

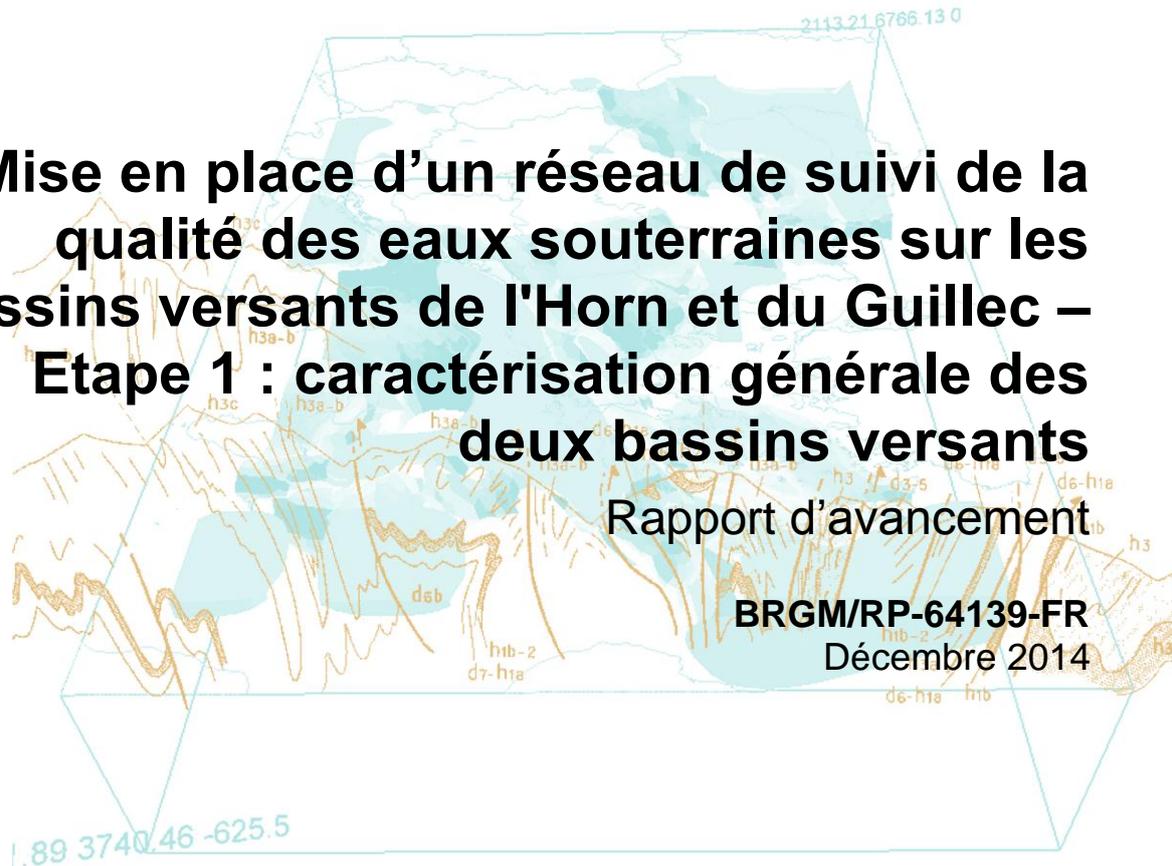


Mise en place d'un réseau de suivi de la
qualité des eaux souterraines sur les
bassins versants de l'Horn et du Guillec –
Etape 1 : caractérisation générale des
deux bassins versants

Rapport d'avancement

BRGM/RP-64139-FR

Décembre 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

Décembre 2014

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

F. Lucassou

Vérificateur :

Nom : B. MOUGIN

Date : 27/11/2014

Signature :



Approbateur :

Nom : E. PALVADEAU

Directeur du BRGM Bretagne

Date : 15/12/2014

Signature :



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



Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

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

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.

Synthèse

L'Anse de l'Horn-Guillec fait partie des 8 baies algues vertes identifiées dans le SDAGE Loire-Bretagne 2010-2015. 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 de l'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.

Ce rapport synthétise les résultats de l'étape 1, consistant en une caractérisation générale des deux bassins versants Horn et Guillec avant la mise en place du réseau qualité : géologie, hydrogéologie, suivi qualitatif et quantitatif de l'eau souterraine, occupation du sol, ...

Le sous-sol des bassins versants de l'Horn et du Guillec est constitué de formations métamorphiques et plutoniques variées. Le tracé des vallées de l'Horn et du Guillec est en partie contrôlé par la géologie (failles). Les eaux souterraines du territoire sont situées au sein de deux aquifères superposés et en contact permanent : celui des altérites et celui du milieu fissuré. Le temps de renouvellement des eaux souterraines (temps de transit de l'eau dans la zone non saturée et temps de vidange de l'aquifère sur les 50 premiers mètres du sous-sol) a été estimé pour le bassin versant de l'Horn à environ 5 ans (Mougin et al., 2004).

La forte participation des eaux souterraines au débit de l'Horn et du Guillec, notamment à l'étiage, se traduit par une variabilité saisonnière des teneurs en nitrates dans les cours d'eau, avec des teneurs plus fortes à l'étiage, à cause des apports d'eau souterraine chargée en nitrates. La qualité de l'eau souterraine semble s'améliorer sur le qualimètre suivi à Plouvorn (source de Feunteun Veur), bien que les teneurs en nitrates restent très élevées. Néanmoins il n'existe pas de suivi spatialisé et régulier sur le territoire permettant de caractériser précisément la qualité des eaux souterraines sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec. Un phénomène de dénitrification a été mis en évidence sur certains points de suivi ponctuels de la qualité des eaux souterraines (faible teneurs en nitrates et fortes teneurs en fer). Concernant les eaux de surface, la teneur en nitrates des eaux de l'Horn et du Guillec reste supérieure à 50 mg/L sur toutes les stations de suivi du SMH, cependant la qualité des eaux s'améliore depuis les années 2000, avec une tendance à la baisse des teneurs en nitrates.

Le territoire Horn-Guillec est fortement agricole : la Surface Agricole Utile représente environ 76% du territoire. Sur la frange littorale, les exploitations agricoles sont essentiellement orientées vers des productions légumières de plein champ, alors que plus au sud, les exploitations sont plutôt spécialisées dans l'élevage. Le contentieux européen « nitrates eaux brutes » en 2007 a accéléré l'évolution des pratiques agricoles sur le territoire, avec notamment une limitation plus forte des apports azotés.

Cette synthèse des connaissances sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec servira à implanter un réseau représentatif de la qualité des eaux souterraines sur le territoire en fonction de ses particularités.

Sommaire

1. Présentation générale des bassins versants de l'Horn et du Guillec	9
1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE	9
1.2. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE	9
1.3. CONTEXTE CLIMATIQUE	10
1.4. CONTEXTE GEOLOGIQUE	12
1.5. CONTEXTE HYDROLOGIQUE	14
2. Les aquifères des deux bassins versants	17
2.1. FONCTIONNEMENT DES AQUIFERES DE SOCLE	17
2.2. LES AQUIFERES DES BASSINS VERSANTS DE L'HORN ET DU GUILLEC	18
2.3. TEMPS DE RENOUVELLEMENT DES EAUX SOUTERRAINES	22
3. La participation des eaux souterraines aux débits des rivières	23
4. Les référentiels hydrogéologiques	25
4.1. LES MASSES D'EAU SOUTERRAINE	25
4.2. LA BD LISA.....	25
5. Les captages d'eau souterraine	27
5.1. LES PUIITS	27
5.2. LES FORAGES.....	27
5.3. LES CAPTAGES SOUTERRAINS D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE	30
6. Le suivi des eaux souterraines des bassins versants de l'Horn et du Guillec .	31
6.1. SUIVI DE LA QUALITE CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES.....	32
6.1.1. Qualité de l'eau souterraine en Bretagne	32
6.1.2. Qualité de l'eau souterraine dans les bassins versants de l'Horn et du Guillec	32
32	
6.2. SUIVI DU NIVEAU DES NAPPES.....	37
7. Le suivi de la qualité des eaux de surface.....	39
8. Les prélèvements d'eau souterraine.....	45

9. Occupation du sol	47
9.1. EXPLOITATIONS AGRICOLES	47
9.1.1. Typologie des exploitations et assolement	47
9.1.2. Evolutions récentes	50
9.1.3. Pressions azotées	51
9.2. ZONES HUMIDES.....	51
9.3. INDUSTRIE, ARTISANAT	53
9.3.1. Industries agro-alimentaires	53
9.3.2. Hors agro-alimentaire	53
9.4. ASSAINISSEMENT	53
10. Conclusion	55
11. Bibliographie	57

Liste des illustrations

Illustration 1 - Localisation des bassins versants algues vertes de l'Horn et du Guilec (en rouge) (source : Syndicat Mixte de l'Horn)	10
Illustration 2 - Gradient des précipitations moyennes annuelles en mm sur la période 1999-2009 sur l'Horn et le Guilec (source : Météo-France, Syndicat Mixte de l'Horn).....	11
Illustration 3 - Normales de pluies efficaces – moyennes annuelles par commune sur la période 1946-2001 (source : Ministère en charge de l'Ecologie, 2005)	12
Illustration 4 - Extrait de la carte géologique harmonisée du Finistère au 1/50 000 sur les bassins versants de l'Horn et du Guilec (source : BRGM, 2008).....	13
Illustration 5 - Epaisseur des altérites en place sur le bassin versant de l'Horn (BRGM/RP-52731- FR, 2004)	14
Illustration 6 - Localisation des stations de jaugeage sur les bassins versants de l'Horn et du Guilec (avec en surligné rouge les stations actives).....	15
Illustration 7 - Débit moyen mensuel de l'Horn à Mespaul [Kertanguy] (J3014330) sur la période 1966 – 2013 (source : Banque HYDRO)	15
Illustration 8 - Débit moyen mensuel du Guilec à Trézilidé (J3024010) sur la période 1966 – 2013 (source : Banque HYDRO)	16
Illustration 9 - Modèle conceptuel des altérations supergènes en domaine granitique (R. Wyns 2004)	17
Illustration 10 - Détermination des teneurs en eau moyenne pour chaque horizon d'altération des principales formations géologiques du bassin de l'Horn (BRGM/RP-52731-FR, 2004)	18
Illustration 11 - Localisation des sondages RMP sur le bassin versant de l'Horn (BRGM/RP-52731- FR, 2004) - Les 7 autres sondages sont localisés en dehors de la carte (secteurs de Plabennec et de la rade de Brest)	19

Illustration 12 - Lamé d'eau totale de l'aquifère d'altération sur le bassin de l'Horn (BRGM/RP-52731-FR, 2004).....	21
Illustration 13 - Localisation des bassins versants modélisés dans le cadre du projet SILURES Bretagne et résultats obtenus.....	23
Illustration 14 - Débits mensuels moyens interannuels (1991-2000) de l'Horn (source : SILURES Bretagne).....	24
Illustration 15 - Débits mensuels moyens interannuels (1990-2003) du Guillec (source : SILURES Bretagne).....	24
Illustration 16 - Masse d'eau souterraine et entité BD LISA recoupées par les bassins versants de l'Horn et du Guillec.....	26
Illustration 17 - Différents types d'aquifères et de captages en Bretagne.....	27
Illustration 18 – Localisation et caractéristiques des forages réalisés dans les formations géologiques recoupant les bassins versants de l'Horn et du Guillec.....	29
Illustration 19 - Localisation des points de suivi des eaux souterraines sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec (source : Syndicat Mixte de l'Horn).....	31
Illustration 20 - Evolution des teneurs en nitrates au niveau de la source de Feunteun Veur à Plouvorn (sources : AELB et ARS), avec en rouge le seuil de 50 mg/L.....	33
Illustration 21 - Suivi des puits sur le bassin versant de l'Horn en 2005 et 2006 (source : Syndicat Mixte de l'Horn).....	34
Illustration 22 - Evolution des teneurs en nitrates aux captages abandonnés de l'usine d'eau potable du lieu-dit Le Rest à Plouénan (source : Diagnostic Territorial, 2011 et suivi Lyonnaise des Eaux).....	35
Illustration 23 - Caractéristiques des points de prélèvements de la campagne de mesure de l'été 2007 (RP-55842-FR).....	36
Illustration 24 - Localisation des points de prélèvements et teneurs en nitrates lors de la campagne de mesure de l'été 2007 (RP-55842-FR). En bleu : profondeur des ouvrages ; en rouge : teneur en nitrates (mg/L).....	36
Illustration 25 - Chronique piézométrique de la station de Plouvorn (02394X0019/F).....	37
Illustration 26 - Localisation des stations de prélèvements de la qualité des eaux de surface sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec (source : Syndicat Mixte de l'Horn) ...	39
Illustration 27 - Carte des teneurs (percentile 90) en nitrates mesurées sur les stations de prélèvements de la qualité des eaux de surface sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec (source : Syndicat Mixte de l'Horn).....	40
Illustration 28 - Teneurs (percentile 90) en nitrates mesurées en 2012/2013 sur les stations de prélèvements de la qualité des eaux de surface sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec (source : Syndicat Mixte de l'Horn).....	41
Illustration 29 - Evolution des concentrations en nitrates et des débits entre 1991 et 2011 sur l'Horn au point HO7 (Kertanguy) à gauche et sur le Guillec au point GUI7 (Kemerien) à droite (source : Diagnostic Territorial, 2011).....	42
Illustration 30 - Evolution des concentrations en nitrates à la station H08 sur l'Horn entre 1989 et 2011 (source : ARS29, Société des Eaux de l'Ouest et SMH ; Diagnostic Territorial, 2011).....	42
Illustration 31 - Evolution des concentrations en nitrates à la station GUI11 sur le Guillec entre 1998 et 2011 (source : ARS29, Société des Eaux de l'Ouest et SMH ; Diagnostic Territorial, 2011).....	43
Illustration 32 Estimation des prélèvements en eau souterraine sur les bassins versants de l'Horn et Guillec (2009).....	45

Illustration 33 - Typologie des 495 exploitations ayant leur siège et/ou au moins 3 ha sur le bassin versant Algues Vertes (source : Diagnostic Territorial, 2011)	47
Illustration 34 - Parcellaire classé par typologie des exploitations ayant leur siège et/ou au moins 3 ha sur le bassin versant Horn-Guillec (Diagnostic Territorial, 2011)	48
Illustration 35 - Assolement sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec basé sur les cultures déclarées à la PAC 2011 (source : Syndicat Mixte de l'Horn).....	49
Illustration 36 - Assolement des exploitations diagnostiquées sur l'année culturale 2011-2012 (365 agriculteurs) (source : Syndicat Mixte de l'Horn).....	49
Illustration 37 - Evolution du cheptel sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec entre 2000 et 2010 - effectifs en milliers d'unités (source : Syndicat Mixte de l'Horn)	50
Illustration 38 - Evolution de la superficie cultivée sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec entre 2000 et 2010 en % de la SAU (source : Syndicat Mixte de l'Horn).....	50
Illustration 39 - Pression azotée par hectare de SAU sur les exploitations agricoles des bassins versants de l'Horn et du Guillec en 2011 (source : Syndicat Mixte de l'Horn) ..	51
Illustration 40 - Localisation des zones humides recensées sur le Territoire Horn-Guillec (source : Diagnostic des zones humides, 2014).....	52
Illustration 41 - Industries agro-alimentaires de plus de 10 salariés sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec (source : Diagnostic Territorial, 2011).....	53
Illustration 42 - Localisation des stations d'épuration, des points de rejets et des sites de traitement des boues (source : Diagnostic Territorial, 2011)	54

1. Présentation générale des bassins versants de l'Horn et du Guillec

1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE

Parmi ses missions, le Syndicat Mixte de production et de transport de l'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 est concernée par des proliférations d'algues vertes, et figure à ce titre parmi les 8 baies algues vertes bretonnes identifiées dans le SDAGE Loire Bretagne 2010-2015.

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.

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 ».

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.

Ce rapport synthétise les résultats de l'étape 1, consistant en une caractérisation générale des deux bassins versants Horn et Guillec avant la mise en place du réseau qualité.

1.2. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

Les bassins versants de l'Horn (superficie 94,4 km²) et du Guillec (74,5 km²) sont situés sur la côte nord du Finistère (Léon). L'Horn prend sa source sur la commune de Plouvorn, à 119 m d'altitude, et se jette dans la Manche après un parcours de 30 km. Le Guillec prend sa source sur la commune de Saint-Vougay, à 94 m d'altitude et se jette dans la Manche 25 km plus loin, entre Sibiril et Plougoulm, à quelques kilomètres à l'ouest de l'Horn (Illustration 1).

Les bassins versants de l'Horn et du Guillec correspondent à la prolongation orientale du plateau du Léon. Il s'agit d'un plateau incliné doucement du sud vers le nord, localement profondément entaillé par les vallées des fleuves côtiers (Abers, Horn...). La vallée de l'Horn est relativement large dans le sud du bassin versant ; ses flancs montrent des pentes peu marquées et le relief est faible. En revanche, à partir de Mespaul-Plouénan et à l'Ouest de Saint-Pol-de-Léon la vallée est beaucoup plus encaissée (Mougin et al., 2004). Il en est de même pour le Guillec, plus encaissé dans sa partie aval.



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

Les bassins versants algues vertes de l'Horn et du Guillec, correspondant à une surface totale de 169 km², s'étendent sur 18 communes, dont 16 pour plus de 3 % de leur superficie. La Surface Agricole Utile (SAU) représente 75,9 % de la surface total (source : Diagnostic Territorial, 2011).

1.3. CONTEXTE CLIMATIQUE

Sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec, la pluviométrie annuelle est d'environ 950 mm sur la frange littorale alors qu'elle atteint plus de 1 100 mm à l'intérieur des terres, au sud des bassins versants (Illustration 2). En effet, il existe en Bretagne un fort contraste climatique d'Ouest en Est et du littoral vers l'intérieur des terres. La quantité de pluie, et donc la recharge des nappes par infiltration de l'eau de pluie, est par conséquent variable sur le territoire étudié.

La répartition des pluies est également variable durant l'année : les mois d'octobre à janvier sont les plus arrosés (en moyenne 120 mm) alors que le mois de juin est le plus sec (50 mm) (source : Diagnostic Territorial, 2011).

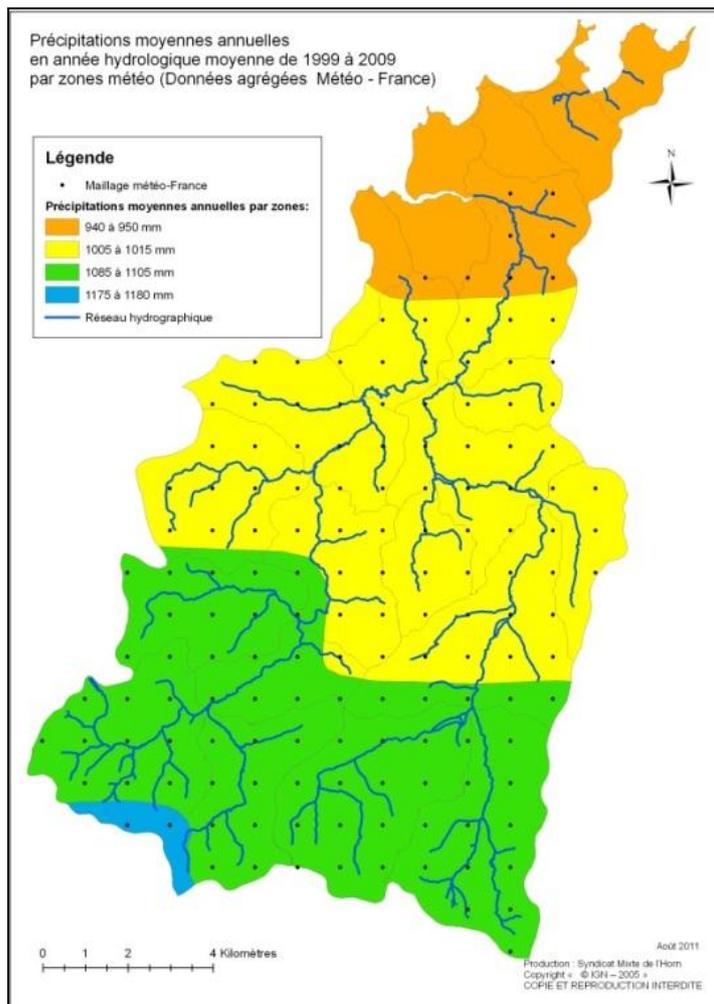


Illustration 2 - Gradient des précipitations moyennes annuelles en mm sur la période 1999-2009 sur l'Horn et le Guillec (source : Météo-France, Syndicat Mixte de l'Horn)

La pluviométrie efficace correspond à la quantité d'eau de pluie qui reste disponible pour l'infiltration ou le ruissellement, après saturation du sol, évaporation et évapotranspiration par les végétaux. Elle subit le même gradient climatique nord-sud. La quantité de pluie efficace moyenne sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec s'élève à 380 mm par an et varie entre 323 mm au nord et 545 mm au sud (Illustration 3 - source : Ministère en charge de l'Ecologie (2005) - Normales de pluies efficaces – moyennes annuelles sur la période 1946-2001).

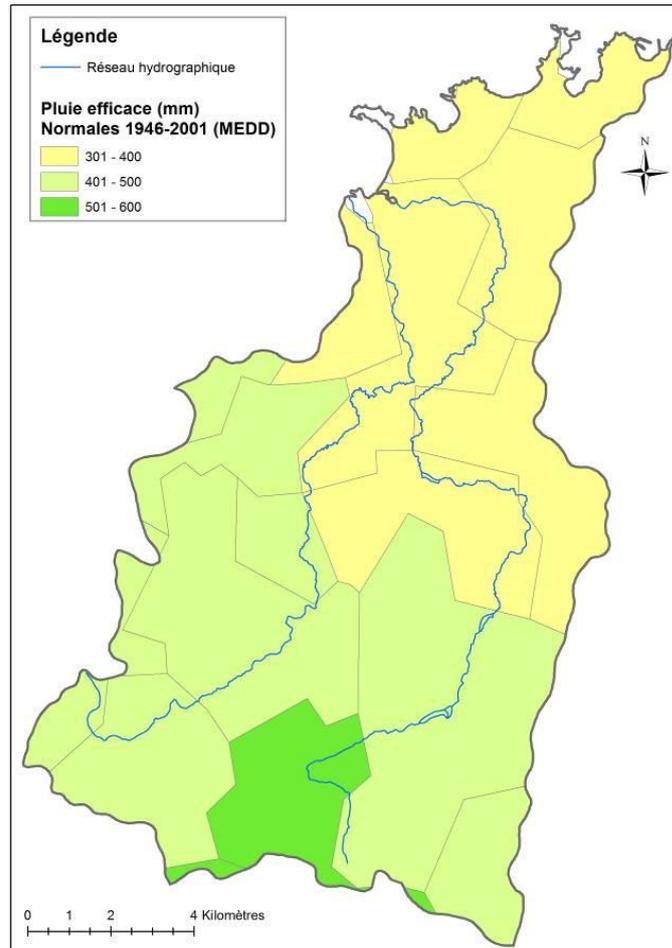


Illustration 3 - Normales de pluies efficaces – moyennes annuelles par commune sur la période 1946-2001 (source : Ministère en charge de l'Ecologie, 2005)

1.4. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Les bassins versants de l'Horn et du Guillec sont couverts par les cartes géologiques au 1/50 000 de Saint-Pol-de-Léon (n°201) et Landerneau (n°239).

Du point de vue géologique, les bassins versants de l'Horn et du Guillec appartiennent au Domaine varisque du Pays de Léon, constitué de formations métamorphiques et plutoniques très variées (Illustration 4) :

- l'Unité du Conquet, composée de micaschistes et paragneiss, au sud-est des bassins versants (Micaschistes de la Penzé et du Conquet, correspondant aux micaschistes et quartzites en vert clair sur l'illustration 4) ;
- l'Unité de Lesneven plus au nord, composée de formations dérivant d'unités sédimentaires (micaschistes, paragneiss) et plutoniques (orthogneiss) et, à l'extrême nord, de massifs granitiques intrusifs (granite de Roscoff, de Sainte-Catherine, de Brignogan) et orthogneissiques.

Les formations métamorphiques s'organisent en grandes bandes parallèles, de direction N70.

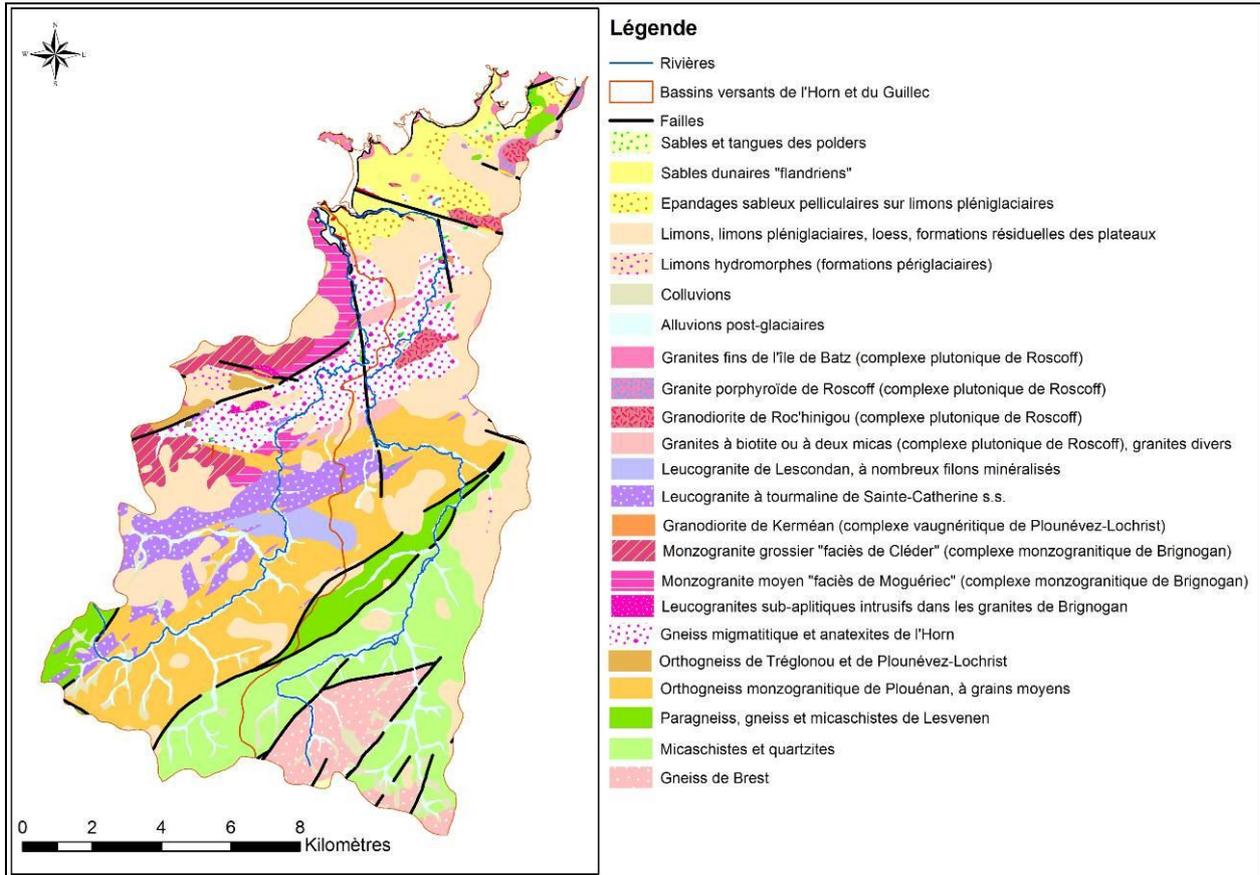


Illustration 4 - Extrait de la carte géologique harmonisée du Finistère au 1/50 000 sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec (source : BRGM, 2008)

Les formations superficielles sont caractérisées par deux ensembles : les formations d'altération et les formations d'origine éolienne (limons et dépôts marins). Les altérites des roches granitiques et gneissiques se présentent sous forme d'arènes plus ou moins évoluées et plus ou moins grossières en fonction de la lithologie originelle. Les roches micaschisteuses s'altèrent en arènes fines, sombres, sablonno-argileuses voire franchement argileuses. Au droit des bassins versants « algues vertes » de l'Horn et du Guillec, les altérites semblent bien développées sur toutes les formations de socle. Une cartographie des altérites a été réalisée sur le bassin de l'Horn en 2004 (Mougin et al., 2004 - Illustration 5). Dans le cadre de l'étape 2 du projet, il est prévu que cette cartographie soit complétée par un lever des altérites sur le bassin versant mitoyen du Guillec.

Le tracé des vallées de l'Horn et du Guillec est en partie contrôlé par la géologie :

- au niveau de Mespaul-Plouénan, l'Horn contourne la terminaison du granite de St-Catherine puis reprend une direction N-S avant de soudainement bifurquer vers l'Ouest au niveau de Saint-Pol-de-Léon, traduisant vraisemblablement un contrôle par la grande faille Santec-Pempoul orientée N100.
- le cours aval du Guillec semble contrôlé par une faille de direction subméridienne.

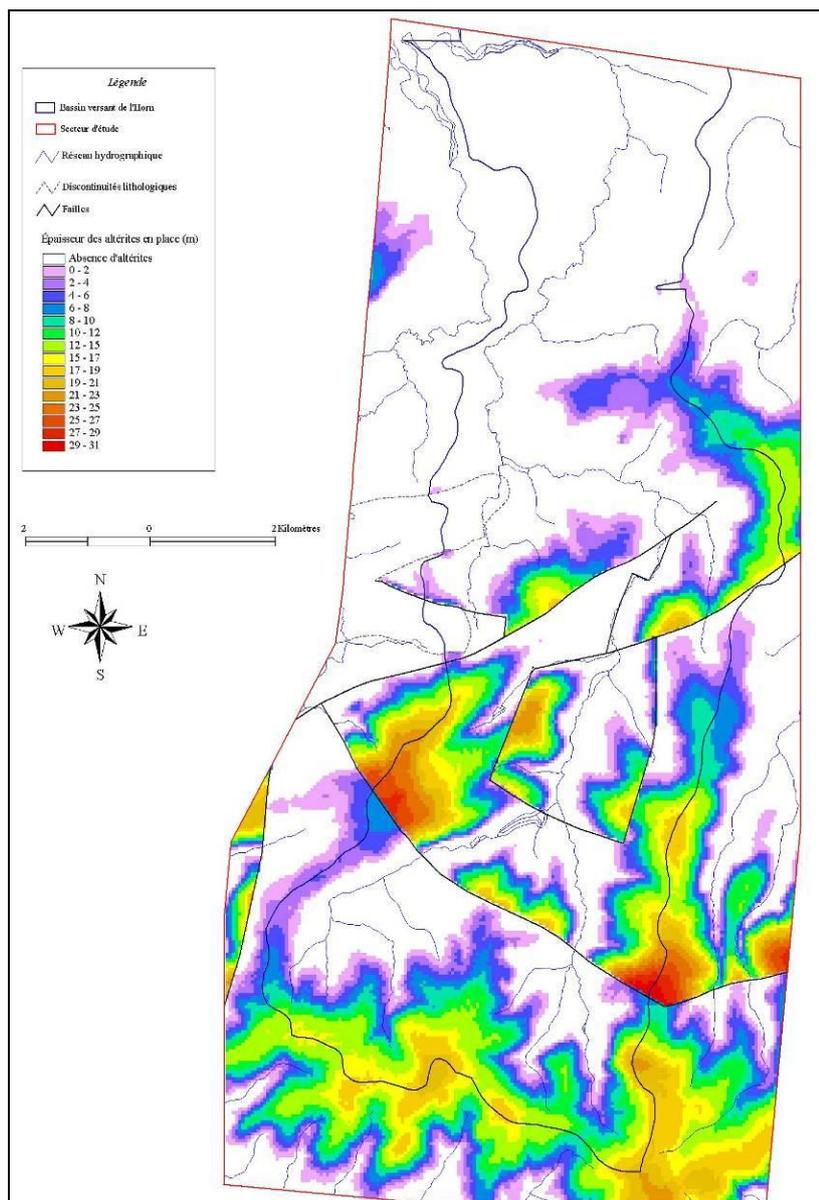


Illustration 5 - Épaisseur des altérites en place sur le bassin versant de l'Horn (BRGM/RP-52731-FR, 2004)

1.5. CONTEXTE HYDROLOGIQUE

Les débits de l'Horn et du Guillec sont enregistrés par la DREAL Bretagne grâce à plusieurs stations hydrologiques (Illustration 6). Pour l'Horn, on trouve d'amont en aval :

- L'Horn à Mespaul [Kertanguy] (J3014330), suivi depuis 1966 (Illustration 7). Le bassin versant au droit de cette station s'élève à 38,5 km² et le module annuel à cette station est de 0,641 m³/s. Le débit spécifique de l'Horn à Mespaul est de 16,7 L/s/km².
- L'Horn à Mespaul [Pont Milin] (J3014310), station actuellement inactive, fonctionnement de 1966 à 2010 (superficie 50 km², module 0,705 m³/s).

- L'Horn à Saint-Pol-de-Léon (J3014320), station actuellement inactive, fonctionnement de 1966 à 1975 (superficie 69 km²).

Pour le Guillec :

- Le Guillec à Trézilidé (J3024010), suivi depuis 1966 (Illustration 8). Le bassin versant au droit de cette station s'élève à 43 km² et le module annuel à cette station est de 0,688 m³/s. Le débit spécifique du Guillec à Trézilidé est de 16 L/s/km².

Les stations de jaugeage actives sont situées en amont des bassins versants.

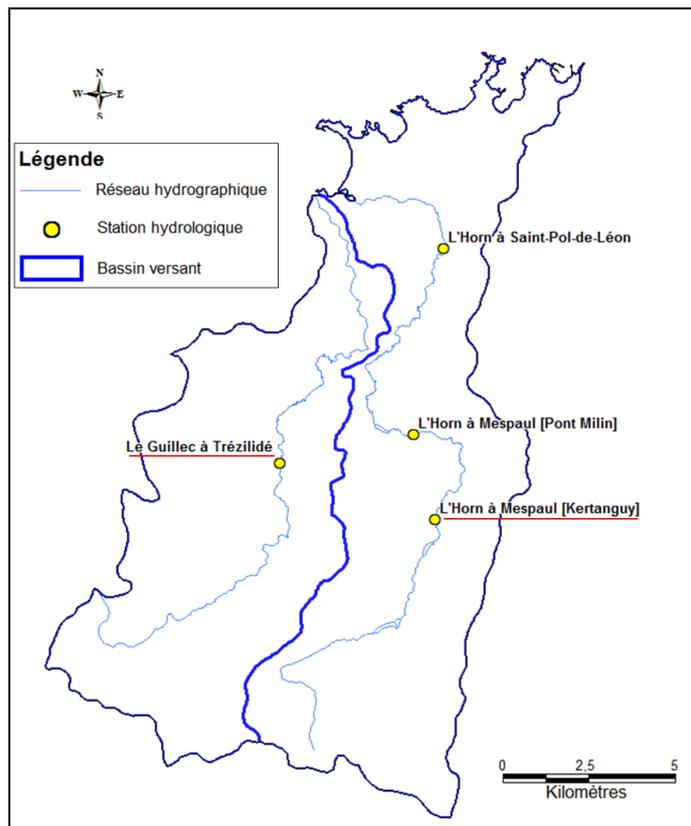


Illustration 6 - Localisation des stations de jaugeage sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec (avec en surligné rouge les stations actives)

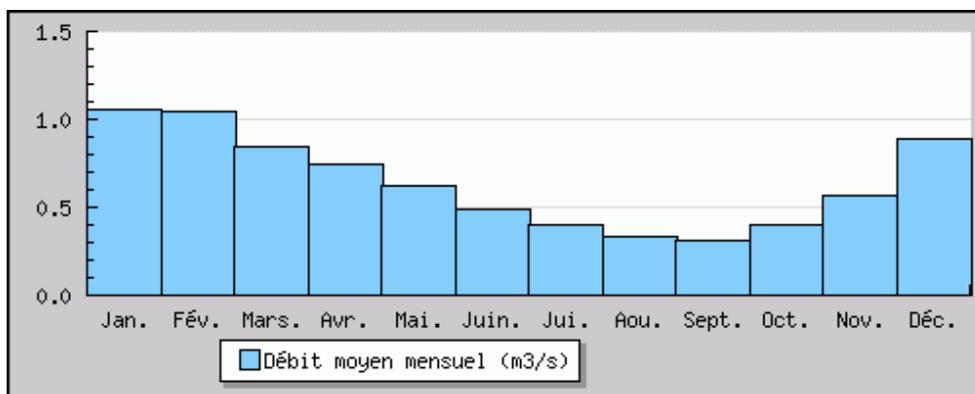


Illustration 7 - Débit moyen mensuel de l'Horn à Mespaul [Kertanguy] (J3014330) sur la période 1966 – 2013 (source : Banque HYDRO)

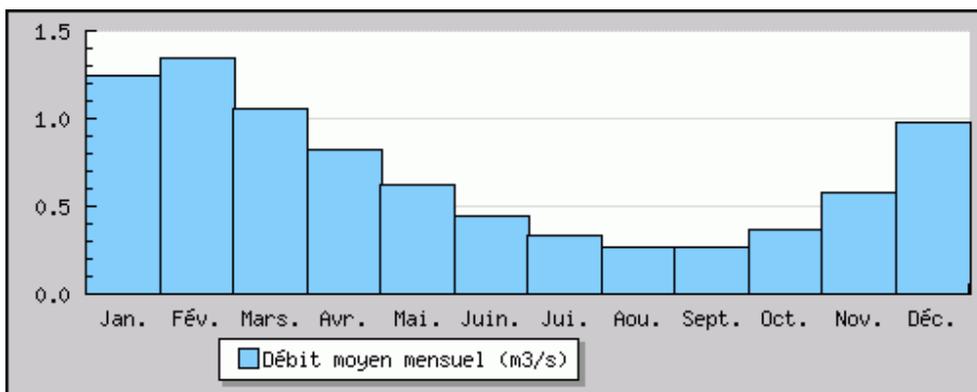


Illustration 8 - Débit moyen mensuel du Guillec à Trézilidé (J3024010) sur la période 1966 – 2013
(source : Banque HYDRO)

Sur l'Horn et le Guillec, les basses eaux ont lieu en août et septembre alors que la période de hautes eaux couvre les mois de janvier et février.

La comparaison des débits spécifiques moyens journaliers entre ces deux bassins versants sur l'année hydrologique 2010-2011 et les débits mensuels moyens entre 1991 et 2011 montre que l'amplitude des débits est plus forte sur le Guillec (Diagnostic Territorial, 2011). Le bassin versant du Guillec semblerait donc plus réactif (au niveau de ses débits) que celui de l'Horn d'après le Diagnostic Territorial.

2. Les aquifères des deux bassins versants

2.1. FONCTIONNEMENT DES AQUIFERES DE SOCLE

Le sous-sol de la Bretagne est constitué de roches dures anciennes dites « de socle ». Dans ces roches il existe des eaux souterraines situées dans des aquifères de socle.

Un système aquifère, c'est à la fois un réservoir capable d'emmagasiner des volumes plus ou moins importants d'eau provenant des pluies infiltrées, et un conducteur permettant les écoulements souterrains et la vidange progressive du réservoir vers ses exutoires naturels que sont les rivières.

En milieu de socle, les deux fonctions sont le plus souvent séparées (cf. Illustration 9) :

- le rôle de réservoir (fonction capacitive : emmagasinement de l'eau de pluie) est assuré principalement par l'altération de la roche en place (« altérites » sur l'illustration 9, à porosité importante et faible perméabilité), développée depuis la surface sur, parfois, plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur,
- tandis que l'eau circule surtout par le réseau de fissures et fractures existant plus bas (fonctions capacitive et transmissive), dans la roche saine ou moins atteinte par l'altération (« horizon fissuré » sur l'illustration 9, à porosité plus faible mais cependant significative (1 à 5 %) et à perméabilité plus importante (10^{-4} à 10^{-6} m/s)).

En Bretagne les eaux souterraines sont donc situées au sein de deux aquifères superposés et en contact permanent : celui des altérites et celui du milieu fissuré (les eaux souterraines de l'horizon fissuré provenant soit des eaux issues de l'horizon des altérites sus-jacent quand elles sont en place, soit directement des pluies infiltrées quand les altérites n'existent pas en surface).

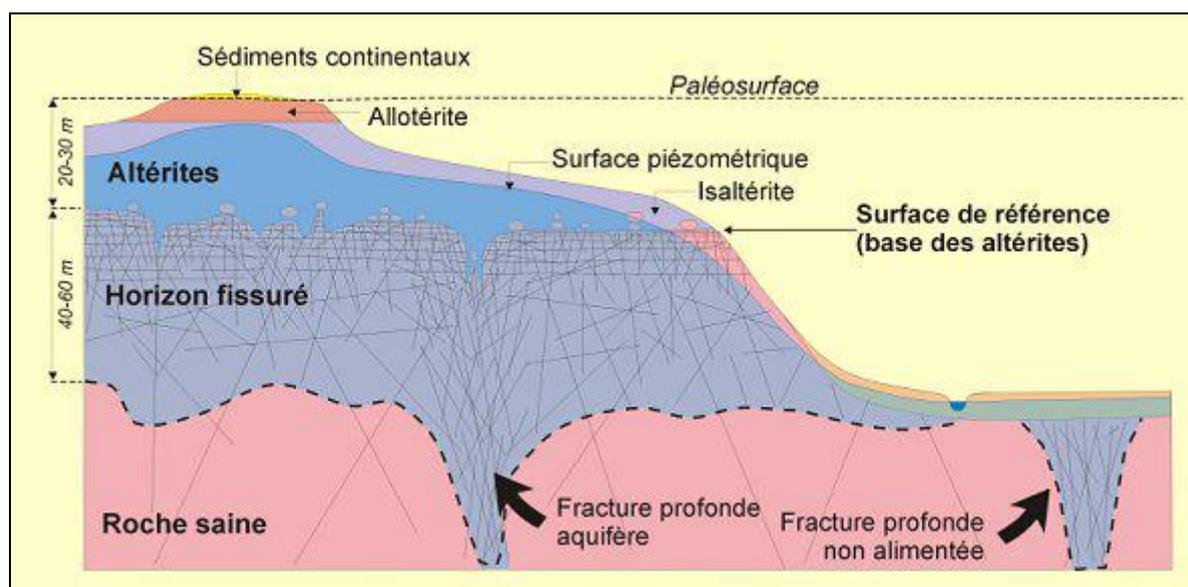


Illustration 9 - Modèle conceptuel des altérations supergènes en domaine granitique (R. Wyns 2004)

La recharge en eau de chaque aquifère est assurée par une partie de l'eau de pluie qui tombe à la surface du sol qui le surplombe directement. Le pourcentage d'eau de pluie qui s'infiltré est très variable d'un secteur à l'autre, évoluant de 10 à 40 % (modélisations effectuées sur 70 rivières bretonnes dans le cadre du projet SILURES Bretagne : Système d'Information pour la Localisation et l'Utilisation des Ressources en Eau Souterraine, B. Mougín et al. 2008 ; le chiffre est d'environ 28 % pour l'Horn et le Guillec), en fonction de la pente, de l'occupation du sol, de la nature des terrains. On peut considérer qu'en Bretagne il y a cohérence entre le bassin versant topographique et souterrain.

L'eau de pluie qui s'infiltré, participe tout d'abord, à la recharge de la réserve utile en eau du sol (évaluée fréquemment à 100 mm). Lorsque ce stock est pourvu, l'eau peut alors s'écouler selon la verticale, à travers le milieu non saturé du sous-sol (partie du sous-sol située entre le sol et la surface de la nappe) selon une vitesse de 1 à 3 m/an, vers le milieu saturé en profondeur (la nappe souterraine), participant ainsi à sa recharge. Selon la période de l'année, la profondeur de la nappe varie entre des niveaux hauts l'hiver et bas l'été.

L'eau suit alors un trajet à dominante horizontale, à une vitesse de 0,05 à 0,5 m/jour vers l'exutoire le plus proche (source, rivière, captage, forage...). La vitesse de déplacement de l'eau dans la nappe varie en fonction de sa pente, de la perméabilité des terrains traversés, de la taille des fissures et du nombre d'obstacles rencontrés par le filet d'eau. Globalement, cette vitesse est relativement lente, et le temps nécessaire au renouvellement du volume d'eau contenu dans un aquifère donné, est généralement long, de l'ordre de 10 à 30 ans en moyenne. Toutefois, l'eau infiltrée dans le sous-sol tout près de l'exutoire peut s'y retrouver relativement vite.

2.2. LES AQUIFERES DES BASSINS VERSANTS DE L'HORN ET DU GUILLEC

Les bassins versants de l'Horn et du Guillec sont principalement constitués par des terrains métamorphiques (gneiss, micaschistes) mais également par des terrains granitiques. Comme indiqué précédemment, la cartographie des altérites existant sur le bassin de l'Horn sera complétée lors de l'étape 2 de cette étude par une cartographie des altérites sur le bassin du Guillec.

Une étude réalisée sur le bassin versant de l'Horn (Mougín et al., 2004) a permis de caractériser les teneurs en eau de ces aquifères (altérites et horizon fissuré). Les résultats, issus de l'interprétation de 14 sondages (Illustration 11) de Résonance Magnétique Protonique (RMP), sont rassemblés dans ce tableau (Illustration 10) :

Géologie	Teneur en eau		Nombre sondages RMP
	Altérite %	Fissuré %	
Micaschistes du Conquet	7.14	6.50	4
Gneiss migmatitique de l'Horn	/	3.51	2
Orthogneiss de Plouénan	3.42	4.28	2
Leucogranites	2.15	4.19	1
Paragneiss à biotite-sillimanite	1.29	5.71	5
Teneur en eau moyenne	3.50	4.84	

Illustration 10 - Détermination des teneurs en eau moyenne pour chaque horizon d'altération des principales formations géologiques du bassin de l'Horn (BRGM/RP-52731-FR, 2004)

Les Micaschistes du Conquet (situés au sud des bassins versants), avec des teneurs en eau de 7,1% pour les altérites et de 6,5% pour l'horizon fissuré, est la formation géologique du bassin versant de l'Horn qui présente les teneurs en eau les plus élevées. L'arène est grossière et donc très poreuse, et l'horizon fissuré a également une porosité importante s'expliquant par une présence importante de biotite et une foliation quasi-verticale de la roche. Viennent ensuite les Orthogneiss de Plouénan puis les Paragneiss à biotite-silimanite, où l'horizon fissuré est plus riche en eau que les altérites argileuses. Les arènes des Leucogranitiques fines, et peu argileuses, et l'horizon fissuré des Leucogranites ont des teneurs en eau non négligeables liées à leur porosité moyenne. Les Gneiss migmatitiques de l'Horn ne présentent pas d'altérites et ont une teneur en eau moyenne.

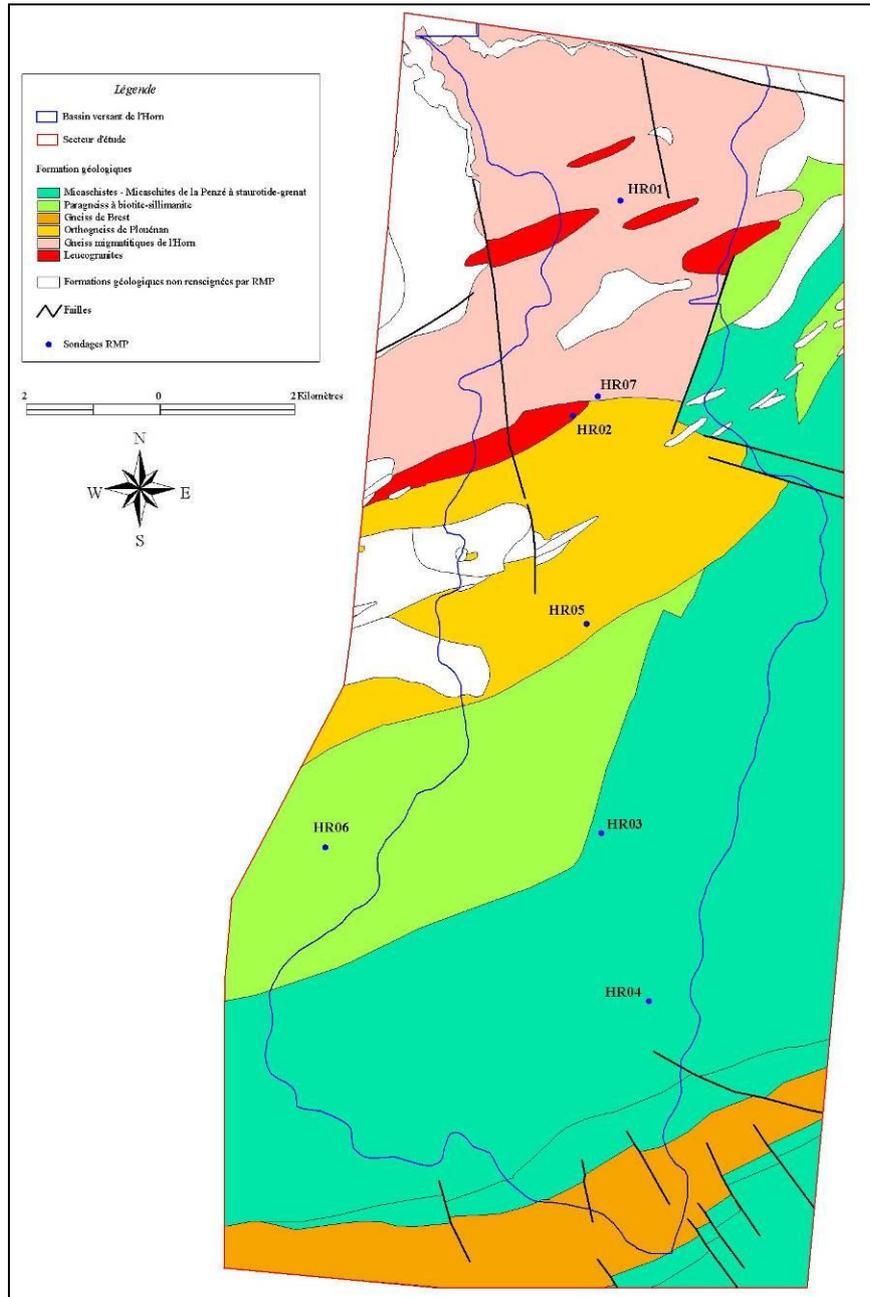


Illustration 11 - Localisation des sondages RMP sur le bassin versant de l'Horn (BRGM/RP-52731-FR, 2004) - Les 7 autres sondages sont localisés en dehors de la carte (secteurs de Plabennec et de la rade de Brest)

Dans le cadre de l'étude sur la qualité de l'eau et les temps de réponse de trois bassins versants bretons, le Yar (22), l'Horn (29) et le Coët Dan (Mougin et al., 2004), une cartographie des volumes d'eau souterrains a été réalisée à partir des teneurs en eau déterminées pour chaque horizon aquifère (altérites et horizon fissuré) des principales formations géologiques des bassins versants. Le BRGM a ainsi calculé que les volumes d'eau souterraine présents dans les 50 premiers mètres du sous-sol sur le bassin versant de l'Horn de sa source à la mer (80,6 km²) étaient d'environ 38 millions de m³ (Illustration 12), ce qui correspond à un peu moins de deux années et demi d'infiltration moyenne. Une cartographie de la capacité du sous-sol à absorber les eaux d'infiltration sur les bassins étudiés a également été réalisée (croisement de l'épaisseur de la zone non saturée et de la perméabilité relative des formations géologiques) : le bassin de l'Horn a une forte capacité d'absorption sur la quasi-totalité de sa superficie (infiltration majoritaire).

Aucune caractérisation hydrogéologique détaillée n'a été menée sur le bassin versant du Guillec.

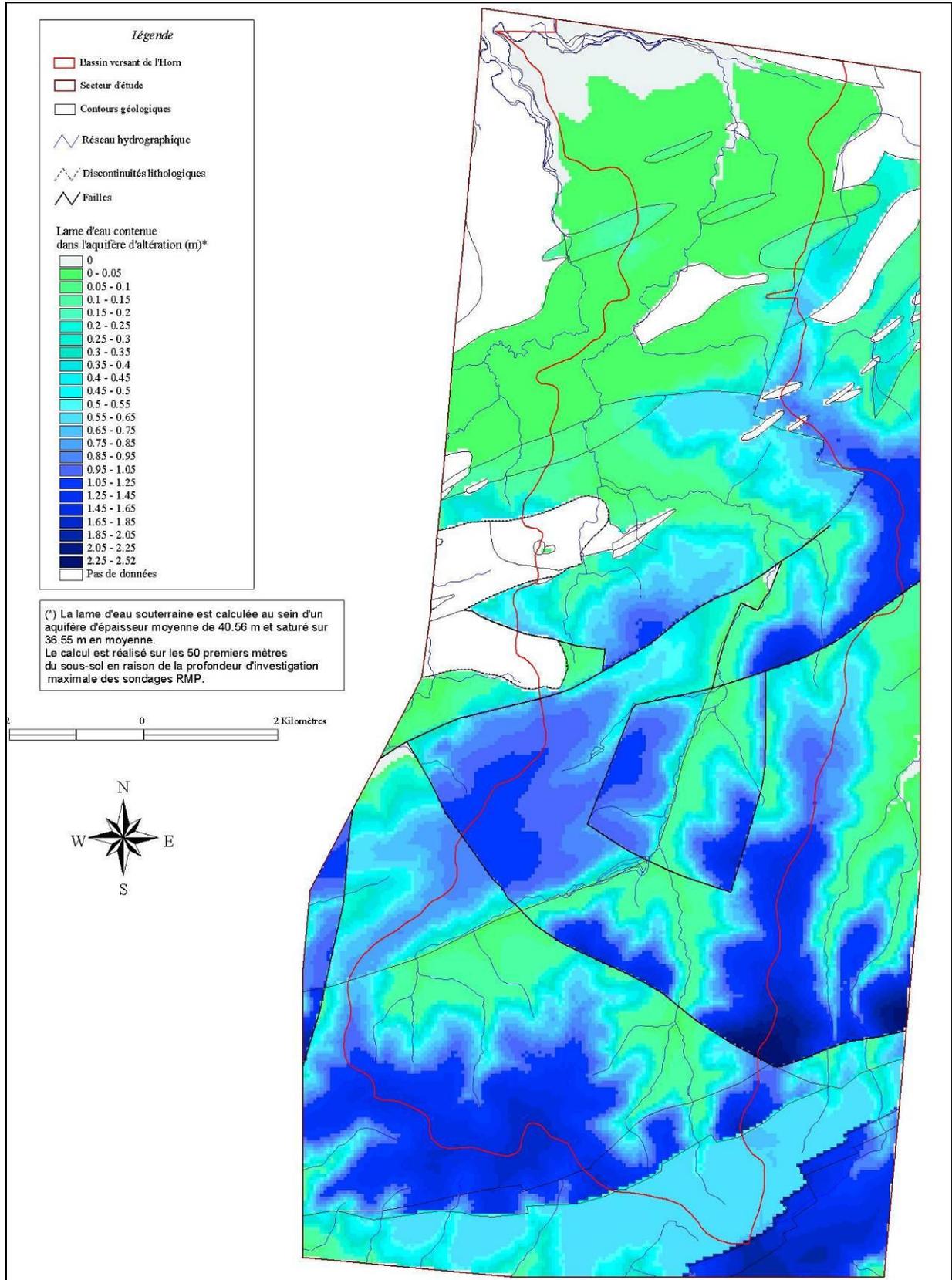


Illustration 12 - Lame d'eau totale de l'aquifère d'altération sur le bassin de l'Horn (BRGM/RP-52731-FR, 2004)

2.3. TEMPS DE RENOUVELLEMENT DES EAUX SOUTERRAINES

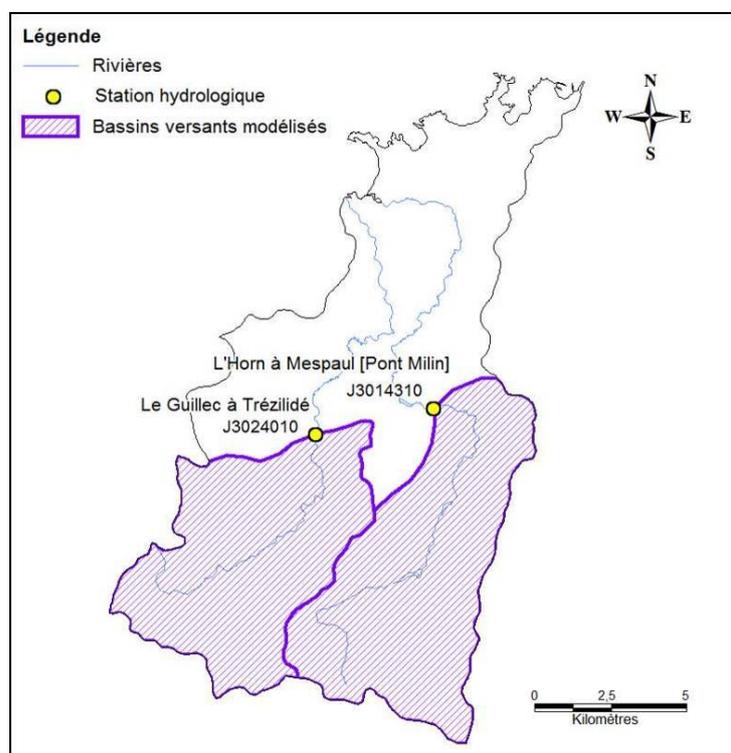
L'étude sur les temps de réponse de trois bassins versants bretons, le Yar (22), l'Horn (29) et le Coët Dan (56), menée entre 2000 et 2004 par le BRGM (Mougin et al., 2004), a également permis d'évaluer les temps de renouvellement des eaux souterraines (temps de transit de l'eau dans la zone non saturée et temps de vidange de l'aquifère sur les 50 premiers mètres du sous-sol).

Le temps de vidange a été estimé pour l'Horn à un peu moins de 2,5 ans au sein des 50 premiers mètres du sous-sol. En ajoutant le temps de transit de l'eau dans la zone non saturée au temps de vidange, le temps de renouvellement de l'eau souterraine (temps qu'une goutte d'eau met à s'écouler du sol à la nappe, puis de la nappe à la rivière) est de l'ordre de 5 ans pour l'Horn. Ce temps est à prendre en compte pour évaluer la durée de reconquête de la qualité de l'eau souterraine et par conséquent de l'eau superficielle (les eaux souterraines participant de manière non négligeable à l'écoulement des rivières).

Cette lenteur du transit de l'eau au sein des réservoirs aquifères souterrains, présente l'intérêt de les rendre moins sensibles et dépendants des aléas climatiques que les cours d'eau. Elle influe également sur l'évolution de la qualité chimique de l'eau de surface : les teneurs en certains éléments chimiques, par exemple les nitrates observés à un exutoire, rendent compte des effets des pratiques agricoles de la (ou des) décennie(s) précédente(s). Toute modification des pratiques azotées aura une répercussion décalée dans le temps.

3. La participation des eaux souterraines aux débits des rivières

Les écoulements de l'Horn et du Guillec ont été étudiés dans le cadre du projet SILURES Bretagne (Mougin et al., 2008). Les débits journaliers des cours d'eau ont été décomposés en écoulement de surface et en écoulement souterrain. Ce travail a permis d'estimer la participation globale annuelle des eaux souterraines aux débits des rivières. Celle-ci varie de 57 à 61 % (respectivement pour les bassins versants du Guillec et de l'Horn). Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous (Illustration 13).



Bassin versant	Dépt	Station hydrologique	Numéro station	Superficie (km ²)	Période modélisation	Pluie totale (mm/an)	Evapo-transpiration (mm/an)	Pluie efficace (mm/an)	Écoulement rapide (mm/an)	Écoulement rapide (%)	Écoulement lent (mm/an)	Écoulement lent (%)
Horn	29	Mespaul (Pont Milin)	J3014310	50	1990-2000	1 013	541	472	184	39	288	61
Guillec	29	Trézilidé	J3024010	43	1989-2003	1 085	564	521	224	43	297	57

Illustration 13 - Localisation des bassins versants modélisés dans le cadre du projet SILURES Bretagne et résultats obtenus

Ceci témoigne d'une forte contribution des eaux souterraines aux débits des rivières sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec.

En étiage pour les 2 bassins versants, on note une influence prépondérante du réservoir souterrain inférieur (fissuré), par rapport au réservoir supérieur (altéré). De juin à octobre, plus de 88% de l'écoulement de l'Horn (Illustration 14) et 63% de l'écoulement du Guillec (Illustration 15) proviennent de l'écoulement souterrain, avec un paroxysme aux mois d'août et septembre

où la totalité du débit de l'Horn et du Guillec provient de l'écoulement souterrain (soutien de l'écoulement de la rivière par la nappe). Pour les deux bassins versants, la tendance s'inverse pour les autres mois de l'année. Pendant la période de crue, la contribution des eaux souterraines à l'alimentation des rivières diminue vers 40% pour l'Horn (décembre-janvier) et vers 40 et 49% pour le Guillec (janvier-février). Dans les graphiques suivants, les débits sont exprimés en termes de lame d'eau écoulée sur le bassin versant (en mm). Ils se décomposent en débit rapide (écoulement de surface), intermédiaire (ruissellement hypodermique et écoulement souterrain) et lent (écoulement souterrain uniquement).

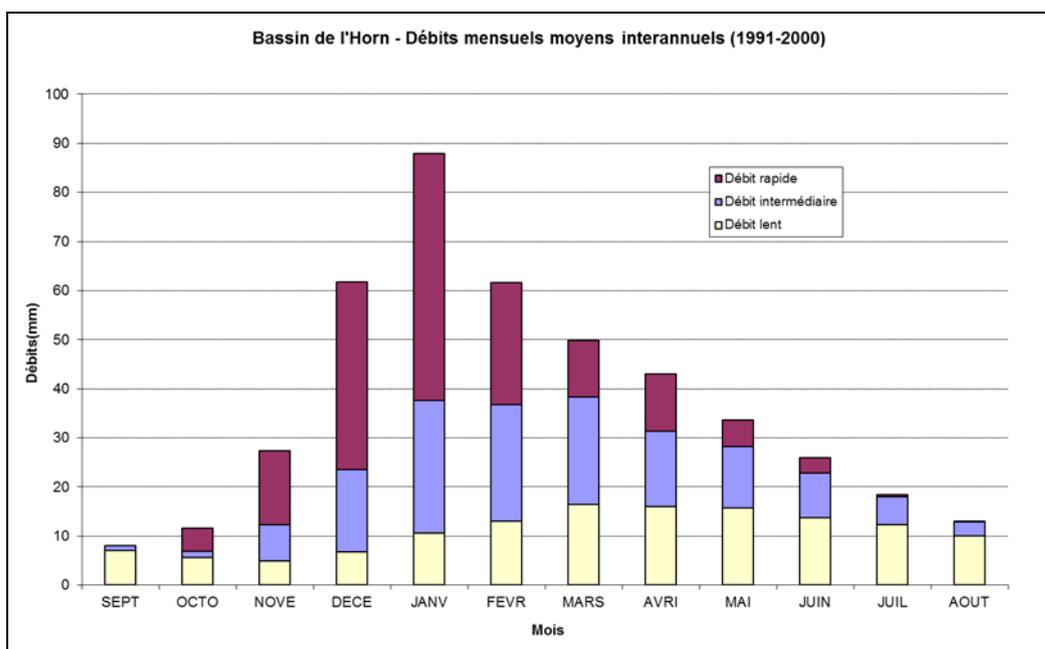


Illustration 14 - Débits mensuels moyens interannuels (1991-2000) de l'Horn (source : SILURES Bretagne)

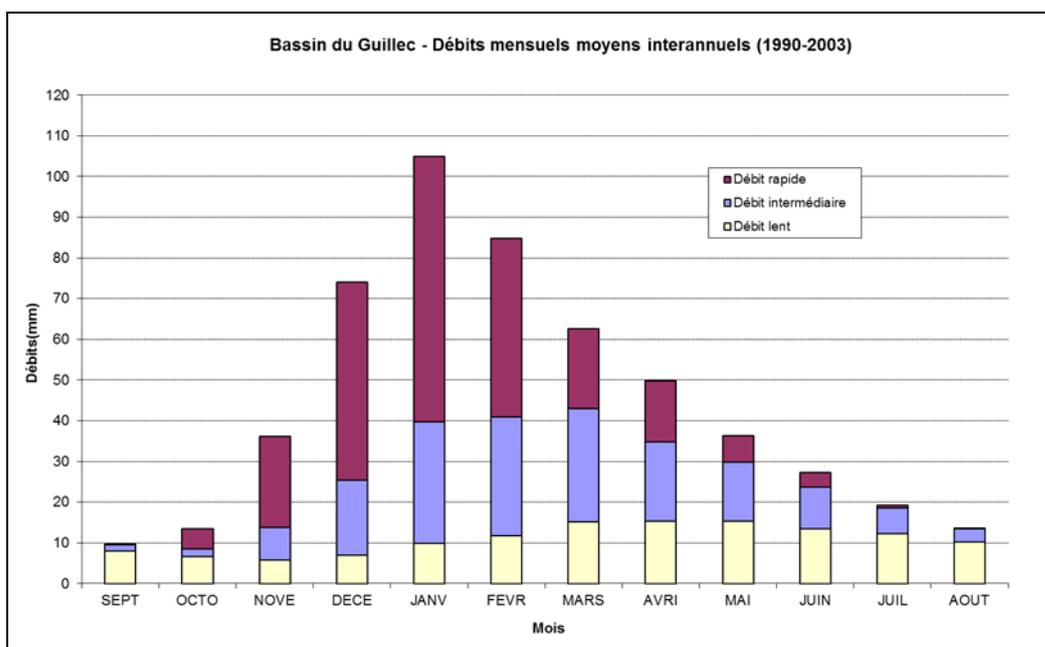


Illustration 15 - Débits mensuels moyens interannuels (1990-2003) du Guillec (source : SILURES Bretagne)

4. Les référentiels hydrogéologiques

Afin d'aider à la gestion des ressources en eau souterraine, des référentiels hydrogéologiques ont été mis en place pour apporter une description physique des aquifères, suivant différents niveaux de prise en compte de la complexité du milieu souterrain (échelle de travail et superposition des aquifères dans le sous-sol).

4.1. LES MASSES D'EAU SOUTERRAINE

Selon la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE-2000/60/CE), une masse d'eau souterraine est « un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères » (article 5 et Annexe II). Il s'agit des unités d'évaluation de la DCE.

Les bassins versants de l'Horn et du Guillec recoupent une seule masse d'eau souterraine (Illustration 16) : FRGG001 – Le Léon. Actuellement, cette masse d'eau n'est pas classée en bon état chimique au sens de la DCE à cause d'une dégradation de la qualité de l'eau souterraine par les nitrates (objectif de bon état reporté à 2027 ; source : Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Etat 2011 des masses d'eau du bassin Loire-Bretagne).

4.2. LA BD LISA

La Base de Données sur les Limites des Systèmes Aquifères (BD LISA) constitue la deuxième version du référentiel hydrogéologique français et correspond à un découpage du territoire national en entités hydrogéologiques (formations géologiques aquifères ou non).

Le territoire étudié se trouve sur l'entité BD LISA 191AA01 – Socle métamorphique dans les bassins versants de l'Horn et du Guillec de leurs sources à la mer, île de Batz (Illustration 16).

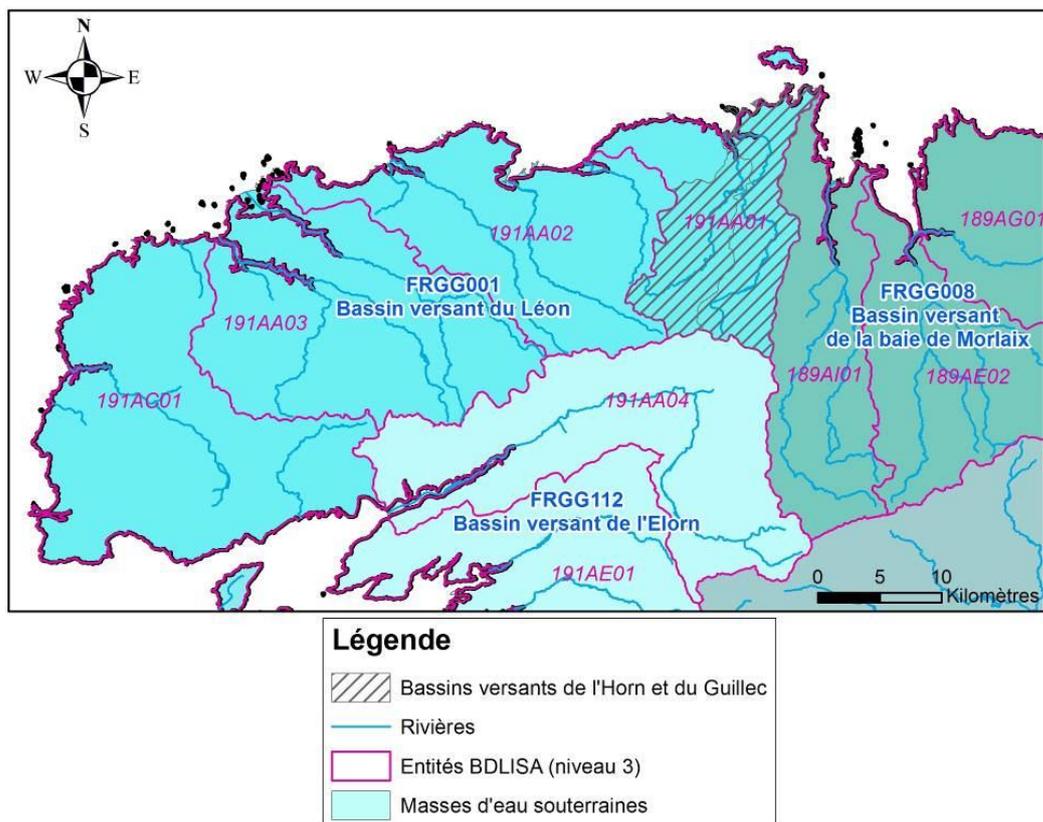


Illustration 16 - Masse d'eau souterraine et entité BD LISA recoupées par les bassins versants de l'Horn et du Guillec

5. Les captages d'eau souterraine

Les ouvrages permettant de capter les eaux souterraines (points d'eau) sont généralement des forages, des puits ou des sources (Illustration 17).

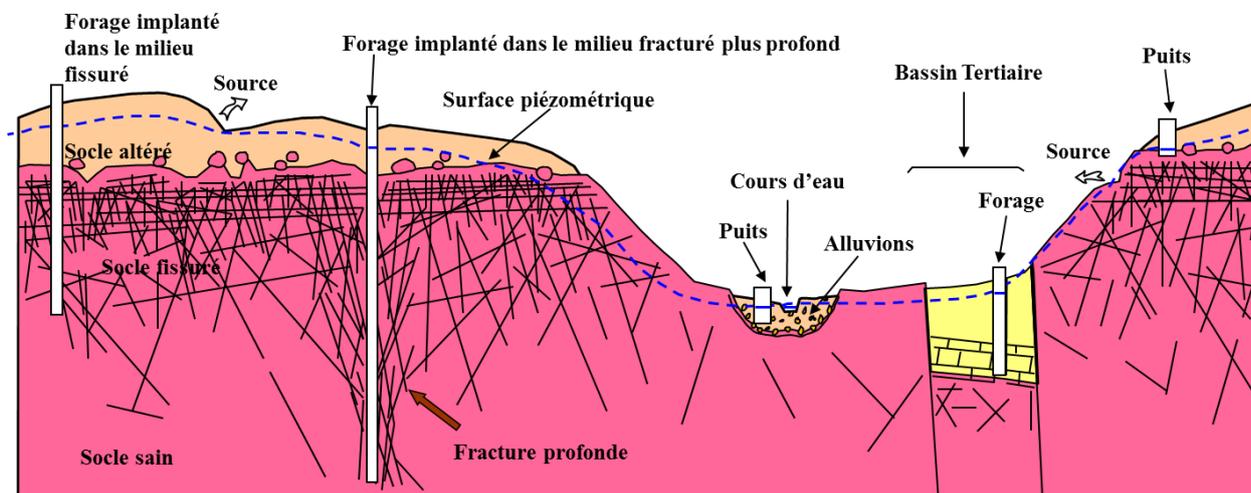


Illustration 17 - Différents types d'aquifères et de captages en Bretagne

5.1. LES PUITIS

Les puits sont des ouvrages verticaux peu profonds à parois maçonnées et réalisés en gros diamètre.

Traditionnellement, ils traversent les niveaux d'altération des formations du socle sur quelques mètres de profondeur (altérites et partie supérieure de l'horizon fissuré - Illustration 17) et :

- recoupent le toit de la nappe : les débits sont alors faibles (de l'ordre de quelques m³/jour) et l'exploitation de l'eau repose sur l'effet capacitif de l'ouvrage ;
- ou coiffent des émergences de sources : de nombreuses adductions d'eau potable en Bretagne sont établies à partir de ce type d'ouvrage et les débits journaliers sont très variables de l'ordre de quelques m³ à 250 m³.

Les puits sont très sensibles :

- aux variations saisonnières (maximum de débit en hiver et minimum en automne) et climatiques (baisse marquée des niveaux des nappes en période de sécheresse prolongée, pouvant aller jusqu'à l'assèchement temporaire de l'ouvrage) ;
- à la pollution de l'eau, principalement par les nitrates et les pesticides.

5.2. LES FORAGES

Depuis l'apparition, à la fin des années 1970, des techniques de foration rapide à l'air comprimé (marteau fond de trou), les forages réalisés dans le socle se multiplient, les résultats obtenus sont souvent modestes en raison de la nature des écoulements souterrains en milieu de socle, mais ils sont suffisants pour répondre aux besoins locaux.

On connaît la profondeur et le débit en fin de foration (débit instantané au soufflage) de 197 forages implantés sur les formations géologiques recoupant les bassins versants de l'Horn et du Guillec et recensés dans la Banque de données du Sous-Sol (BSS) du BRGM (Illustration 18, fond géologique identique à l'illustration 4). Les formations géologiques ont été classées par lithologie et les moyennes des débits et profondeurs calculées (Illustration 18). La profondeur moyenne des ouvrages présents dans ces bassins est de 54,2 m et le débit instantané moyen de 12,2 m³/h.

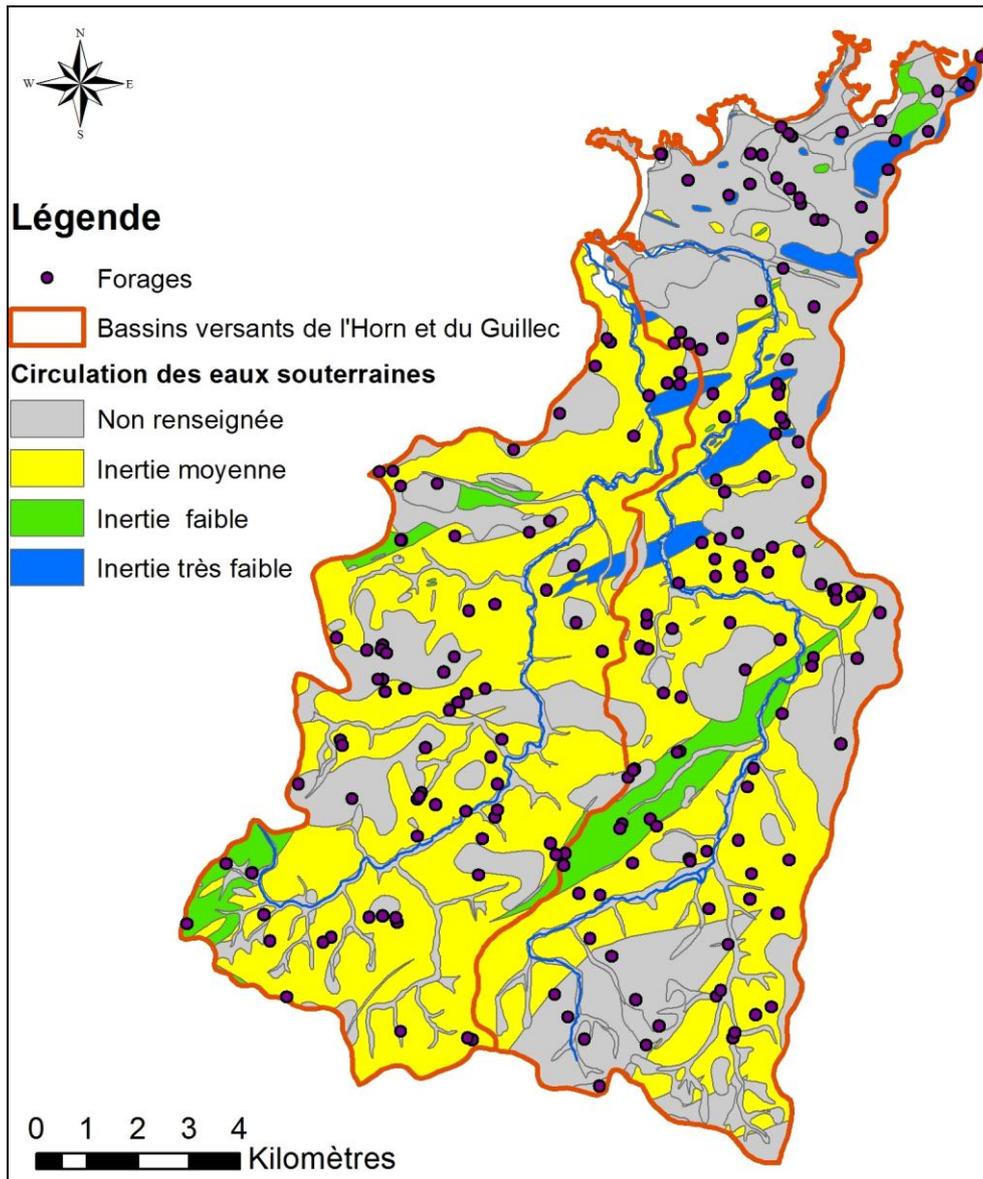
Le débit moyen du meilleur quartile (moyenne des débits des 25 % « meilleurs forages » de chaque population concernée) a également été calculé (Illustration 18).

Ce paramètre varie de façon très significative en Bretagne : de moins de 10 m³/h à plus de 40 m³/h. On peut considérer que cette valeur, atteinte par le quart des forages implantés au hasard, était suffisamment fréquente pour correspondre à des conditions aquifères d'une certaine extension et ce paramètre pourrait être représentatif de la perméabilité des axes de drainage souterrain.

Le rapport Q/P (débit instantané/profondeur) de ces forages a été calculé (colonne de droite de l'illustration 18) pour les formations géologiques comportant une population représentative (> 10 forages).

Le Granite de Roscoff, à l'extrême nord du territoire semble être la formation géologique la plus conductrice (débit moyen du meilleur quartile supérieur à 46 m³/h) avec une inertie très faible (rapport Q/P élevé). L'inertie est faible pour les Gneiss de Lesneven et les Micaschistes nord. Les autres formations se trouvent dans des gammes de valeurs similaires, un peu moins conductrices et avec une inertie moyenne.

Les débits mentionnés ci-dessus sont des débits instantanés mesurés en fin de foration (suite à un soufflage). Mais il faut distinguer ce **débit instantané**, qui rend compte de l'intensité de la fissuration et de la fracturation locale autour de l'ouvrage et le **débit d'exploitation pérenne** qui correspond au débit que l'on pourra pomper en continu dans l'aquifère. Ce dernier est toujours sensiblement inférieur au débit instantané.



Unité géologique	Nombre de forages	Débit moyen (m ³ /h)	Profondeur moyenne (m)	Débit moyen du meilleur quartile (m ³ /h)	Q/P (m ³ /h/m)
Granite de Roscoff	24	15.8	47.0	46.2	0.409
Gneiss de Lesneven et micaschistes nord	23	13.1	45.1	25.9	0.334
Monzogranite Moguériec	8	14.9	63.5	/	/
Orthogneiss de Plouéan	47	12.3	58.2	25.3	0.24
Micaschistes du Conquet	38	11.9	51.3	33.9	0.239
Granites de Ste Catherine	19	10.3	59.7	24.9	0.232
Gneiss migmatitique de l'Horn	24	11.1	55.0	24.0	0.229
Granite de Cléder	7	12.5	56.7	/	/
Gneiss de Brest	3	4.5	48.3	/	/
Granite fin de l'île de Batz	4	4.0	81.8	/	/
Total et moyennes	197	12.2	54.2	30.98	0.266

Illustration 18 – Localisation et caractéristiques des forages réalisés dans les formations géologiques recoupant les bassins versants de l'Horn et du Guillec

5.3. LES CAPTAGES SOUTERRAINS D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

Actuellement, aucun captage souterrain destiné à l'Alimentation en Eau Potable (AEP) n'est en service sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec.

Plusieurs anciens captages AEP ont été abandonnés sur le territoire Horn-Guillec en raison de leurs teneurs trop élevées en nitrates :

- le forage Le Rest 1 sur la commune de Plouéan - code BSS 02018X0120/F – code SISE-Eaux 029002374 ;
- le forage Le Rest 3 sur la commune de Plouéan - code BSS 02018X0121/F – code SISE-Eaux 029002375 ;
- la source Feunteun Veur sur la commune de Plouvorn - code BSS 02393X0030/HY – code SISE-Eaux 029001524.

6. Le suivi des eaux souterraines des bassins versants de l'Horn et du Guillec

Le suivi des eaux souterraines peut se faire de 2 façons (Illustration 19) :

- Un suivi qualitatif au niveau d'ouvrages (forages, puits ou sources) appelés qualitomètres,
- Un suivi quantitatif au niveau de forages de petits diamètres appelés piézomètres.

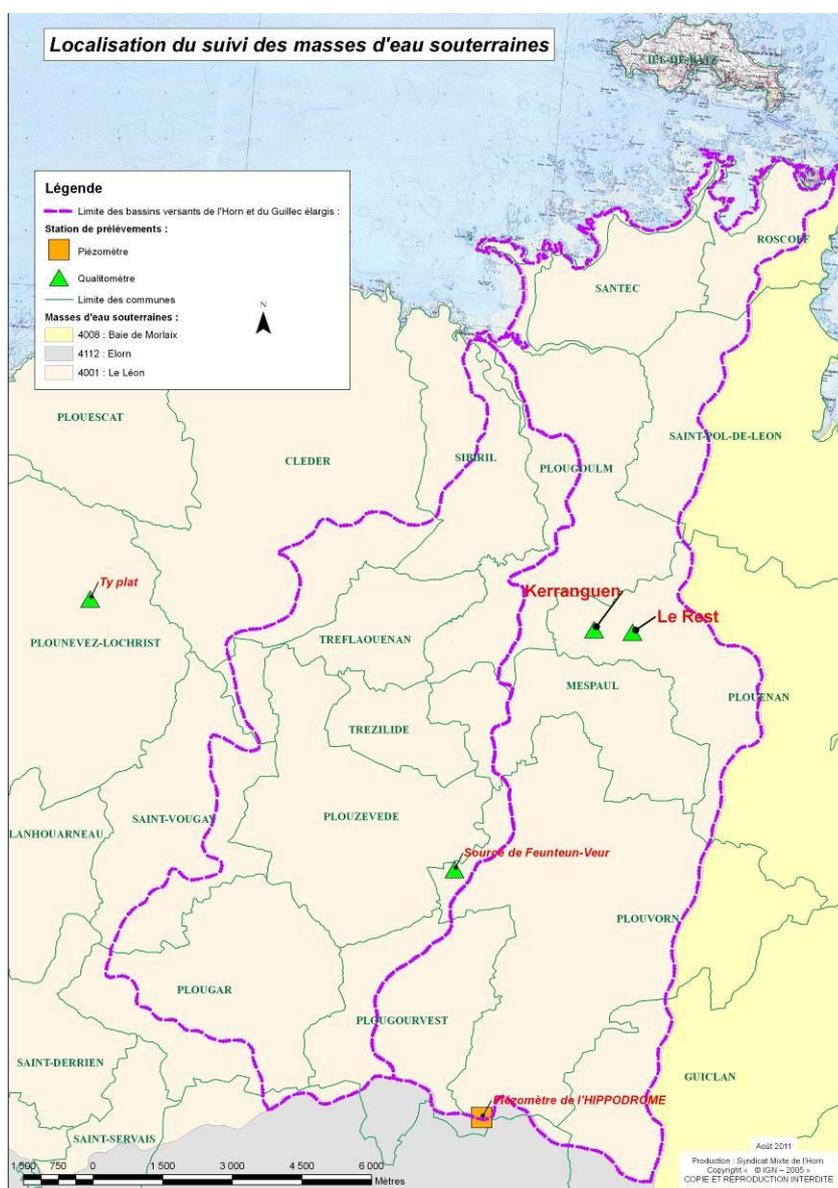


Illustration 19 - Localisation des points de suivi des eaux souterraines sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec (source : Syndicat Mixte de l'Horn)

6.1. SUIVI DE LA QUALITE CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES

6.1.1. Qualité de l'eau souterraine en Bretagne

Du point de vue bactériologique, l'eau souterraine obtenue à partir des forages de Bretagne est de bonne qualité, sous réserve que des précautions élémentaires soient prises lors de l'implantation des ouvrages, pendant leur réalisation et au cours de leur exploitation (les bonnes pratiques sont définies dans la norme AFNOR X10-999 d'août 2014). A l'inverse, il faut souligner que les forages réalisés sans précaution peuvent être autant de foyers potentiels de pollution.

Du point de vue physico-chimique, les caractéristiques de l'eau souterraine de Bretagne sont similaires quelle que soit la nature de la roche-mère : minéralisation assez faible (conductivité de 100 à 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et une agressivité marquée : la teneur en CO_2 libre est fréquemment comprise entre 15 et 30 mg/l, le pH entre 5 et 6,5. C'est une eau douce dont le degré hydrotimétrique (dureté totale) est de l'ordre de 5 à 10 degrés français.

Par ailleurs, cette eau souterraine montre souvent des teneurs élevées en fer et, à un degré moindre, en manganèse, ce qui, pour certaines utilisations, peut nécessiter un traitement de l'eau. D'une manière générale, la présence en grande quantité de fer est souvent l'indice d'un phénomène de dénitrification naturelle au sein de la nappe : ce phénomène est lié à des réactions biochimiques, engendrées par la présence de pyrite en profondeur (FeS_2), présente naturellement dans certaines roches (seules certaines formations géologiques sont concernées). L'équation chimique de cette dénitrification est la suivante :



La durée de vie des phénomènes de dénitrification naturelle en sous-sol est limitée (fonction de la teneur en pyrite), elle est probablement chiffrable en décennies, peut-être en siècles. Quelle que soit la durée de vie des phénomènes de dénitrification naturelle, ceux-ci ne dispensent pas de lutter contre les causes des pollutions, mais laisse un délai pour agir.

L'eau exhaurée en forage, si elle est riche en fer, ne contient alors pas de nitrates. Pour la santé, ces derniers sont néfastes alors que le fer ne l'est pas, mais il entraîne des problèmes de précipités (couleur rouille) dans le forage et les installations. Toutefois le traitement du fer est beaucoup plus aisé et moins onéreux que celui des nitrates.

6.1.2. Qualité de l'eau souterraine dans les bassins versants de l'Horn et du Guillec

Données bancarisées dans ADES

Au niveau la banque nationale ADES (Accès aux Données sur les Eaux Souterraines, <http://www.ades.eaufrance.fr> puis recherche par code BSS), un suivi régulier de la qualité des eaux souterraine, opéré par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, est disponible sur un seul ouvrage. Il s'agit d'un qualitomètre (ancien captage destiné à l'alimentation en eau potable) : la source de Feunteun Veur à Plouvorn (02393X0030/HY, suivie depuis septembre 2001 ; cf. Illustration 19), sur le bassin du Guillec. Ce qualitomètre fait partie du réseau DCE (Directive Cadre sur l'Eau) de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Loire, cours d'eau côtiers vendéens et bretons (contrôle de surveillance (code SANDRE 0400000124) et contrôle opérationnel (code SANDRE 0400000128)).

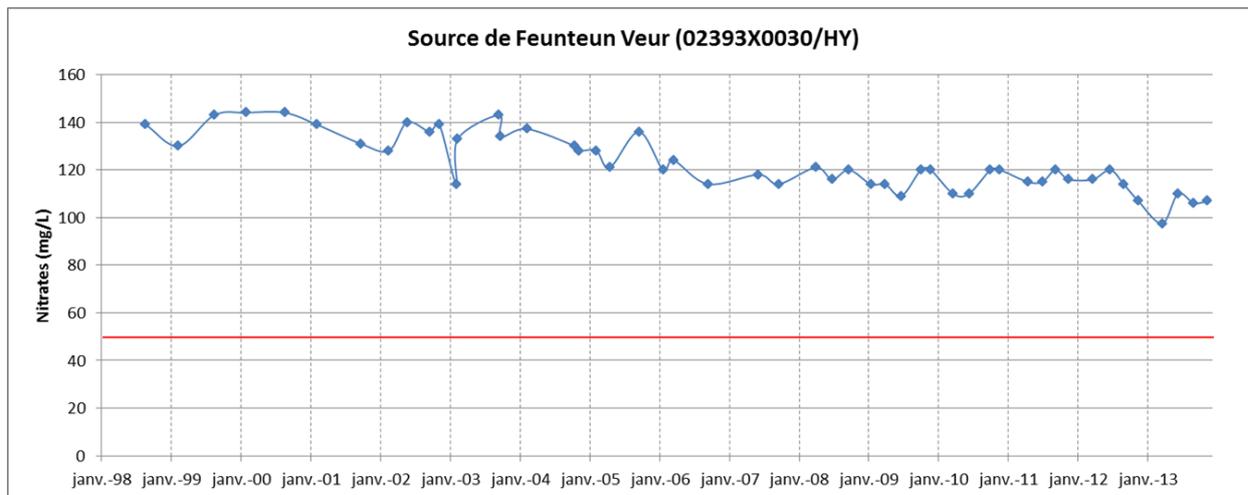


Illustration 20 - Evolution des teneurs en nitrates au niveau de la source de Feunteun Veur à Plouvorn (sources : AELB et ARS), avec en rouge le seuil de 50 mg/L

Ces résultats d'analyses (Illustration 20) montrent que pour la source de Feunteun Veur à Plouvorn la qualité des eaux souterraines semble être en voie d'amélioration (pour le paramètre nitrates : environ -38 mg/L en 13 ans) mais les teneurs en nitrates restent très élevées et supérieures au seuil de 50 mg/L qui correspond à la limite de référence pour les eaux destinées à la consommation humaine (arrêté du 11 janvier 2007) et à la norme de qualité fixée pour les eaux souterraines par la Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE et la Directive fille eau souterraine 2006/118/CE.

Suivi ancien réalisé par le SMH

Le Syndicat Mixte de l'Horn dispose de données ponctuelles sur la qualité des eaux souterraines sur le bassin versant de l'Horn, issues d'un suivi réalisé sur des puits en septembre 2005 et septembre 2006 (Illustration 21). Un seul puits, situé en amont du bassin du Guillec, présente des teneurs inférieures à 50 mg/L. Pour les autres puits, les teneurs en nitrates varient de 50 à 200 mg/L.

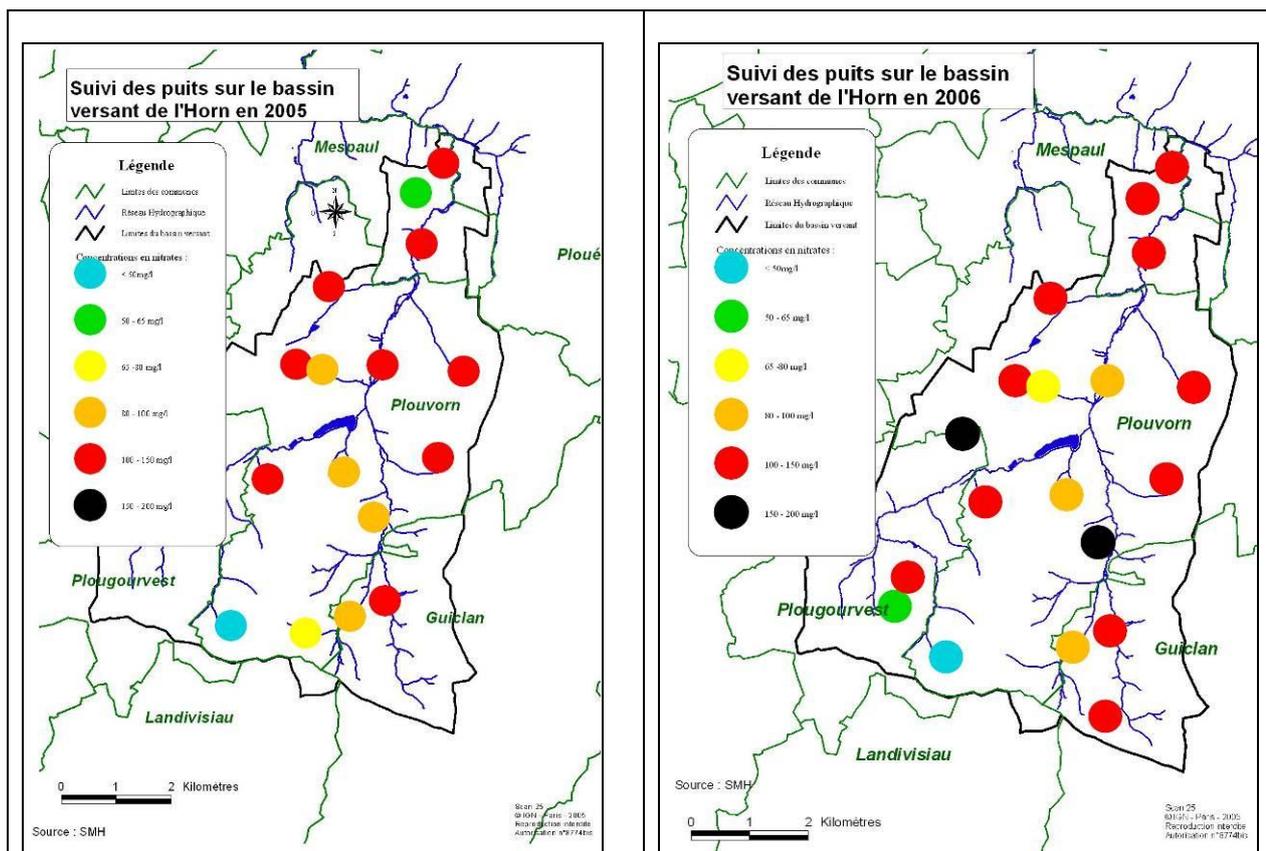


Illustration 21 - Suivi des puits sur le bassin versant de l'Horn en 2005 et 2006 (source : Syndicat Mixte de l'Horn)

Par ailleurs, les teneurs en nitrates des captages de Plouénan (Le Rest 1, 2 et 3, Kerranguen 1 et 2), suivis de 1978 à 1983 puis abandonnés en 1983, ont été mesurées en 2004, 2011 et depuis 2013 (Illustration 19). On constate une dégradation des teneurs en nitrates au début des années 80. En 2011, les teneurs en nitrates restaient très élevées et s'étaient peu améliorées depuis l'abandon des forages, hormis pour le forage Le Rest 1, où la teneur en nitrates semble avoir fortement diminué entre 2004 et 2011 (Illustration 22). En 2014, on constate que l'amélioration s'est poursuivie pour le forage Le Rest 1. Pour l'ensemble des forages, les teneurs en nitrates 2013-2014 se situent sous le seuil de 100 mg/L mais seul le forage Kerranguen 2 affiche des teneurs inférieures à 50 mg/L.

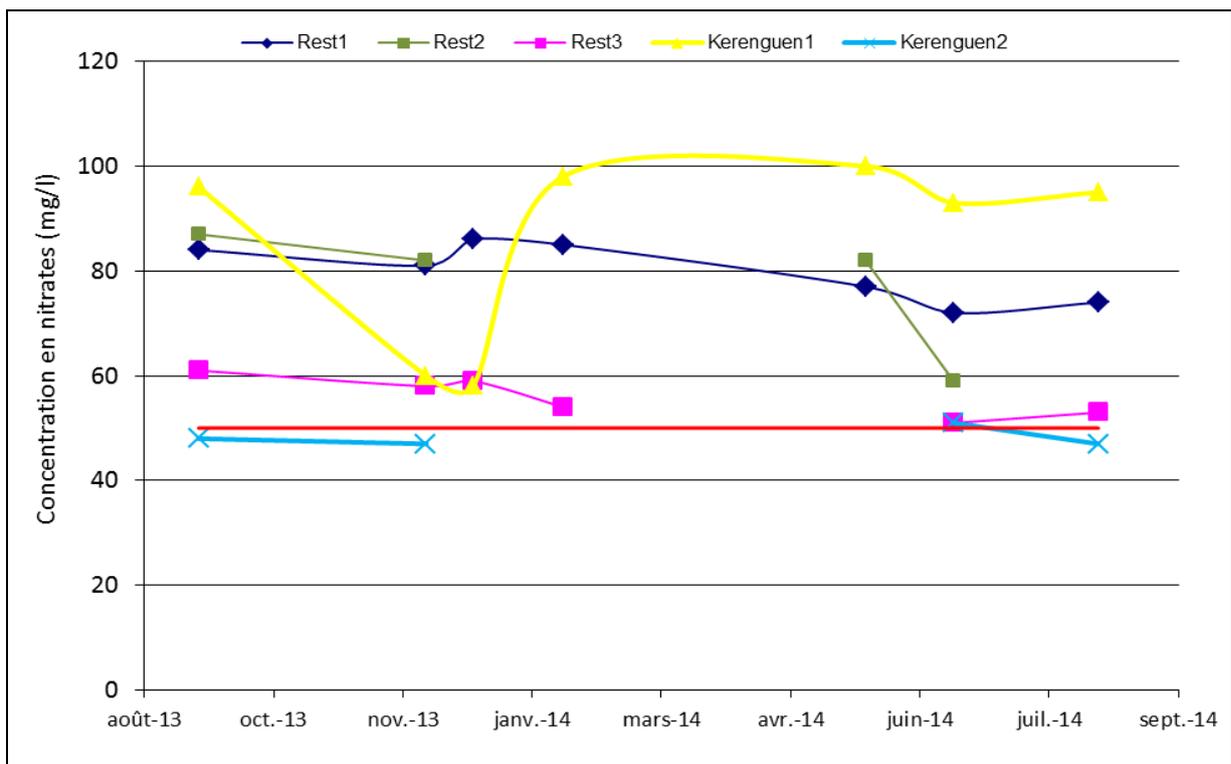
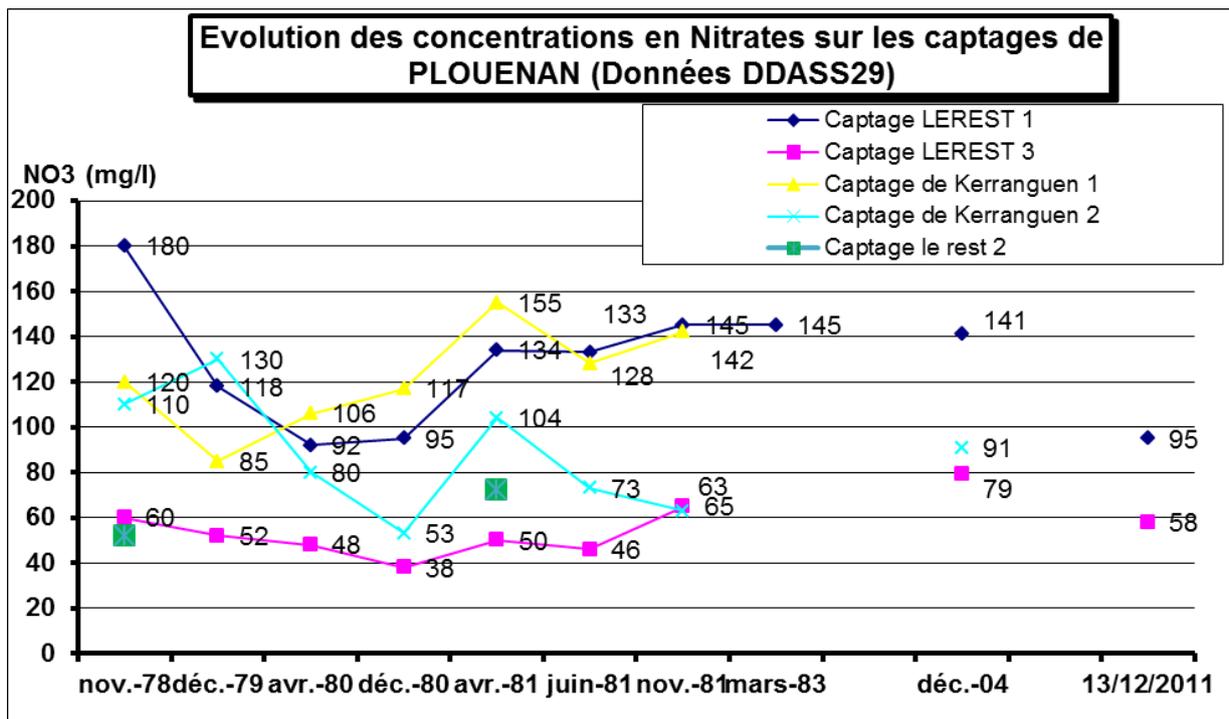


Illustration 22 - Evolution des teneurs en nitrates aux captages abandonnés de l'usine d'eau potable du lieu-dit Le Rest à Plouénan (source : Diagnostic Territorial, 2011 et suivi Lyonnaise des Eaux)

Analyses réalisées par le BRGM lors de l'étude sur les bassins versants en contentieux nitrates

Dans le cadre de l'étude sur les bassins versants en contentieux nitrates (Mougin et al., 2008), une campagne de prélèvement a été réalisée pendant l'été 2007 sur 6 points de mesures sur le bassin versant de l'Horn en amont de Plouénan (Illustration 23).

CODE BSS	NATURE	INSEE	COMMUNE	LIEU_DIT	FIN_TRAVAUX	X_L2E	Y_L2E	ZSOL (m)	PROF (m)
02394X0006/F22	FORAGE	29210	PLOUVORN	KERGREN	01/01/1976	129974	2417497	87.5	38
02394X0027/F1	FORAGE	29210	PLOUVORN	PRAT AR LANN	03/02/2004	129850	2417640	91	67
02394X0004/F	FORAGE	29210	PLOUVORN	GUELET-KEAR	13/08/1976	131858	2416563	80	33
02394X0025/F	FORAGE	29210	PLOUVORN	LANNARIN	01/07/2003	131595	2417230	68	55
02394X0029/F1	FORAGE	29210	PLOUVORN	KERELLEC	19/05/2004	130060	2413540	112	52
02018X0075/F1	FORAGE	29148	MESPAUL	KERTANGUY	24/05/2004	132430	2419740	60	90

Illustration 23 - Caractéristiques des points de prélèvements de la campagne de mesure de l'été 2007 (RP-55842-FR)

Les teneurs en nitrates mesurées varient entre 2,1 mg/L et 129,3 mg/L, avec une moyenne de 86,1 mg/L (Illustration 24). La présence d'un phénomène de dénitrification naturelle utilisant la pyrite a été mise en évidence sur le forage 02018X0075/F1 situé au nord du bassin, avec des teneurs en nitrates très faibles (2,1 mg/L) et des teneurs en fer très élevées (1,2 mg/L).

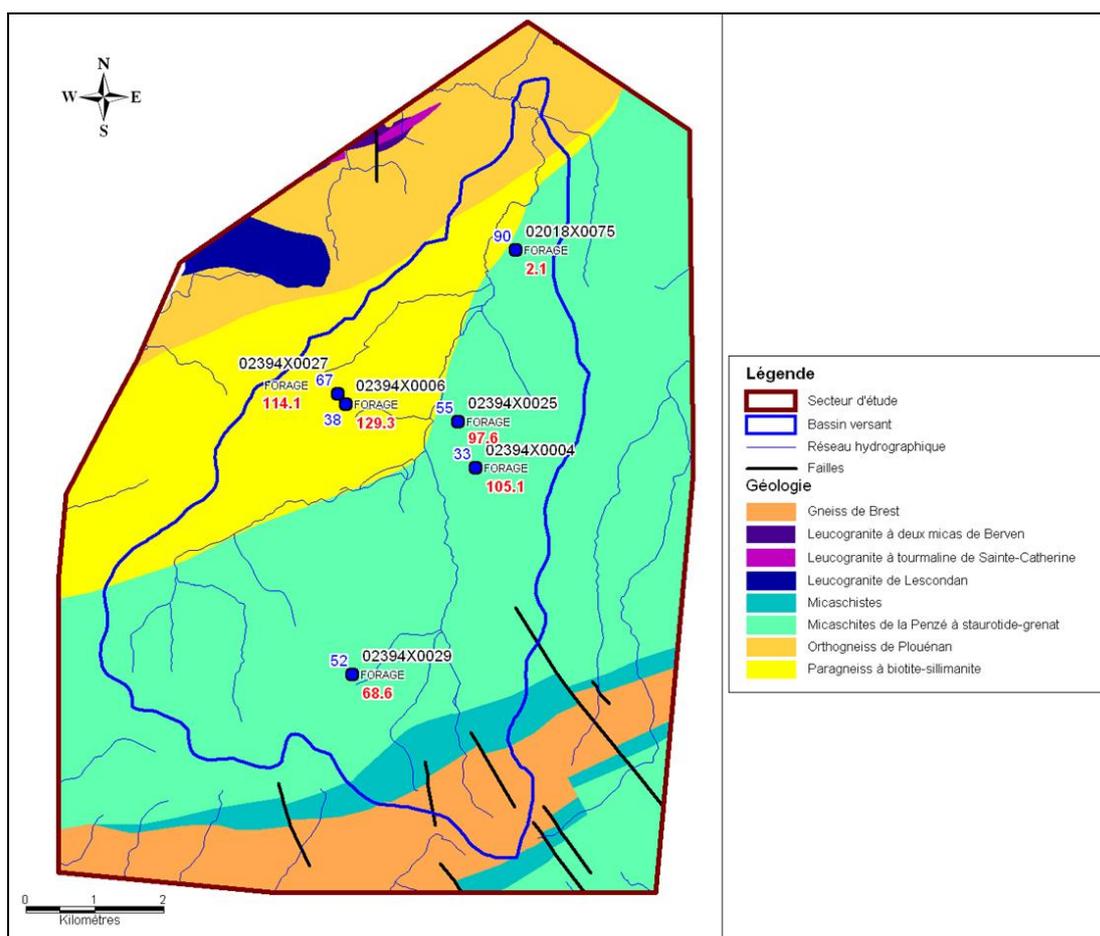


Illustration 24 - Localisation des points de prélèvements et teneurs en nitrates lors de la campagne de mesure de l'été 2007 (RP-55842-FR). En bleu : profondeur des ouvrages ; en rouge : teneur en nitrates (mg/L)

Synthèse des informations disponibles

A l'heure actuelle, l'évolution de la qualité chimique des eaux souterraines sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec ne peut être évaluée précisément en raison de la faiblesse du nombre de points d'observation, et du manque de suivi régulier de la qualité. Grâce aux données ponctuelles disponibles, il semblerait que la qualité des eaux souterraines s'améliore bien que les teneurs en nitrates restent très élevées.

6.2. SUIVI DU NIVEAU DES NAPPES

Le BRGM est chargé du suivi national des niveaux de nappe. En Bretagne, le réseau piézométrique, permettant d'assurer cette mission, est composé de 52 stations télétransmises.

À l'extrémité Sud du bassin versant de l'Horn, sur la commune de Plouvorn, se trouve le piézomètre de l'Hippodrome (02394X0019/F - Illustration 19), suivi depuis le 30/06/1993. Ce piézomètre est implanté dans les Micaschistes du Conquet. Il fait partie du réseau DCE de surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines du bassin Loire, cours d'eau côtiers vendéens et bretons (code SANDRE 0400000127).

Le suivi des niveaux de nappe à Plouvorn (Illustration 25) montre qu'ils sont réactifs aux précipitations (successions resserrées dans le temps de recharges et de vidanges) et qu'ils suivent un cycle annuel (montée-descente). La profondeur de la nappe varie entre 0.24 m au-dessus du sol (piézomètre artésien) et 4.88 m sous la surface du sol, le battement moyen annuel est de 2.65 m (période 1994-2013).

On observe également des cycles piézométriques pluriannuels qui dépendent des successions d'années humides et d'années sèches.

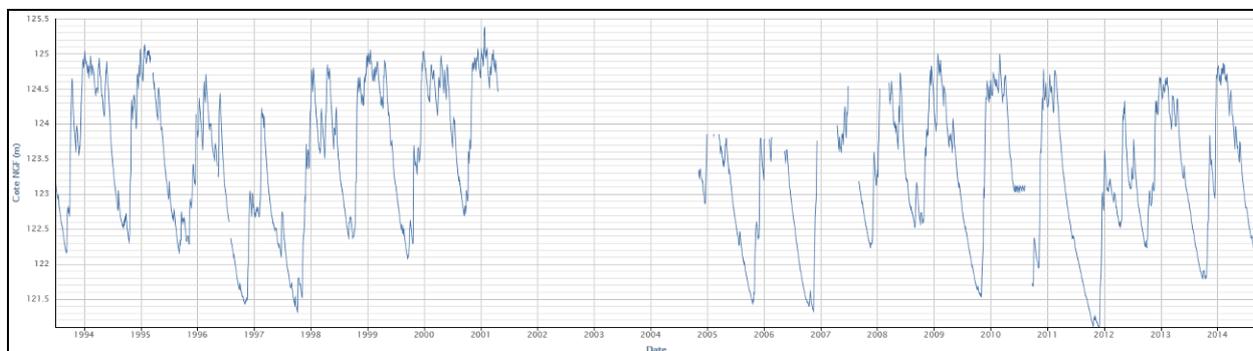


Illustration 25 - Chronique piézométrique de la station de Plouvorn (02394X0019/F)

7. Le suivi de la qualité des eaux de surface

Le Syndicat Mixte de l'Horn réalise depuis 2007 un suivi de la qualité des eaux de surface sur 4 stations de mesures (HO7, HO13, GUI7 et GUI11). En 2009, le territoire du SMH a été redécoupé en 16 sous-bassins versants (Illustration 26). A l'exutoire de chaque sous-bassin, le SMH réalise un suivi des teneurs en nitrates depuis octobre 2010, soit 14 stations de mesures supplémentaires.

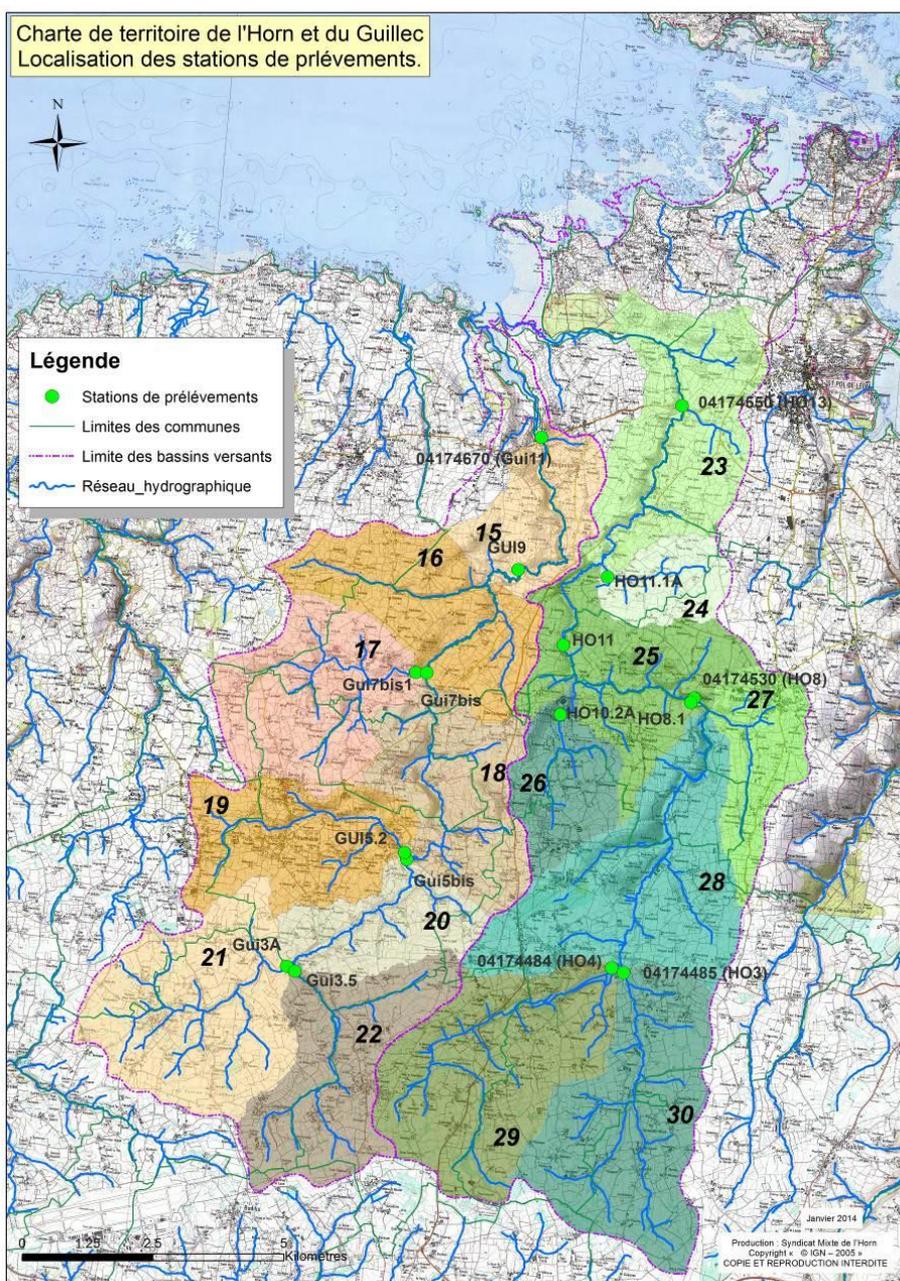


Illustration 26 - Localisation des stations de prélèvements de la qualité des eaux de surface sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec (source : Syndicat Mixte de l'Horn)

La carte suivante (Illustration 27) représente le percentile 90 (la teneur maximum de 90 % des analyses) des teneurs en nitrates mesurées sur les 16 stations de prélèvements de la qualité des eaux de surface en 2012-2013 sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec. L'objectif fixé par l'Appel à projet Algues vertes est de 64 mg/L pour l'Horn et le Guillec (Illustration 28) : cette teneur est dépassée sur la totalité des stations de suivi sauf sur une station située très en amont sur le bassin versant de l'Horn (HO4, sur le Ruisseau de l'Argens, affluent de l'Horn).

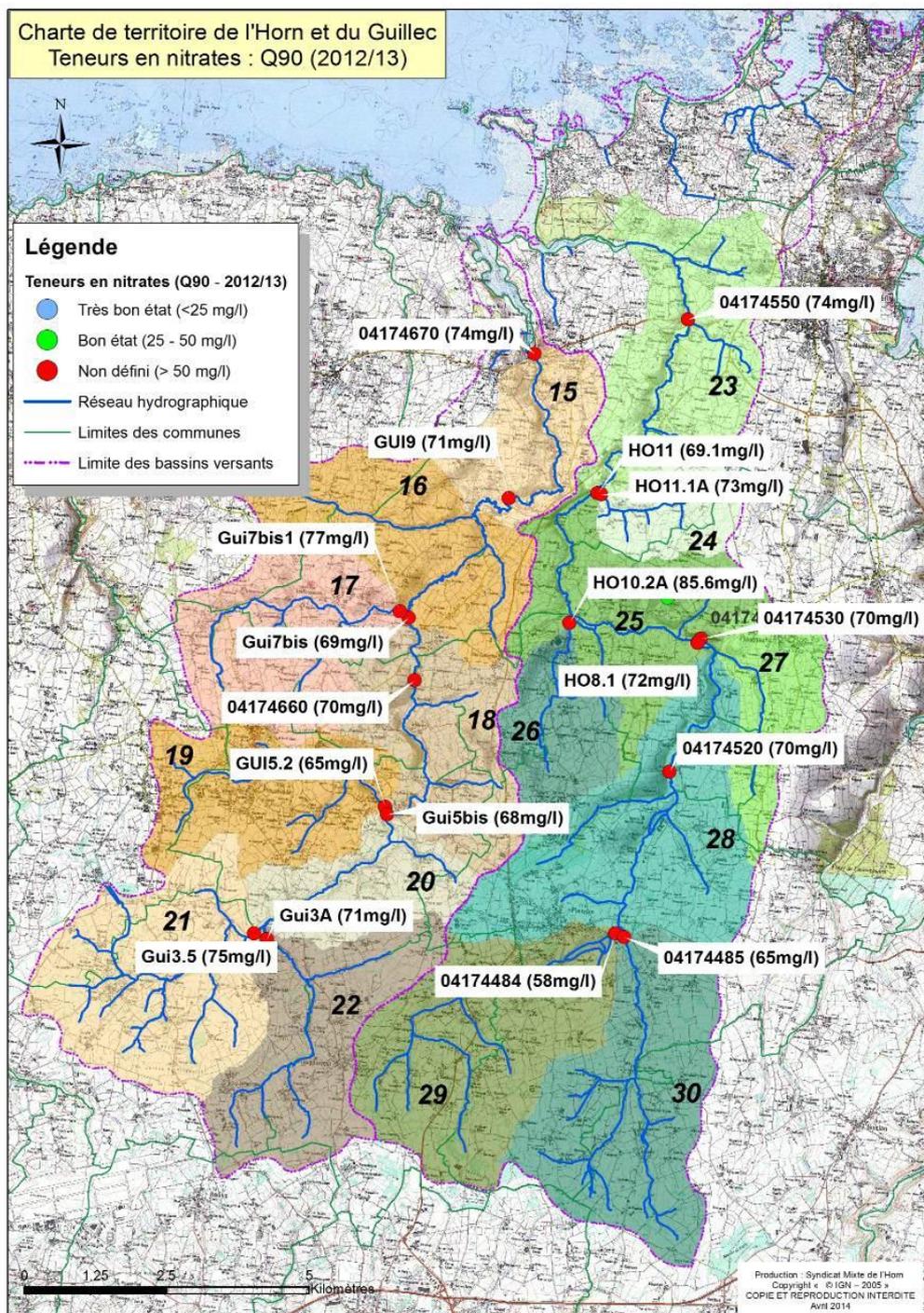


Illustration 27 - Carte des teneurs (percentile 90) en nitrates mesurées sur les stations de prélèvements de la qualité des eaux de surface sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec (source : Syndicat Mixte de l'Horn)

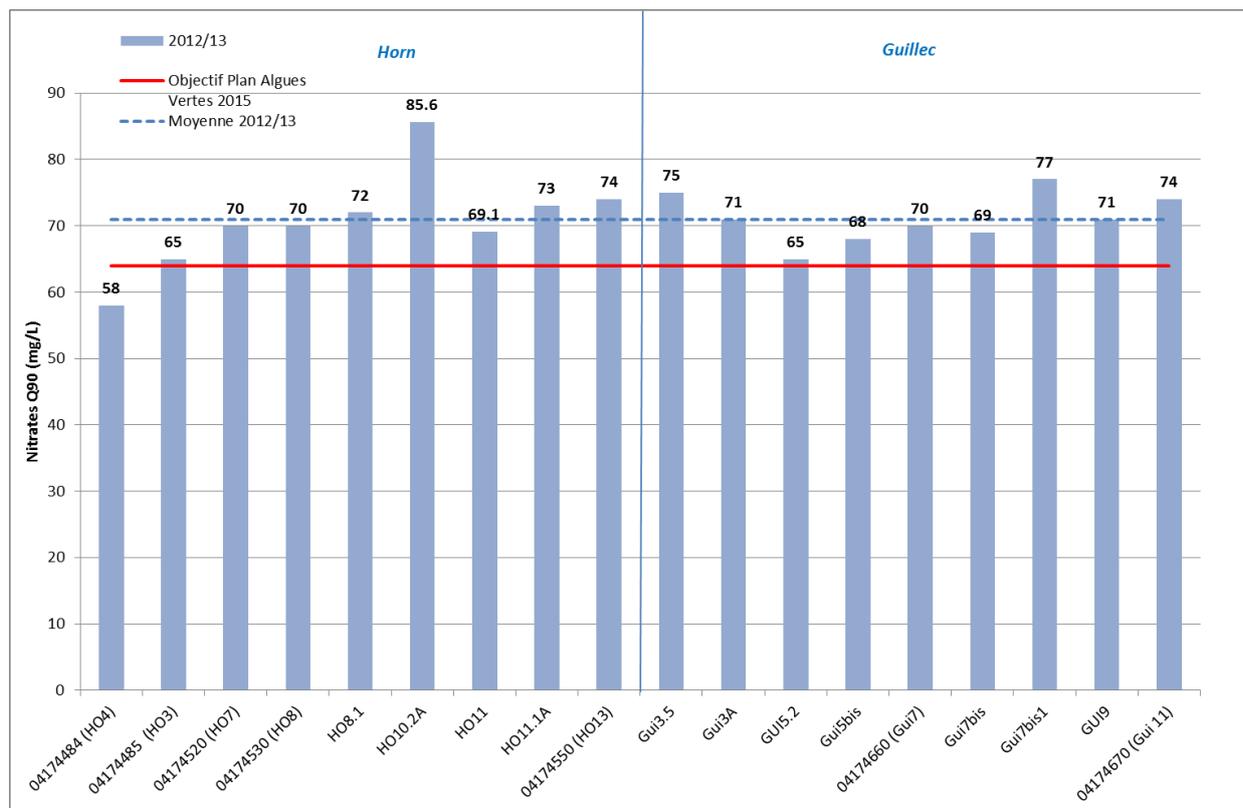


Illustration 28 - Teneurs (percentile 90) en nitrates mesurées en 2012/2013 sur les stations de prélèvements de la qualité des eaux de surface sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec (source : Syndicat Mixte de l'Horn)

La teneur en nitrates des eaux de l'Horn (Illustration 30) et du Guillec (Illustration 31) s'améliore depuis 2000-2001 mais les teneurs restent toutefois supérieures au seuil de 50 mg/L sur toutes les stations. Aucun gradient de concentration amont/aval n'est observé.

Il aurait été intéressant de présenter également des résultats en termes de flux d'azote. Le Diagnostic Territorial présente uniquement des valeurs sur le cycle 2010-2011, qui semblent montrer que les sous-bassins versants les plus contributifs (comparaison des flux spécifiques) seraient en amont des points de suivi HO13 (Horn aval), GUI7.1B (affluent du Guillec), HO10.2A (affluent de l'Horn) et GUI11 (Guillec aval) – cf. Illustration 26. Le Diagnostic Territorial indique que la partie aval du bassin versant du Guillec présente un flux spécifique plus élevé (73,8 kg/ha/an) que l'amont (58,7 kg/ha/an). Pour l'Horn, la situation est inversée : le flux spécifique est plus faible sur la partie aval (54,2 kg/ha/an) que sur la partie amont. Cependant, en termes de flux total, les secteurs amont des deux bassins versants sont les plus contributifs (267 t/an de nitrates pour l'Horn et 262,1 t/an pour le Guillec), ce qui s'explique par la présence d'une superficie plus importante en amont des bassins versants qu'en aval.

La qualité du Guillec semble s'améliorer plus rapidement que celle de l'Horn, ce qui laisse penser que le bassin versant du Guillec est plus réactif que celui de l'Horn ou que les efforts de réduction des apports azotés sont plus importants.

D'autre part, on constate une fluctuation saisonnière de la qualité de l'eau dans les deux rivières (Illustration 29). De fortes teneurs en nitrates apparaissent à chaque étiage (Mougin et

al., 2008) ; elles sont liées à la forte participation des eaux souterraines, chargées en nitrates, au débit de la rivière en période estivale.

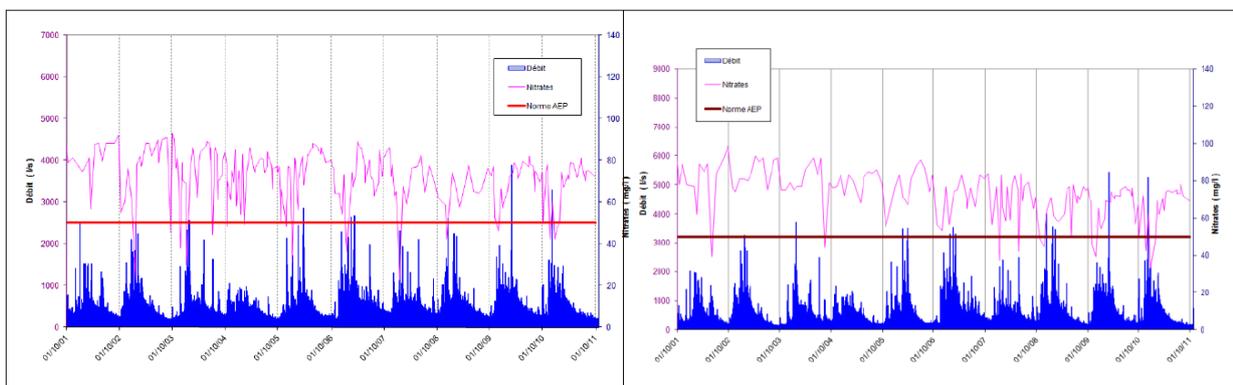


Illustration 29 - Evolution des concentrations en nitrates et des débits entre 1991 et 2011 sur l'Horn au point HO7 (Kertanguy) à gauche et sur le Guillec au point GUI7 (Kemerien) à droite (source : Diagnostic Territorial, 2011)

Les modélisations réalisées en 2008 sur le bassin de l'Horn (Mougin et al., 2008), dans le cadre de l'étude « Bassins versants bretons en contentieux européen : typologie et modélisation de l'évolution des concentrations en nitrates » (simulation de l'évolution des teneurs en nitrates des eaux des rivières suite à une réduction début 2008 des apports azotés : abaissement de 210 à 140 kg N/ha), avaient montré que, « malgré une diminution significative des concentrations suite aux mesures agricoles renforcées, les résultats [...] montrent que la conformité (teneurs en nitrates < 50 mg/l) [était] hors d'atteinte sur ce bassin d'ici 2011 ».

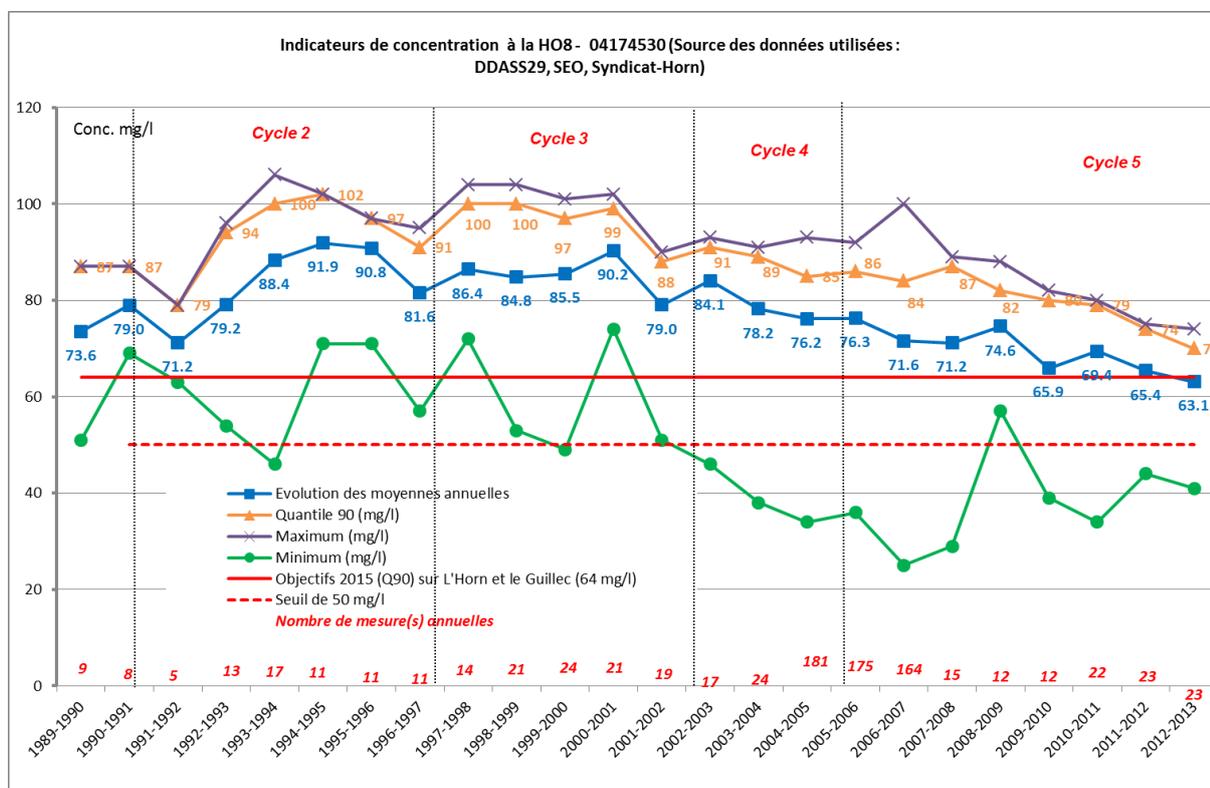


Illustration 30 - Evolution des concentrations en nitrates à la station H08 sur l'Horn entre 1989 et 2011 (source : ARS29, Société des Eaux de l'Ouest et SMH ; Diagnostic Territorial, 2011)

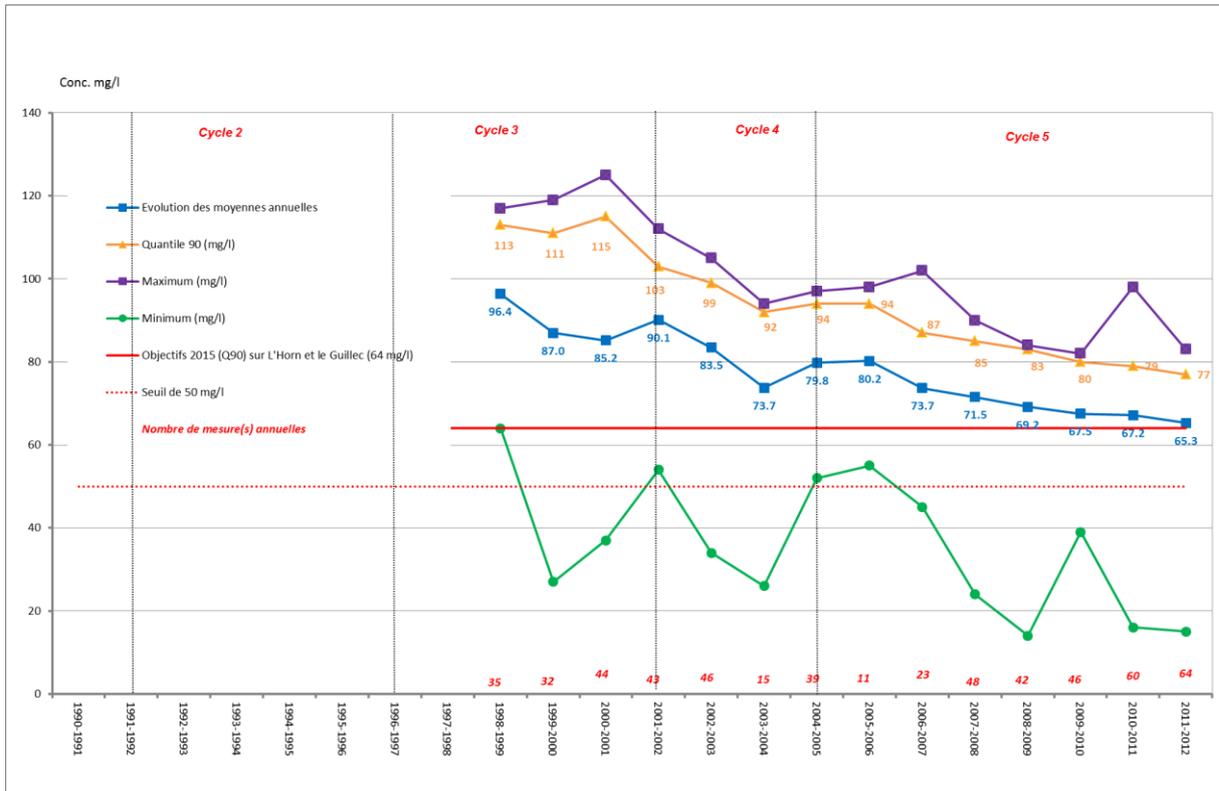


Illustration 31 - Evolution des concentrations en nitrates à la station GUI11 sur le Guillec entre 1998 et 2011 (source : ARS29, Société des Eaux de l'Ouest et SMH ; Diagnostic Territorial, 2011)

8. Les prélèvements d'eau souterraine

Dans le cadre du SIGES Bretagne (Rapport BRGM/RP-61885-FR), le BRGM a réalisé un inventaire des prélèvements d'eau souterraine déclarés en 2009 sur l'entité BD LISA « 191AA01 – Socle métamorphique dans les bassins versants de l'Horn et du Guillec de leurs sources à la mer, île de Batz », en prenant en compte différentes sources de données (déclarations auprès de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne (AELB), déclarations auprès des services en charge de la Police de l'Eau (DDTM) et des installations classées industrielles (DREAL), Banque de données du Sous-Sol (BSS) du BRGM). La méthodologie de l'inventaire est détaillée dans cet article du SIGES Bretagne : <http://sigesbre.brgm.fr/Inventaires-des-prelevements-d-eau-souterraine-realises-en.html>.

Utilisation des ouvrages	prélèvements eau souterraine (m ³ /an)	part des usages en %
Alimentation en Eau Potable (AEP)	0	0%
INDUSTRIEL	10 120	1%
IRRIGATION	434 792	63%
ÉLEVAGE	185 790	27%
DOMESTIQUE (usage familial)	17 743	3%
AUTRES (autre sans usage alimentaire, géothermie, lavage...)	46 990	7%
TOTAL	695 435	100%

Illustration 32 Estimation des prélèvements en eau souterraine sur les bassins versants de l'Horn et Guillec (2009)

Les prélèvements d'eau souterraine déclarés (Illustration 32) sont principalement destinés à un usage agricole : irrigation (63%) et élevage (27%). Il faut noter que, faute de données disponibles en format numérique, les volumes prélevés à usage élevage sont issus d'une estimation réalisée à partir des données de la BSS (volume prélevé moyen estimé à 5 m³/jour pour les forages à usage élevage), et sont donc probablement sous-estimés.

Les prélèvements anthropiques d'eau souterraine déclarés représentent 0,7% de la lame d'eau présente dans le cours d'eau. En période d'étiage, ils peuvent constituer jusqu'à 4,5% de la lame d'eau écoulée dans le cours d'eau. D'autre part, les prélèvements souterrains correspondent à 0,7% de la pluie infiltrée annuellement sur le bassin versant. L'impact des prélèvements souterrains sur la ressource en eau semble donc négligeable.

Les prélèvements d'eau de surface (destinés notamment à l'alimentation en eau potable) n'ont pas été pris en compte pour réaliser ce bilan.

9. Occupation du sol

9.1. EXPLOITATIONS AGRICOLES

9.1.1. Typologie des exploitations et assolement

Les exploitations agricoles du nord des bassins versants, sur la frange littorale, sont essentiellement orientées vers des productions légumières de plein champ, alors que dans les terres, les exploitations sont plutôt spécialisées dans l'élevage (porcs, production laitière). La production mixte (légumes et élevage), se retrouve sur l'ensemble du territoire excepté la frange littorale.

D'après le Diagnostic Territorial, 495 exploitations ont leur siège et/ou au moins 3 ha sur les bassins versants algues vertes de l'Horn et du Guillec (données issues des déclarations PAC 2010 - Illustration 33).

Le Diagnostic Territorial montre que la part de la production légumière dans la production agricole du secteur est prépondérante (71 % des exploitations produisent des cultures légumières, dont 34% ont parallèlement des ateliers de production animale - Illustration 33). Environ 26% des exploitations ne font pas de production de légumes : 21% sont en polyculture-élevage et 5 % en grandes cultures uniquement. Environ 45 % des exploitations ont un élevage (bovin, porcin, avicole).

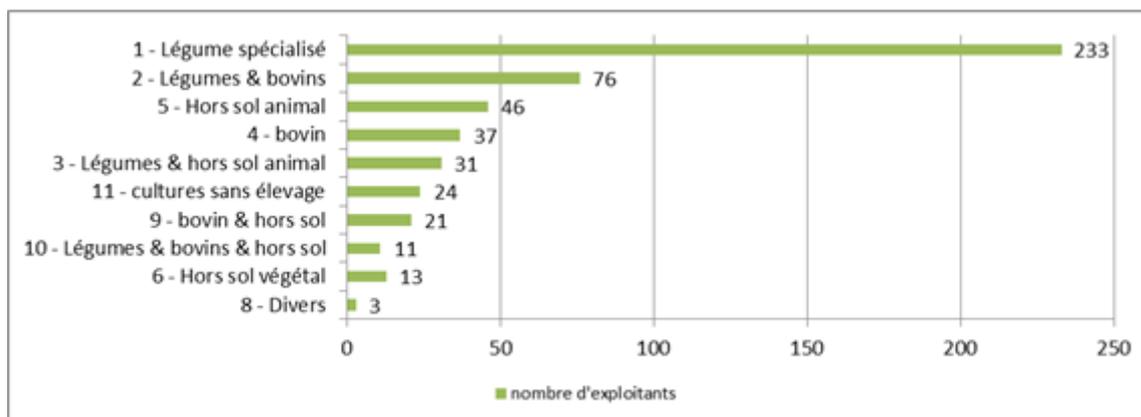


Illustration 33 - Typologie des 495 exploitations ayant leur siège et/ou au moins 3 ha sur le bassin versant Algues Vertes (source : Diagnostic Territorial, 2011)

La carte suivante représente le parcellaire agricole classé par typologie d'exploitation (Diagnostic Territorial, 2011 - Illustration 34).

Parcelle classé par typologie pour les exploitations ayant leur siège et/ou au moins 3 ha les bassins versants de l'Horn et/ou du Guillec (Données DDTM 29 - PAC 2010).

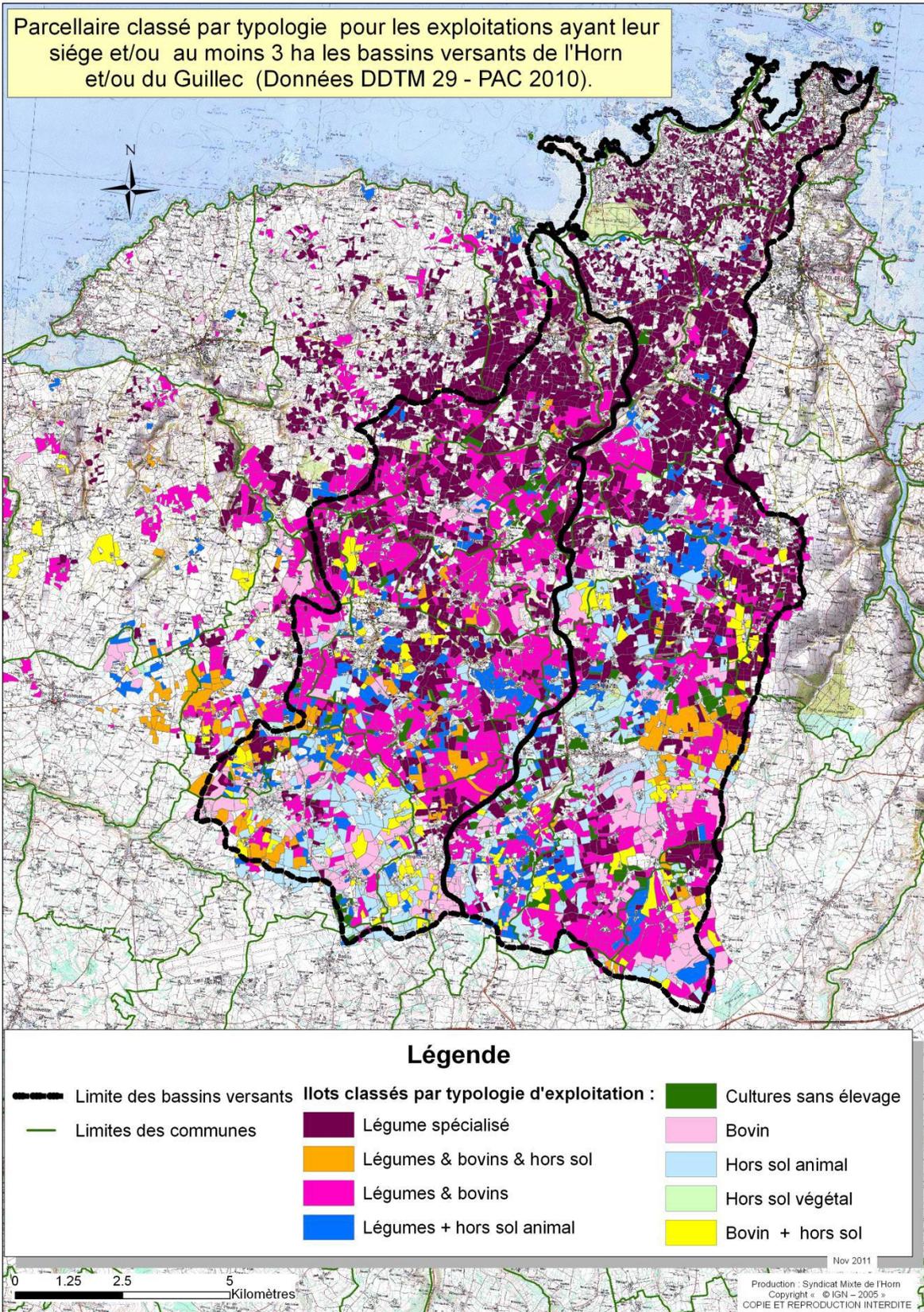


Illustration 34 - Parcelle classé par typologie des exploitations ayant leur siège et/ou au moins 3 ha sur le bassin versant Horn-Guillec (Diagnostic Territorial, 2011)

Les légumes (principalement le chou-fleur), le maïs, les surfaces en herbe et les céréales représentent l'essentiel de l'assolement (95% des 18 196 ha), sur l'ensemble du territoire (Illustration 35).

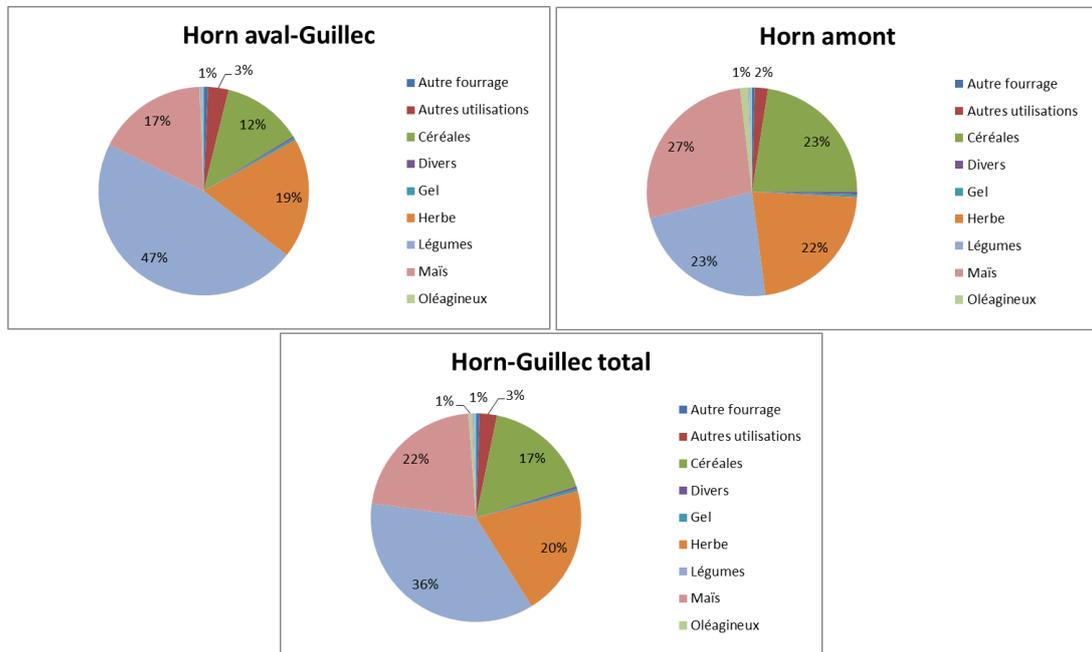


Illustration 35 - Assolement sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec basé sur les cultures déclarées à la PAC 2011 (source : Syndicat Mixte de l'Horn)

L'assolement est très variable selon les communes et leur localisation (amont/aval des bassins versants). Le graphique ci-dessous a été réalisé à partir des données issues des diagnostics d'exploitation de 345 agriculteurs sur les 465 agriculteurs des bassins versants de l'Horn et du Guillec, sur l'année culturale 2011-2012 (Illustration 36).

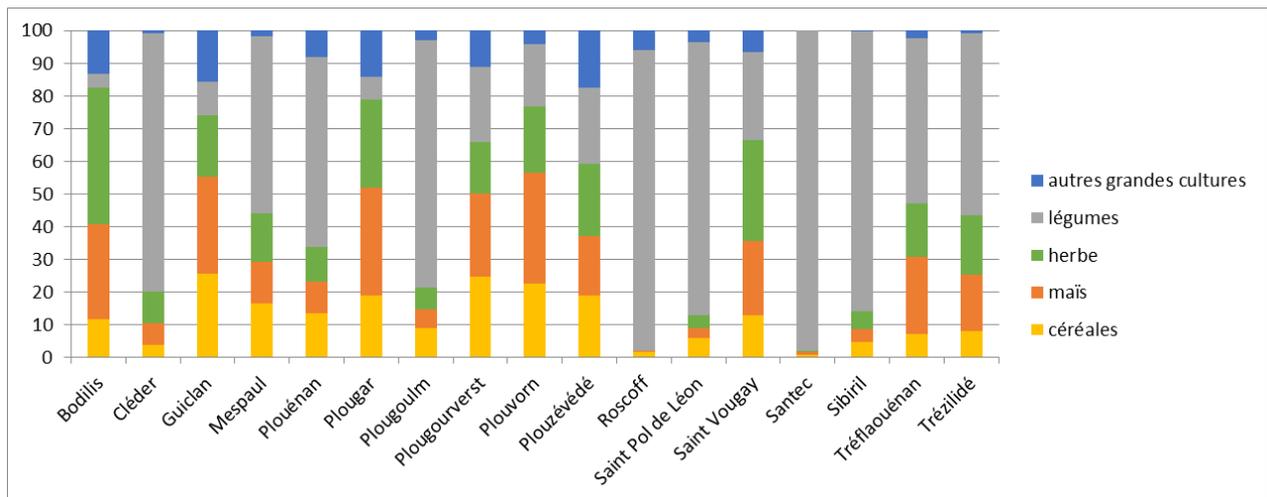


Illustration 36 - Assolement des exploitations diagnostiquées sur l'année culturale 2011-2012 (365 agriculteurs) (source : Syndicat Mixte de l'Horn)

9.1.2. Evolutions récentes

D'après le Syndicat Mixte de l'Horn, la mise en place du bassin versant en contentieux à partir de 2007 a eu de forts impacts sur les pratiques des exploitants concernés.

Le cheptel a diminué entre 2000 et 2010 hormis les porcs charcutiers (Illustration 37).

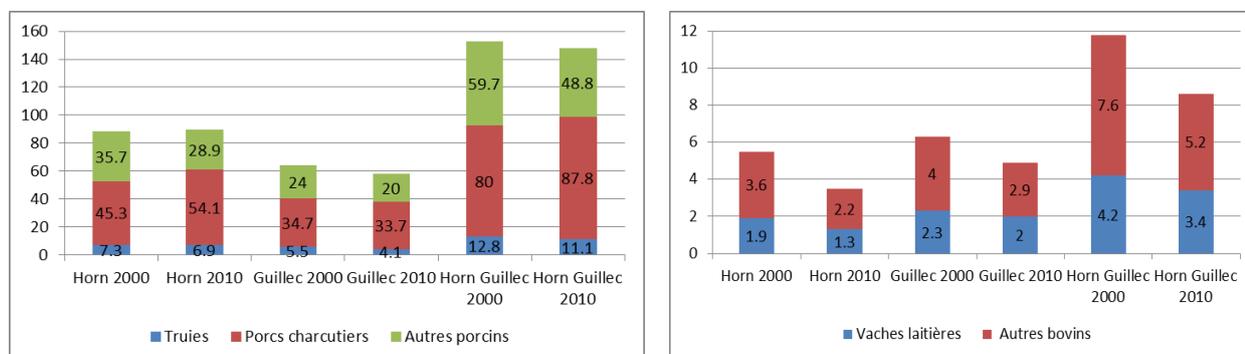


Illustration 37 - Evolution du cheptel sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec entre 2000 et 2010 - effectifs en milliers d'unités (source : Syndicat Mixte de l'Horn)

Entre 2000 et 2010, la Surface Agricole Utile (SAU) a diminué de 8% sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec (11 741 ha en 2010), avec une diminution plus forte sur le bassin de l'Horn (- 11%). En revanche, la répartition des cultures est relativement stable dans le temps (Illustration 38). En 2010, la Surface Agricole Utile représente 76% du territoire Horn-Guillec (Diagnostic Territorial, 2011). Cette part de SAU diminue sur la frange littorale, à cause d'une urbanisation plus forte.

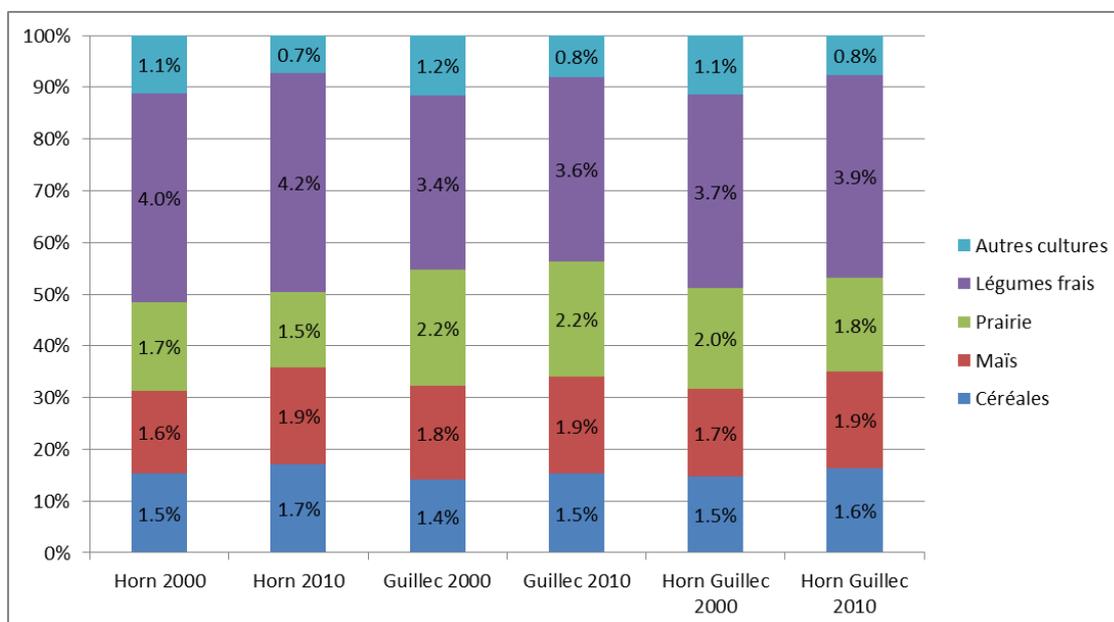


Illustration 38 - Evolution de la superficie cultivée sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec entre 2000 et 2010 en % de la SAU (source : Syndicat Mixte de l'Horn)

9.1.3. Pressions azotées

Des mesures spécifiques au bassin versant algues vertes ont été prises sur toutes les exploitations ayant au moins 3 ha de terre et/ou son siège d'exploitation sur le bassin versant : limitation des apports totaux d'azote à 210 kg d'azote par ha de SAU et par an.

Dans le cadre du contentieux communautaire, le bassin versant de l'Horn amont a fait l'objet d'un programme d'action spécifique, avec notamment une limitation plus stricte des apports azotés toutes origines confondues (Diagnostic Territorial) :

- 160 kg d'azote par ha de SAU en moyenne et par an pour chaque exploitation de polyculture élevage bovin spécialisé ou mixte,
- 140 kg d'azote par ha de SAU pour toutes les autres exploitations exceptées pour les surfaces en légumes où le plafond est porté à 170 kg d'azote annuels par ha.

D'après le bilan de la déclaration de flux d'azote 2013 réalisé par le Syndicat Mixte de l'Horn, la pression azotée totale sur le territoire Horn-Guillec est de l'ordre de 154 uN/ha. Cependant la pression azotée totale est variable selon le type d'exploitation (plus importante dans les élevages que dans les exploitations légumières).

Sur les exploitations agricoles diagnostiquées sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec, les pressions azotées sont les suivantes :

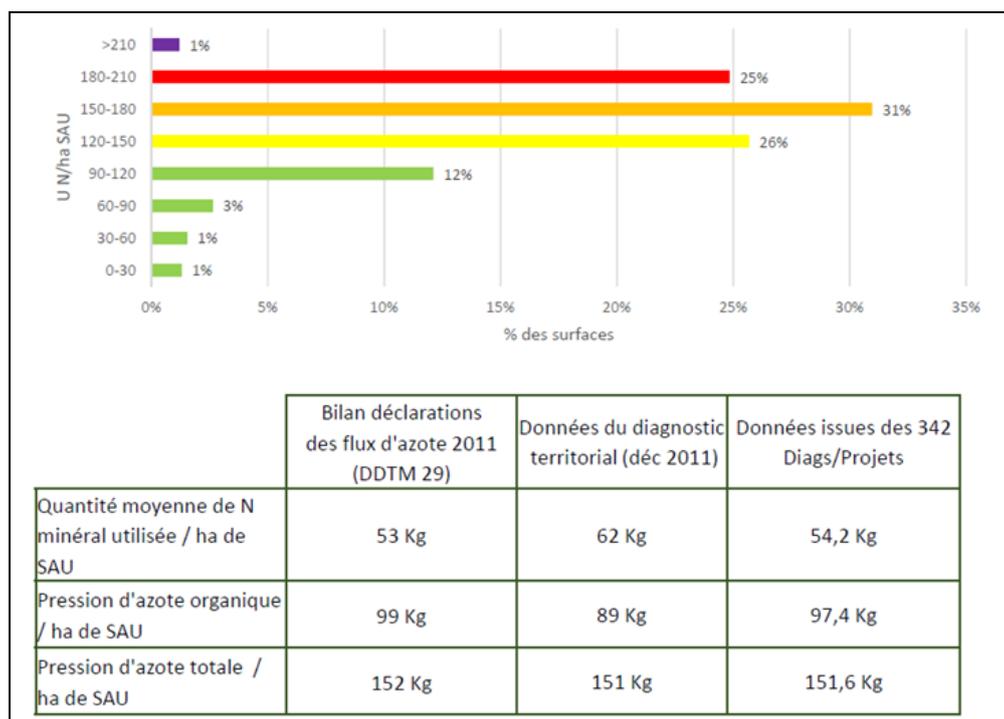


Illustration 39 - Pression azotée par hectare de SAU sur les exploitations agricoles des bassins versants de l'Horn et du Guillec en 2011 (source : Syndicat Mixte de l'Horn)

9.2. ZONES HUMIDES

D'après les inventaires communaux des zones humides réalisés en 2011-2012 par DCI Environnement, la Chambre d'Agriculture et le bureau d'études Chauvaud TBM (source :

Diagnostic des zones humides, 2014), les zones humides représentent 7,4% du territoire Horn-Guillec (soit 1 241 ha). Les plus faibles proportions de zones humides se situent sur les communes littorales (Illustration 40).

Les zones humides ont de multiples fonctions et peuvent avoir une capacité épuratoire dans certaines conditions (filtration, dénitrification par oxydation de la matière organique en milieu anoxique ou par dilution avec des apports d'eau souterraine pauvre en nitrates - Talbo et al., 2001),

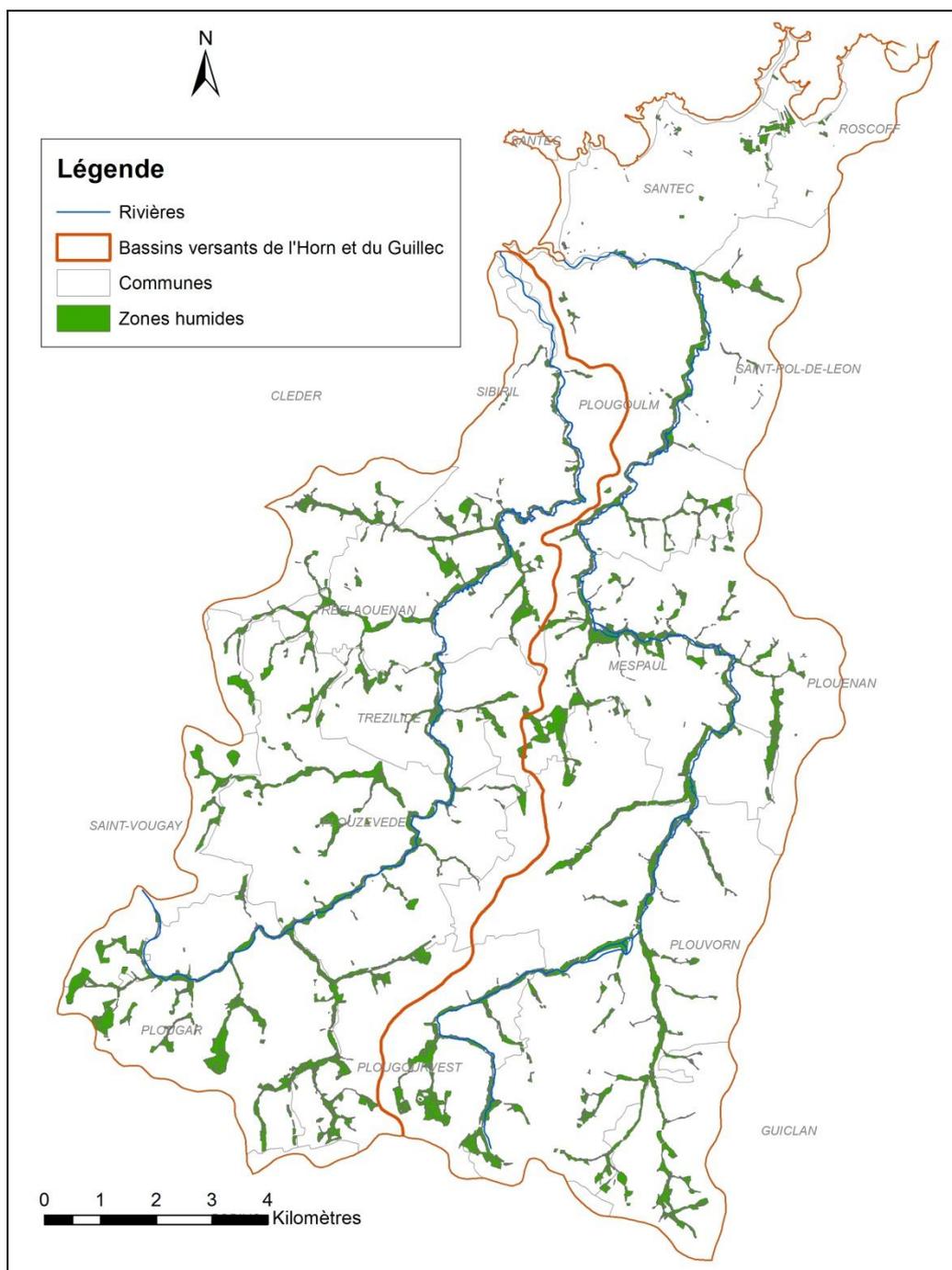


Illustration 40 - Localisation des zones humides recensées sur le Territoire Horn-Guillec (source : Diagnostic des zones humides, 2014)

9.3. INDUSTRIE, ARTISANAT

9.3.1. Industries agro-alimentaires

D'après le Diagnostic Territorial réalisé en 2011, 5 industries agro-alimentaires de plus de 10 salariés sont présentes sur le territoire des bassins versants de l'Horn et du Guillec (Illustration 41).

Nom de l'entreprise	Commune	Effectifs	Vocation
Mr Leprêtre Régis	Plouénan	10	Biscuiterie fabrication
Aquadis naturellement	Plouvorn	39	Transformation et conservation de poissons, de crustacés et de mollusques
Natur'evial		12	Fabrication et distribution de tous produits alimentaires. Commercialisation des produits Sofal/Evial Nature
Algoplus	Roscoff	20	Exploitation, transformation, commercialisation de produits tirés de la mer, négoce de produits artisanaux ou régionaux
5 ^{ème} saison St Pol de Léon (Bakkavor)	St Pol de Léon	184	Fabrication, transformation, préparation et conditionnement de légumes de 4 ^{ème} gamme

Illustration 41 - Industries agro-alimentaires de plus de 10 salariés sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec (source : Diagnostic Territorial, 2011)

9.3.2. Hors agro-alimentaire

D'après le Diagnostic Territorial, sur les 16 communes ayant plus de 3% de leur territoire sur les bassins versants algues vertes de l'Horn et du Guillec, il existe 721 structures classées en industries (hors agro-alimentaires), services, commerce ou autres.

9.4. ASSAINISSEMENT

Il existe 4 stations d'épuration urbaines sur le territoire étudié (Plouzévédé, Plouénan/Mespaul, Santec/Plougoulm et Plouvorn), qui ont un niveau épuratoire élevé vis-à-vis de l'azote (Illustration 42, Diagnostic Territorial, 2011).

Parmi les 18 communes du territoire étudié, 2 sont exclusivement organisées en Assainissement Non Collectif (ANC) : Bodilis et Trézilidé. Dans les communes de Plougar, Tréflaouéan et Plougourvest, le taux de raccordement à l'assainissement collectif est respectivement de 2%, 5% et 13%. Dans les autres communes, ce taux est compris entre 19,6% (St Vougay) et 96,5% (Landivisiau).

Sur les 3100 installations ANC recensées lors du Diagnostic Territorial en 2011, 423 étaient classés comme non conformes, avec un niveau de traitement à optimiser, dont 147 avec un rejet des eaux vannes directement dans le milieu.

Six stations de traitements industriels en activité ont été recensées sur le territoire Horn-Guillec dans le Diagnostic Territorial.

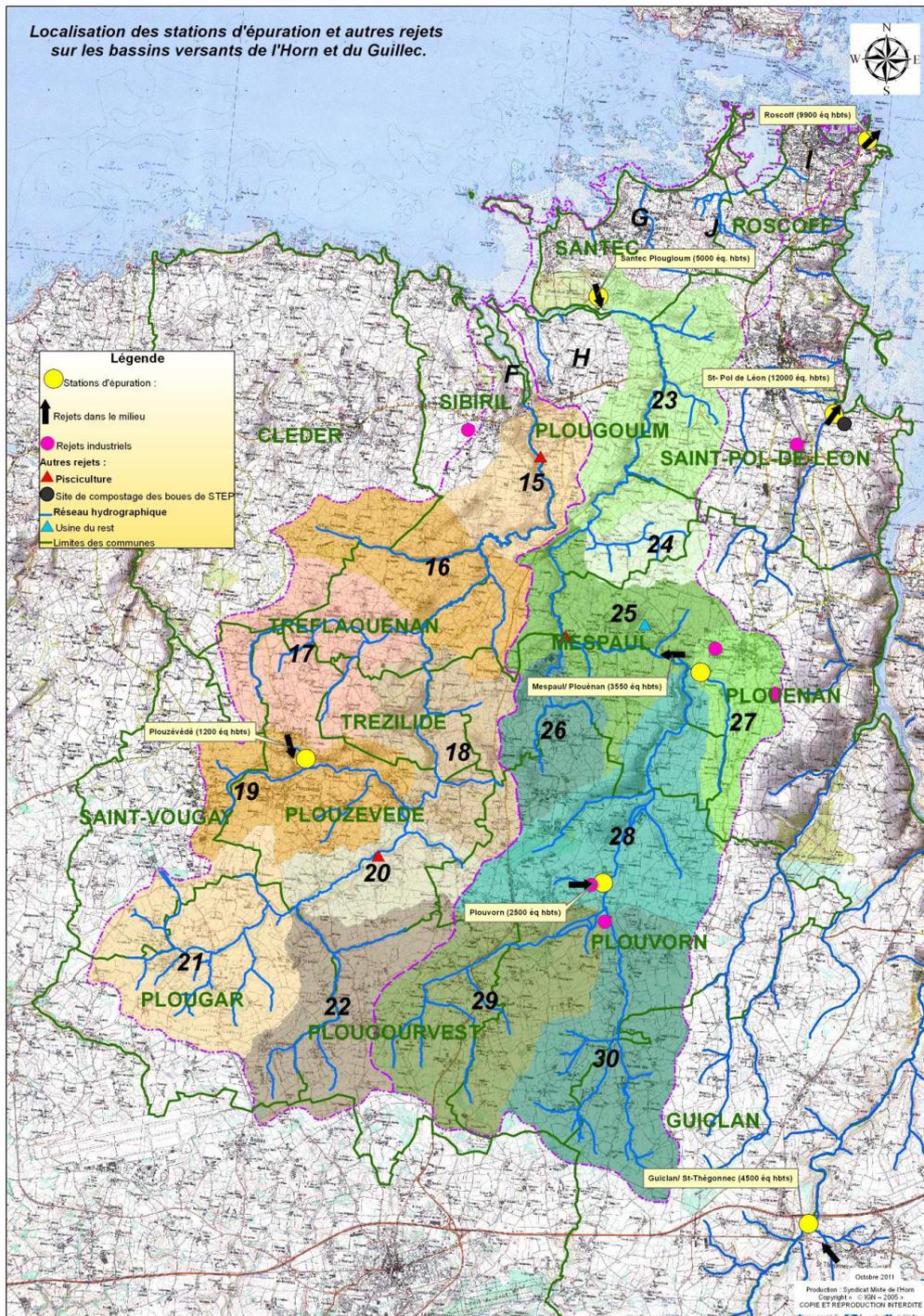


Illustration 42 - Localisation des stations d'épuration, des points de rejets et des sites de traitement des boues (source : Diagnostic Territorial, 2011)

10. Conclusion

Préalablement à 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.

Le sous-sol des bassins versants de l'Horn et du Guillec est constitué de formations métamorphiques (gneiss, micaschistes) et plutoniques variées. Le tracé des vallées de l'Horn et du Guillec est en partie contrôlé par la géologie (failles).

Les eaux souterraines du territoire sont situées au sein de deux aquifères superposés et en contact permanent : celui des altérites et celui du milieu fissuré. Le temps de renouvellement des eaux souterraines (temps de transit de l'eau dans la zone non saturée et temps de vidange de l'aquifère sur les 50 premiers mètres du sous-sol) a été estimé pour le bassin versant de l'Horn à environ 5 ans (Mougin et al., 2004).

Les prélèvements d'eau souterraine déclarés sont essentiellement destinés à un usage agricole (irrigation et/ou élevage) mais ne semblent pas avoir d'impact significatif sur le débit de la rivière.

La forte participation des eaux souterraines au débit de l'Horn et du Guillec, notamment à l'étiage, se traduit par une variabilité saisonnière des teneurs en nitrates dans les cours d'eau, avec des teneurs plus fortes à l'étiage, à cause des apports d'eau souterraine, chargée en nitrates. En effet, la participation globale annuelle des eaux souterraines aux débits des rivières varie de 57 à 61 % (respectivement pour les bassins versants du Guillec et de l'Horn) et représente à l'étiage plus de 88% de l'écoulement de l'Horn et 63% de l'écoulement du Guillec (Mougin et al., 2008). La qualité de l'eau souterraine semble s'améliorer sur le qualitomètre suivi à Plouvorn (source de Feunteun Veurn), bien que les teneurs en nitrates restent élevées ; néanmoins il n'existe pas de suivi spatialisé et régulier sur le territoire permettant de caractériser précisément la qualité des eaux souterraines sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec. Le phénomène de dénitrification autotrophe par oxydation de la pyrite a été mis en évidence sur certains points de suivi ponctuels de la qualité des eaux souterraines (faible teneurs en nitrates et fortes teneurs en fer).

Concernant les eaux de surface, la teneur en nitrates des eaux de l'Horn et du Guillec reste supérieure à 50 mg/L sur toutes les stations de suivi du SMH, cependant la qualité des eaux s'améliore depuis les années 2000, avec une tendance à la baisse des teneurs en nitrates.

Le territoire Horn-Guillec est fortement agricole : la Surface Agricole Utile représente 76% du territoire. Sur la frange littorale, les exploitations agricoles sont essentiellement orientées vers des productions légumières de plein champ, alors que plus au sud, les exploitations sont plutôt spécialisées dans l'élevage. Le contentieux européen « nitrates eaux brutes » en 2007 a accéléré l'évolution des pratiques agricoles sur le territoire, avec notamment une limitation plus forte des apports azotés.

Cette synthèse des connaissances sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec est un préalable nécessaire à la définition et à l'implantation d'un réseau représentatif de la qualité des eaux souterraines sur le territoire en fonction de ses spécificités.

11. Bibliographie

TALBO H., PAUWELS H. (2001) - Capacités épuratrices des zones humides – Etude hydrogéologique et géochimique de zones humides – Relations avec les nappes d'eau souterraine; Rapport de synthèse BRGM/RP-50547-FR, 12 tab., 16 fig., 46 p.

WYNS, R., BALTASSAT J.M., LACHASSAGNE P., LEGCHENKO A., VAIRON J. and MATHIEU F. (2004) - Application of proton magnetic resonance soundings to groundwater reserve mapping in weathered basement rocks (Brittany, France).- Bull. Soc. géol. Fr., 2004, t. 175, n° 1, pp. 21-34.

MOUGIN B., THOMAS E., WYNS R., BLANCHIN R. et MATHIEU F. (2004) - Qualité des eaux en Bretagne - Ruissellement - Infiltration - Temps de réponse - Bassins versants du Yar (22), de l'Horn (29), et du Coët Dan (56) - Rapport final - BRGM/RP-52731-FR - 82 p., 16 tab., 21 fig., 3 annexes, 39 planches.

MEEDDM (2005) Normales de pluies efficaces (mm) - Moyennes annuelles sur la période 1946-2001

MOUGIN B., ALLIER D., PUTOT E., SEGUIN J-J., SCHROETTER J-M., BLANCHIN R., collaboration : IZAC J-L., JEGOU J-P. (2007) - Bassins versants bretons en contentieux européen : typologie et modélisation de l'évolution des concentrations en nitrates - Rapport d'avancement au 15 octobre - BRGM/RP-55842-FR

B. MOUGIN, D. ALLIER, R. BLANCHIN, A. CARN, N. COURTOIS, C. GATEAU, E. PUTOT, collaboration J-P. JEGOU, P. LACHASSAGNE, P. STOLLSTEINER et R. WYNS (2008) - SILURES Bretagne - Rapport final - Année 5 - BRGM/RP-56457-FR - 129 p., 37 ill., 7 ann. dont 2 planches.

MOUGIN B., ALLIER D., PUTOT E., SEGUIN J-J., STOLLSTEINER P., SCHROETTER (2008) - Bassins versants bretons en contentieux européen : typologie et modélisation de l'évolution des concentrations en nitrates – Phase 2 - Rapport final - BRGM/RP-56408-FR – 128 p., 68 ill., 3 ann.

F. CAGNARD (2008) - Carte géologique harmonisée du département du Finistère : notice technique. Rapport final BRGM/RP-56273-FR - 435 p., 3 pl. HT.

B. MOUGIN, F. LUCASSOU, O. MOREL, J-M. SCHROËTTER, B. MARMU, L. GUILLEMAIN, avec la collaboration de H. PESQUEUX, A. CUILLERIER et G-V. TAGNE KAMGUE (2013) – SIGES Bretagne : constitution d'un Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines en région Bretagne. Rapport final BRGM/RP-61885-FR

Syndicat Mixte de l'Horn (2011) - Dossier de réponse à l'appel à projets Algues vertes de l'anse Horn-Guillec - Diagnostic Territorial

SIGES Bretagne (2012), fiche de synthèse hydrogéologique de l'entité 191AA01 – Socle métamorphique dans les bassins versants de l'Horn et du Guillec de leurs sources à la mer, île de Batz

LogHydro (2013) - Mise en place d'un suivi de la qualité des eaux souterraines dans les bassins versants de l'Horn et du Guillec (29) – Note méthodologique – R.13-28

Syndicat Mixte de l'Horn (2014) – Charte de territoire Horn-Guillec 2013-2015 - Diagnostic des zones humides



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