies entre 1973 et 1990 (Illustration 20). On constate une augmentation de la teneur moyenne en nitrates dans le captage, avec des teneurs supérieures à 100 mg/L, et une valeur maximale atteinte en 1984 (165 mg/L). La date exacte des analyses n'est pas connue. En 2015, sur ce point G10, les teneurs en nitrates mesurées sont toujours supérieures à 100 mg/L (112 mg/L en avril 2015, 123 mg/L en août et 124 mg/L en novembre).

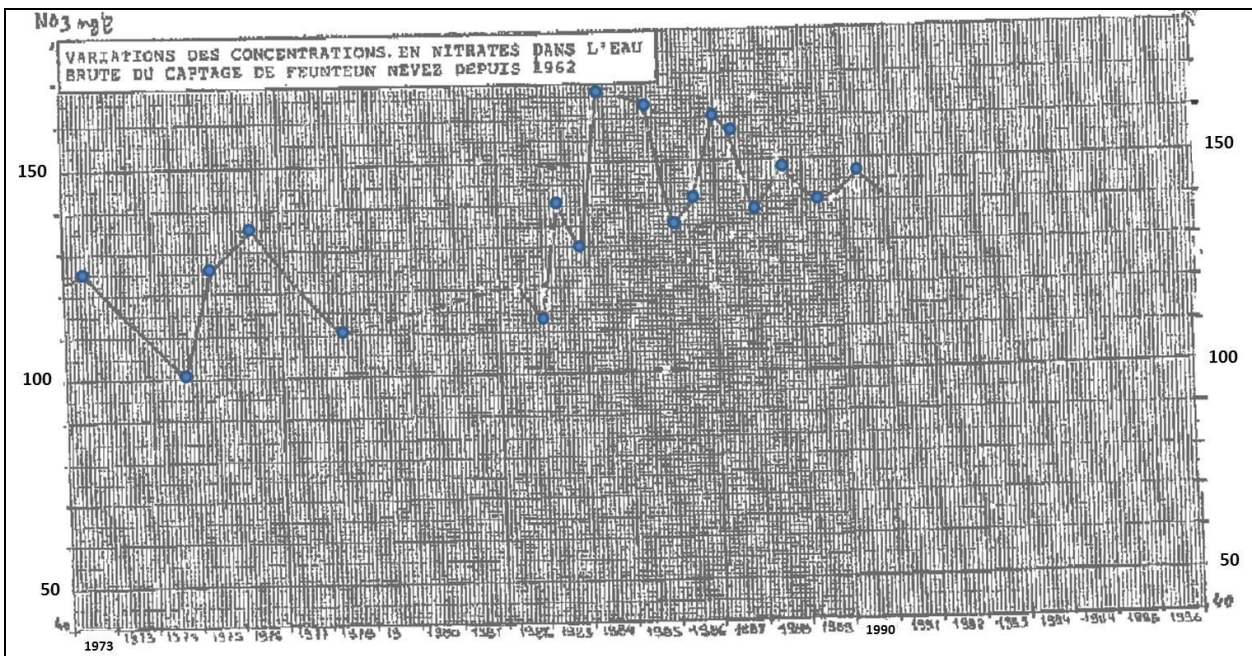


Illustration 20 - Evolution de la teneur en nitrates dans le captage de Feunteun Nevez entre 1973 et 1990 (source : Syndicat Mixte de l'Horn)

Sur ces 2 captages, aucun suivi n'a été réalisé entre 1990 et 2015. Or, il est probable que les teneurs en nitrates aient continué à augmenter dans les années 1990-2000. Les teneurs mesurées en 2015 ne donnent donc pas d'indication directe sur l'amélioration de la qualité de l'eau par rapport aux dernières analyses réalisées sur ces points à la fin des années 1980.

3.4. ANALYSES REALISEES SUR LES EAUX DE SURFACE

Plusieurs organismes réalisent un suivi de la qualité des eaux de surface sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec (AELB, ARS, Département, ...) ainsi que le SMH qui réalise un suivi à l'exutoire des 16 sous-bassins versants de son territoire (Illustration 22). Le SMH a transmis au BRGM les résultats de ces analyses sur l'année hydrologique 2014-2015.

Les concentrations en nitrates ont des variations similaires au cours de l'année hydrologique 2014-2015 sur l'ensemble des points suivis (Illustration 21 et Illustration 22). Les variations en nitrates sont identiques à celles des cycles hydrologiques précédents, à savoir des concentrations maximales en été dans les cours d'eau. Il faut noter la particularité de la fin de l'année hydrologique 2014-2015, avec un mois d'août très pluvieux et un mois de septembre très sec.

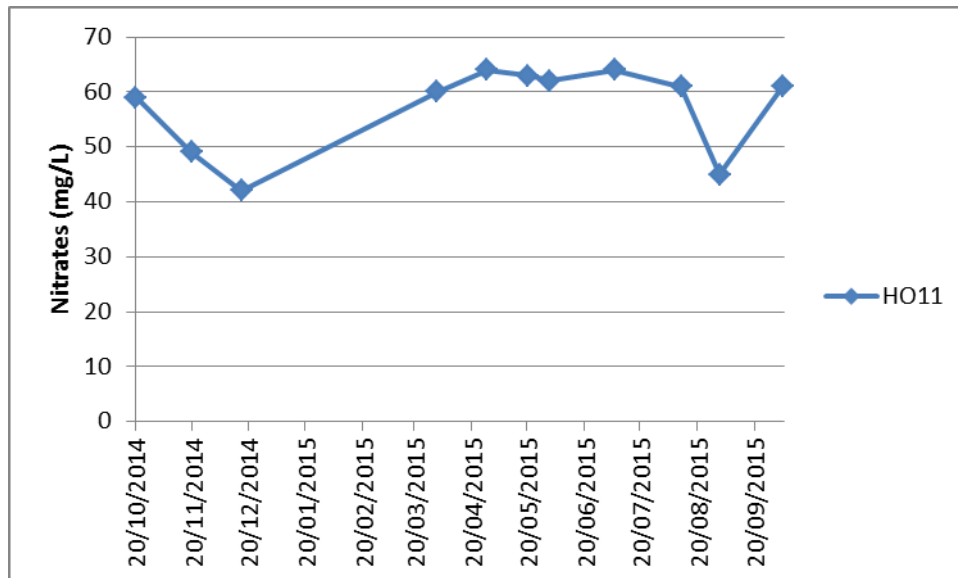


Illustration 21 - Evolution des concentrations en nitrates au point HO11 sur l'année 2014-2015

Les concentrations en nitrates (percentile 90, noté Q90) de tous les points sont supérieures à 50 mg/L de nitrates pour 2014-2015 (Illustration 22). Pour rappel, l'objectif fixé par le plan algues vertes est de 64 mg/L (objectif atteint pour 4 stations en 2014-2015). Les concentrations en nitrates (Q90) sont en baisse sur l'ensemble des stations par rapport aux années précédentes (cf. 2^{ème} Bilan annuel de la mise en œuvre de la charte de territoire de l'Horn-Guillec 2013-2015, SMH).

En superposant les teneurs en nitrates mesurées dans les eaux souterraines dans le cadre du réseau de suivi en 2015 et les concentrations en nitrates (percentiles 90) dans les eaux de surface pour l'année hydrologique 2014-2015 (Illustration 23), on ne constate pas de relation directe entre la qualité des eaux souterraines et celle des eaux de surface, ni de gradient amont/aval. Plutôt que de visualiser les concentrations, il serait intéressant de raisonner en termes de flux de nitrates entre les eaux souterraines (altérites et horizon fissuré) et les 2 cours d'eau, en prenant également en compte le ruissellement. Des calculs de flux pourront être

réalisés fin 2016, sur un cycle complet hautes eaux-basses eaux. De plus, le Syndicat Mixte de l'Horn a proposé de synchroniser en 2016 les campagnes de prélèvements en eaux souterraines et en eaux de surface pour faciliter ce travail.

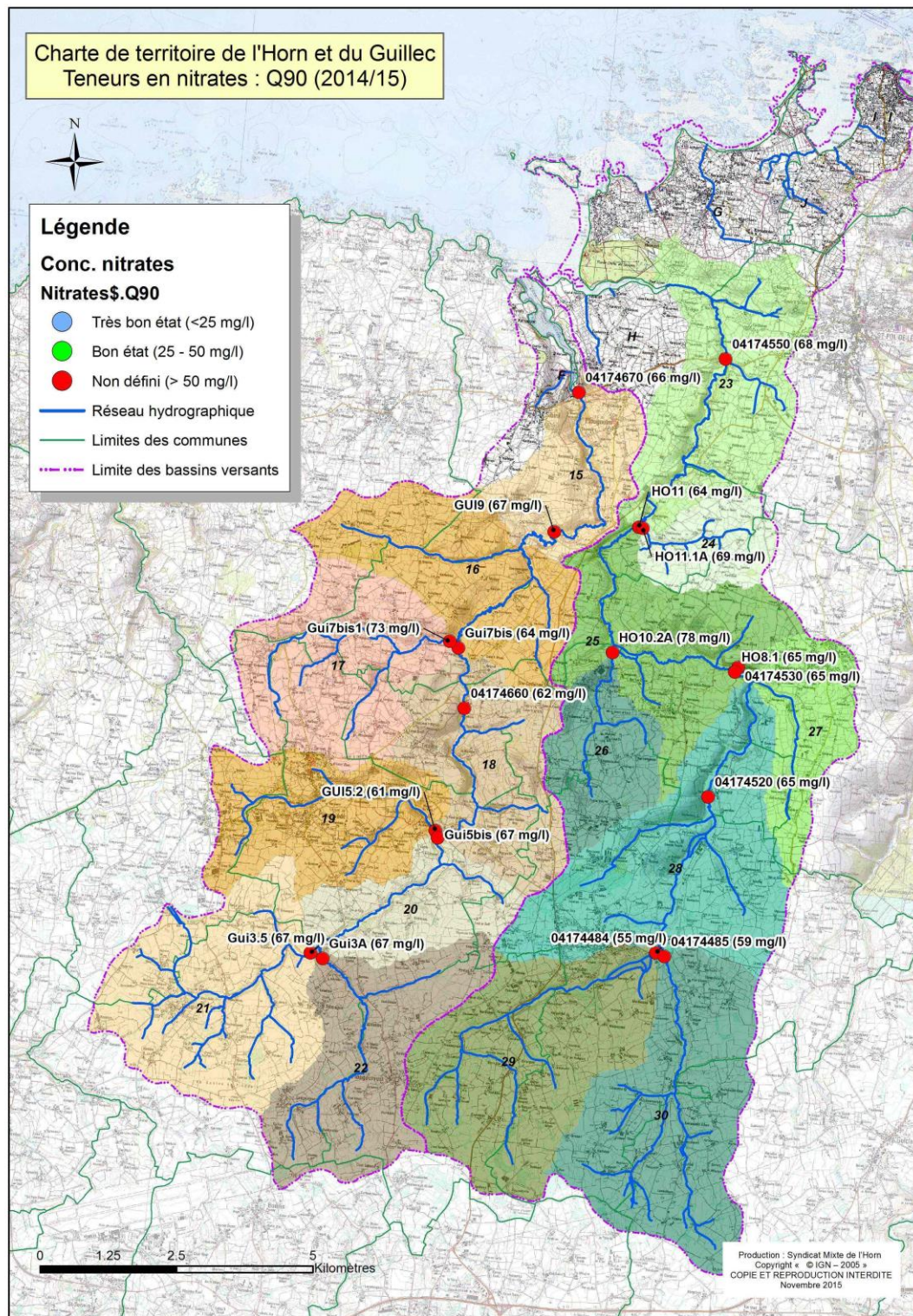


Illustration 22 - Concentrations en nitrates (percentile 90) sur les points de suivi des eaux de surface de l'Horn et du Guillec en 2014-2015 (source : SMH)

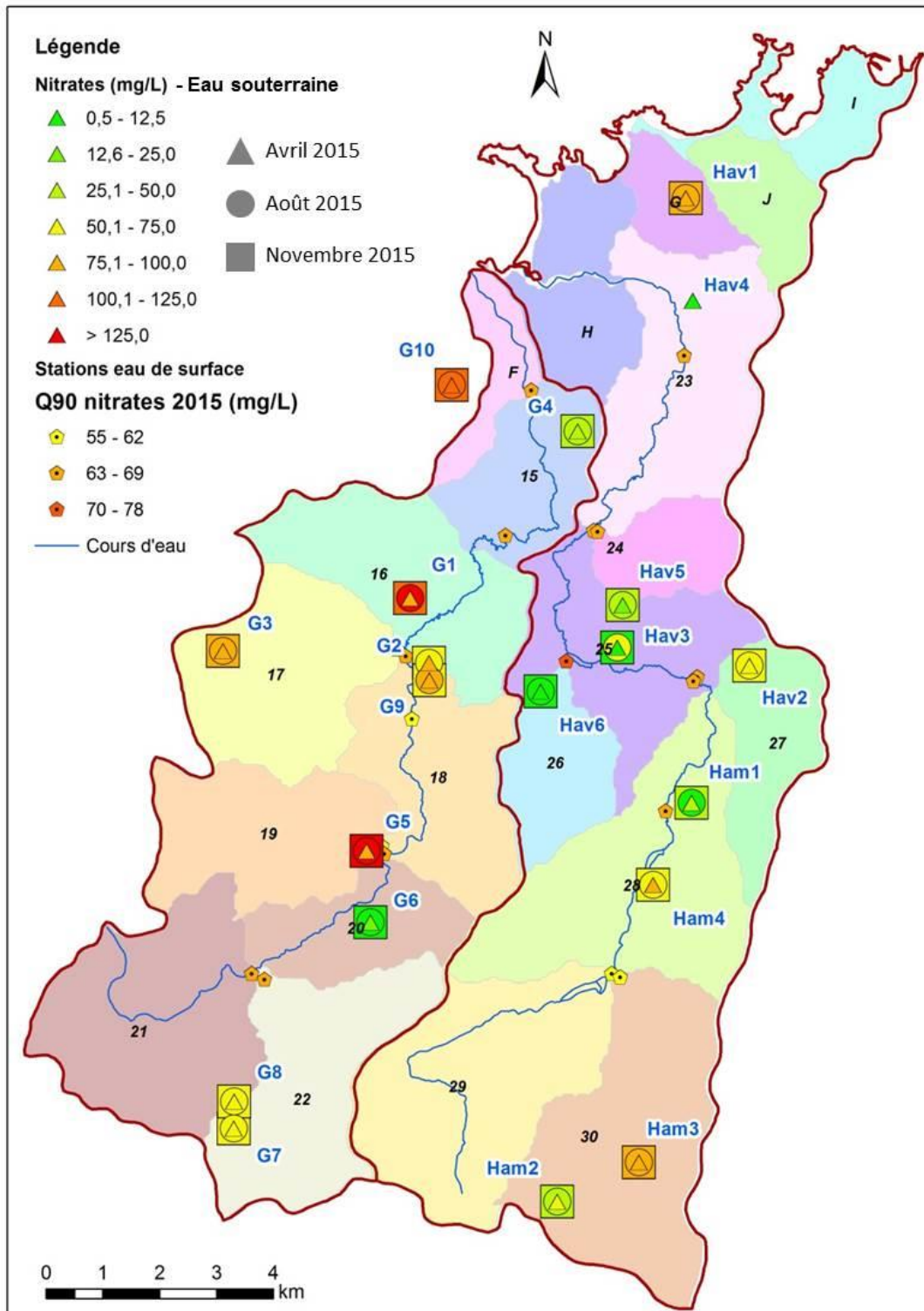


Illustration 23 - Comparaison des teneurs en nitrates mesurées dans les eaux souterraines en 2015 et dans les eaux de surface (percentiles 90) sur l'année hydrologique 2014-2015

Si on compare les teneurs en nitrates mesurées sur chacune des stations eaux de surface, on constate qu'elles sont systématiquement plus faibles en août-septembre 2015 que fin avril 2015 (Illustration 24). Cette tendance n'est pas retrouvée sur les stations de suivi de la qualité des

eaux souterraines prélevées à la même période. Les variations des teneurs en nitrates dans les eaux de surface peuvent être mises en relation avec les périodes de fertilisation des terres agricoles. Pour les eaux souterraines, cette relation n'est pas directe, compte-tenu du temps de transfert des nitrates de la surface vers les eaux souterraines. Une datation des eaux souterraines pourrait permettre de mieux appréhender les temps de transfert.

Station	Date	Nitrates (mg/L)
GUI11	22/04/2015	62
GUI11	20/08/2015	28
Gui3.5	28/04/2015	62
Gui3.5	01/09/2015	48
GUI5.2	28/04/2015	61
GUI5.2	01/09/2015	47
Gui5bis	01/04/2015	54
Gui5bis	01/09/2015	43
Gui7bis	28/04/2015	63
Gui7bis	01/09/2015	44
GUI9	28/04/2015	66
GUI9	01/09/2015	41
HO10.2A	28/04/2015	73
HO10.2A	01/09/2015	55
HO11	28/04/2015	64
HO11	01/09/2015	45
HO11.1A	28/04/2015	72
HO11.1A	01/09/2015	42
HO13	22/04/2015	50
HO13	01/09/2015	41
HO3	28/04/2015	59
HO3	28/08/2015	40
HO4	28/04/2015	55
HO4	28/08/2015	49
HO7	16/04/2015	69
HO7	01/09/2015	46
HO8	28/04/2015	64
HO8	01/09/2015	48
HO8.1	28/04/2015	65
HO8.1	01/09/2015	48

Illustration 24 - Evolution des concentrations en nitrates sur les points de suivi des eaux de surface de l'Horn et du Guillec entre avril et août 2015

4. Conclusion

Dans le cadre de la mise en place d'un réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec, une caractérisation générale des deux bassins versants (géologie, hydrogéologie, suivi qualitatif et quantitatif de l'eau souterraine, occupation du sol, ...) a été réalisée au cours de l'étape 1 (rapport BRGM/RP-64139-FR).

L'étape 2 (rapport BRGM/RP-64707-FR) a conduit à la mise en place d'un réseau de 20 points de suivi de la qualité des eaux souterraines sur le territoire Horn-Guillec. 4 campagnes annuelles de prélèvements et d'analyses sont prévues sur ces points (2 campagnes complètes en hautes et basses eaux et 2 campagnes allégées).

L'étape 3 consiste à interpréter les résultats des analyses effectuées sur les points du réseau. Le présent rapport synthétise les résultats obtenus en 2015 via une campagne complète (août) et 2 campagnes allégées (avril et novembre).

Au terme de la première année de suivi de la qualité des eaux souterraines, les résultats des analyses confirment la pertinence du réseau de suivi mis en place : gamme de valeurs de nitrates variée (d'une teneur inférieure à 0,5 mg/L jusqu'à 179 mg/L), présence de dénitrification autotrophe sur quelques points, variabilité temporelle des comportements des points de suivi sur chaque bassin versant.

Les premières analyses confirment la complexité du secteur et l'intérêt de poursuivre le suivi sur plusieurs années. En effet, les variations des teneurs en nitrates ne sont pas homogènes à l'échelle du territoire. Les teneurs enregistrées sur certains points et les variations au cours de l'année 2015 interpellent, sans qu'il soit possible après seulement 3 campagnes de mesures (dont seulement une campagne complète) de fournir une interprétation avancée de ces variations spatiales et temporelles.

Les 2 doublets (puits/forage, source/forage) intégrés au réseau de suivi dans l'objectif de mettre en évidence une différence de comportement entre l'eau souterraine profonde (où de la dénitrification pourrait avoir lieu) et l'eau souterraine de sub-surface non dénitrifiée ne semblent pour l'instant pas concluants (même gamme de teneurs en nitrates).

Ces premiers résultats constituent le début d'un suivi de la qualité sur les points du réseau, qui va se poursuivre en 2016 et 2017. Il sera alors possible d'affiner la synthèse des résultats en ayant un recul sur plusieurs années de suivi et de mieux caractériser l'impact des eaux souterraines sur la qualité des eaux de surface.

5. Bibliographie

LUCASSOU F. (2014) – Mise en place d'un réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec - Etape 1 : caractérisation générale des deux bassins versants. Rapport d'avancement. BRGM/RP-64139-FR, 58 p., 41 ill.

LUCASSOU F., avec la collaboration de KOCH F. et SCHROËTTER J.-M. (2015) – Mise en place d'un réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec - Etape 2 : implantation du réseau. Rapport d'avancement. BRGM/RP-64707-FR, 43 p., 17 ill.

Syndicat Mixte de l'Horn (2015), 2^{ème} bilan annuel de la charte de territoire de l'Horn-Guillec 2013-2015

Textes réglementaires et normes

Directive fille eaux souterraines 2006/118/CE du Parlement européen et du Conseil, du 12 décembre 2006, sur la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration.

Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites de références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R.1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique.

Arrêté du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines

Norme NF EN ISO 5667-3 (mai 2013) - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 3 : conservation et manipulation des échantillons d'eau

Guide AFNOR FD T90-523-3 (janvier 2009) - Qualité de l'eau - Guide de prélèvement pour le suivi de la qualité des eaux dans l'environnement - Partie 3 : prélèvement d'eau souterraine



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Bretagne

Rennes Atalante Beaulieu
2 rue de Jouanet

35700 Rennes

Tél. : 02 99 84 26 70