

## **Etude sur la restauration d'une zone humide et d'un cours d'eau de tête de bassin en contexte forestier**

**Réflexion sur la prise en compte des milieux aquatiques en contexte forestier à l'échelle des bassins versants, cas de la mise en place d'un site pilote sur le bassin du Blavet.**



Fanny ZOCCARATO

Stage effectué du 06/03/2017 au 06/09/2017

A : Syndicat Mixte du SAGE Blavet (SMSB)

21 rue de Rimaison Talvern Nénèz 56930 Pluméliau

Maîtres de stage : Ronan CAIGNEC (SMSB) et Mikaël LE BIHAN (AFB)

Enseignants référents : Philippe DURAND (Agroparistech) et Jean-Nicolas BEISEL (ENGEES)

Soutenu le : 13/10/2017

**Année 2016/2017**

Crédits photographiques : Ronan CAIGNEC

# **Etude sur la restauration d'une zone humide et d'un cours d'eau de tête de bassin en contexte forestier**

**Réflexion sur la prise en compte des milieux aquatiques en contexte forestier à  
l'échelle des bassins versants, cas de la mise en place d'un site pilote sur le bassin  
du Blavet.**

Dominante d'approfondissement

Gestion des milieux naturels

Fanny ZOCCARATO

Stage effectué du 06/03/2017 au 06/09/2017

A : Syndicat Mixte du SAGE Blavet (SMSB)

21 rue de Rimaison Talvern Nénèz 56930 Pluméliau

Maîtres de stage : Ronan CAIGNEC (SMSB) et Mikaël LE BIHAN (AFB)

Enseignants référents : Philippe DURAND (Agroparistech) et Jean-Nicolas BEISEL (ENGEES)

Soutenu le : 13/10/2017

**Année 2016/2017**



## Résumés

Les cours d'eau en tête de bassin versant correspondent aux rangs de Strahler 1 et 2. Il s'agit des extrémités amont du réseau hydrographique dont elles constituent 60 à 80 % du linéaire. Depuis une dizaine d'années, de plus en plus d'études sont réalisées sur ces milieux. Elles montrent que ces cours d'eau contribuent fortement à l'état écologique des masses d'eau. Le SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) Loire Bretagne comporte un chapitre sur la préservation des têtes de bassin et demande notamment aux SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) de mettre en œuvre des actions pour leur préservation et leur restauration. Ces objectifs ont été déclinés dans le Sage Blavet et se traduisent, entre autres, par le choix de mettre en œuvre des actions test de réhabilitation de têtes de bassin dégradées. Un partenariat a été mis en place entre 4 structures le Syndicat Mixte du SAGE Blavet (SMSB), l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB), l'Office National des Forêts (ONF) et le Syndicat de la Vallée du Blavet (SVB) pour restaurer une tête de bassin enrésinée et drainée sur le secteur de la forêt de Camors (56) avec la mise en place de suivis pendant 5 ans (dont 3 après travaux). Cette restauration a principalement pour ambition le rétablissement des fonctions hydrologiques de la tête de bassin versant (écrêtage des crues, soutien d'étiage et participation au bon état des cours d'eau aval). Ce stage intervient après la première année de mise en place des suivis. Ses objectifs sont : de contribuer à la réalisation de l'état initial du site, d'établir des préconisations pour les travaux et les suivis, et enfin, d'apprécier la représentativité de ce site pilote à l'échelle du bassin versant du Blavet ainsi qu'à une échelle supérieure.

Headwater Streams correspond to the rows of Strahler 1 and 2. It is upstream extremities of the river system of which they establish 60 to 80 % of the shelf space. Since decade, more and more studies are realized on these ecosystems. They show that these streams contribute strongly to the ecological state of water. The SDAGE (Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux) of Loire and Brittany contains a chapter on the conservation of the headwaters and request in particular to the SAGE (Schémas d'aménagement et de gestion des eaux) to implement actions for their conservation and their restoration. These objectives were declined by the SAGE Blavet and are translated, among others, by the choice to implement test actions of rehabilitation of headwaters degraded. A partnership was set up between 4 structures (SMSB, the AFB, the ONF and the Syndicate of the Valley of Blavet) to restore a conifer plantation in a headwater drained on the sector of the forest of Camors (56) with the implementation of follow-ups during 5 years (among which 3 after restoration). This restoration has mainly for ambition the restoring of the hydrological functions of the headwater (flood clipping, support of low-water mark and participation for the good state of downstream). This internship intervenes after the first year of implementation of follow-ups. Its objectives are: to contribute to the realization of the initial state of the site, to establish recommendations for the restoration and the follow-ups and to assess the representativeness of this pilot site at the level of the Blavet watershed as well as on a larger scale.



## Remerciements

Je tiens à remercier mes deux maîtres de stage : Ronan Caignec et Mikaël Le Bihan pour leur disponibilité, pour m'avoir fait confiance et m'avoir permis de faire ce stage en concordance avec mon projet professionnel.

Merci à toute l'équipe du SMSB, à Yann et Thierry, un grand merci à Marylène, ma maman bretonne, et enfin merci Annie pour tes nombreuses relectures mais aussi pour avoir toujours été soucieuse de mon confort et du bon déroulement de mon stage.

Merci à Philippe Durand, mon tuteur AgroParisTech, qui m'a aidé à cadrer mon sujet de stage et qui a répondu à toutes mes questions pendant mon stage.

Je remercie Gérard Jeanneau, pour tous ces bons moments passés sur le terrain et ces bons repas.

Je remercie l'équipe AFB de Cesson-Sévigné pour m'avoir aidé sur le terrain et en informatique.

Je remercie toutes les personnes que j'ai sollicité pendant ce stage : Armel Dausse et Anaëlle Magueur du FMA, Eric Lucot, Harmonie Coroller, Hocine Henine, Claire Magand et Emmanuel Holder pour avoir répondu à mes questions, donné leurs avis et partagé leurs connaissances.

Je remercie la FIF pour ces 6 mois de bonheur et d'apprentissage sur le terrain.

Je remercie les Engeessiens pour avoir fait de mon passage dans le Grand Est un moment inoubliable.

Pour finir je remercie mes sœurs, mes parents et Guillaume pour leur soutien malgré la distance.

## Table des matières

Remerciements .....	1
Table des figures et des tableaux .....	6
1. Introduction .....	8
2. Bibliographie .....	9
2.2. Les têtes de bassin versant.....	9
2.2.2. Définition.....	9
2.2.3. Les fonctionnalités des têtes de bassin versant.....	10
2.2.3.1. Rôle hydrologique .....	10
2.2.3.2. Rôle épurateur.....	10
2.2.3.3. Rôle hydromorphologique.....	11
2.2.3.4. Rôle biologique.....	11
2.2.3.4.1. La matière organique : moteur des têtes de bassin versant.....	11
2.2.3.4.2. Une vie aquatique spécifique.....	12
2.2.3.4.3. Des zones humides associées à forte valeur patrimoniale .....	12
2.3. Pressions et impacts en têtes de bassins versants forestiers.....	12
2.3.2. Pressions multiples .....	12
2.3.3. Cas particuliers .....	13
2.3.3.1. Effets du choix des essences et de la gestion sylvicole .....	13
2.3.3.1.1. Effets sur la quantité d'eau .....	13
2.3.3.1.2. Effets sur la qualité physico-chimique .....	13
2.3.3.1.3. Effets sur l'intégrité de l'habitat et la biologie .....	14
2.3.3.2. Travaux hydrauliques : chenalisation des cours d'eau et drainage forestier.....	15
2.4. Objectifs de la restauration en contexte forestier .....	16
2.5. Les techniques de restauration en tête de bassin versant forestier.....	16
2.5.2. Restauration morphologique des cours d'eau.....	16
2.5.3. Diminution de l'effet drainant d'un réseau de fossés à ciel ouvert.....	17
2.5.4. Restauration des habitats d'une zone humide après une plantation d'essences résineuses .....	17
2.6. Protocoles et suivis de l'état des têtes de bassin versant : la nécessité d'adapter les protocoles.....	18
3. Le projet de restauration d'un site pilote : la Noë Molic .....	20
3.1. Présentation du site.....	20
3.1.1. Le bassin versant du Ruisseau du Moulin de la Motte .....	20
3.1.2. Caractéristiques physiques du site de la Noë Molic .....	21
3.1.3. Usages et gestions du site .....	21

3.1.4.	Objectifs de la restauration .....	22
3.1.5.	Objectifs/Rôles des structures.....	23
3.2.	Les protocoles et suivis mis en place.....	23
3.2.1.	Sur la zone humide .....	23
3.2.1.1.	Botanique.....	23
3.2.1.2.	Piézométrie .....	23
3.2.1.3.	Caractérisation des fossés .....	24
3.2.1.4.	Topographie.....	24
3.2.1.5.	Pédologie .....	24
3.2.1.6.	Méthode d'évaluation des fonctions de la zone humide.....	24
3.2.2.	Sur le cours d'eau .....	25
3.2.2.1.	Hydromorphologie.....	25
3.2.2.2.	Limnimètre et mesures de débits .....	25
3.2.2.3.	Suivi intermittence.....	26
3.2.2.4.	Macro-invertébrés.....	26
3.2.2.5.	Pêches électriques.....	26
3.2.2.6.	Informations sur la Continuité Ecologique(ICE).....	26
3.2.3.	Suivis d'ordre général.....	27
3.2.3.1.	Pluviométrie.....	27
3.2.3.2.	pH et conductivité.....	27
3.3.	Les résultats des suivis .....	30
3.3.1.	Bilan pluviométrique .....	30
3.3.2.	Bilan piézométrique.....	30
3.3.2.1.	Analyse des fréquences de présence de la nappe.....	30
3.3.2.2.	Analyse des chroniques mises en rapport avec l'ETP .....	31
3.3.2.3.	Relation nappe cours d'eau.....	33
3.3.3.	Bilan limnimétrique .....	34
3.3.4.	pH et conductivité.....	35
3.3.5.	Caractérisation du réseau de fossés .....	35
3.3.6.	Les débits.....	35
3.3.7.	Analyse de la franchissabilité piscicole.....	37
3.3.8.	Intermittence.....	38
3.3.9.	Relevés botaniques de l'année 2016.....	38
3.3.10.	Hydromorphologie du cours d'eau .....	38
3.3.11.	Macro-invertébrés.....	41

3.3.12.	Pêche électrique .....	42
3.3.13.	Faune .....	42
3.3.14.	Pédologie .....	42
3.4.	Analyses et discussions .....	43
3.4.1.	Les protocoles et suivis.....	43
3.4.1.1.	Mesures et estimations des précipitations.....	43
3.4.1.2.	Piézomètres et limnimètre .....	44
3.4.1.3.	Le suivi intermittence du cours d'eau.....	45
3.4.1.4.	Mesures de pH et de conductivité.....	46
3.4.1.5.	Le protocole de caractérisation des fossés .....	46
3.4.1.6.	Débits et courbe de tarage.....	46
3.4.1.7.	Topographie.....	47
3.4.1.8.	Macro-invertébrés et IBGN .....	47
3.4.1.9.	Indice Poisson Rivière .....	47
3.4.1.10.	Pédologie .....	47
3.4.2.	L'état initial du site de l'année 2016-2017 avant travaux hydrauliques.....	47
3.4.2.1.	Fonctionnement hydrologique du site .....	48
3.4.2.2.	Etat physique et biologique du cours d'eau.....	48
3.4.2.3.	Etat de la zone humide et évaluation de ses fonctions.....	49
3.4.3.	Préconisations de travaux et de suivis .....	49
3.4.4.	Remise du cours d'eau dans son talweg .....	50
3.4.5.	Suppression de l'obstacle .....	50
3.4.6.	Réduction de l'effet drainant .....	50
3.4.7.	Gestion de la végétation de la zone humide .....	51
3.4.7.1.	Gestion du boisement restant.....	51
3.4.7.2.	Vers une végétation typique de zone humide .....	51
3.4.8.	Suivis sur les 5 ans à venir.....	51
3.4.9.	Simulation des fonctions de la zone humide avec action écologique envisagée (méthode nationale Gaillet et <i>al.</i> 2016) .....	52
4.	Quelles perspectives pour la restauration des têtes de bassin versant enrésinées à partir du cas de la Noë Molic ?.....	53
4.1.	Caractérisation des têtes de bassin versant en contexte forestier.....	53
4.1.1.	Les critères.....	53
4.1.2.	La méthode .....	54
4.1.2.1.	Présentation des données utilisées.....	54

4.1.2.2.	Localisation des têtes de bassin versant avec le logiciel QGIS .....	54
4.1.2.3.	Prospection sur le terrain afin d'appréhender les pressions de drainage et de chenalisation (en cours de rédaction) .....	56
4.1.3.	Limites .....	56
4.2.	Résultats .....	57
4.2.1.	A l'échelle du bassin versant du Blavet.....	57
4.2.1.1.	Les têtes de bassin versant du Blavet .....	57
4.2.1.2.	Les forêts fermées de conifères .....	60
4.2.1.3.	Résultats de l'échantillonnage .....	60
4.2.2.	A l'échelle du Morbihan.....	61
4.3.	Discussion.....	62
4.3.1.	Extrapolation du site de la Noë Molic .....	62
4.3.2.	Perspectives pour les politiques publiques .....	63
5.	Conclusion.....	64
6.	1. Références bibliographiques.....	65
6.2.	Liste des contacts.....	69
7.	Les annexes .....	70
7.1.	Protocole caractérisation des fossés .....	71
7.2.	Protocole suivi de l'intermittence du cours d'eau .....	76
7.3.	Tableau comparaison IBGN et suivi macro-invertébré Noë Molic.....	79
7.4.	Estimation de l'ETP mensuelle formule de Thronthwaite .....	80
7.5.	Piézomètres.....	81
7.6.	Pluviométrie (données du pluviomètre manuel).....	83
7.7.	Mesures de pH et de conductivité.....	84
7.8.	Caractérisation des fossés de la Noë Molic .....	85
7.9.	Suivi intermittence.....	87
7.10.	Carte des habitats en 2016 sur le site de la Noë Molic (source : rapport Agnès Stephan) .....	88
7.11.	Carte de localisation des espèces intéressantes sur le site de la Noë Molic (source : rapport 2016 Agnès Stephan).....	89
7.12.	Carte de l'indice d'Ellenberg.....	89
7.13.	Résultat évaluation des fonctions de la zone humide (2017).....	90
7.14.	Simulation des habitats de la Noë Molic après action écologique .....	91

## Table des figures et des tableaux

Figure 1 : Classification des rangs de Strahler (source : <a href="https://rge.revues.org/5803">https://rge.revues.org/5803</a> ) .....	9
Figure 2 : Schéma d'une zone humide de têtes de bassin versant (B. Clément) .....	9
Figure 3 : Rôle tampon hydrologique des zones humides en tête de bassin versant (Welsch et <i>al.</i> 2001).....	10
Figure 4 : Différentes pressions potentielles sur les têtes de bassin versant. Inspiré de Levrat, 2017 ; Fiquepron et Charnet, 2013 ; Forêt Privée Française, 2012 ; Welsch, 2001 et Morelle, 2007.....	13
Figure 5 : Comparaison schématique de la morphologie de deux berges enrésinée (à gauche) et feuillue (à droite). (Direction interrégionale Bretagne, Pays de la Loire de l'AFB, 2017) .....	14
Figure 6 : Simulation des pics de crues en fonction de différentes pressions exercées sur le cours d'eau (Wasson et al. 1998 in <a href="http://www.creseb.fr">http://www.creseb.fr</a> ).....	15
Figure 7 : Carte du bassin versant du Blavet avec le Morbihan (en orange) et les Côtes d'Amors (en Beige)	20
Figure 8 : Carte du bassin versant du Ruisseau du Moulin de la Motte avec l'emplacement des travaux identifiés en 2016 par l'AFB, l'ONF, le SMSB et le SVB .....	21
Figure 9 : Photographies aériennes historiques du site de la Noë Molic en 1972 (à gauche) et en 1984 (à droite) .....	22
Figure 10 : Carte du site de la Noë Molic et des sites où les coupes des résineux ont été effectuées par les agents de l'ONF en 2016.....	22
Figure 11 : Schéma d'un piézomètre .....	24
Figure 12 : Mesures de pH et conductivité dans les cours d'eau de la Noë Molic.....	27
Figure 13 : Carte présentant les différents suivis mis en place sur le site de la Noë Molic.....	29
Figure 14 : Schéma explicatif pour le tableau des fréquences.....	31
Figure 15: Précipitation efficace (mm) (axe de gauche) et profondeur du niveau d'eau dans le piézomètre 7 (m) (axe de droite) sur la période juillet 2016 à juillet 2017 .....	32
Figure 16 : Niveau d'eau en mètre dans le limnimètre (axe de droite) et précipitations (axe de gauche) mm du 20 septembre 2016 à Août 2017 .....	34
Figure 17 : Débits de différents fossés mesurés avec la méthode par capacité avec l'estimation des incertitudes (k=2).....	36
Figure 18 : Débits des cours d'eau mesurés avec la méthode par capacité avec l'estimation des incertitudes (k=2) .....	37
Figure 19 : Profil en long de l'obstacle présent à l'aval de la mare de la Noë Molic.....	37
Figure 20 : Schéma type d'un seuil à parement incliné présentant une chute à l'aval .....	38
Figure 21 : Profil en long du cours d'eau principal de la Noë Molic, segments homogènes, granulométrie dominante et localisation des différents protocoles mis en place sur les radiers (Wolman, CARHYCE et IBGN).....	39
Figure 22 : Répartition granulométrique des 3 wolmans Amont (vert), Médian (Bleu) et Aval (Jaune) effectués sur le site de la Noë Molic.....	40
Figure 23 : Répartition linéaire des faciès d'écoulement de la Noë Molic du 25 Avril 2016 (FD = Fosse de dissipation ; PL = Plat lentique ( $V < 30$ cm/s) ; PC = Plat courant ( $V > 30$ cm/s, pente douce) ; Rd = Radier ( $V > 30$ cm/s, pente moyenne) ; Ch = Chute (Rupture de pente, écoulement vertical)) .....	40
Figure 24 : Transects topographiques pour identifier l'ancien talweg du cours d'eau .....	50
Figure 25 : Pourcentage de linéaire de cours d'eau des rangs 1 et 2 de Strahler et des rangs supérieurs à partir de l'inventaire 2016 des cours d'eau du SAGE Blavet .....	58
Figure 26 : Carte des forêts du Bassin Versant du Blavet .....	58
Figure 27 : Pourcentage de cours d'eau de rang de Strahler 1 et 2 forestier .....	59

Figure 28 : Répartition des différentes essences en fonction de leur surface dans les zones tampons en TBV. (NR : Essence non discriminée ou composition indéterminée (coupe rase ou incident...))	59
Figure 29 : Forêts humides en bord de cours d'eau de tête de bassin versant du Blavet	60
Figure 30 : Photographies d'un cours d'eau chenalisé (à gauche) et d'un fossé drainant (à droite) dans une plantation de conifères. (R. Caignec)	61
Figure 31 : Classification des différents cours d'eau du Morbihan, Inventaire 2016	61
Figure 32 : Type de couverture et composition générale de la formation végétale des forêts humides en TBV du Morbihan(56)	62
Figure 33 : Schéma de la section d'un fossé et des différentes mesures prises	72
Figure 34 : Photo d'obstacles sur le site de la Noë Molic date : 23 mars 2017 © F. Zoccarato	73
Figure 35 : Dispositif de mesure de débit tuyau Ø 100 mm ©F. Zoccarato	74

Tableau 1: Facteurs d'acidification des eaux (Fiquepron et al. 2012)	14
Tableau 2 : Principales différences entre le protocole effectué sur le site de la Noë Molic et le protocole CARHYCE de l'AFB.	25
Tableau 3 : Présentation des différents suivis mis en place pour le site de la Noë Molic sur l'année (2016/2017)	28
Tableau 4 : Différents suivis mis en place de juin 2016 à Août 2017.	30
Tableau 5 : Contexte année climatique, différence des précipitations entre l'année considérée et les précipitations Normales (Lorient) Source MétéoFrance :	30
Tableau 6 : Fréquence des hauteurs d'eau dans les 5 derniers cm du tube, dans les 20 premiers et dans les 10 premiers cm de sol pour chaque piézomètre sur l'ensemble des chroniques (de septembre 2016 à Août 2017)	31
Tableau 7 : Moyennes des différents paramètres morphologiques du cours d'eau	38
Tableau 8 : Evaluation de l'oxygénation du cours d'eau de la Noë Molic avec des bâtonnets CARHYCE (NS = tâche Non significative)	41
Tableau 9 : Différentes données calculées pour la station 2 aval du cours d'eau de la Noë Molic	41
Tableau 10: Comparaison des précipitations (mm) mensuelle entre le pluviomètre à auget automatique et le pluviomètre à lecture manuelle.	43
Tableau 11 : Estimation des précisions des piézomètres	44
Tableau 12 : Estimation de la précision du limnimètre	44
Tableau 13 : Tableau prévisionnel des suivis à effectuer sur le site de la Noë Molic	51
Tableau 14 : Gains ou pertes des sous-fonctions pour la simulation du site de la Noë Molic avec actions écologiques envisagées par rapport au site avant restauration	52
Tableau 15 : Type de couverture et composition générale des forêts du BV du Blavet	59
Tableau 16 : forêt Morbihan (56)	62
Tableau 17 : Liste des contacts	69

## 1. Introduction

Les têtes de bassin versant constituent des sujets d'études récents dont les rôles sur les milieux aquatiques sont encore peu connus. Du fait de leurs faibles enjeux économiques directs (transports, énergie) comparées aux rivières, peu d'attention étaient portés sur les têtes de bassin versant au cours des années passées (Lhéritier, 2012). Il en résulte qu'elles sont souvent mal ou peu cartographiées (Bishop *et al.*, 2008 ; Meyer *et al.*, 2007) et que leurs rôles sur les milieux aquatiques sont encore peu connus. Ce sont des acteurs comme les gestionnaires de pêches, les physicochimistes qui se sont les premiers intéressés à ces écosystèmes pour comprendre notamment le déclin d'espèces emblématiques et les catastrophes naturelles (Lhéritier, 2012).

En Bretagne, le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE Loire-Bretagne) 2016-2021 comporte un chapitre entier sur les têtes de bassin versant. Les dispositions de ce chapitre (11) sont déclinées localement par le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) du bassin versant du Blavet avec notamment la mise en place de sites test relevant de différentes problématiques. Quatre enjeux sur les têtes de bassin versant ont ainsi été identifiés : l'abandon des fonds de vallées, l'intensification agricole, l'urbanisation et l'exploitation forestière. Un projet de restauration et de suivis sur cinq années a donc été mis en place sur une tête de bassin versant enrésinée et drainée (la Noë Molic) dans la forêt domaniale de Camors (56) avec la participation de quatre structures publiques : l'Office National des Forêts (ONF), l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB), le Syndicat de la Vallée du Blavet (SVB) et le Syndicat Mixte du SAGE Blavet (SMSB).

A l'échelle nationale, des travaux de restauration sur les têtes de bassin versant ont été réalisés mais bien souvent sans mise en place de suivi écologique adapté. Depuis quelques années, les suivis des opérations de restaurations de cours d'eau en tête de bassin tendent à s'améliorer dans le cadre des Contrats Territoriaux Milieux Aquatiques (CTMA). Concernant la restauration des zones humides, le Forum des Marais de l'Atlantique a mis en place un réseau expérimental sur la réhabilitation des zones humides du Finistère. La restauration engagée sur la Noë Molic s'inscrit également dans cette optique d'obtenir une évaluation des effets de la restauration; pour cela, un suivi détaillé avant, pendant et après restauration a été prévu.

Dans un premier temps, une synthèse bibliographique a été réalisée sur les têtes de bassin versant afin de les définir, de connaître leurs fonctions et les pressions associées et enfin de présenter les méthodes de restaurations et de suivis spécifiques à ces milieux. Dans un second temps, l'étude de la Noë Molic a été réalisée avec la présentation de l'ensemble des suivis mis en place, l'état initial du site (hydrologique, état physique et biologique du cours d'eau, évaluation des fonctions de la zone humide) sur l'année 2016/2017 et enfin les préconisations de restauration et de suivis. Dans un troisième temps, une étude complémentaire a été réalisée afin d'analyser la représentativité du site à l'échelle du bassin versant du Blavet et du Morbihan.

## 2. Bibliographie

### 2.2. Les têtes de bassin versant

#### 2.2.2. Définition

Les têtes de bassin versant constituent la partie amont des bassins versants. Elles drainent le plus souvent des petites surfaces (< 15 km<sup>2</sup> en général) (Bishop *et al.*, 2008). Nommées « Headwater » dans la littérature scientifique anglophone, ces sous-bassins versants présentent des cours d'eau qui sont généralement peu profonds, à faible débit ; ils n'ont pas de tracé fixe et sont le lieu d'une forte interaction terre-eau (Carpenter, 1928 dans Lhéritier, 2012). Ils présentent une large gamme de caractéristiques morphologiques, hydrologique, physicochimique et écologique ; de fait il est difficile de les définir clairement en se basant sur ces critères (Lhéritier, 2012). Ainsi beaucoup de pays les ont définies à partir d'un critère reposant sur la classification de Strahler (figure 1).



Figure 1 : Classification des rangs de Strahler (source : <https://rge.revues.org/5803>)

**Le SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021 a défini les têtes de bassin versant de la manière suivante :** « Les têtes de bassin s'entendent comme les bassins versants des cours d'eau dont le rang Strahler est inférieur ou égal à 2 et dont la pente est supérieure à 1 % ». Le critère de la pente est parfois remis en question, car jugé non adapté aux caractéristiques de certaines HydroEcoRégions (HER). Ce critère de pente est notamment relevé par Jan Alexandre dans son rapport (2013) qui montrait que 30 % des cours d'eau de rangs 1 retenus dans son étude du Massif Armoricaïn présentent une pente inférieure à 1%.

Les cours d'eau en têtes de bassin versant représentent 70 à 80 % du linéaire hydrographique (Le Bihan, 2009). Une étude américaine révèle que plus de 50 % des têtes de bassin versant sont associées à une ou plusieurs zones humides (Janisch *et al.*, 2011) qui alimentent les petits cours d'eau (figure 2).

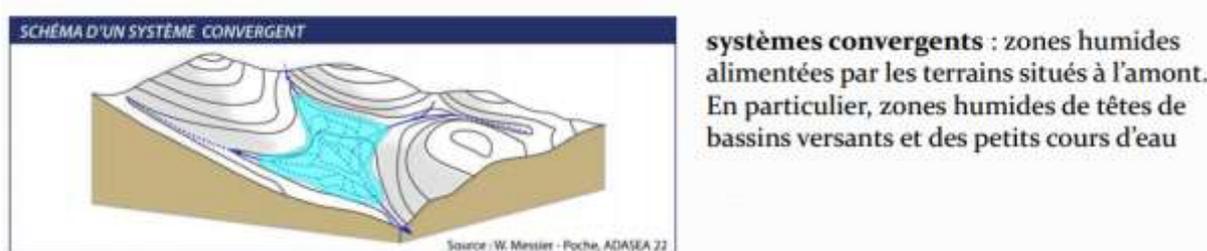


Figure 2 : Schéma d'une zone humide de têtes de bassin versant (B. Clément)

Elles peuvent être alimentées par les eaux de ruissellement, des micro-sources latérales (de type zones humides) ou par nappe d'accompagnement (Mathieu, 2010) et peuvent avoir un fonctionnement intermittent. En France, 20 à 25 % des cours d'eau présentent un caractère intermittent (Datry, 2012).

### 2.2.3. Les fonctionnalités des têtes de bassin versant

Bien que drainant des petites surfaces, les têtes de bassin versant remplissent diverses fonctions (Bishop *et al.*, 2008).

#### 2.2.3.1. Rôle hydrologique

Les têtes de bassin versant sont importantes vis-à-vis de la ressource en eau qu'elles fournissent :

- Elles contribuent fortement aux flux hydrauliques
- Elles conditionnent les quantités d'eau qui vont à l'aval

En effet, 50 à 70 % de l'alimentation en eau des cours d'eau d'ordre supérieur provient des têtes de bassin versant (Alexander *et al.*, 2007). Les échanges optimum nappes/cours d'eau, qui se font notamment grâce à l'alternance fréquente des faciès d'écoulement et à la rugosité souvent importante du lit, donnent à la tête de bassin versant sa fonction de régulation des écoulements (Lhéritier, 2012). La présence d'une ou plusieurs zones humides associées rend cette fonction d'autant plus active en augmentant la capacité d'absorption de l'eau de la tête de bassin versant (Porteret, 2008) (Figure 3).

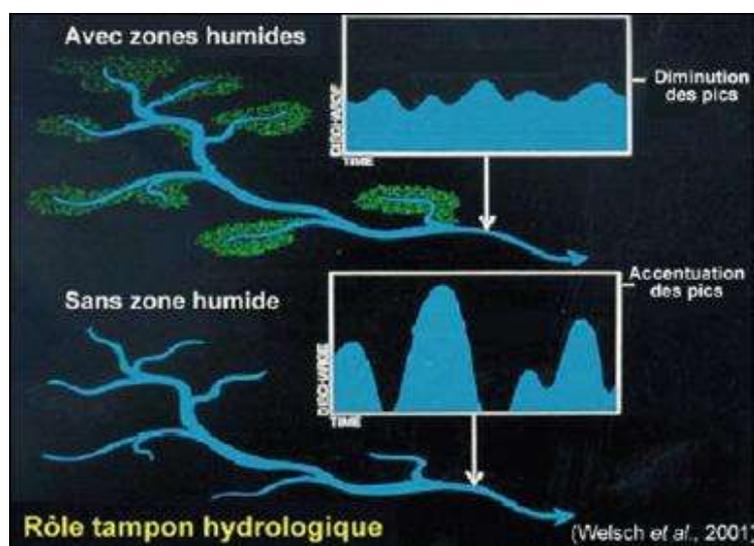


Figure 3 : Rôle tampon hydrologique des zones humides en tête de bassin versant (Welsch *et al.* 2001)

En hiver, la nappe et la zone humide se remplissent, et en été, elles se vident petit à petit : elles sont pour cette raison souvent assimilées à des éponges. La zone humide en tête de bassin versant ainsi que la nappe associée au cours d'eau permettent l'étalement des crues durant l'hiver et le soutien à l'étiage l'été. La délimitation des périodes sèches et humides est variable suivant la situation géographique mais aussi l'année hydrologique (Clément *et al.*, NR).

Enfin, la présence de forêt en tête de bassin versant augmente généralement la capacité d'infiltration de l'eau dans les sols. Le boisement va favoriser la porosité des premiers horizons du sol et donc réduire le ruissellement et participer à la régulation des débits des sources et des cours d'eau (Badeau *et al.*, 2012).

L'alimentation en eau de la zone humide dépend également du sol (nature de la roche mère), de l'occupation du bassin versant mais aussi des facteurs climatiques (Clément *et al.* NR).

#### 2.2.3.2. Rôle épurateur

Une tête de bassin versant qui fonctionne bien assure une bonne qualité physique et chimique de l'eau transitant vers l'aval (Nicolas *et al.* 2012). Plusieurs caractéristiques de la tête de bassin versant participent aux échanges, au stockage et à l'élimination des nutriments et autres éléments apportés par le bassin versant (Oraison *et al.*, 2011) :

- La nappe d'accompagnement,
- la forme des berges,
- la ripisylve,
- le lit majeur,
- la morphologie du lit (porosité, nature du substrat, colmatage),
- les zones humides associées.

Il semblerait que tous ces éléments soient importants, qu'ils agissent différemment et soient complémentaires.

Le sol et le substrat des ruisseaux amont des bassins versant vont être déterminants pour les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau (Lhéritier, 2012). D'après Meyer *et al.* (2007) la zone hyporhéique<sup>1</sup> joue un rôle majeur dans le recyclage des nutriments et le nettoyage de l'eau.

Enfin, la zone humide constitue un élément clef dans le cycle de l'azote au travers de deux processus : la dénitrification hétérotrophe et l'absorption par la végétation. Des travaux menés sur le Scorff montraient la baisse de teneur en nitrates. Cette baisse correspond à un flux de 350 à 560 kg/an pour 10 à 16 % de zone humide dans un sous bassin versant de 100 ha (Clément *et al.*, NR).

Les zones humides de tête de bassin versant agissent aussi sur l'épuration, la décontamination de l'eau des métaux lourds, du phosphore et des micropolluants organiques (Barnaud, 2013). Ces fonctions sont plus ou moins importantes selon le type de zones humides, par exemple une zone humide oligotrophe, très pauvre en nitrates, réalise peu le processus de dénitrification hétérotrophe (Clément *et al.*, NR).

La ripisylve est tout aussi importante, notamment pour le processus d'absorption de phosphate qui augmenterait fortement avec l'âge de la forêt (Warren *et al.*, 2007).

#### 2.2.3.3. Rôle hydromorphologique

Une tête de bassin versant correspond à la zone de production sédimentaire du bassin auquel elle appartient (Lhéritier, 2012).

Grâce à un système racinaire dense, les boisements naturels en tête de bassin versant permettent le bon maintien des berges dans les cours d'eau et freinent l'érosion des sols. Ils limitent le ruissellement de particules fines et donc le colmatage des cours d'eau (Levrat, 2017).

La zone humide a un rôle de filtre et agit sur la rétention des sédiments, des Matières En Suspension (MES) et produits associés. Dans un bassin couvert à 20-40% par des zones humides, la réduction de la charge en MES par les zones humides riveraines de têtes de bassin versant est de 80 à 94 % (Barnaud, 2013).

#### 2.2.3.4. Rôle biologique

##### 2.2.3.4.1. La matière organique : moteur des têtes de bassin versant

Les têtes de bassin versant sont considérées comme le lieu où les échanges eau/terre sont les plus importants (Bishop *et al.*, 2008). Ces échanges exercent une influence fondamentale sur la qualité des rivières en aval (Meyer *et al.*, 2007), influence qui est appuyée par Le *River continuum concept* (Vannote *et al.*, 1980). Ce concept montre que le fonctionnement des cours d'eau à l'aval dépend du fonctionnement amont et notamment des têtes de bassin versant. L'apport de matière organique dans les têtes de bassin versant s'effectue de 3 façons : la chute de litière (feuilles, brindilles, bois), les eaux de ruissellement qui apportent

---

<sup>1</sup> Ensemble des sédiments saturés en eau, situés au-dessous et à côté d'un cours d'eau, contenant une certaine quantité d'eau de surface. (Source : <http://www.glossaire.eaufrance.fr>)

de la matière organique dissoute, et les écoulements souterrains proches de la surface (lessivage, faune vivant dans le sol) (Wipfli *et al.*, 2007). Dans les têtes de bassin versant, 95 % des apports de carbone sont effectués par les litières végétales (Lercerf, 2005), la décomposition de ces litières est donc le processus clé qui dirige le fonctionnement de ces écosystèmes (Baudoin, 2007). Ce fort apport en matière organique conditionne la vie aquatique qui se développe dans les petits cours d'eau de tête de bassin.

#### **2.2.3.4.2. Une vie aquatique spécifique**

Du fait d'apports importants en matière organique, une faune et une flore spécialisées dans les processus de dégradation est privilégiée (Baudoin, 2007). En plus de constituer une nourriture pour les invertébrés déchetiers, les feuilles sont aussi des habitats pour de nombreuses espèces (Baudoin, 2007). Par ailleurs, les têtes de bassin versant sont des lieux de reproduction d'invertébrés aquatiques qui, ensuite, dérivent vers l'aval (Paimpont, 1994 dans Bouas, 2016).

En Bretagne, les cours d'eau de rangs 1 et 2 sont souvent des zones salmonicoles et plus spécifiquement des zones à truites (Huet, 1949 in Bouas, 2016). Ils sont le lieu de reproduction de la truite mais aussi des zones de refuge lors de crues par exemple. La truite fario (*Salmo trutta*), le vairon (*Phoxinus phoxinus*), la loche franche (*Barbatula barbatula*) et le chabot (*Cottus gobio*) sont les principales espèces présentes. Enfin, l'écrevisse à pattes blanches, la moule perlière ou la Lamproie de planer sont des espèces endémiques de ces milieux (Meyer *et al.*, 2007).

#### **2.2.3.4.3. Des zones humides associées à forte valeur patrimoniale**

Tourbières, landes humides, forêts ou prairies, en Bretagne, les zones humides sont relativement petites et très dispersées. Cependant elles occupent jusqu'à 15 % de la surface d'un bassin versant et possèdent souvent une réelle valeur patrimoniale (Clément *et al.*, NR). Concernant la flore, des espèces patrimoniales telles que la Linaigrette à feuilles étroites, l'Osmonde royale ou la Fritillaire pintade sont typiques des zones humides de tête de bassin versant (Levrat, 2017). Lorsqu'elles sont boisées, elles sont aussi un lieu privilégié pour l'avifaune et certains mammifères tels que les chiroptères en tant que lieux de chasse et de dortoirs (Levrat, 2017). Véritables corridors biologiques, elles sont des lieux de reproduction, de refuge, de migration et de circulation pour les espèces (Levrat, 2017).

### **2.3. Pressions et impacts en têtes de bassins versants forestiers**

Les cours d'eau en milieu forestier sont généralement les mieux préservés, cependant la qualité des cours d'eau en tête de bassin versant étant fortement influencée par la ripisylve (Vannote *et al.*, 1980), il est démontré que les pratiques forestières peuvent avoir une influence négative sur les milieux aquatiques. Ainsi, en Europe du Nord, moins de 5 % des têtes de bassins versant sont naturelles (Suurkuukka *et al.*, 2014). L'exploitation forestière d'une zone humide associée peut perturber tout le fonctionnement hydrologique de la tête de bassin versant (Janisch *et al.*, 2011). Dans son mémoire de fin d'étude, Flora André (2012) avait trouvé que les milieux classés potentiellement humides en contexte forestiers du département de la Haute-Loire étaient occupés à 82 % par des peuplements résineux.

#### **2.3.2. Pressions multiples**

Les types de pressions répertoriées sur les têtes de bassin versant sont multiples, certaines étant spécifiques aux zones forestières. Le schéma ci-dessous liste les principales :

## Pressions potentielles

- Continuité écologique (plans d'eau, barrages, seuils...)
- Pollutions ponctuelles ou diffuses (agricole, urbaine, industrielle)
- Travaux hydrauliques (curage, recalibrage, drainage...)
- Imperméabilisation des versants (urbain)
- Mise à nu des sols
- Remblais des zones humides

## Pressions spécifiques aux milieux boisés et/ou exploités

- Tassement du sol
- Exploitation forestière (abattage, façonnage, débardage)
- Dessertes et circulation d'engins dans la zone humide
- Traversée des cours d'eau par les engins
- Entretien des engins (risques de pollutions aux hydrocarbures)
- Maladies (comme le Phytophthora de l'Aulne champignon transporté par l'eau des rivières)
- Développement d'espèces allochtones invasives

Figure 4 : Différentes pressions potentielles sur les têtes de bassin versant. Inspiré de Levrat, 2017 ; Fiquepron et Charnet, 2013 ; Forêt Privée Française, 2012 ; Welsch, 2001 et Morelle, 2007

Toutes ces pressions peuvent avoir de multiples conséquences telles que l'assèchement du cours d'eau en tête de bassin, des inondations sur le bassin aval, le dépérissement de boisements, une eau de mauvaise qualité, une altération de la vie aquatique et terrestre.

### 2.3.3. Cas particuliers

Dans le cadre de ce stage deux types de pressions particulières ont été rencontrés et font l'objet d'une présentation plus détaillée.

#### 2.3.3.1. Effets du choix des essences et de la gestion sylvicole

La gestion de la forêt affecte l'apport de matière organique, d'invertébrés et de bois (Wipfli *et al.*, 2007). Dans son plaidoyer pour une restauration des cordons rivulaires naturels des ruisseaux et ruisselets forestiers (2007), Jean-Baptiste Schneider affirme que le type d'essence mais aussi la structure du peuplement, influence le bon état des cours d'eau. Dans la suite du texte, dans la mesure du possible les deux paramètres (choix des essences et gestion) ont été séparés mais cela n'est pas tout le temps le cas dans les écrits scientifiques.

##### 2.3.3.1.1. Effets sur la quantité d'eau

Sous couvert forestier, l'évapotranspiration est couplée à deux éléments : la transpiration des arbres et l'interception des précipitations. Les feuillages persistants des résineux leur confèrent la capacité d'intercepter plus de précipitations que les feuillus, surtout en hiver, période de recharge de la nappe (Fiquepron et Charnet 2013 et Badeau *et al.*, 2012). La fraction d'eau interceptée sur pluie incidente est de 20 à 30 % pour les arbres à feuilles caduques contre 25 à 40 % pour les conifères dans des conditions climatiques moyennes (Badeau *et al.*, 2012). Par ailleurs, lorsque les conditions climatiques sont favorables, les résineux à feuillage persistant transpirent toute l'année. Ainsi, le LIFE SEMEAU de 2013 conseille de privilégier les feuillus pour augmenter la quantité d'eau qui va dans les nappes souterraines.

##### 2.3.3.1.2. Effets sur la qualité physico-chimique

Dans leur expertise et synthèse bibliographique, Fiquepron et Charnet (2013) soulèvent que le pH des eaux sous racinaires est influencé par celui du sol et que par conséquent, l'acidité du sol peut se transmettre à l'eau. Une monoculture de pin ou d'épicéa sur des substrats sableux augmente l'acidité de l'humus (Arpin et Ponge, 1986). Il en résulte l'augmentation du risque de mobilisation des polluants comme l'aluminium, le

plomb et des nitrates dans l'eau. Généralement, il a été montré que les résineux sont plus sujets aux pertes nitriques que les feuillus, mais leurs effets sur les phosphates n'ont pas été avérés. Il semblerait que l'âge de la ripisylve agisse positivement sur l'absorption de phosphate mais qu'en revanche il n'agisse pas sur l'absorption des nitrates et de l'ammonium (Warren *et al.*, 2007). Knoepp et Clinton (2009) montrent, quant à eux, que la quantité (disponibilité et migration) de nitrates dans le sol et dans l'eau augmente à la suite d'une coupe. Une « zone tampon » (zone non exploitée) laissée entre la parcelle et le cours d'eau peut éviter l'augmentation de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans l'eau. Pour les nitrates du sol, plus la zone tampon est importante, moins leur concentration augmente (Knoepp et Clinton, 2009).

L'acidification des eaux peut être le résultat d'un effet du choix des essences sur une parcelle forestière couplé à la gestion de celle-ci, mais aussi de facteurs non forestiers. Les différents facteurs pouvant intervenir dans l'acidification du cours d'eau sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1: Facteurs d'acidification des eaux (Fiquepron et al. 2012)

Facteurs forestiers	Facteurs non forestiers
Des peuplements trop denses et certaines essences résineuses peuvent entraîner des risques d'acidification	Dépôts atmosphériques acides
Exportations de minéraux liées à l'exploitation forestière d'arbres trop jeunes. Les jeunes tiges étant les plus riches en minéraux	Sols et roches acides
Coupe rase et mise à nu des sols	Fortes précipitations (favorisent le drainage des éléments acidifiants)

Les essences conifères agissent en particulier sur l'acidification du sol et de l'humus. L'acidification des eaux peut être une résultante due principalement à une gestion trop brutale.

#### 2.3.3.1.3. Effets sur l'intégrité de l'habitat et la biologie

La bibliographie montre que le type d'essence forestière et les pratiques influent directement ou indirectement sur la qualité des habitats et la ressource alimentaire disponible pour les espèces aquatiques.

La gestion de la ripisylve des cours d'eau impacte (Suurkuukka *et al.* 2014) :

- La quantité de gros bois dans le cours d'eau qui est liée à la quantité de bois mort en forêt,
- La quantité de bryophytes qui semblent plus élevée dans les sites les plus naturels,
- La quantité de sédiments fins au travers du colmatage.

L'exploitation notamment de la ripisylve a un effet sur la disponibilité de gros bois en rivière (Wipfli *et al.* 2007) : en exportant le bois coupé, les gros bois ne peuvent plus se retrouver dans les cours d'eau. Or, le bois en rivière est important car il permet le stockage de matière organique grossière, la dissipation d'énergie, la stabilisation des berges, la réduction du colmatage et plus généralement la diversification des habitats

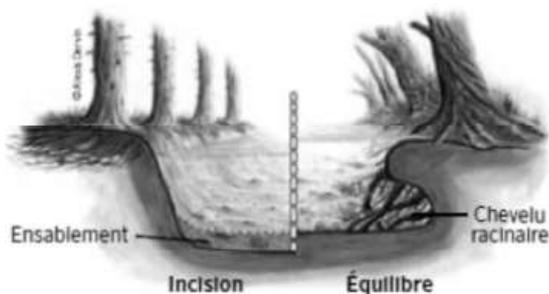


Figure 5 : Comparaison schématique de la morphologie de deux berges enrésinée (à gauche) et feuillue (à droite). Life 2004-2009 « Éléments techniques pour la préservation des ruisseaux »

(Millington et Sear, 2007, Jochner et *al.* 2015).

L'enlèvement complet de la canopée d'une ripisylve va induire moins d'apport allochtone dans le cours d'eau. Or, la moitié du régime alimentaire d'un salmonidé (saumons juvéniles, ombles et truites) est constitué d'invertébrés d'origine terrestre (Wipfli 2005). Souvent très dense, les plantations de conifères provoquent un déficit de lumière au sol ce qui empêche le développement de la strate herbacée (Morelle, 2007). Le système racinaire souvent « traçant » des essences résineuses (par exemple l'Épicéa de Sitka) entraîne l'érosion excessive des berges (Morelle, 2007) (Figure 5) et favorise le colmatage du lit.

Le type d'essence a aussi une influence sur les communautés d'invertébrés. Par exemple, la conversion d'une forêt de feuillus en monoculture de pins induit des changements dans la communauté des décheteteurs : les espèces plus sensibles aux pollutions diminuent en nombre, et les moins sensibles dominent (Whiles et Wallace, 1997). Cela proviendrait des aiguilles qui se décomposent plus lentement que les feuilles caduques et qui sont considérées comme de faible qualité pour la nourriture des détritivores aquatiques et terrestres. Les composants comme la lignine, la cutine, les lipides et les phénoliques antimicrobiens couplés à la faible teneur en azote engendrent la faible dégradation de la litière acidifiante de certaines espèces (en particulier Épicéa et pin sylvestre) (Fiquepron et Charnet, 2013). Un peuplement de feuillus ou de mélange feuillus/résineux est plus favorable aux macro-invertébrés.

### 2.3.3.2. Travaux hydrauliques : chenalisation des cours d'eau et drainage forestier

#### 2.3.3.2.1. Impacts de la chenalisation

Souffrant de leur aménagement par le passé, les ruisseaux amont des bassins versants se retrouvent souvent hors de leurs talwegs (Lhéritier Nicolas, 2012). En tête de bassin versant, la chenalisation des cours d'eau est le résultat d'une simplification du parcellaire (Renard, 2002 in Le Bihan, 2009 ; Bishop et *al.*, 2008) et d'un complément au drainage pour le rendre plus efficace (Adam et *al.*, 2007 in Colin, 2015).

Les travaux de « chenalisation » comprennent : la rectification, le recalibrage, le curage, l'endiguement et la protection des berges (Colin, 2015). En modifiant le fonctionnement hydrologique du cours d'eau ils peuvent induire :

- Des phénomènes de crue à l'aval (Figure 6)
- L'aggravation des conditions physiques lors d'étiages (source : <http://www.creseb.fr> Centre de ressource et d'expertise scientifique sur l'eau de Bretagne)
- L'incision du lit mineur, en forêt l'érosion verticale est plus importante et rend les cours d'eau plus profond (Moulin, 2005).
- L'érosion des berges
- La diminution du coefficient de rugosité
- L'étalement de la lame d'eau
- La perte de la granulométrie
- Du colmatage
- L'homogénéisation et la baisse de diversité des faciès d'écoulement
- L'augmentation des températures à l'étiage

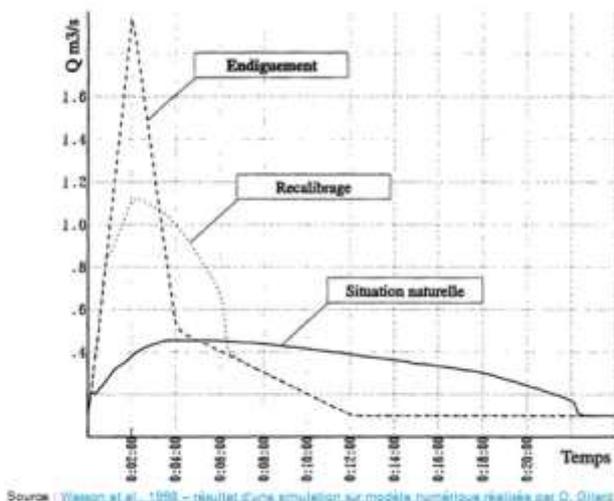


Figure 6 : Simulation des pics de crues en fonction de différentes pressions exercées sur le cours d'eau (Wasson et al. 1998 in <http://www.creseb.fr>)

#### 2.3.3.2.2. Le drainage forestier

En forêt, le drainage est pratiqué pour favoriser la croissance des peuplements ainsi que les taux de survie des reboisements (Guide de drainage sylvicole Québécois, 1989). Les travaux de drainage et de curage sont très anciens, cependant, la mécanisation de ceux-ci dans les années 1950 a fait augmenter leurs recours et leurs ampleurs (Godreau *et al.* 2009).

Le drainage empêche l'écoulement naturel de l'eau vers la nappe, il réduit le ruissellement des sols en période hivernale (sauf pour les gros évènements pluvieux de retour supérieur à 5 ans) et il contribue à l'amplification des crues (Nédélec, 2005 in Cavan, 2015). Il modifie aussi le régime hydrique des sols. L'espace de croissance des racines est plus important, les cycles des éléments nutritifs sont perturbés ainsi que l'activité biologique. Dans leur étude sur le lien entre la richesse taxonomique d'un cours d'eau et la naturalité de la ripisylve, Suurkuukka H *et al.* ont montré que le drainage par fossés était aussi impactant à travers sa production de sédiments fins que la coupe d'arbres. De plus, le drainage forestier augmente la turbidité de l'eau lors de périodes de pluies (Vuori *et al.* 1998). La modification hydrologique du sol semblerait favoriser les graines de plantes non typiques. Par exemple, sur des landes de plaines drainées, la molinie a pris le dessus sur la Callune (Pywell *et al.* 2002).

Par rapport aux impacts géochimiques les concentrations en éléments solides en suspension augmentent significativement avec la surface drainée par le réseau de drains forestiers (Vuori *et al.* 1998). De plus, l'intensité du drainage contribue significativement à la diminution de l'alcalinité de l'eau. Or, un bon équilibre de l'alcalinité de l'eau détermine le pouvoir « tampon » de l'eau et joue sur la stabilité du pH (Le pimpec, 2002).

Par ailleurs, le drainage impacte directement la biodiversité en favorisant la disparition des milieux humides. En France 30 % des espèces végétales remarquables et menacées vivent dans les milieux humides et environ 50 % des espèces d'oiseaux dépendent de ces zones ([www.zones-humides.eaudefrance.fr](http://www.zones-humides.eaudefrance.fr)).

Enfin, les résultats de l'étude de Vuori *et al.* en 1998 suggèrent que le drainage contribue de manière significative à la détérioration de la qualité de l'eau, de la structure des habitats, ainsi que de l'appauvrissement des communautés benthiques, en particulier dans les têtes de bassin versant.

### 2.4. Objectifs de la restauration en contexte forestier

L'objectif de la restauration morphologique d'un cours d'eau est de rétablir les échanges nappe-ruisseau en le repositionnant dans son talweg, de rétablir la dynamique du cours d'eau, de reconstituer des habitats diversifiés et d'augmenter la zone de contact entre les eaux de surface et souterraines en le reméandrant (Durelet coordination, 2009).

L'objectif du dédrainage est de rétablir la zone humide effective et ses fonctionnalités.

Les objectifs de la restauration des habitats d'une zone humide peuvent être la restauration de milieux patrimoniaux, la conservation d'espèces rares ou le rétablissement du paysage local.

Le recours à ces techniques doit être réfléchi et les objectifs bien définis.

### 2.5. Les techniques de restauration en tête de bassin versant forestier

En tête de bassin versant, les techniques de restauration sont peu documentées.

#### 2.5.2. Restauration morphologique des cours d'eau

La première étape est la localisation de l'ancien lit du cours d'eau, il peut être retrouvé directement par prospection sur le terrain (traces du cours d'eau historique, végétation dessinant des méandres) ou bien il peut être retrouvé par photographie infrarouge, examen d'archives cadastrales ou de photos aériennes (Mathieu, 2010). Si l'ancien talweg est présent et intact alors il est préconisé de reboucher le lit déplacé avec

des matériaux présents sur le site et de les compacter. Il peut être conseillé de reboucher en respectant la stratification pédologique par utilisation de terre végétale ce qui a été fait pour la restauration du Merlué et de son marais dans le Jura (Recueil d'expériences sur l'hydromorphologie ONEMA). La sinuosité du cours d'eau devra si possible être égale à celle d'origine et hétérogène (variations des amplitudes et longueurs d'onde des méandres et rayon de courbures) (LIFE ruisseaux).

La seconde étape est le dimensionnement du lit si ce dernier n'est plus présent et intact. Le gabarit d'une section de référence située à l'amont ou à l'aval du cours d'eau à restaurer peut être utilisé. Cette section de référence devra être sous-dimensionnée afin de laisser le cours d'eau se recréer lui-même un lit conforme à sa puissance hydraulique. Pour les très petits cours d'eau il est préconisé de faire un lit aussi large que haut (dimensionnement « au carré ») (Durelet Coordination, 2009) même si les cours d'eau de tête de bassin sont en général plus larges que hauts. En effet, l'étude de 55 stations bretonnes a permis de montrer qu'en moyenne le ratio largeur plein bord sur hauteur totale plein bord ( $L_{pb}/H_t$ ) est égale à 5,5 (Bossis, 2014). La dynamique pour aboutir à un système fonctionnel est lente (5 à 10 ans), en particulier pour les petits ruisseaux peu pentus (Eric Lucot CNRS Université de Franche-Comté). Pour faciliter cette dynamique, il est important de laisser le bois mort dans les cours d'eau.

Le risque de colmatage est important pendant et après travaux. Enfin, il est important de tenir compte de l'occupation du sol dans le passé. Une trop forte modification de son profil pédologique (après culture par exemple) peut induire la rupture totale ou partielle de l'écoulement. Il peut être parfois nécessaire, en cas d'absence de matelas alluvial, de recréer une couche d'argile et un matelas alluvial avec l'apport de sédiments et cailloux.

### **2.5.3. Diminution de l'effet drainant d'un réseau de fossés à ciel ouvert**

Plus la pente d'une zone humide est faible, plus il est facile de faire remonter la nappe en dédrainant (Landry & Rochefort, 2011). Pour diminuer l'effet drainant d'un réseau de plusieurs fossés, il faut dans l'idéal, les combler entièrement. Cependant, cette solution peut-être coûteuse et chronophage et risque d'induire un trop grand bouleversement du sol (Lucot et al. 2008). Il est donc conseillé d'implanter des bouchons imperméables. En contexte forestier, le comblement des fossés se fera progressivement, par accumulation de la matière organique (débris ligneux, feuilles). Il est important de nettoyer le drain avant le bouchage afin d'assurer la stabilité des bouchons. Les matériaux utilisés peuvent être pris sur place si le sol est argileux ou importés comme par exemple du contreplaqué ou des géotextiles. Dans la forêt de Chaux (recueil d'expériences sur l'hydromorphologie ONEMA), les bouchons utilisés sont en géotextile de rétention des fines, tendu sur un bardage de bois et placé au cœur d'un remplissage de tout-venant pour le cours d'eau. Pour les fossés, les bouchons sont seulement constitués de tout-venant.

### **2.5.4. Restauration des habitats d'une zone humide après une plantation d'essences résineuses**

Une étude anglaise (Pywell et al. 2002) sur la régénérescence des bruyères a montré qu'en dessous de 40 ans de plantation résineuse, la disponibilité des graines n'est pas un facteur limitant et que la dégradation des graines est moins importante dans un sol humide que dans un sol sec. La restauration des habitats d'une zone humide après une plantation de résineux nécessite 3 étapes :

#### **1. Gestion des rémanents**

Il est préconisé d'enlever les rémanents afin de laisser le milieu le plus oligotrophe possible (Corson, 2013 et Holder, 2015). Il est possible de les regrouper en andains au bord de la zone humide, andains qui peuvent servir d'abris pour différents animaux (lapins, reptiles) (Holder, 2015) ou bien de faire exporter les branches pour un broyage ultérieur.

Pour les souches, les avis sont plus partagés. Un dessouchage évite les rejets et la formation de cépées, et peut créer des zones d'eau libre favorables à la faune et à la flore (Levrat, 2017). Cependant, le dessouchage

risque modifier la composition du sol et de ramener des nutriments en surface (Holder, 2015). Cela peut développer un milieu très propice aux ronces. Si les souches ne sont pas enlevées, il faut compter 3 à 4 ans pour les épuiser, cela implique un débroussaillage régulier pour gérer les recrus (Dupieux, 1998). Une alternative au dessouchage est le rognage des souches. Cette opération a été effectuée sur plusieurs sites dans les monts d'Arrée (Parc Naturel Régional d'Armorique, 2016). Pour gérer les repousses de ligneux, l'arrachage est efficace mais fastidieux, il peut abimer les plantes vasculaires intéressantes à leurs pieds.

Dans tous les cas, la remontée de la nappe freine la régénérescence des ligneux (Holder, 2015 et Corson, 2013).

## **2. Préparation du sol**

Pour pouvoir assurer l'expression de la banque de graines, l'enlèvement de la litière est fortement préconisé. Le décapage du sol sur plusieurs cm est possible, mais au-delà de 10 cm, les horizons ne sont plus régénérables pour les tourbières (Corson, 2013). Deux solutions peuvent être envisageables pour le décapage du sol : L'étrépage et le fraissage. L'étrépage, consiste à retirer la couche superficielle du sol. Ainsi, la tourbe du dessous se retrouve à l'air libre et peut exprimer ses cryptopotentialités (banques de semences du sol) (Frankard, 2006). Le fraissage, consiste à broyer la végétation et la couche superficielle du sol et à mélanger le tout. Elle est réalisée à l'aide d'un tracteur tirant un broyeur. Sur des sites où la banque de graines est pauvre ou inexistante, il est possible de faire des bouturages (qui ont été réalisés par le projet en Wallonie LIFE Haute-fagnes) ou de l'épandage de lande fauchée (Restauration des landes dans les Monts d'Arrées).

## **3. Gestion à long terme**

La gestion future du site dépend des objectifs fixés pour la parcelle, elle dépend aussi des travaux qui ont été effectués, par exemple, la conservation des souches peut empêcher la gestion mécanique du site.

On peut ainsi choisir :

1. La non intervention : cela permet de laisser le milieu s'exprimer. Attention tout de même à surveiller une éventuelle invasion d'espèces exotiques telles que la Renouée du Japon ou l'Erable négundo.
2. Le maintien d'un milieu ouvert :
  - Pâturage extensif
  - Fauchage manuel ou mécanique
3. L'obtention d'un milieu forestier exploité :
  - Sylviculture adaptée avec régénération naturelle des peuplements : ouverture de faibles surfaces puis la banque de graines est libre de s'exprimer
  - Sylviculture adaptée avec plantation : favorise les espèces locales et présentes en tête de bassin comme l'Aulne, le frêne ou l'érable. Nécessite un diagnostic précis pour chaque situation (Levrat, 2017).

Dans tous les cas : les arbres morts par terre ou sur pieds doivent être laissés, ce sont des habitats indispensables à la faune. La mécanisation doit être utilisée le moins possible ou avec beaucoup de précautions.

### **2.6. Protocoles et suivis de l'état des têtes de bassin versant : la nécessité d'adapter les protocoles**

Certains protocoles et indicateurs couramment utilisés en rivière ne conviennent pas aux cours d'eau en têtes de bassin versant. Par exemple, l'Indice Poisson Rivière (IPR) qui permet d'évaluer l'état écologique des masses d'eau ne convient pas aux têtes de bassin versant qui sont des cours d'eau où dans certains cas seule la truite est présente et abondante et cela conduit à des notes médiocres voire mauvaises (Lhéritier, 2012).

Une méthode de caractérisation de l'hydromorphologie à l'échelle stationnelle des cours d'eau de têtes de bassin versant est développée depuis 2010 sur le massif Armoricaïn au travers des stages de : Mathieu, 2010 ; Jan, 2013 ; Bossis, 2014 ; Colin 2015 et Mondesir, 2017 en cours de réalisation.

Enfin, un protocole d'échantillonnage des macro-invertébrés (Bouas ,2016) adapté aux têtes de bassin versant qui optimise l'effort d'échantillonnage propose de réduire le nombre de prélèvements de macro-invertébrés à 6. Cette étude est complétée par le stage de Laura Mondesir à l'AFB Rennes en 2017.

Cette bibliographie présente les pressions et les techniques de restaurations ciblées en fonctions de celles rencontrées et envisagées sur le site pilote : La Noë Molic.

### 3. Le projet de restauration d'un site pilote : la Noë Molic

#### 3.1. Présentation du site

Appartenant à la forêt Domaniale de Camors, le site de la Noë Molic se situe sur la commune de Baud (56) à l'est du bassin versant du Blavet (Figure 7). C'est une des têtes de bassin versant tributaire du ruisseau du Moulin de la Motte qui se jette dans l'Evel, un des principaux affluents du Blavet



Figure 7 : Carte du bassin versant du Blavet avec le Morbihan (en orange) et les Côtes d'Amors (en Beige)

##### 3.1.1. Le bassin versant du Ruisseau du Moulin de la Motte

Le bassin versant du ruisseau du Moulin de la Motte fait 583 ha. Le ruisseau principal mesure 4 km de long et possède 10 affluents (Figure 8). Au total cela fait environ 11 km de linéaire de cours d'eau. Le contexte géologique est principalement granitique. Les sols sont de types brunifiés à argilluviés, fréquemment hydromorphes sur les plateaux (Source : Sol de Bretagne). Le bassin versant du ruisseau est dominé par la forêt (environ 70 %), le reste est agricole et urbain. La forêt domaniale de Camors est inscrite dans une ZNIEFF de type II en partie justifiée par des habitats humides de landes et de tourbières. Le relief sur l'ensemble du massif boisé est peu accentué avec une altitude moyenne de 110 mètres.

Le climat est tempéré avec une température moyenne annuelle de 12 °C et une pluviométrie annuelle d'environ 950 mm (MétéoFrance).

Différentes pressions ont été identifiées en 2016 sur les milieux aquatiques lors d'une visite de terrain par l'ONF, l'AFB, le SMSB et le SVB (Figure 8) :

- De grands plans d'eau font obstacle à la continuité
- Des têtes de bassin versant ont fait l'objet de travaux hydrauliques anciens (exemple rectification du cours d'eau) et subissent des pressions sylvicoles.

Un projet de restauration de 4 sites est prévu sur les 4-5 prochaines années. Le site de la Noë Molic a été choisi pour la mise en place d'un suivi particulier car il cumule l'ensemble des pressions observées.

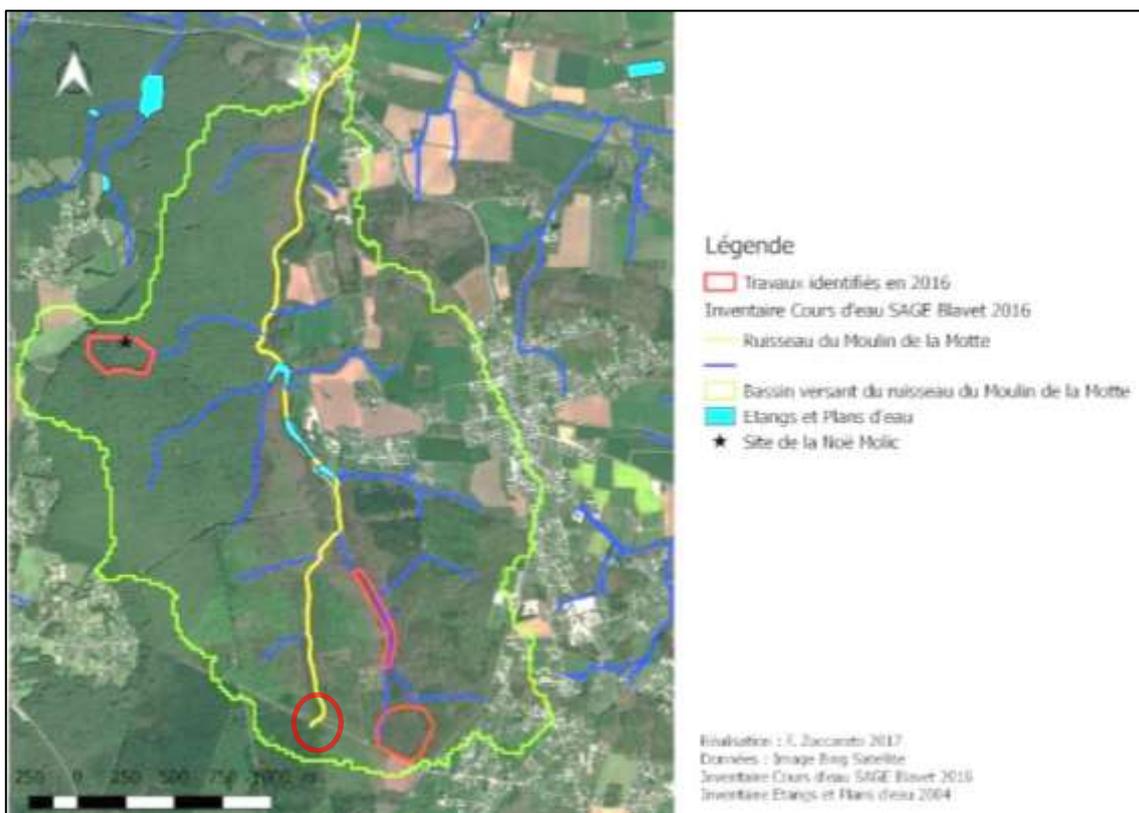


Figure 8 : Carte du bassin versant du Ruisseau du Moulin de la Motte avec l'emplacement des travaux identifiés en 2016 par l'AFB, l'ONF, le SMSB et le SVB

### 3.1.2. Caractéristiques physiques du site de la Noë Molic

Le site de la Noë Molic correspond à la parcelle n° 7 de la forêt de Camors dont l'essence dominante est l'Epicéa de Sitka. Elle fait 5,31 ha en forme de cuvette à faible pente. Le site comporte deux cours d'eau : le cours d'eau principal qui traverse le site d'Ouest en Est se jette dans le ruisseau du Moulin de la Motte 900 m en aval et un affluent d'une centaine de mètres provenant d'une mare située au Sud (Figure 10). Ces cours d'eau n'ont pas de toponyme et sont d'ordre 1 selon la classification de Strahler. Plusieurs petits plans d'eau sont présents sur le site, dont un sur le cours d'eau principal. Un réseau de 2,2 km de fossés occupe le site. Certains fossés sont organisés en forme de « peigne » autour de collecteurs principaux. Enfin, le bassin versant de la Noë Molic fait environ 35 ha.

### 3.1.3. Usages et gestions du site

La forêt domaniale de Camors ainsi que celle de Florange furent achetées en 1785 par Louis XVI dans le but d'alimenter les arsenaux de Lorient (bois de marine). Elles deviennent propriété de l'Etat pendant la Révolution. Concernant le site de la Noë Molic, le témoignage d'un habitant de Rimaison (village à proximité immédiate du site) permet de dire qu'entre, l'après deuxième guerre mondiale et le début des années 1970, le site était en location à un agriculteur qui y faisait pâturer ses vaches. En 1971, l'Etat achète le site et charge l'ONF de son exploitation. Le réseau de fossés a été mis en place en 1984 avec la rectification du cours d'eau principal ainsi que la création de talus (Figure 9). L'Epicéa de Sitka (*Picea sitchensis*) est l'essence qui a été majoritairement plantée sur le site. Cependant il y a aussi présence de Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et de Thuya géant (*Thuja plicata*). Depuis 1985, divers travaux forestiers sont accomplis : dégagement<sup>2</sup>, regarni<sup>3</sup>. En 1985 le site est référencé dans l'inventaire des tourbières de Bretagne mené par le laboratoire d'Ecologie Végétale de l'Université de Rennes 1 (Touffet, 1985) avec la présence

<sup>2</sup> Le dégagement consiste à améliorer la qualité d'un peuplement d'arbres, depuis l'apparition des semis ou la mise en place des plants jusqu'à ce qu'ils atteignent une hauteur de 3 mètres. (www.onf.fr)

<sup>3</sup> Une opération de regarni de plantation vient compléter une plantation artificielle. (www.onf.fr)

notamment de la Drosera. Début 2016, l'AFB, l'ONF, le SMSB et le SVB décident de mettre en place des suivis sur le site et de planifier sa restauration. La plantation étant arrivée à maturité et contaminée par le dendroctone<sup>4</sup>, une partie des résineux est rapidement coupée en Septembre 2016 (Figure 10).



Figure 9 : Photographies aériennes historiques du site de la Noë Molic en 1972 (à gauche) et en 1984 (à droite)

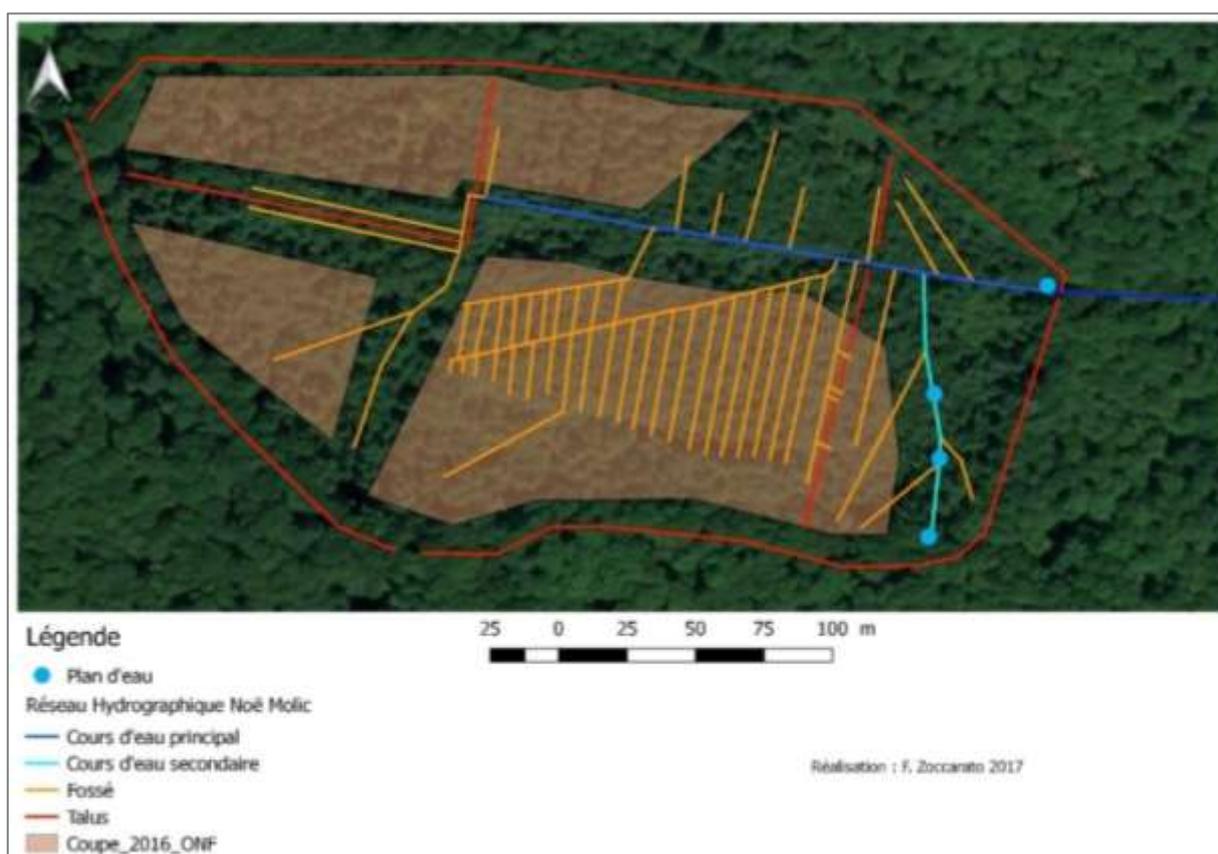


Figure 10 : Carte du site de la Noë Molic et des sites où les coupes des résineux ont été effectuées par les agents de l'ONF en 2016

#### 3.1.4. Objectifs de la restauration

Cinq ans de suivis sont prévus sur le site de la Noë Molic, dont 2 ans avant travaux. Les travaux hydrauliques sont prévus en septembre 2018, ils consistent à la remise du cours d'eau dans son ancien talweg ainsi qu'en son re-méandrage et la réduction de l'effet drainant. Ils ont pour objectifs le rétablissement de la

<sup>4</sup> Le dendroctone (*Dendroctonus micans*) est un scolyte spécifique de l'épicéa, probablement originaire de l'est sibérien. Arrivé dans l'est de la France à la fin du dix-neuvième siècle, il s'est peu à peu installé sur l'ensemble du territoire français. La Bretagne est la dernière région française à avoir été colonisée. (Département de la santé des forêts 2014)

dynamique du cours d'eau, des échanges nappe-ruisseau et d'habitats diversifiés. Concernant la zone humide, l'objectif principal est de rétablir son bon fonctionnement et notamment son rôle hydrologique.

### 3.1.5. Objectifs/Rôles des structures

Les travaux et suivis du site de la Noë Molic font partie d'un partenariat entre les quatre structures qui bien que partageant un objectif global commun peuvent avoir sur certaines orientations techniques des avis différents.

L'ONF, qui est le gestionnaire du site, n'a plus d'intention de production. En revanche, ces opérations entrent dans sa volonté d'une gestion forestière plus proche et plus respectueuse des milieux aquatiques. Par ailleurs, d'autres sites font l'objet de souhait de travaux, et le site de la Noë Molic constitue donc à cet égard, un site test. Le plan de gestion 2017-2036 a intégré ces objectifs.

L'AFB a un objectif d'accompagnement de mesures contribuant aux objectifs de bon état des masses d'eau, exigés par la DCE et de suivi scientifique. Elle s'occupe de certains suivis notamment ceux concernant le cours d'eau.

La Noë Molic correspond à la mise en place d'un site test en contexte forestier. Le rôle du SMSB consiste en la réalisation de suivis, en particulier ceux liés au fonctionnement hydrologique de la zone humide. L'objectif de restauration des habitats de landes et de tourbières de la zone humide s'inscrit dans l'action globale du SMSB sur la gestion/restauration de ces milieux patrimoniaux.

Ce site intervient dans le programme d'entretien du Syndicat de la Vallée du Blavet (SVB) et de restauration des milieux aquatiques sur le bassin du Blavet Morbihannais dans le cadre d'un Contrat Territorial Milieux Aquatiques (CTMA). Ce dernier a récemment intégré les problématiques de gestions des zones humides et des têtes de bassin versant. Sur ce projet c'est lui qui est en charge de la mise en place des travaux.

## 3.2. Les protocoles et suivis mis en place

De nombreux suivis sont mis en place sur la Noë Molic depuis le mois de juin 2016. Ils sont réalisés par des agents de l'AFB, du SMSB ou des intervenants extérieurs. Le présent rapport ne détaille pas les protocoles normalisés, en revanche il se concentre sur ceux qui ont dû être adaptés ou élaborés pour cette étude.

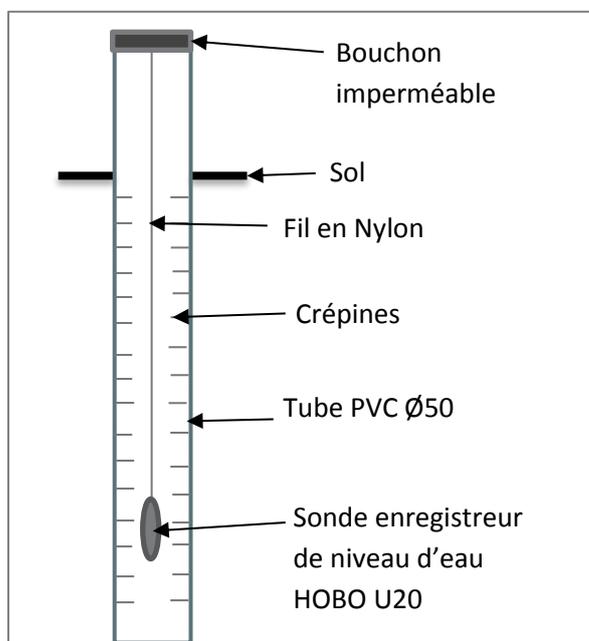
### 3.2.1. Sur la zone humide

#### 3.2.1.1. Botanique

L'objectif de ce suivi botanique est de connaître la végétation présente sur l'ensemble du site (5 ha) et de voir son évolution au cours de la restauration. Le suivi botanique est réalisé par Agnès Stephan, botaniste. Il a été effectué une première fois en Juillet 2016 suite à quoi un rapport a été fourni comprenant, une cartographie des principales entités végétales présentes sur le site à une précision au moins égale au 1/2000, un relevé exhaustif des plantes vasculaires observées et le calcul d'un indice d'Ellenberg relatif à l'hydromorphie des sols sur plusieurs points du site. Enfin pour chaque unité spatiale différenciée, plusieurs scénarios de dynamiques d'évolution attendues ont été proposés.

#### 3.2.1.2. Piézométrie

La mise en place de piézomètres automatiques permet un suivi des hauteurs d'eau dans le sol. Onze piézomètres ont été installés entre Juillet 2016 et septembre 2016. Ils sont répartis en deux transects perpendiculaires au cours d'eau principal et un piézomètre est situé à l'amont du site (Figure 13 p.29)



Les piézomètres ont été faits artisanalement : leurs profondeurs dans le sol varient entre 1,18 m à 1,50 m. (Figure 11).

Les sondes enregistrent toutes les 15 minutes. Leurs relevés sont effectués tous les 3 à 4 mois.

Afin de vérifier la précision des sondes, des relevés manuels ont aussi été effectués. Ils ont été réalisés avec une sonde à effet sonore, qui émet un signal lorsqu'elle est en contact avec l'eau.

Figure 11 : Schéma d'un piézomètre

### 3.2.1.3. Caractérisation des fossés

Un protocole « fossés » a été élaboré afin d'évaluer le fonctionnement hydraulique d'un réseau de fossés en contexte forestier en vue d'une restauration. Il doit être rapidement effectué, et doit donner une idée globale du fonctionnement hydraulique du réseau afin d'aider à orienter les actions à mettre en place pour réduire le drainage de ce réseau. (Annexe 7.1). Ce protocole comprend (1) la caractérisation physique des fossés (dimensions, pente...), (2) la caractérisation des obstacles présents (nombre, dimensions, les matériaux) et (3) la mesure de débits : ces mesures s'effectuent par la méthode dite « par capacité » (voir rapport ONEMA Contrôle des débits réglementaires Le Coz et *al.* 2011). La mesure de temps est répétée jusqu'à l'obtention de trois résultats concordants. Les mesures de débits ont été effectuées sur différents fossés : les deux collecteurs de la rive droite et un fossé des plus pentus de la rive gauche (Figure 13 p. 29)

### 3.2.1.4. Topographie

L'objectif de ces levés topographiques est de connaître les variations fines d'altitude entre chaque piézomètre. Le nivellement a été effectué à l'aide d'un niveau permettant de matérialiser une ligne de visée horizontale et d'une règle graduée verticale appelée mire. Le nivellement est effectué par rayonnement.

### 3.2.1.5. Pédologie

Afin de comprendre les transferts d'eau et d'évaluer les fonctions de la zone humide, 12 sondages à la tarière ont été effectués. Ils sont répartis près des piézomètres et dans certaines entités végétales spécifiques. Les textures, les couleurs, la présence d'éléments grossiers et de traces d'oxydo-réduction ont été notées tous les 10 cm sur chaque profil. La méthode s'inspire du code tarière du massif Armoricaïn (INRA) et de celle de l'évaluation des fonctions de la zone humide (Gayet *et al.*, 2016).

### 3.2.1.6. Méthode d'évaluation des fonctions de la zone humide

Pour évaluer l'état et les fonctions de la zone humide, la méthode nationale (Gayet *et al.* 2016) a été mise en pratique. Cette méthode permet d'évaluer les fonctions hydrologiques, biogéochimique et d'accomplissement du cycle biologique des espèces. Les sous-fonctions hydrologiques évaluées sont : le ralentissement des ruissellements, la recharge des nappes et la rétention des sédiments. Les sous-fonctions biogéochimiques sont : la dénitrification des nitrates (Nd), l'assimilation végétale de l'azote (Nv), l'adsorption et précipitation du phosphore (Pa), l'assimilation végétale des orthophosphates (Pv) et la séquestration du carbone (C). Enfin, le support des habitats et leur connexion forment les deux sous-fonctions évaluant l'accomplissement du cycle biologique des espèces.

### 3.2.2. Sur le cours d'eau

#### 3.2.2.1. Hydromorphologie

L'objectif de ce suivi est de caractériser l'état et les pressions hydromorphologiques exercées sur le cours d'eau. Le suivi hydromorphologique effectué sur le site de la Noë Molic s'inspire du protocole CARHYCE (Tableau 2). Il a été réalisé sur l'ensemble du linéaire du cours d'eau principal, de l'amont jusqu'au pont, soit 350 m (Figure 13 p. 29).

Les relevés hydromorphologiques consistent en la réalisation d'un profil en long aux points d'inflexion (cote du fond du lit, cote d'eau et cote de la berge la plus basse) en relevant systématiquement la largeur à plein bord, afin de décrire finement les hauteurs et largeurs à plein bord ainsi que le ratio de forme (Lpb/Hpb). Ensuite, une caractérisation de la granulométrie a été effectuée sur l'intégralité du linéaire divisé en 6 sous-segments homogènes. Sur chaque sous-segment, les granulométries dominantes et accessoires ont été décrites, ainsi que le niveau de colmatage (méthode Archambaud et *al.*, 2005 développée à Irstea Aix-en-Provence) et l'épaisseur de la couche d'armure. Les faciès d'écoulement ont été caractérisés sur l'ensemble du linéaire. Ensuite, pour apprécier le niveau de colmatage du cours d'eau, des bâtonnets CARHYCE ont été implantés sur trois stations au niveau des radiers et laissés sur site pendant un mois. Cette méthode permet d'apprécier le colmatage interstitiel à l'échelle du radier alors que la méthode d'Archambaud donne une information sur le colmatage de surface. Enfin la méthode Wolman a également été effectuée sur 3 radiers. Compte tenu de la faible diversité des sédiments seuls 50 éléments ont été analysés au lieu 100 ordinairement. Cette méthode facilite les comparaisons dans le temps en limitant le biais observateur.

Tableau 2 : Principales différences entre le protocole effectué sur le site de la Noë Molic et le protocole CARHYCE de l'AFB

	<b>Carhyce (14 * Lpb)</b>	<b>Diagnostic Camors</b>
Echelle	Stationnelle et transects (non adaptée aux têtes de bassin versant)	Linéaire divisé en segments morphologiquement homogènes
Profil en travers	15 points	1 point simplifié à chaque point du profil en long
Profil en long	Sur les transects	Sur chaque point d'inflexion (plus précis à l'échelle du linéaire)
Faciès d'écoulement	Sur les transects	Sur tout le linéaire Cartographie précise
Granulométrie	Sur les transects  1 wolman radier	Sur tout le linéaire (granulométries dominante et accessoire)  3 wolman radiers (amont, médian, aval)
Bâtonnets Carhyce	Sur la station	Sur 3 segments (amont, médian, aval)

#### 3.2.2.2. Limnimètre et mesures de débits

Un limnimètre a été mis en place en même temps que les piézomètres. Le Limnimètre a été placé à l'aval de la zone (Figure 13 p. 29). Comme les piézomètres, le limnimètre prend des mesures toutes les 15 min. Le système est similaire aux piézomètres avec une sonde HOB0. L'objectif du suivi avec le limnimètre est d'observer les variations de hauteur d'eau en fonction des pluies et d'identifier les pics de crues. Pour obtenir une courbe de tarage (débit en fonction de la hauteur d'eau), des mesures de débits sont prises à l'amont immédiat du limnimètre. La méthode de mesure des débits est la même que pour le protocole des fossés (voir

3.2.2.1.3). Enfin des hauteurs d'eau manuelles sont prises afin de vérifier la précision des données du limnimètre.

#### 3.2.2.3. *Suivi intermittence*

Le suivi intermittence est appliqué une fois par semaine tant que la totalité du linéaire du cours d'eau n'est pas en écoulement (sur les 330 premiers mètres). L'objectif de ce suivi est de caractériser le régime du cours d'eau et de comparer la situation actuelle et celle après restauration. Le protocole suivi est celui de l'ONEMA élaboré en 2016 (Annexe 7.2), protocole qui a été adapté de celui de Fritz (2006). Des tronçons de 10 mètres pendant 210 mètres puis de 20 mètres sur les 140 derniers mètres ont été délimités avec des jalons. A chaque prospection, la classe d'écoulement majoritaire est indiquée pour chaque tronçon.

#### 3.2.2.4. *Macro-invertébrés*

Les macro-invertébrés sont un des indicateurs de la qualité biologique du milieu dont le suivi de l'évolution avant et après restauration est prévu. Le suivi des macro-invertébrés se base sur un protocole adapté aux cours d'eau de rang 1 (Annexe 7.3). Deux stations ayant des caractéristiques différentes ont été choisies pour mettre en œuvre ce protocole : l'une à l'amont du cours d'eau, la plus dégradée morphologiquement et l'autre à l'aval. Trois phases de prélèvement ont été effectuées :

- Phase A : prélèvement de 5 substrats biogènes dans des faciès d'écoulement différents afin d'optimiser la diversité des couples « substrats / faciès biogènes »
- Phase B : prélèvement sur un substrat peu biogène
- Phase C : 6 prélèvements supplémentaires décomposés en 4 prélèvements sur substrats biogènes et 2 prélèvements sur substrats peu biogènes.

Les substrats sont échantillonnés selon l'ordre d'habitabilité. Sur la Noë Molic nous avons effectué des prélèvements sur 2 stations : une à l'amont avec 6 prélèvements (phases A et B) et une à l'aval avec 12 prélèvements. En effet, dans le cadre du stage de Laura Mondésir qui complète celui de Guillaume Bouas (cf. Bibliographie 2.4.) ces stations ont pour but de valider les hypothèses d'un protocole à 6 prélèvements. La détermination se fait jusqu'à la famille (détermination niveau A) ou jusqu'au genre (Détermination niveau B) selon les taxons imposés par la norme XPT 90 388.

#### 3.2.2.5. *Pêches électriques*

L'objectif de la pêche électrique est d'identifier et de quantifier les espèces piscicoles présentes dans le cours d'eau principal. Le « sondage » piscicole consiste en la prospection en une seule fois en continu de la station de pêche : pour la Noë Molic le linéaire de 350 m (du pont jusqu'à l'amont du cours d'eau) à l'aide du martin pêcheur. Tous les poissons capturés sont déterminés, dénombrés et mesurés. Pour une meilleure appréhension de la répartition spatiale des poissons, ceux-ci sont mesurés et relevés par tronçon. Ces tronçons correspondent à ceux du suivi intermittence.

#### 3.2.2.6. *Informations sur la Continuité Ecologique(ICE)*

Afin de caractériser l'obstacle présent à l'aval du site (Figure 13 p. 29) et de savoir s'il est considéré comme franchissable, le protocole ICE de l'Onema (2014) a été effectué. Les mesures du profil en long de l'obstacle ont été faites avec une mire et un niveau. Un diagnostic de la franchissabilité à la montaison est ensuite effectué avec les arbres décisionnels du guide ICE (ONEMA Baudoin et al. 2014). Les poissons étudiés et le groupe ICE associé : Truite fario (*Salmo trutta*) groupe 4b (les petits géniteurs 15/30 cm), Vairon (*Phoxinus phoxinus*) groupe 10, Loche franche (*Barbatula barbatula*) et le chabot (*Cottus gobio*) groupe 9b avec la Lamproie de Planer (*Lampetra planeri*).

### 3.2.3. Suivis d'ordre général

#### 3.2.3.1. Pluviométrie

Afin d'avoir des informations précises sur les conditions pluviométriques, un pluviomètre automatique a été installé le 19 septembre 2016 près du site de la Noë Molic (à 500 m) dans une clairière dépourvue d'arbres. C'est un pluviomètre (HOBO) à auget basculant qui enregistre chaque évènement de 0,2 mm. Un agent de l'AFB relève manuellement sur le même site les données de pluies sur un pluviomètre à lecture directe tous les jours ou tous les deux jours. Ces mesures sont utiles pour les comparer à celles du pluviomètre automatique et pour compléter les données lorsque celles du pluviomètre sont manquantes.

#### 3.2.3.2. pH et conductivité

Le but de ce protocole est de déterminer la provenance de l'eau du cours d'eau (alimentation plutôt par les eaux de pluie ou plutôt par la nappe souterraine). Des mesures de pH et de conductivités sont prises manuellement avec une sonde Hanna HI 9813-5 étalonnée auparavant. Elle est nettoyée à l'eau entre chaque mesure. Au total, trois mesures ont été effectuées sur 15 points dans chaque piézomètre, 3 points dans le cours d'eau principal et un point dans le cours d'eau secondaire. (Figure 12).

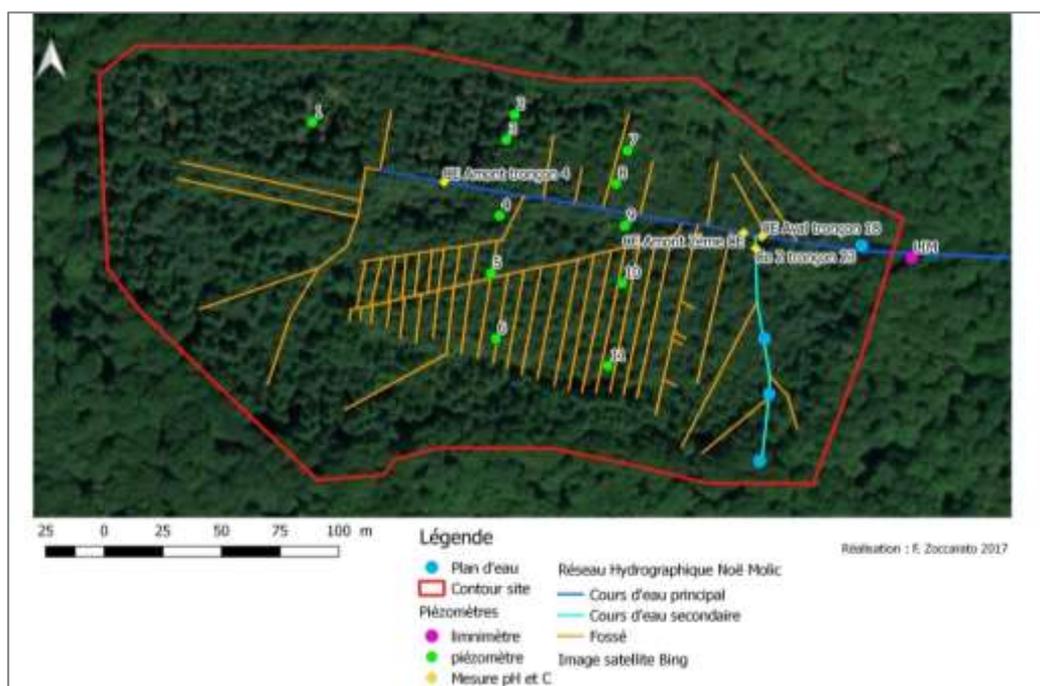


Figure 12 : Mesures de pH et conductivité dans les cours d'eau de la Noë Molic

Les suivis sont réalisés suivant des protocoles et des échelles différentes comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Présentation des différents suivis mis en place pour le site de la Noë Molic sur l'année (2016/2017)

<b>Suivi</b>	<b>Echelle</b>	<b>Taille / nombre</b>	<b>Fréquence</b>
Botanique	site entier	5 ha	2 fois
Piezomètres	station	11	mesures automatiques toutes les 15 min
Mesure manuelle hauteurs d'eau dans piézomètres	stations	11 piézomètres	1 fois
Limnimètre	station	1	mesures automatique toutes les 15 min
Pluviomètre	station	1	A chaque évènement (= 0,2 mm)
Caractérisation des fossés	linéaire	2,2 km	1 fois
Mesure débits	station	6	Entre 4 et 7 fois
Topographie	station	21	1 fois
Pédologie	station	12	1 fois
IBGN modifié	station	2 stations de 6 prélèvements / stations	1 fois
Pêche électrique	linéaire	350 m	2 fois
Hydromorphologie	linéaire	350 m	1 fois
Bâtonnets CARHYCE	station	3 stations (4 bâtonnets/stations)	Relève des bâtonnets 1 mois après
ICE	linéaire	15 m	1 fois
Intermittence	tronçons de 10 et 20 m sur un linéaire de 350 m (une mesure de hauteur d'eau par tronçon)	350 m	toutes les semaines tant que le cours d'eau n'est pas en écoulement totalement

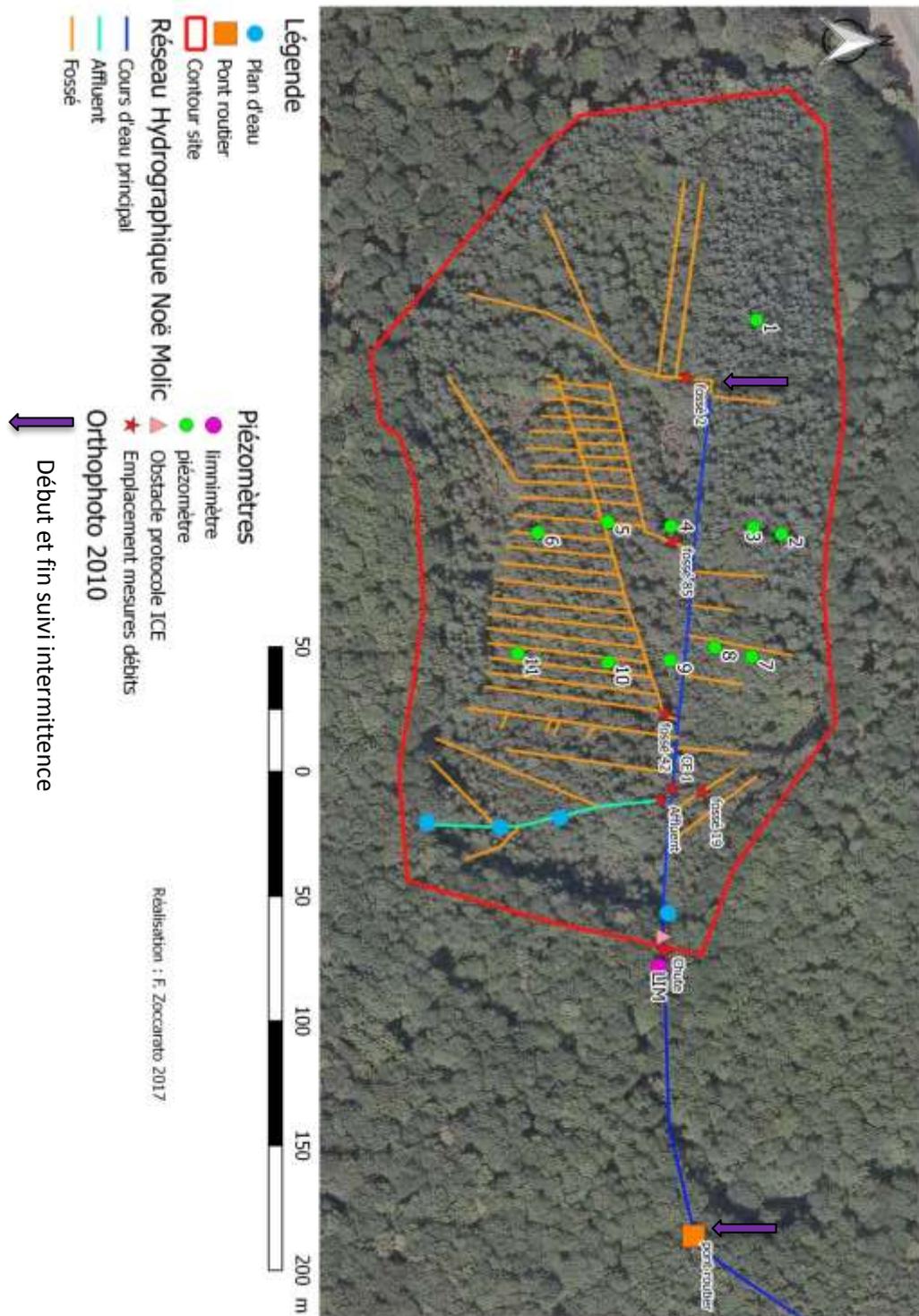


Figure 13 : Carte présentant les différents suivis mis en place sur le site de la Noë Molic

### 3.3. Les résultats des suivis

Les périodes des suivis réalisés sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Différents suivis mis en place de juin 2016 à Août 2017.

	juin-16	juil-16	août-16	sept-16	oct-16	nov-16	déc-16	janv-17	févr-17	mars-17	avr-17	mai-17	juin-17	juil-17	août-17
Etude botanique		x													
Piézomètres (hauteur d'eau et température de l'eau) 1,2,3,4,7,8															
Piézomètres (hauteur d'eau et température de l'eau) 9,10,11															
Piézomètre (6 et 5)															
Géométrie fossés										x	x				
Mesures de débits fossés et CE										x x					
Topographie											x				
Pédologie											x x				
Hydromorphologie CE				x											
Colmatage (bâtonnets CARHYCE)															
Limnimètre															
Intermittence															
Macro-invertébrés											x				
Pêche électrique											x				
Pluviomètre à auget basculant															
Pluviomètre à lecture manuelle															
pH et conductivité												xxx			

X : suivis ponctuel ; case pleine : suivis sur toute la période (fréquence tableau 3)

A noter que les piézomètres n'ont pas tous été installés au même moment. Suite à une erreur de manipulation et à des défauts de matériels, les chroniques d'octobre et novembre 2016 des piézomètres 5 et 6 et du pluviomètre ont été perdues.

#### 3.3.1. Bilan pluviométrique

Les chroniques de pluies s'échelonnent de juin 2016 à Août 2017. Nous considérons qu'une année hydrique commence le premier septembre. Le tableau 2 résume les précipitations (relevées manuellement) de juin 2016 à Août 2017 ainsi que les précipitations dites « normales » de Lorient<sup>5</sup> données par Météo France.

Tableau 5 : Contexte année climatique, différence des précipitations entre l'année considérée et les précipitations normales (Lorient) Source Météo France :

Précipitations (mm)		Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
P Normales Lorient (sources : MétéoFrance)		70,5	104,4	103	111,7	108,3	82,6	72,9	67,2	74,6	50,4	56	49,3
Année 2015-2016	Précipitations (mm)										110	11	22
	Différence avec P Normales										59,6	-45	-27,3
Année 2016-2017	Précipitations (mm)	38	57	104	49	71	114	88	26	78	36	56	42
	Différence avec P normales	-32,5	-47,4	1	-62,7	-37,3	31,4	15,1	-41,2	3,4	-14,4	0	-7,3

L'année 2016-2017 présente un déficit de précipitation de presque 200 mm par rapport à une année normale. Ce sont les mois d'octobre, décembre et avril les plus déficitaires. Le tableau de l'ensemble des précipitations des relevés manuels est en Annexe 7.6.

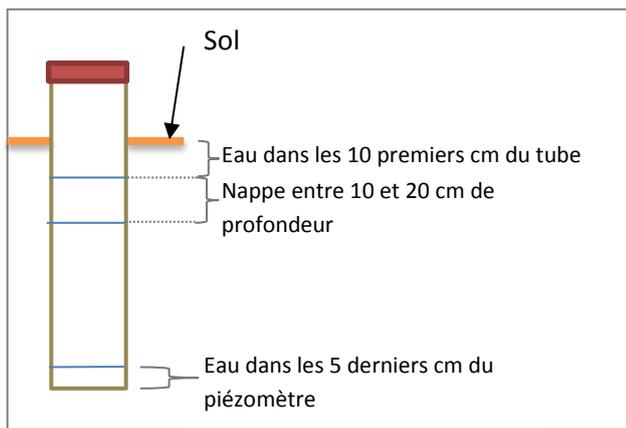
L'évapotranspiration moyenne mensuelle (ETP) a été estimée à partir de la formule de Thornthwaite (7.4).

#### 3.3.2. Bilan piézométrique

A partir du jeu de données disponible, nous avons essayé de comprendre : le fonctionnement spatial du site, son fonctionnement temporel et la relation nappe cours d'eau.

##### 3.3.2.1. Analyse des fréquences de présence de la nappe

<sup>5</sup> Lorient est à environ 30 km du site de la Noë Molic



Les fréquences de hauteur du plafond de la nappe sont calculées en fonction du nombre totale de mesures sur la chronique de septembre 2016 à Août 2017 en sachant que les sondes mesurent des hauteurs d'eau toutes les 15 min. Les fréquences pour la présence du plafond de la nappe ont été calculées pour 3 classes de hauteur d'eau : dans les 5 derniers cm du piézomètre, dans les 10 premiers et entre 10 et 20 cm (Figure 14)

Figure 14 : Schéma explicatif pour le tableau des fréquences de profondeur et sont les suivantes :

Tableau 6 : Fréquence des hauteurs d'eau dans les 5 derniers cm du tube, dans les 20 premiers et dans les 10 premiers cm de sol pour chaque piézomètre sur l'ensemble des chroniques (de septembre 2016 à Août 2017)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Fréquence de présence du plafond de la nappe dans les 5 derniers cm du tube	0,673	0,567	0,320	0,132	0,000	0,000	0,010	0,000	0,115	0,114	0,000
Fréquence de présence de la nappe entre 10 et 20 cm de profondeur	0,042	0,000	0,006	0,004	0,193	0,160	0,024	0,144	0,080	0,274	0,447
Fréquence de présence de la nappe dans les 10 premiers cm du sol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,424	0,226	0,591	0,032	0,097	0,019

L'analyse des fréquences des hauteurs semble montrer un comportement identique de la nappe dans certains piézomètres. Les piézomètres 1 et 2 sont plus de la moitié du temps vides ou presque. La nappe d'eau au niveau des piézomètres 6 et 8 est souvent proche de la surface (dans les 20 premiers cm). Le piézomètre 8 est plus de la moitié du temps en eau jusqu'aux 10 premiers centimètres. La hauteur d'eau dans le piézomètre n° 5 n'est jamais dans les derniers ou premiers centimètres.

### 3.3.2.2. Analyse des chroniques mises en rapport avec l'ETP

Pour faciliter la lecture du graphique seul le niveau d'eau dans le piézomètre n° 7 est représenté (Figure 15).

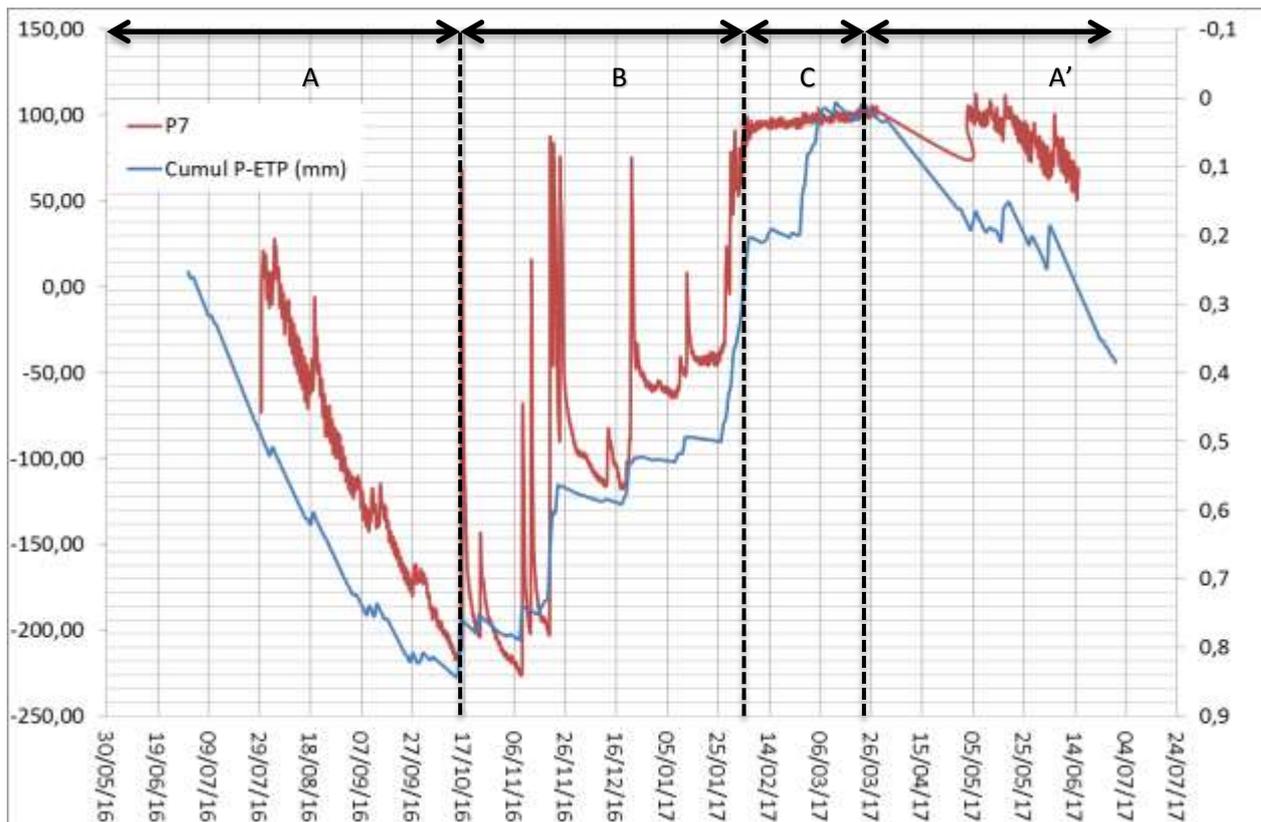


Figure 15: Précipitation efficace (mm) (axe de gauche) et profondeur du niveau d'eau dans le piézomètre 7 (m) (axe de droite) sur la période juillet 2016 à juillet 2017

Trois phases peuvent être distinguées :

- **La phase A (de juillet 2016 au 14 octobre 2016 et phase A' à partir du 23 mars 2017)** correspond à une période de pluies efficaces déficitaires ( $P-ETP < 0$ ). Le niveau d'eau dans le sol diminue quasiment en continu.
- **La phase B (du 15 octobre 2016 au 4 février 2017)** correspond à des pluies efficaces qui deviennent positives. Les pluies s'intensifient. Le niveau d'eau dans le sol fluctue beaucoup. Il augmente globalement au cours de cette période.
- **La phase C (du 5 février 2017 au 22 mars 2017)** correspond à la période où le niveau d'eau dans le sol est plus stable et au passage du cumul P-ETP à des valeurs positives.

Les courbes des autres piézomètres sont présentées en Annexe 7.6. Il apparaît que globalement tous les piézomètres présentent ce schéma en 4 phases. Cependant certaines nuances apparaissent :

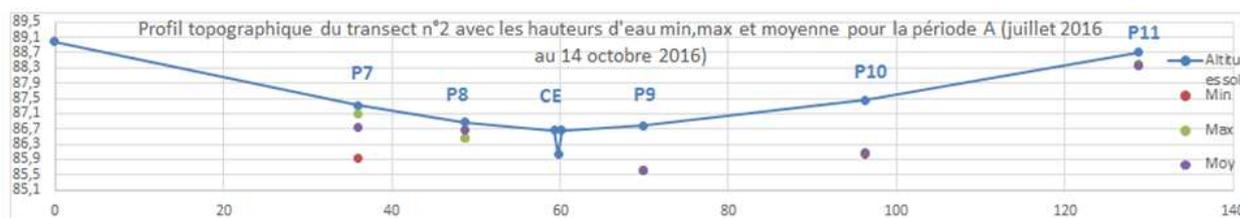
- Les piézomètres 2,3, 6 et 8 fonctionnent de façon similaire au piézomètre 7 avec cependant une plus grande amplitude pour les piézomètres 2 et 3.
- Pour les piézomètres 4 et 9 qui sont les piézomètres en rive droite les plus proches du cours d'eau, la phase C est moins visible et marquée. En effet contrairement au piézomètre 7, le niveau d'eau n'est pas stable pendant cette période.
- Le piézomètre 10 présente de grandes amplitudes, surtout pendant la phase B.
- Pour les piézomètres 11 et 5, la nappe d'eau est proche de la surface et ne présente pas de diminution du niveau d'eau évident lors de la phase A.

- Enfin, le piézomètre 1 ne présente pas d'eau pendant toutes les périodes A et B. Le niveau d'eau dans le sol augmente fortement pendant la phase C, jusqu'à atteindre une profondeur entre 10 et 20 cm par rapport au sol en mars. Enfin il chute pendant la deuxième phase A (appelée phase A').

### 3.3.2.3. Relation nappe cours d'eau

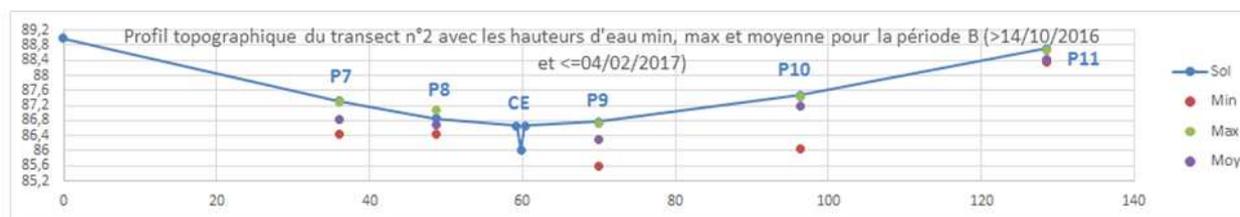
Des profils en long ont été réalisés sur les deux transects avec les niveaux d'eau minimum, maximum et moyens ainsi que l'altitude du fond du cours d'eau pour 3 des 4 périodes identifiées (A, B, C). Le premier transect comporte les piézomètres 2, 3, 4, 5 et 6 et le deuxième les 7, 8, 9, 10 et 11.

#### Période A (de juillet 2016 au 14 octobre 2016):



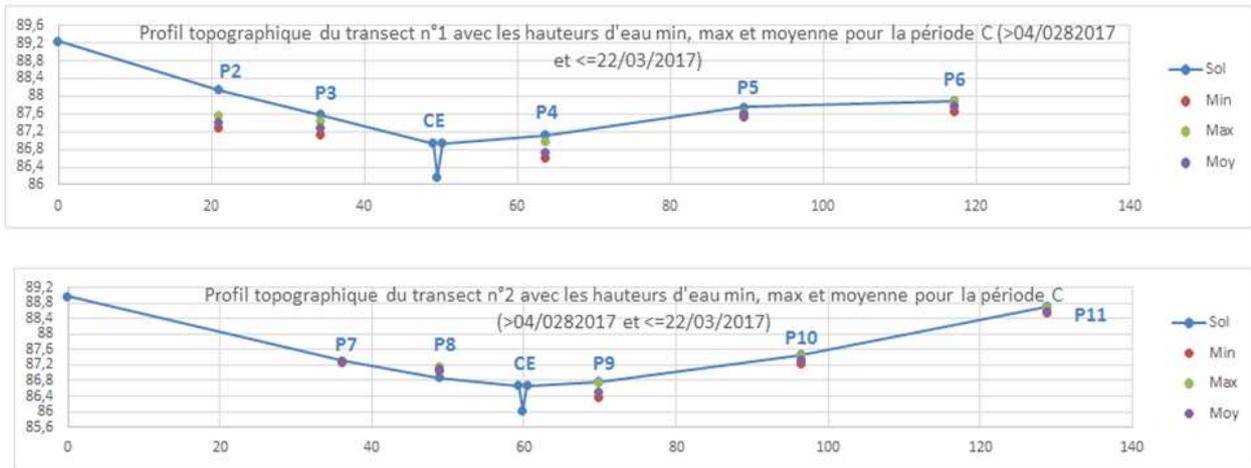
Au niveau du transect 1, les hauteurs d'eau moyennes dans les piézomètres sont en dessous du fond du lit du cours d'eau pour les piézomètres 3 et 4. Au niveau du transect 2, les hauteurs moyennes d'eau sont en dessous du fond du lit pour P9 et à la même altitude pour P10. Pour les autres piézomètres en moyenne les hauteurs d'eau sont bien au-dessus du cours d'eau.

#### Période B (du 15 octobre 2016 au 4 février 2017) :



L'eau dans les piézomètres est en moyenne au-dessus du lit du cours d'eau (sauf pour le piézomètre 3 dont la hauteur se situe proche de celle du cours d'eau). Les piézomètres 5 et 6 sont eux bien au-dessus. Cependant il faut considérer que ces valeurs ne sont pas représentatives de toute la période B, en effet les mesures des piézomètres ne commencent qu'en décembre (le 12).

#### Période C (du 5 février 2017 au 22 mars 2017) :



Des deux côtés du cours d'eau, l'eau dans la nappe est tout le temps au-dessus du fond du cours d'eau.

### 3.3.3. Bilan limnimétrique

Durant l'année étudiée (septembre 2016 à août 2017) les niveaux d'eau du cours d'eau ont été bas, la moyenne est de 5,21 cm de hauteur. Le maximum atteint est de 14,4 cm en novembre. La mise en perspective fine de la réaction du cours d'eau (temps de réponse) par rapport aux pluies n'a pu être réalisée. Il est cependant possible de dire que l'évolution générale du niveau du cours d'eau suit les précipitations. Le cours d'eau semble réagir fortement à la pluviométrie (Figure 16).

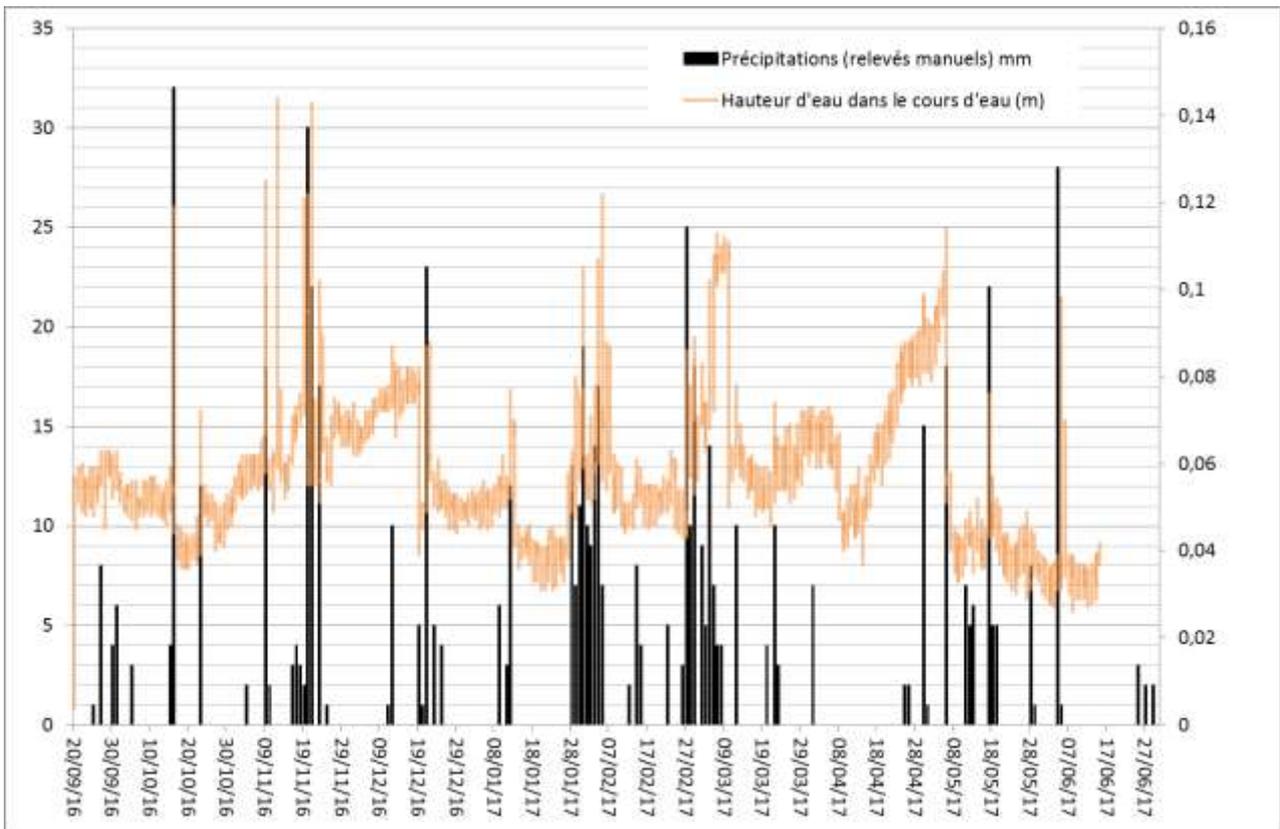


Figure 16 : Niveau d'eau en mètre dans le limnimètre (axe de droite) et précipitations (axe de gauche) mm du 20 septembre 2016 à juin 2017

### 3.3.4. pH et conductivité

Trois mesures de pH et conductivité ont été prises les 10 et 18 avril et le 2 mai 2017 (Annexe 7.7)

Les piézomètres 1, 2 et 9 n'ont pas pu être mesurés car le niveau d'eau dans le sol était trop bas. Trois mesures semblent incohérentes du fait sans doute d'un capteur défectueux.

Les mesures de pH sont très variables pour un même point. Il n'y a pas de tendance visible. Les données de conductivités sont plus homogènes que celles du pH dans le temps. Elles traduisent un milieu globalement oligotrophe.

### 3.3.5. Caractérisation du réseau de fossés

La Noë Molic présente un réseau de fossés très dense, d'environ 2,2 km de fossés pour 5 ha de site. Ils possèdent tous une section très artificielle en forme de U avec deux types de gabarits. Les grands fossés et collecteurs présentent les dimensions suivantes (LpbxHpb) en cm : 130X80, tandis que le réseau de peigne et les fossés isolés sont plus petits : 80x50. Ils semblent pour la plupart très encombrés avec une hauteur moyenne de sédiments de 19 cm. Les fossés ont des pentes moyennes comprises entre 3 et 5 %, et quelques fossés à l'aval atteignant les 7 à 10 % (Annexe 7.8).

Le pourcentage d'obstruction de la section du fossé<sup>6</sup> et l'obstruction linéaire<sup>7</sup> ont été mesurés quand cela était possible (Annexe 7.8). La prospection a été rendu difficile voir localement impossible du fait de la présence des rémanents. Il en ressort que moins de 50 % du linéaire des fossés est bouché. Quand les bouchons existent, ils sont en majorité de la même dimension que la section du fossé (Annexe 7.8).

### 3.3.6. Les débits

Les différentes mesures de débits des fossés sont présentées dans le graphique ci-après (Figure 17).

L'estimation des incertitudes est calculée avec un niveau de confiance à 95 % d'après la méthode présentée par le guide technique Police de l'eau (Le Coz et *al.* 2011).

---

<sup>6</sup> Obstruction de la section du fossé = dimension de l'obstacle (m<sup>2</sup>) / section du fossé (m<sup>2</sup>)

<sup>7</sup> Obstruction linéaire = longueur d'obstacle (m) / longueur total du fossé (m)

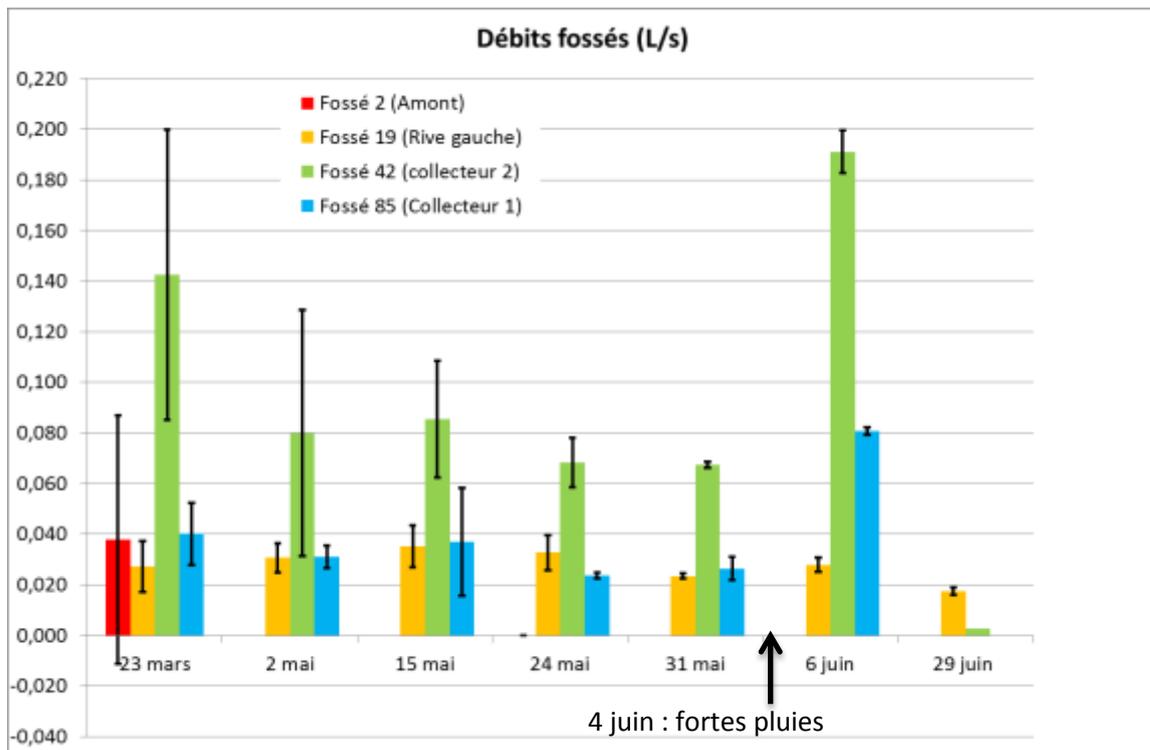


Figure 17 : Débits de différents fossés mesurés avec la méthode par capacité avec l'estimation des incertitudes (k=2)

Au niveau de la quantité d'eau, le fossé 42 a un débit tout le temps plus élevé que les autres. Les autres fossés sont quant à eux à peu près dans les mêmes gammes à l'exception du 2 qui était sec entre le 23 mars et le 2 mai.

Le fossé 19 est le plus régulier dans le temps avec un débit entre 0,020 et 0,04 l/s excepté pour la fin du mois de juin où les niveaux d'eau étaient très bas. Les autres sont variables. A noter que le 4 juin une pluie de 28 mm est survenue ce qui explique les variations de débits dans les fossés le 6 juin.

Sur l'ensemble de ces fossés il peut transiter jusqu'à 26 000 L par jour (maximum mesuré).

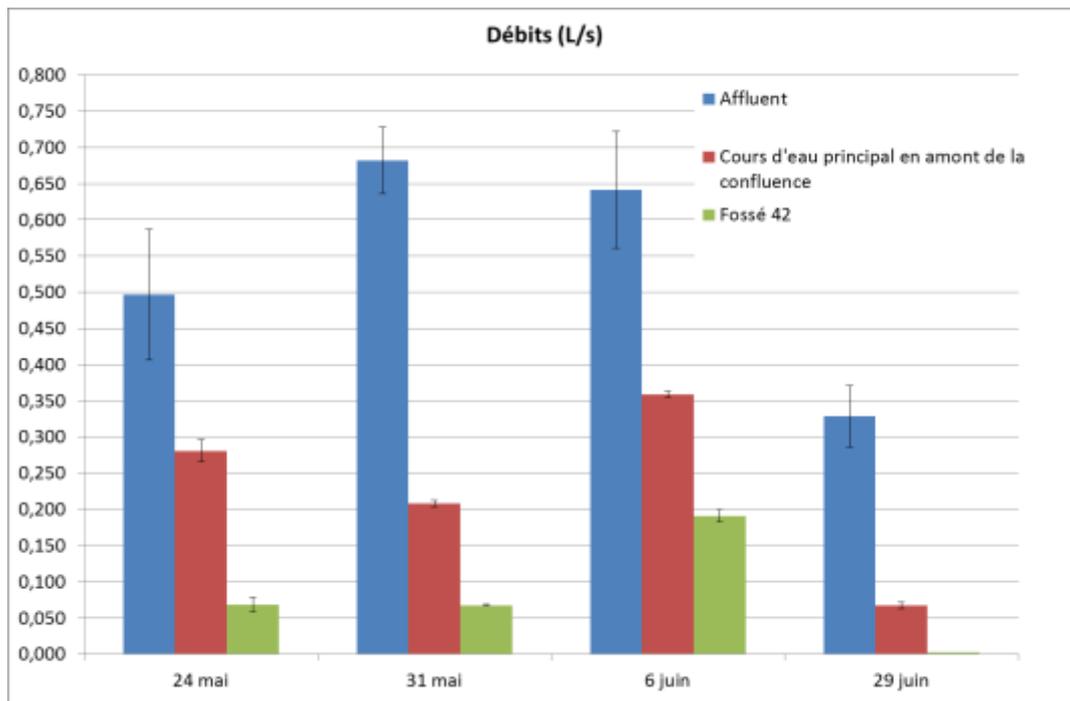


Figure 18 : Débits des cours d'eau mesurés avec la méthode par capacité avec l'estimation des incertitudes (k=2)

Au printemps c'est le cours d'eau affluent qui apporte le plus d'eau. En effet, son débit est parfois 2 fois supérieur à celui du cours d'eau principal. Il apparaît qu'une alimentation importante du cours d'eau principal s'effectue par le fossé 42 (25 voire 50 %). Ainsi, en période sèche (exemple 24 mai) 33 % de la quantité d'eau du cours d'eau principal amont provient des collecteurs. Et après une forte pluie (exemple 6 juin) 75 % des volumes du cours d'eau principal seraient fournis par les collecteurs (le 42 en majorité).

### 3.3.7. Analyse de la franchissabilité piscicole

Les mesures du profil en long de l'obstacle ainsi que des hauteurs d'eau sont présentées ci-dessous (Figure 19). L'obstacle est composé d'un premier seuil d'artificiel puis d'une chute. Il s'agit d'un obstacle composé, les poissons doivent pouvoir franchir les deux : seuil et chute.

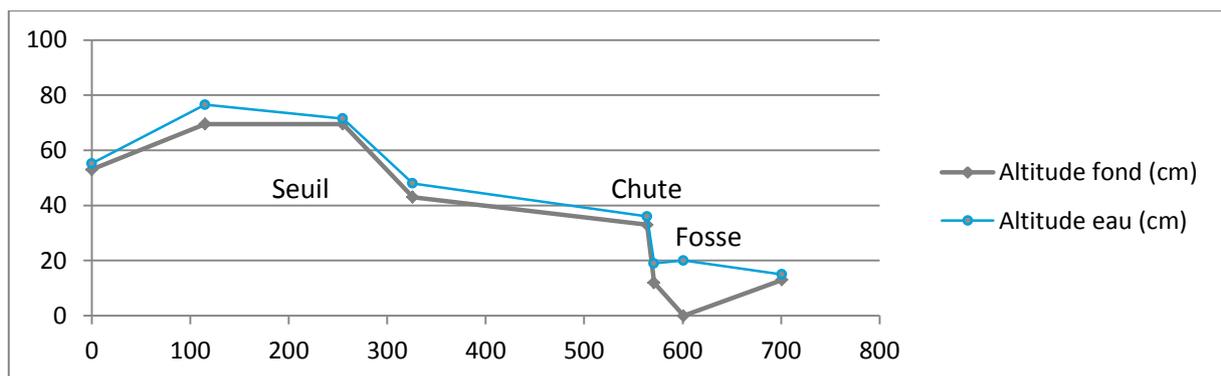


Figure 19 : Profil en long de l'obstacle présent à l'aval de la mare de la Noë Molic

Le seuil à l'amont n'est pas franchissable pour les espèces non sauteuses. Les hauteurs d'eau sont trop faibles et la hauteur de seuil trop importante (jet plongeant).

La chute à l'aval est assimilée à un seuil à parement incliné, présentant une chute de 16 cm à l'aval (Figure 20)

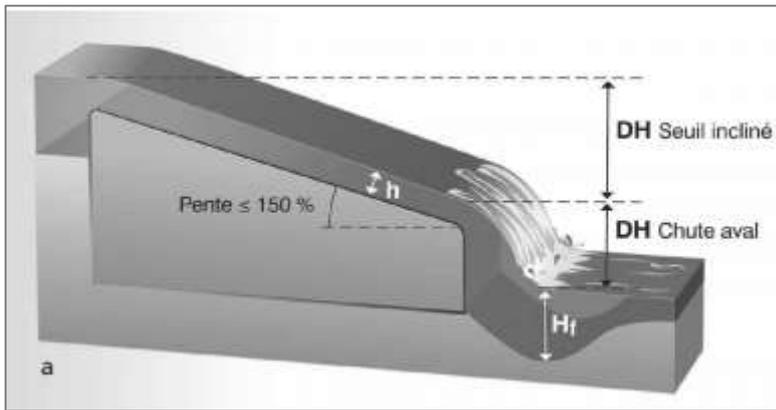


Figure 20 : Schéma type d'un seuil à parement incliné présentant une chute à l'aval

Les caractéristiques de l'obstacle sont les suivantes : Hauteur d'eau  $h = 5$  cm ; Hauteur de chute du seuil incliné  $D_H \text{ seuil incliné} = 12$  cm, Hauteur de chute à l'aval  $D_H \text{ chute aval} = 16$  cm et la hauteur de la fosse en pied d'obstacle  $H_f = 20$  cm.

Pour les truites de petites tailles c'est la hauteur de fosse qui n'est pas assez élevée. Une fosse de 30 cm serait nécessaire. Pour les autres poissons c'est le jet de la chute qui est trop plongeant ( $D_H \gg h$ ).

Pour les trois groupes étudiés l'obstacle est considéré infranchissable (Classe ICE = 0)

### 3.3.8. Intermittence

Les relevés d'intermittence sont présentés en annexe 7.9. Les 170 derniers mètres après la confluence avec l'affluent présentent un écoulement permanent. Pour l'année 2016 – 2017, les 40 premiers mètres ont été sans eau pendant 7 mois. Le ruisseau a été totalement en écoulement pendant les mois de mars et d'avril.

### 3.3.9. Relevés botaniques de l'année 2016

Une carte des habitats Eunis a été effectuée (Annexe 7.10). Afin de faire abstraction de la plantation de conifère qui occupe 87 % du site, une cartographie prenant en compte la végétation spontanée et l'habitat potentiel a été réalisée.

Deux habitats font partie de la liste des habitats naturels d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation de Zones de Protection Spéciale (ZPS) (Annexe I de la Directive Habitat-Faune-Flore, 1992) : les Landes humides atlantiques tempérées à *Erica ciliaris* et *Erica tetralix* (4020) et les Tourbières boisées (91D0 \*). Parmi les espèces végétales, l'If présent sur le site est le seul à avoir un statut de protection : Il est protégé de la coupe et de l'abattage dans le Morbihan. Quelques espèces particulières ont été repérées et cartographiées (Annexe 7.11) : la Bruyère de Watson (*Erica watsonii*), La Campanule à feuilles de lierre (*Wahlenbergia hederacea*), l'Osmonde royale (*Osmunda regalis*) et le *Trichocolea tomentella*.

L'indice d'Ellenberg relatif à l'hydromorphie a été traduit sous forme de carte (Annexe 7.12).

### 3.3.10. Hydromorphologie du cours d'eau

L'étude de son profil en long et des profils en travers (Figure 21) donne les résultats suivants :

Tableau 7 : Moyennes des différents paramètres morphologiques du cours d'eau

Paramètres	Moyenne
Lpb (m)	1,227
Hpb (m)	0,502
Lpb/Hpb	3,11
Pente (%)	1,883

Ce suivi permet de distinguer 6 segments morphologiquement homogènes <sup>8</sup>:

<sup>8</sup> Un segment est une entité morphologique homogène obtenu en couplant les 5 facteurs suivants (talweg, profil en long, tracé en plan, profil en travers et occupation des sols). Le changement significatif d'un de ces critères entraîne la création d'un nouveau segment. A chaque confluence avec un cours d'eau, il est essentiel de créer un nouveau segment. (Le Bihan, 2017)

- SEGMENT 1 : Il présente des phénomènes d'exhaussement du profil en long très ponctuels avec un gabarit fortement recalibré. L'amont du cours d'eau est composé essentiellement de terre végétale. La première apparition de sédiments se fait à 120 mètres de l'amont. A noter que ce changement de composition correspond à l'embranchement du cours d'eau avec le collecteur 85.
- SEGMENT 2 : Il a un profil en long plus naturel avec une succession marquée de radiers. Les berges plus basses sont plus proches d'un gabarit naturel. Il débute à la confluence avec l'affluent.
- SEGMENT 3 : Il présente une pente sous l'influence du seuil au sein d'un lit recalibré et comporte le plan d'eau créé par ce seuil. Le fond du lit est essentiellement composé de limon.
- SEGMENT 4 : C'est un linéaire court à l'aval du plan d'eau, sa pente est marquée. Le lit est rectifié et recalibré avec des berges hautes. A partir du segment 4 nous rencontrons principalement du sable et des graviers fins.
- SEGMENT 5 : Il développe un linéaire à plus faible pente sous l'influence du pont routier qui présente des méandres en formation.
- SEGMENT 6 : Il commence à partir de la route et présente une pente de nouveau plus marquée au sein d'un lit recalibré. A noter que la granulométrie dominante n'a pas été évaluée

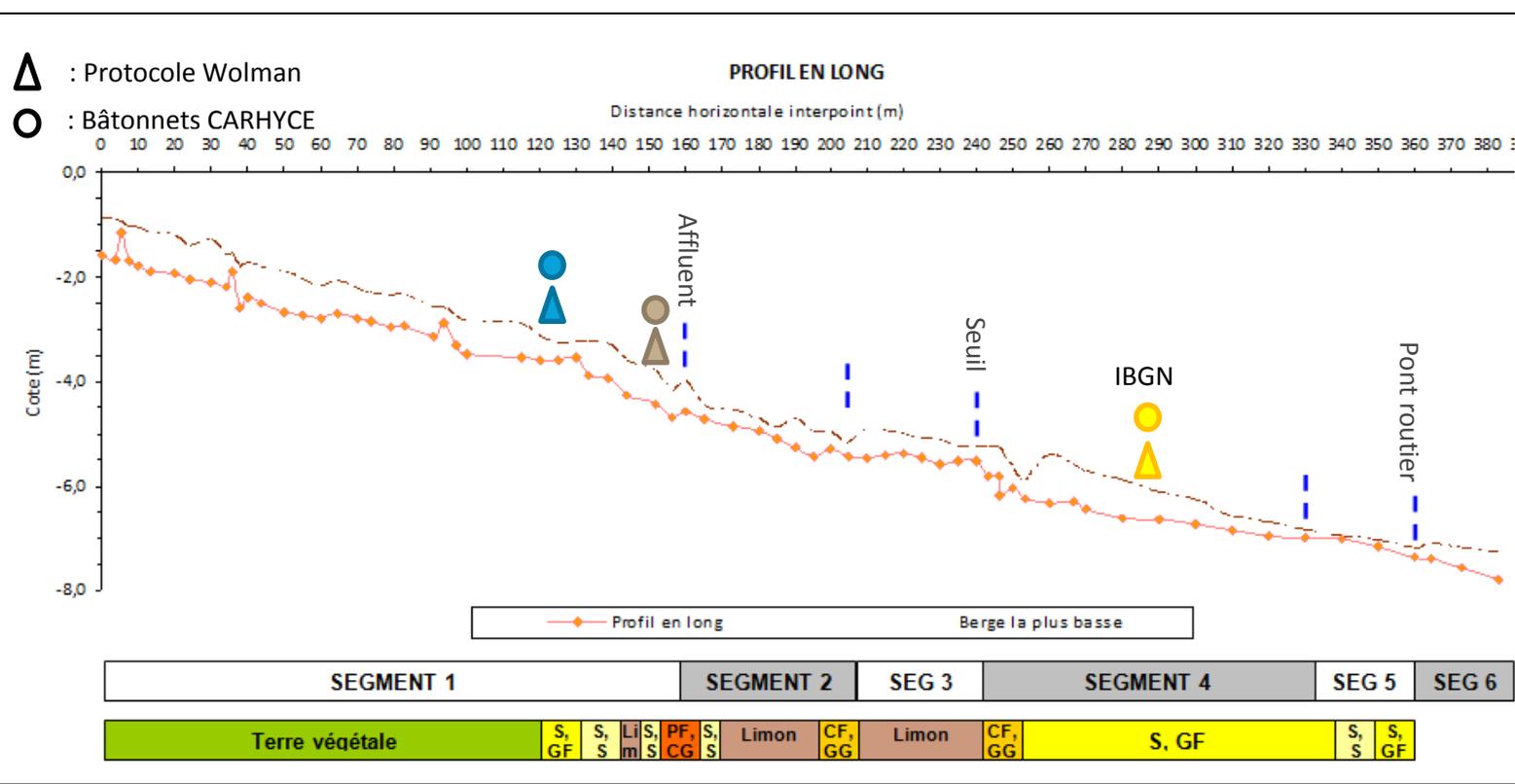


Figure 21 : Profil en long du cours d'eau principal de la Noë Molic, segments homogènes, granulométrie dominante et localisation des différents protocoles mis en place sur les radiers (Wolman, CARHYCE et IBGN).

La moyenne d'épaisseur d'armure mesurée est de 20,4 cm avec de grandes variations mais pas de tendance particulière aval par rapport à l'amont du cours d'eau.

Le graphique ci-dessous présente la répartition granulométrique d'après le protocole Wolman :

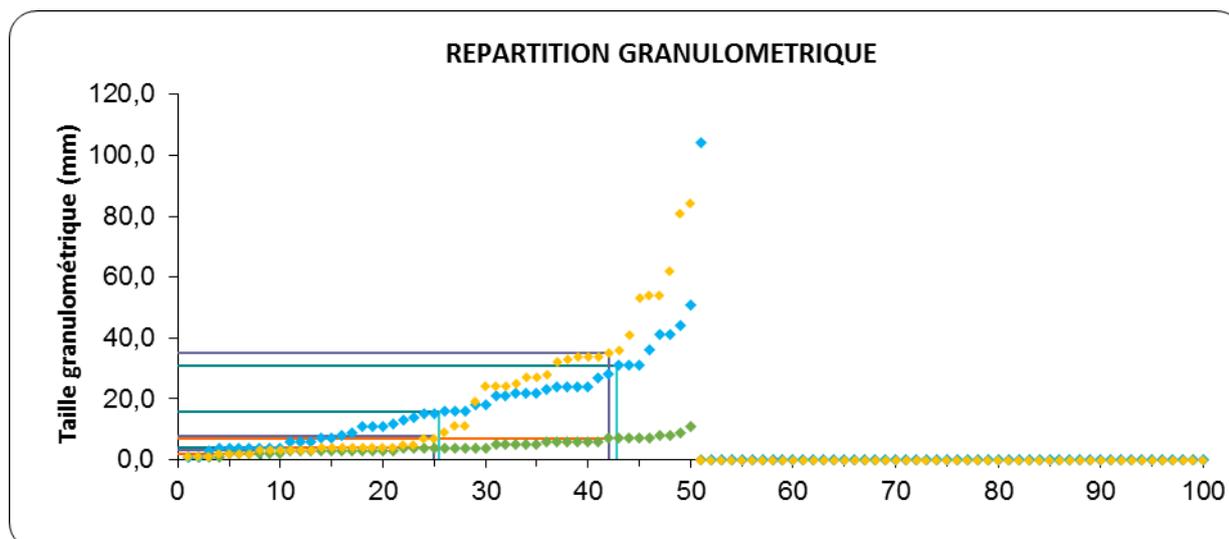


Figure 22 : Répartition granulométrique des 3 woldmans Amont (vert), Médian (Bleu) et Aval (Jaune) effectués sur le site de la Noë Molic

La radier amont présente une faible étendue granulométrique avec des éléments de petits diamètres inférieurs à 15 mm. Ce radier est composé de sables, graviers fins et quelques graviers grossiers. Les radiers médian et aval ont une granulométrie plus hétérogène et grossière que le premier radier avec toutefois peu d'éléments de grosse taille, ils sont majoritairement composés de sables, de graviers et de cailloux fins.

Le cours d'eau ne présente pas une grande diversité de faciès d'écoulement (figure 23). En effet, plus de 60 % du linéaire prospecté présente un faciès de plat lentique (PL). Les radiers qui représentent environ 8 %, n'apparaissent qu'à partir du 126<sup>ème</sup> mètre à partir de l'amont du cours d'eau. De petits obstacles (chevelus racinaires, bois morts....) interviennent régulièrement et provoquent des ruptures de pente (CH). La hauteur moyenne de ces chutes est de 29 cm.

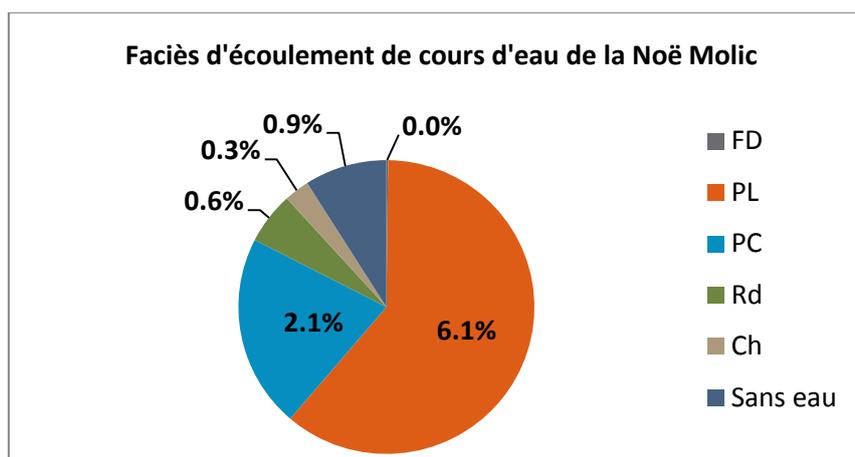


Figure 23 : Répartition linéaire des faciès d'écoulement de la Noë Molic du 25 Avril 2016 (FD = Fosse de dissipation ; PL = Plat lentique (V < 30 cm/s) ; PC = Plat courant (V > 30 cm/s, pente douce) ; Rd = Radier (V > 30 cm/s, pente moyenne) ; Ch = Chute (Rupture de pente, écoulement vertical))

Une fosse de dissipation (FD) est présente après l'obstacle ICE. Enfin les faciès d'écoulement Mouille de concavité (MC) et Rapide<sup>9</sup> (Rap) n'ont pas été identifiés sur le terrain.

Les résultats concernant le colmatage ont été appréciés à partir de l'évaluation de l'oxygénation<sup>10</sup> :

Tableau 8 : Evaluation de l'oxygénation du cours d'eau de la Noë Molic avec des bâtonnets CARHYCE (NS = tâche Non significative)

Segment <sup>11</sup>	Nombre de bâtonnet	Profondeur moyenne d'apparition d'une coloration (cm)	Ecart type	Remarques
1	4	26,2	1,66	1 NS
1	4	10,2	1,13	2 NS
4	3 <sup>12</sup>	14	7,21	

Le premier radier présente un colmatage quasi inexistant. Pour le second radier, 2 bâtonnets présentent une coloration à partir de 10 cm, soit un colmatage plus important, les 2 autres ne montrent aucune coloration significative. Sur le segment 4 (le dernier radier) les résultats sont plus variables sur le colmatage. La moyenne d'apparition du colmatage est de 14 cm. Le colmatage interstitiel serait faible à l'amont du cours d'eau et plus important à l'aval.

Concernant le colmatage superficiel (méthode Archambaud), son appréciation met en évidence un faible colmatage sur l'ensemble du cours d'eau excepté sur les tronçons où le limon domine (Figure 21).

### 3.3.11. Macro-invertébrés

Par manque de temps, la première station n'a pas été triée et déterminée cependant une comparaison a été faite entre les 6 premiers prélèvements et la totalité de la deuxième station.

Le cours d'eau est très dégradé morphologiquement, les faciès d'écoulement sont peu différenciables et la diversité des substrats est faible. Les prélèvements n'ont pu être réalisés que dans des débris organiques grossiers et des graviers.

Tableau 9 : Différentes données calculées pour la station 2 aval du cours d'eau de la Noë Molic

Richesse taxonomique 6 prélèvements	35
Richesse Taxonomique 12 prélèvements	46
Richesse EPT 6 prélèvements	17
Richesse EPT 8 prélèvements	23
Richesse EPT 12 prélèvements	26
Abondance 6 prélèvements	981
Abondance 8 prélèvements	1070
Abondance 12 prélèvements	2587

<sup>9</sup> Rap = Rapide ( $V > 30$  cm/s, pente forte)

<sup>11</sup> Les numéros de segments correspondent à ceux présentés

<sup>12</sup> Le nombre de bâtonnet est réduit à 3 car la mise en place du quatrième bâtonnet a échoué. Malgré 2 tentatives les bâtonnets étaient trop enfoncés dans le substrat pour pouvoir les retrouver.

Groupe Indicateur (6 prélèvements)	9
Taxon Indicateur	Perlodidae
IBGN (P1 à P8)	20
IBG équivalent (P1 à P6)	18

En considérant que la richesse taxonomique totale est atteinte au bout de 12 prélèvements, alors les 6 prélèvements apportent 76 % de la richesse taxonomique. Au bout du 6<sup>ème</sup> prélèvement 65 % de la richesse taxonomique des EPT<sup>13</sup> totale est atteinte. Cependant le groupe indicateur reste le même. En se basant sur les 8 premiers prélèvements (comme c'est le cas pour un IBGN classique), le cours d'eau obtient une note de 20. En revanche en calculant la note IBGN seulement avec les 6 premiers prélèvements, le cours d'eau obtient une note de 18. Dans les deux cas, cela correspond à la classe de qualité dite « très bonne ».

### 3.3.12. Pêche électrique

Uniquement des truites ont été pêchées sur un linéaire de 60 m se situant à l'amont proche de l'obstacle. Les 9 truites sont de petites tailles, 126 mm en moyenne. En calculant l'Indice Poisson Rivière (IPR), le cours d'eau obtient une note de 22.3 qui correspond à la classe 3 soit une classe de qualité « médiocre ».

### 3.3.13. Faune

Lors de la pêche électrique 18 tritons et 1 grenouille ont été pêchés. Bien qu'il n'y ait pas de suivi organisé sur le site, des observations sont cependant relevées. Elles ont mis en évidence de nombreux tritons palmés (*Lissotriton helveticus*) et larves de salamandres ainsi que diverses espèces de libellules. A noter la forte présence de l'escargot de Quimper (*Elona quimperiana* (Blainville, 1821)) qui est désigné comme espèce animale d'intérêt communautaire d'après la Directive Faune Flore Habitats (Annexe II et IV).

### 3.3.14. Pédologie

L'ensemble des relevés indique une couche de limon de 10 à 20 cm qui devient progressivement de plus en plus sableuse avec des éléments grossiers (Type Gravier grossier entre 8 et 16 mm). C'est donc un horizon très perméable qui est présent sur l'ensemble du site. Au niveau de l'hydromorphie, il y a présence d'une couche histique de 20 centimètres au niveau du piézomètre 10 (Figure 25). Les sols autour des autres piézomètres présentent tous des traces d'hydromorphie de type rédoxique plus ou moins prononcé à moins de 50 centimètres (Figure 24).



Figure 24 : Traces d'hydromorphie au niveau du piézomètre 3 (19/04/2017)

<sup>13</sup> EPT : Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères



Figure 25 : Sondage pédologique au niveau du piézomètre 10 (19/04/2017)

### 3.4. Analyses et discussions

#### 3.4.1. Les protocoles et suivis

Dans cette partie seuls les protocoles qui nécessitent des modifications et précisions sont évoqués.

##### 3.4.1.1. Mesures et estimations des précipitations

La différence entre les deux données de précipitations mensuelles est faite dans le tableau ci-dessous :

Tableau 10: Comparaison des précipitations (mm) mensuelles entre le pluviomètre à auget automatique et le pluviomètre à lecture manuelle

2016	Somme P Pluviomètre automatique	Somme P Lecture Manuelle	Différence (mm)
décembre	33,4	48	-14,6
2017			
janvier	70,6	71	-0,4
février	119,2	114	5,2
mars	77,8	88	-10,2
Avril	4,8	26	-21,2
Mai	32,0	78	-46,0
juin	0,2	36	-35,8

De grandes différences sont observables entre les deux méthodes surtout pour les mois d'avril, mai et juin. Sur ces 3 mois, il s'est avéré que le pluviomètre automatique a présenté des problèmes de fonctionnement. Les relevés manuels sont moins précis et surestiment souvent les pluies, en revanche, ils fournissent une bonne estimation à 1 ou 2 jours près des précipitations et permettant ainsi de palier au dysfonctionnement du pluviomètre automatique.

- ➔ Il serait préférable de relever les données du pluviomètre automatique plus souvent afin de vérifier le fonctionnement de ce dernier. Par ailleurs les relevés du pluviomètre à lecture manuel sont à poursuivre.

Pour le calcul de l'EvapoTranspiration Potentielle (ETP), la formule approuvée par la FAO est celle de Panman. Hors, les informations nécessaires à l'utilisation de cette formule n'étaient pas disponibles rapidement. La formule utilisée ici est faite pour une estimation mensuelle de l'ETP. La courbe des

précipitations efficaces a donc été réalisée en supposant que l'ETP mensuelle est répartie de façon homogène dans le mois. Pour dégager ce type de grandes tendances cette méthode reste correcte.

### 3.4.1.2. Piézomètres et limnimètre

L'emplacement des piézomètres a été déterminé pour comprendre le fonctionnement du site et du cours d'eau.

- Ce point a été abordé lors d'entretiens avec une équipe de chercheurs d'IRSTEA et de l'AFB (direction générale). Ces échanges ont souligné qu'il serait intéressant d'ajouter 2 piézomètres de part et d'autre d'un collecteur pour évaluer précisément son effet drainant avant et après restauration.

La comparaison des données automatiques et des données manuelles a donné les résultats suivants :

Tableau 11 : Estimation des précisions des piézomètres

Piézomètre	Relevé manuel profondeur d'eau dans le sol (cm)	Sonde automatique Profondeur d'eau dans le sol (cm)	Différence (cm)	% par rapport à la profondeur totale du piézomètre <sup>14</sup>
1	>130 <sup>15</sup>	129,9		
2	129,7	129,9	-0,2	-0,1 %
3	74,1	79,5	-5,4	-3,6 %
4	63	65,1	-2,1	-1,6 %
5	20,5	20,1	0,4	0,3 %
6	17,2	19	-1,8	-1,2 %
7	12	12,2	-0,2	-0,1 %
8	1	-8	9	6,9 %
9	53,5	53,7	-0,2	-0,2 %
10	37,4	38	-0,6	-0,4 %
11	20,1	19,5	0,6	0,4 %

Tableau 12 : Estimation de la précision du limnimètre

Date	Heure	Relevé hauteur d'eau manuel (cm)	Mesure Limnimètre (cm)	Différence (cm)
02/05/2017	12h14	12	8,3	3,7
12/05/2017	10h45	6	4,3	1,7
19/05/2017	11h15	7	4,4	2,6
24/05/2017	12h20	6,5	3,7	2,8
31/05/2017	10h30	5	3,4	1,6
06/06/2017	15h30	5	4,1	0,9

Dans l'ensemble, les capteurs peuvent être considérés comme suffisamment précis pour interpréter l'évolution des niveaux d'eau en considérant une marge d'erreur de 2 cm. A noter que pour le piézomètre 8, lors de la mesure, l'eau affleurerait, ce qui explique les valeurs négatives du capteur (Tableau 11). La

<sup>14</sup> Les profondeurs des tubes des piézomètres dans le sol ont été mesurées précisément, elles sont les suivantes : P1 = 1,3 m ; P2 = 1,4m ; P3= 1,5 m ; P4 = 1 ,35 m ; P5= 1,45 m ; P6 = 1,5 m ; P7= 1,4 m ; P8 = 1,3 m ; P9 = 1,18 m ; P10 = 1,42 m ; P11= 1,4 m

<sup>15</sup> Le piézomètre 1 était vide ce jour là

différence pour ce piézomètre n'est donc pas à prendre en compte. La comparaison des mesures du limnimètre (Tableau 12) avec des mesures manuelles montre qu'il suit bien les tendances d'évolution du cours d'eau mais avec une sous-estimation systématique de la hauteur d'eau (en moyenne de 2,2 cm).

Les incertitudes de mesure des capteurs peuvent être liées à différentes causes dont le changement de la longueur du câble de suspension. A noter qu'elle a en effet été modifiée fin 2017 suite à une usure prématurée.

- Si les longueurs ont été respectées au maximum, il reste néanmoins important de procéder à une nouvelle estimation de la précision des piézomètres.

### 3.4.1.3. *Le suivi intermittence du cours d'eau*

L'année hydrologique 2016-2017 est une année très déficitaire au niveau des précipitations. Le suivi intermittence a été effectué quasiment toutes les semaines pendant un an (de juin 2016 à juin 2017). C'est un protocole qui est rapide à réaliser : entre 30 et 40 minutes pour prospecter 300 m. Cependant, il nécessite de nombreux trajets sur site qui s'avèrent fastidieux et chronophages. Afin d'optimiser l'effort du suivi, il est nécessaire de l'adapter pour les années à venir.

- Ainsi avec une chronique d'un an de prospection, nous pouvons faire des préconisations sur la fréquence des relevés, le linéaire prospecté et les paramètres mesurés :
  - Pour la fréquence des relevés (par saison)<sup>16</sup>:

Pendant la période humide et la période sèche, le suivi intermittence peut être réalisé une à deux fois par mois. D'après les chroniques météorologiques, la période pluvieuse s'étend sur les mois de novembre à février, et la saison sèche, de juin à août. Les intersaisons sont généralement les moments où le cours d'eau change de régime, la prospection doit donc être plus fréquente, une fois par semaine par exemple. Pour la Noë Molic, ces périodes correspondent au mois de septembre, octobre et mars à mai. Il peut être nécessaire de modifier la fréquence de passage en fonction des précipitations. Par exemple : lors d'un été pluvieux, il peut être nécessaire d'augmenter la fréquence de passage pour identifier la période potentielle de reprise des écoulements. Enfin, il faut éviter de favoriser la prospection après un épisode ponctuel de fortes pluies.

- Pour le linéaire à prospecter :

Au lancement du suivi, le linéaire étudié doit permettre d'inclure à minima l'ensemble du linéaire soumis à l'intermittence des écoulements (à partir de la connaissance locale). Le linéaire étudié peut être réduit suite à la première année de suivi. Il faut cependant faire attention aux années climatiques « anormales » (très pluvieuses ou très sèches). Pour la Noë Molic, il en résulte que seuls les 160 premiers mètres seront à prospecter (jusqu'au jalon 18) sauf si les conditions climatiques sont plus déficitaires que pour la période 2016-2017.

- Pour les paramètres à mesurer :

A l'échelle d'un segment, les hauteurs d'eau sont très variables (fosses, radiers, chutes...). Il est donc difficile de déterminer quelle hauteur d'eau est vraiment représentative du segment. Les mesures ayant été réalisées sans indication de l'endroit précis, les résultats ne sont donc pas exploitables. Avoir des

---

<sup>16</sup> Les périodes humides, sèches et intersaisons sont à définir en fonction du lieu géographique, du climat mais aussi de l'année hydrologique.

hauteurs d'eau exploitables nécessiterait un protocole plus « lourd ». Après réflexion, il apparaît que cela ne s'avère pas nécessaire et que les hauteurs d'eau prises par le limnimètre sont suffisantes.

- Cas de la présence d'obstacles :

Le cours d'eau de la Noë Molic présente beaucoup d'obstacles naturels (bois morts, racines...) qui freinent l'écoulement. Aux abords d'un obstacle les classes d'écoulement peuvent être sous-estimées. Ainsi, si les segments amont et/ou aval sont en écoulement il faut considérer que le segment comportant l'obstacle est lui aussi en écoulement.

#### 3.4.1.4. *Mesures de pH et de conductivité*

Le suivi physico-chimique n'était pas prévu initialement sur le site notamment du fait qu'aucune des 4 structures ne disposaient de sondes multiparamètres et que l'enveloppe budgétaire dédiée au suivi était limitée. Dans le cadre de mon stage des mesures de pH et de conductivité me paraissaient intéressantes. Du fait de problèmes matériels, les essais se sont arrêtés. Le jeu de données n'est pas suffisant pour tirer des tendances sur la provenance de l'eau du site.

- ➔ Ces problèmes matériels pouvant être facilement évités, sur des sites équivalents un suivi physico-chimique (du pH, de la conductivité, de la turbidité et de la concentration en oxygène dissout) avec des sondes adéquates et une fréquence de relevés importante me semble pertinent.

#### 3.4.1.5. *Le protocole de caractérisation des fossés*

L'ensemble de ce protocole est long à mettre en œuvre. Certaines informations collectées sont peu utiles ou difficilement exploitables, il nécessite donc d'être adapté.

**Partie A :** Géométrie des fossés et localisation des principaux obstacles. La longueur, la largeur des fossés, la hauteur et la pente sont des mesures utiles pour décrire le réseau de fossés (fossés profonds, rigoles...) et pour orienter le choix de restauration (ex : estimation de la quantité de terre nécessaire pour boucher les fossés). Cependant, la localisation et la caractérisation de chaque obstacle se sont révélées très fastidieuses dans le cas de la Noë Molic et ont peu été utilisées. Cette partie du protocole ne permet pas de dire si un obstacle est imperméable ou non.

**Partie B :** Suivi intermittence et niveau d'eau des fossés. Ce suivi demande un temps de préparation du site et de prospection trop important pour le cas de la Noë Molic, il n'a pas pu être réalisé.

**Partie C :** Mesure de débits. Cette troisième partie s'est révélée être très efficace et utile pour comprendre et appréhender le fonctionnement des fossés. En effet, certains fossés semblent bouchés alors que les mesures de débits ont montré le contraire.

- ➔ La caractérisation physique des fossés ainsi que les mesures de débits permettent de comprendre le fonctionnement du site. La partie B du protocole ainsi que la localisation des obstacles sont à enlever du protocole.

#### 3.4.1.6. *Débits et courbe de tarage*

La méthode dite « par capacité » est une méthode qui est adaptée aux faibles débits (débits inférieurs à 0.02 m<sup>3</sup>/s) et donc conforme au type de cours d'eau étudié ainsi qu'à la période du stage. Elle est simple, rapide, peu coûteuse et les incertitudes sont généralement faibles (Le Coz et al. 2011). Le temps d'écoulement doit être suffisamment long pour limiter les erreurs : les préconisations techniques indiquent que le temps de mesure minimum est de 5 secondes et que si possible il doit être supérieur à 20 secondes. Cette durée a été respectée sur tous les points de mesure.

Pour les mesures au niveau du limnimètre, le débit est plus important. Elles ont été effectuées au niveau d'une chute qui, lors des forts débits, présente un écoulement trop étalé pour faire des mesures fiables. De plus il est nécessaire de bien colmater le dispositif afin de limiter les fuites d'eau.

- Il faudra prendre des mesures supplémentaires en hautes eaux. En hiver, je recommande d'utiliser le micromoulinet afin de réaliser une courbe de tarage qui permet de lier les hauteurs d'eau du limnimètre à des débits.

#### 3.4.1.7. *Topographie*

Il faut noter que la topographie a été réalisée avant la coupe des arbres ce qui a engendré des problèmes de visibilité qui peuvent être source d'imprécision. De plus, il a fallu changer plusieurs fois de place le niveau, ce qui peut multiplier les erreurs.

- La topographie effectuée est suffisante pour le calage des piézomètres. En revanche, une topographie plus fine sera nécessaire pour identifier précisément l'ancien talweg du cours d'eau.

#### 3.4.1.8. *Macro-invertébrés et IBGN*

Le cours d'eau à l'aval semble s'être reconstitué partiellement après les travaux hydrauliques en raison d'une non intervention (pas de curage...), des micro-habitats ont pu se développer ce qui expliquerait une bonne note IBGN et une richesse taxonomique plutôt élevée.

- Il aurait été intéressant d'avoir les données de la station amont afin d'effectuer une comparaison.

#### 3.4.1.9. *Indice Poisson Rivière*

Dans sa version actuelle, l'IPR ne prend en compte, ni la biomasse, ni la taille des individus capturés. Par conséquent, il se révèle relativement peu sensible dans le cas des cours d'eau naturellement pauvres en espèces (1 à 3 espèces).

- Cet indicateur ne semble pas pertinent pour une analyse en tête de bassin versant.

#### 3.4.1.10. *Pédologie*

L'acidité du sol et la conductivité n'ont pas été évaluées faute de moyens et de temps.

A cause de la sécheresse du sol, les sondages pédologiques n'ont pu être réalisés aussi profondément que le permet une tarière à main, en conditions plus favorables (1 m 20). Si les données collectées ont pu apporter des informations intéressantes pour la connaissance du site, des inconnues existent encore sur les horizons plus profonds. Afin d'avoir plus d'information sur le sol et notamment l'existence d'un plancher « étanche », des fosses pédologiques étaient prévues sur conseil d'hydrogéologues (AFB, IRSTEA). Suite à plusieurs reports de travaux, il n'a pas été possible d'utiliser ces données dans le cadre de ce rapport.

### 3.4.2. **L'état initial du site de l'année 2016-2017 avant travaux hydrauliques**

Sur ce site, l'objectif est d'avoir un état initial avant travaux pour le comparer à un état n +3 (3 ans après les travaux hydrauliques). La coupe des résineux est intervenue pendant l'état initial. L'ouverture du milieu et l'exposition d'une partie du cours d'eau à plus de lumière peuvent avoir modifié la faune, la flore et le bilan hydrique. Les travaux forestiers ont été réalisés au mois de septembre 2016, ils ont peu impacté le tassement du sol, très sec à ce moment-là. Cependant, la coupe des résineux en elle-même peut avoir colmaté le lit du cours d'eau et donc impacté sa vie aquatique.

#### 3.4.2.1. *Fonctionnement hydrologique du site*

Cette analyse se base sur l'étude de l'année 2016/2017 qui a été une année hydrologique sèche. Les hypothèses énoncées ci-dessous doivent donc être prise avec précautions et vérifiées dans les prochaines années.

#### **Le site semble fonctionner par succession de phases bien distinctes :**

Trois phases :

- A : (juillet 2016 à octobre 2016) et (Avril à Août 2017) : Elle correspond à des pluies efficaces négatives ( $P-ETP < 0$ ), la nappe souterraine se vide, elle est alimentée par le cours d'eau.
- B : (octobre 2016 à février 2017) : Elle correspond à des pluies efficaces positives ( $P-ETP > 0$ ). C'est la fin de la saison sèche. L'eau dans le sol fluctue beaucoup, surtout pour les piézomètres proches du cours d'eau, mais la tendance générale est à la hausse : la nappe se charge. Le linéaire sec du cours d'eau diminue petit à petit.
- C (février à mars 2017) : Elle correspond à la saison humide. La nappe est chargée, elle alimente le cours d'eau. Le cours d'eau est en eau. Cette phase est probablement plus longue et arrive plus tôt pour une année normale.

#### **Par ailleurs des différences spatiales à l'échelle du site ont aussi été mises en évidence.**

- ⇒ D'après les données piézométriques et pédologiques, il semblerait qu'il y ait une cuvette et une nappe perchée au niveau des piézomètres 5, 6 et 11. A noter que l'indice Edaphique indique, lui, un engorgement moindre. Cette nappe semble être drainée par les deux collecteurs (fossés) présents en rive droite, qui acheminent l'eau vers l'aval du cours d'eau, et participent fortement à son débit, surtout après de fortes pluies.
- ⇒ Les piézomètres 4, 9 et 10 sont fortement influencés par des fossés et le cours d'eau principal : les niveaux d'eau sont très variables et les réponses aux épisodes pluvieux rapides.
- ⇒ Les piézomètres 2,3, 7 et 8 fonctionnent similairement avec des hauteurs d'eau différentes (8 et 7 étant souvent près du sol). Les piézomètres 3 et 8 se situent à proximité de l'ancien lit présumé du cours d'eau.
- ⇒ La profondeur de réalisation du piézomètre 1 n'a pas permis de comprendre le fonctionnement de la nappe à son niveau. En effet, il a été sec plus de la moitié du temps pour l'année 2016/2017. A noter une contradiction entre les données piézométriques et celles relatives à la pédologie et la botanique qui, toutes deux, indiqueraient un engorgement plus important du sol.

#### 3.4.2.2. *Etat physique et biologique du cours d'eau*

Physiquement, c'est un cours d'eau en mauvais état. Il est hors de son talweg, recalibré et il est exempt de matelas alluvial sur les 120 premiers mètres. La pente assez importante (1,88 %) génère normalement une succession radier-mouille rapprochée (tous les 4 fois la largeur à pleins bords, Bossis, 2014). Ainsi, dans ce cours d'eau, les radiers devraient normalement être espacés d'environ 5 mètres. L'état initial révèle que le premier radier est rencontré à 125 m de l'amont. Cette faible proportion de radier s'explique par différentes raisons : suppression d'une partie du matelas alluvial lors des travaux hydrauliques, surélargissement du lit et/ou présence d'un seuil. La présence d'un obstacle infranchissable freine l'écoulement et crée un long plat lentique qui provoque une rupture de continuité écologique, piège les sédiments et augmente le colmatage. Le cours d'eau est chenalisé sur quasiment l'ensemble des 350 m. Il ne remplit donc pas ses fonctions d'étalement des crues et d'épuration des polluants. Le lit est trop profond pour un cours d'eau de tête de bassin versant. Le ratio largeur plein bord sur hauteur totale est en dessous de celui avancé par Bossis (2014) de 5,5 normalement. La granulométrie est très fine, il n'y a pas de sédiments grossiers ou de cailloux à

l'amont qui permettent de diversifier les habitats et surtout de contribuer à l'équilibre la dynamique du cours d'eau. Le colmatage constaté sur plusieurs radiers indique un problème de transport de sédiments fins. Par ailleurs les échanges nappes/cours d'eau ne sont pas optimums du fait de la faible rugosité du lit ainsi que de l'absence d'une hétérogénéité des faciès d'écoulement et des habitats (Lhéritier, 2012). Le débit à l'aval du cours d'eau est fourni principalement par l'affluent et les écoulements provenant des deux collecteurs.

Au niveau de sa composition en macro-invertébrés, il y a des taxons sensibles aux pollutions (groupe 9). La présence simultanée d'amphibiens et de poissons est un aspect très positif qui s'observe généralement sur les têtes de bassin versant de références (Bouas, 2016). Des frayères à truites ont été observées en 2016. A noter cependant que le chabot et la lamproie de planer sont absents : 1 espèce sur les 4 souvent rencontrées en tête de bassin (Meyer *et al.*, 2007). Par ailleurs, l'ensemble des truites ont été retrouvée sur quelques mètres dans la zone de plat lentique, là où les hauteurs d'eau sont importantes. Elles se sont probablement réfugiées dans cette zone du fait de l'absence de fosses sur le linéaire étudié. La restauration devra permettre de retrouver une bonne succession radier-fosse.

#### 3.4.2.3. *Etat de la zone humide et évaluation de ses fonctions*

Les résultats de l'évaluation sont synthétisés en annexe 7.13.

**Les fonctions hydrologiques** sont affectées par la densité très élevée de fossés, par le cours d'eau qui est rectiligne et incisé, et par la présence d'une route près du site (dans la zone contributive). A noter cependant des facteurs favorables concernant les sédiments : le couvert végétal permanent et en majeure partie arborescent ralentit les ruissellements et retient les sédiments, les faibles quantités de surfaces en cultures ou construites dans la zone contributive n'apportant qu'un apport minime en sédiments, la texture sableuse des 30 premiers centimètres du sol est favorable à la capacité de rétention des sédiments.

**Les fonctions biogéochimiques** sont elles aussi très impactées par la forte densité de fossés ainsi que leur très faible végétalisation. La présence dans les sondages pédologiques d'une couche humifère plutôt mince est signe d'une mauvaise fonctionnalité pour l'azote et le phosphore. Il en va de même pour les horizons histiques rencontrés qui indiquent un faible pouvoir de séquestration du carbone. Ses fonctions sont cependant favorisées par un couvert végétal permanent et arboré. Une fois encore, les faibles surfaces de zones cultivées, enherbées ou construites dans la zone contributive, impliquent moins de risques d'apport en azote et phosphore.

Le **cycle biologique des espèces** est perturbé compte tenu des fortes pressions anthropiques liées à l'exploitation forestière. En revanche, du fait d'un faible isolement des habitats et une rareté des grandes infrastructures de transport, les différents habitats sont connectés les uns aux autres (notion de corridors écologiques).

#### 3.4.3. **Préconisations de travaux et de suivis**

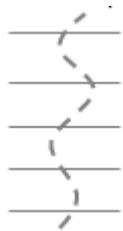
Ces préconisations interviennent après un an de suivi lors d'une année particulièrement sèche.

Les travaux devront être effectués durant la période de Juillet à Septembre pour éviter le tassement du sol et perturber le moins possible la faune notamment aquatique. C'est aussi pendant cette période que les travaux seront le moins fastidieux : présence de moins d'eau dans les fossés et le cours d'eau. Il faudra faire attention aux espèces botaniques intéressantes (voir emplacement annexe 7.11).

Pour finir il sera impératif de définir, au préalable, les procédures réglementaires à effectuer.

#### 3.4.4. Remise du cours d'eau dans son talweg

Pour localiser le tracé originel, les anciennes photos aériennes sont difficilement interprétables, et l'étude de la pédologie n'a pas permis de détecter la présence d'un matelas alluvial historique (galets roulés par exemple). L'ancien lit du cours d'eau étant en partie identifiable sur le terrain, des relevés topographiques



précis sous forme de transects (Figure 26) constituent une solution adaptée et appropriée pour la Noë Molic. Lors de cette étape, la question des souches devra être abordée. Il faudra choisir entre enlever les souches ou les contourner. Cette dernière solution me semble la plus pertinente pour ne pas risquer de dégrader le sol. De plus, les souches serviront à diversifier les écoulements et les habitats.

Figure 26 : Transects topographiques pour identifier l'ancien talweg du cours d'eau

Une fois le tracé originel localisé précisément, il devra être amorcé. La section de référence pourra être celle du cours d'eau au niveau du segment 2 (voir partie suivi hydromorphologique du cours d'eau) qui a une moyenne de largeur à pleins bords de 1,2 m et une hauteur moyenne de 50 cm. Les sondages pédologiques ont révélé la

présence de substrat grossier, qui forme déjà un matelas alluvial et facilitera la dynamique du cours d'eau. Pour accélérer cette dynamique les débris de bois (branches...) ne devront pas être retirés. Je préconise de recréer, au minimum, les 120 premiers mètres du cours d'eau amont qui sont les plus dégradés. Le cours d'eau chenalisé devra être bouché sur l'ensemble du linéaire recréé. Pour cela, la terre constituant les talus (Figure 10) pourra être utilisée.

Une question subsiste : jusqu'où tracer le cours d'eau à l'amont ? En effet, la commande du stage indiquait de recréer le cours d'eau jusqu'à la zone amont du site (partie où se situe le piézomètre 1). Cependant, la hauteur de nappe était en dessous des 1 m 50 pendant plus de la moitié de l'année 2016-2017, et les fossés amont, secs pendant les six mois de stage. Cela remet en question l'existence d'une zone source à l'amont du site.

#### 3.4.5. Suppression de l'obstacle

Il est possible de supprimer complètement l'ouvrage ou bien de créer une brèche. Il faudra faire attention au relargage des sédiments lors de la suppression de l'ouvrage. En effet, la présence de l'obstacle a provoqué une accumulation des sédiments. Il est donc nécessaire de libérer les sédiments progressivement pour éviter tout déséquilibre et engendrer une pollution par les MES à l'aval du site. Avant toute opération sur l'obstacle, il sera nécessaire de déterminer la quantité de sédiments présents dans la mare et leur nature. Il faudra aussi vérifier qu'il n'y a pas d'autres obstacles sur le cours d'eau en aval. L'effacement de l'obstacle conduira à un lessivage des particules fines, un réajustement du profil en long du cours d'eau puis une recolonisation progressive de la végétation.

#### 3.4.6. Réduction de l'effet drainant

Etant donnée la forte densité de fossés et la présence importante d'amphibiens, l'utilisation de bouchons imperméables me semble être la bonne solution sur le site de la Noë Molic. En effet, en eau, ils formeront des habitats intéressants pour les amphibiens. Ces bouchons devront être installés à des endroits stratégiques. Les six mois de stage ont permis d'identifier des fossés particulièrement actifs : les deux collecteurs et les fossés pentus situés en rive gauche à l'aval du cours d'eau. La prospection du site en période de hautes eaux

pourra orienter le choix du nombre de bouchons à mettre en place dans les collecteurs, ainsi que le repérage d'autres fossés à combler.

La texture du sol étant très perméable, chaque bouchon devra être constitué d'une plaque de contreplaqué recouverte et entourée de terre. Si la terre des talus n'est pas suffisante, des micro-mares pourront être creusées, créant ainsi des endroits favorables aux amphibiens. L'amont des fossés pourra être rempli de débris tels que des rémanents.

### 3.4.7. Gestion de la végétation de la zone humide

#### 3.4.7.1. Gestion du boisement restant

Le boisement restant est constitué d'Epicea de sitka, de quelques Pins, de Thuyas mais aussi d'une végétation plus spontanée comme des bouleaux et des saules. Afin de garder une certaine couverture arborescente du cours d'eau, et donc, de procurer de l'ombre, de la litière (processus clé des têtes de bassin versant) et de stabiliser les berges, je conseille de ne pas ouvrir entièrement le milieu. S'il est souhaité d'enlever tous les résineux restant, le débardage devra se faire par des méthodes adaptées aux milieux très humides. Ce travail peut être effectué par traction animale avec le bucheron déjà sous-traitant. Par ailleurs, cette opération pourrait être présentée au public lors d'une journée pour sensibiliser les gens à l'importance des zones humides et des têtes de bassin versant. Les techniques pour éviter les rejets ne seront pas nécessaires, les zones concernées étant déjà très humides. Une attention particulière se portera sur l'If présent sur le site dont la coupe est interdite dans le Morbihan.

#### 3.4.7.2. Vers une végétation typique de zone humide

La plantation datant de 33 ans, la disponibilité des graines n'est pas un facteur limitant (Pywell et al. 2002). Pour faciliter et accélérer l'expression du milieu et des plantes vasculaires, l'enlèvement de l'ensemble des rémanents devra être effectué (Holder, 2015). Il est envisagé, après ratissage des rémanents de faire un test de décapage de la litière (quelques centimètres). Ainsi, à partir des résultats de ce test, les actions et la gestion future du site pourront être définies.

### 3.4.8. Suivis sur les 5 ans à venir

Voici un tableau des types de suivis à effectuer pour les 4 ans à venir :

Tableau 13 : Tableau prévisionnel des suivis à effectuer sur le site de la Noë Molic

	Année 2017 - 2018	Pendant travaux (septembre 2018)	Année 2018 - 2019	Année 2019 - 2020	Année 2020 - 2021
<b>Suivis hydrologie (piézomètres, limnimètre, pluviomètre)</b>					
<b>Intermittence</b>					
<b>Etude botanique</b>	X		X	X	X
<b>Pêche électrique</b>				X	X

<b>Macro-invertébrés</b>					<b>X</b>
<b>Hydromorphologie du cours d'eau</b>		<b>X</b>			<b>X</b>
<b>Topographie</b>	<b>X</b>				
<b>Pédologie</b>					<b>X</b>
<b>Suivi photo</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>

La méthode d'évaluation des fonctions de la zone humide devra être complétée avec l'état du site après restauration.

#### 3.4.9. Simulation des fonctions de la zone humide avec action écologique envisagée (méthode nationale Gaillet et al. 2016)

Une simulation des fonctions de la zone humides, en termes de gains et de pertes, a été réalisée en utilisant la méthode nationale (Gayet et al. 2016) (Annexe 7.13) (Tableau 14). Pour cela, nous avons comparé l'état de la fonctionnalité de la zone humide avant travaux, avec celle obtenue après les travaux de restauration présentés ci-dessus. Au niveau de la végétation, il est supposé qu'une surface de 3 000 m<sup>2</sup> a subi un test de décapage de la litière, et est fauchée régulièrement. Une lande humide intéressante et patrimoniale peut y être restaurée. Le reste du site est laissé en boisements spontanés. En se fiant aux dynamiques attendues de botanique de 2016, une saussaie marécageuse et des boisements de bouleaux peuvent s'exprimer dans les parties humides, une chênaie-hêtraie pour les parties en pente (Annexe 7.14).

Tableau 14 : Gains ou pertes des sous-fonctions pour la simulation du site de la Noë Molic avec actions écologiques envisagées par rapport au site avant restauration

Sous-fonctions	Gains	Pertes
R, S, Nd, Nv, Pa, Pv	Rareté des fossés	Rugosité du couvert végétal
C		Diminution du couvert arborescent
Support des habitats	Equipartition et rareté de l'artificialisation de l'habitat, diminution de la densité de lisières	

R : Ralentissement des ruissellements, N : Recharge des nappes, S : rétention des sédiments, Nd : Dénitrification des nitrates, Nv : Assimilation végétale de l'azote, Pa : Adsorption, précipitation du phosphore, Pv : Assimilation végétale des orthophosphates,

Les fonctions de la zone humide restaurée devraient être améliorées par la diminution des fossés et de l'artificialisation de l'habitat.

Dans la version actuelle de la méthode, la coupe des résineux induit une diminution de la rugosité du couvert végétal et de la surface arborescente, entraînant une diminution des fonctions de la zone humide. Cet élément devra être intégré dans la méthode en raison des effets néfastes d'une monoculture de résineux en bord de cours d'eau tels que l'acidification, la déstabilisation des berges et le colmatage (cf. partie Bibliographie).

## 4. Quelles perspectives pour la restauration des têtes de bassin versant enrésinées à partir du cas de la Noë Molic ?

Afin de mettre en perspective le site d'étude, les sites similaires à la Noë Molic ont été localisés et quantifiés à l'aide de la méthode présentée ci-dessous. Cette étude est réalisée à deux échelles : le bassin versant du Blavet et le département du Morbihan.

### 4.1. Caractérisation des têtes de bassin versant en contexte forestier

#### 4.1.1. Les critères

Pour identifier les sites similaires à la Noë Molic, les critères suivants ont été retenus :

- Occupation des sols : forêts fermées de conifères
- Milieux aquatiques : zone humide et cours d'eau en tête de bassin
- Altérations : pressions hydromorphologiques.

Voici quelques définitions qui sont importantes pour comprendre la suite du rapport.

**Forêt :** La forêt est un territoire occupant une superficie d'au moins 50 ares avec des arbres capables d'atteindre une hauteur supérieure à cinq mètres à maturité *in situ*, présentant un couvert arboré de plus de 10 % et une largeur moyenne d'au moins 20 mètres. Les sites momentanément déboisés ou en régénération sont classés comme forêt même si leur couvert est inférieur à 10 % au moment de l'inventaire. (Source : IGN)

**Forêt fermée :** C'est une forêt où le couvert des arbres est supérieur ou égal à 40 %. Les sites momentanément déboisés ou en régénération sont classés comme forêt fermée ou ouverte, selon l'occupation présumée avant perturbation, même si leur couvert est inférieur à 10 % au moment de l'inventaire. (Source IFN)

**Forêt ouverte :** C'est une forêt où le couvert des arbres est supérieur à 10 % et inférieur à 40 %. (Source IFN)

**Forêt fermée de conifère (FFC) :** C'est une forêt fermée ayant un taux de couvert libre relatif des conifères supérieur ou égal à 75 % (Source BD Forêt Version 2 IGN 2014).

**Cours d'eau de tête de bassin versant :** Ce sont les cours d'eau de rang 1 et 2 d'après la classification de Strahler à l'échelle des inventaires cours d'eau.

**Cours d'eau de tête de bassin versant forestier :** C'est un cours d'eau de tête de bassin versant dont la surface de la bande tampon 20 m (de part et d'autres du cours d'eau) est composée à minima de 50 % de forêt. Ce seuil a été fixé en s'inspirant de l'étude des têtes de bassin versant de Le Bihan, 2009.

**Les forêts humides :** ce sont les boisements qui sont en zone humide.

## 4.1.2. La méthode

### 4.1.2.1. Présentation des données utilisées

Les données utilisées sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Nom de la donnée	Date	Auteurs	Description	Echelle	Genre
BD Forêt version 2	2014	IGN	Type de formation végétale forestière et naturelle. Zone homogène de 50 ares au moins et de 20 mètres de large au moins	Morbihan et Côtes-d'Armor	Surfacique
BD TOPO Tronçon cours d'eau	2011	IGN	Portion de cours d'eau, réel ou fictif, permanent ou temporaire, naturel ou artificiel, homogène pour l'ensemble des attributs qui la concernent, et qui n'inclut pas de confluent	Morbihan et Côtes-d'Armor	Linéaire
Inventaires cours d'eau Blavet	2016	SMSB	Regroupement des inventaires cours d'eau des communes du bassin versant du Blavet	Bassin versant du Blavet	Linéaire
Inventaires cours d'eau 56	2016	DDTM 56	Compilation des inventaires des cours d'eau restitués par les gestionnaires locaux SAGES - collectivités - administrations. L'ensemble des inventaires n'ont pas été caractérisés	Morbihan	Linéaire
Inventaires Zones humides	2016	Communes	Inventaire effectué par chaque commune ou par un bureau d'étude sous-traitant. Données en cours de validation par le SMSB. Localisation des zones humides et attribution d'un code CORINE	94 % du Bassin versant du Blavet	Surfacique
Inventaires Zones humides 56	2016	DDTM 56	Regroupement des inventaires Zones humides en cours de réalisation	50 % du Morbihan (en 2009) *	Surfacique

\*Les chiffres datent de 2009, le taux de couverture actuel n'est pas connu.

### 4.1.2.2. Localisation des têtes de bassin versant avec le logiciel QGIS

#### 4.1.2.2.1. Traitements et modifications des couches inventaires cours d'eau (aux deux échelles)

Les étapes suivantes ont été réalisées dans l'ordre chronologique :

- Suppression manuelle de tronçons cartographiés en plusieurs exemplaires

- Nettoyage automatique de la topologie avec les outils GRASS suivant : 1) v.snap qui permet d'accrocher un tronçon à un autre dans un rayon maximum indiqué de 0,5 m. et 2) v.clean.break qui créer des nouveaux tronçons à chaque intersection.
- Retouches manuelles des sens d'écoulement avec l'outil d'extension QGIS

Pour des raisons de temps, ces étapes n'ont pas été réalisées avec autant de soin et de précision à l'échelle du Morbihan qu'à celle du Blavet.

#### **4.1.2.2.2. Création d'une couche unique « inventaire zones humides » du bassin versant du Blavet**

Afin d'obtenir une couche des inventaires de zones humides exploitable à l'échelle du bassin versant du Blavet, l'ensemble des inventaires ont été modifiés commune par commune. Les surfaces en eau (plans d'eau, mares...) ont été supprimées et la table attributaire a été homogénéisée sur l'ensemble des inventaires, en gardant les champs suivants : identifiant de la surface, la commune où elle se trouve et le code Corine lorsque celui-ci était renseigné. Enfin, les inventaires ont été fusionnés sous QGIS pour donner une couche unique.

#### **4.1.2.2.3. Détermination des cours d'eau de tête de bassin versant (aux deux échelles) :**

Les rangs de Strahler sont déterminés avec le logiciel gratuit OpenJUMP GIS ® qui crée un champ attributaire comportant le numéro du rang. Une fois les rangs de Strahler déterminés à partir des inventaires cours d'eaux modifiés (partie 4.1.2.2.1), les tronçons de cours d'eau ayant un rang de Strahler strictement supérieur à 2 sont supprimés. Une couche « cours d'eau de tête de bassin versant » est créée pour chaque territoire étudié.

#### **4.1.2.2.4. Détermination des cours d'eau de têtes de bassins forestiers (à l'échelle du bassin versant du Blavet):**

Cette détermination a servi uniquement à savoir le nombre de cours d'eau de têtes de bassins versants forestiers. Par manque de temps, elle n'a été réalisée qu'à l'échelle du bassin versant du Blavet. Les étapes suivantes sont réalisées avec le logiciel QGIS dans l'ordre suivant :

- Création de la couche « tampons\_20m » : application de tampons de 20 m sur la couche cours d'eau de tête de bassin versant (4.1.2.2.3.)
- Sur cette couche, création d'un nouvel attribut « Surface » et mesure de la surface de chaque tronçon avec la calculatrice de champs QGIS
- Création de la couche « tampons\_20m\_foret » qui est le découpage (utilisation de l'extension QGIS découper) de la couche « tampons\_20m » avec la BD forêt. Sur cette couche, un nouvel attribut « surf\_boisee » est créé, et de la même manière que précédemment, il calcule l'aire de chaque tronçon découpé.
- Sur la couche « tampons\_20m » mise en œuvre d'une jointure de table : joindre la couche « tampons\_20m\_foret » avec le champ ID dans la couche jointe et la couche cible. Il faut ensuite choisir le champ « surf\_boisee » à joindre.
- Création du nouvel attribut « %\_boise » : le calcul suivant est effectué avec la calculatrice de champ QGIS « %\_boise » =  $\text{surf\_boisee} / \text{Surface} * 100$

Les cours d'eau de têtes de bassins versants forestiers sont ceux qui ont un pourcentage supérieur à 50 %.

#### **4.1.2.2.5. Détermination des forêts fermées de conifères en zone humide en bord de cours d'eau de TBV (aux deux échelles) :**

Cette détermination a permis de mettre en évidence les sites comparables à la Noë Molic. Elle s'est effectuée avec les croisements successifs suivants (Figure 27) :

- Le croisement de la couche BD forêt avec les inventaires zone humides permet la création de la couche des forêts humides
- Le croisement de la couche des forêts humides avec celle des cours d'eau de tête de bassin versant permet d'obtenir la couche des forêts humides en bord de cours d'eau de tête de bassin versant

Seules les entités ayant l'attribut « Forêt fermée de conifères » sont gardées.

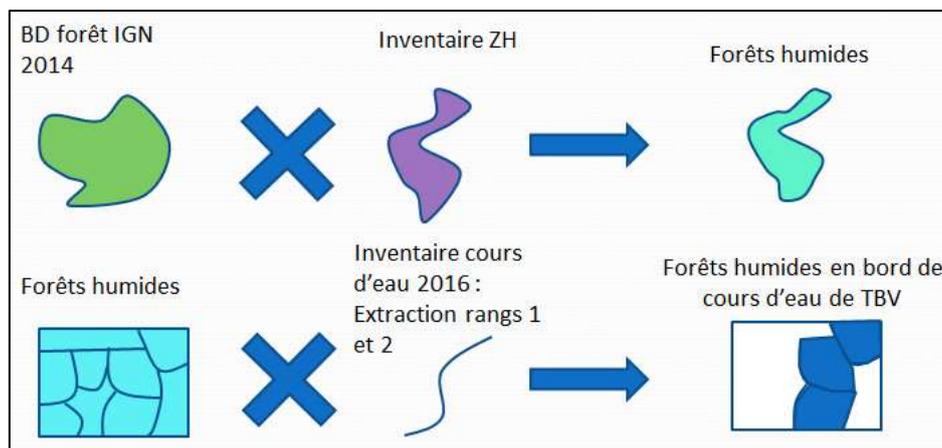


Figure 27 : Schéma des croisements SIG réalisés avec le logiciel QGIS

#### 4.1.2.3. *Prospection sur le terrain afin d'appréhender les pressions de drainage et de chenalisation (en cours de rédaction)*

Les données de drainage et de chenalisation des cours d'eau n'étant pas disponibles, une prospection sur le terrain a été nécessaire. Pour des raisons pratiques de temps de travail et de déplacement, la prospection s'est faite uniquement pour le bassin versant du Blavet. L'échantillonnage de 50 sites a été réalisé de façon aléatoire. Les critères des sites étaient les suivants :

- Forêt fermée de conifères
- En zone humide
- En bord de cours d'eau de tête de bassin versant
- A moins de 200 m d'une route

Les trois premiers critères qui correspondent à des caractéristiques de la Noë Molic ont été identifiés par la méthode SIG décrite précédemment (4.1.2.2.5.). Le dernier critère est quant à lui, un critère destiné à faciliter les prospections. Sur le terrain, les différents éléments suivant ont été notés : la correspondance avec le code Corine et la Bd forêt, la présence de fossés, le nombre de fossés, la présence de fossés en peigne, la chenalisation du cours d'eau, la présence évidente d'un ancien talweg, la présence d'une ripisylve non résineuse.

#### 4.1.3. Limites

##### Précisions des données :

Des erreurs de précisions sont dues à la méthode d'identification : par exemple, sur le terrain, il s'est avéré que, parfois, certaines données de la couche BD forêt étaient incorrectes. Cependant, cela semble concerner de petites surfaces qui ne sont pas perceptibles par vue aérienne ou même par infrarouge. Par ailleurs, les

inventaires zones humides sont en cours de validation, et la délimitation de certaines, ou l'attribution du code Corine, peut parfois se révéler être fausses.

### **Fautes/erreurs de saisies :**

Concernant l'inventaire des cours d'eau, beaucoup d'erreurs de numérisation dans la couche disponible ont été relevés ce qui a perturbé le traitement des données : l'absence de création d'un nouveau cours d'eau à chaque intersection, la saisie en double voire en triple d'un même cours d'eau avec des noms différents, les sens de saisie informatique des cours d'eau (d'amont en aval normalement) et le mauvais accrochage des tronçons entre eux. Ces erreurs sont fréquentes, elles peuvent pour certaines être traitées de façon automatique avec certaines fonctions GRASS cependant pour le bon fonctionnement de ces traitements automatiques, le problème de saisie multiple doit être réglé. La saisie multiple d'un même cours d'eau et le sens de l'écoulement doivent être enlevés et modifiés à la main, ce qui nécessite un temps de traitement particulièrement long à grande échelle. Ces opérations ont été effectuées de façon exhaustive à l'échelle du Blavet mais moins à l'échelle du Morbihan. Toutefois, il est probable que certaines erreurs persistent sur la couche d'inventaire du bassin versant du Blavet.

### **Homogénéité des données :**

Les inventaires des zones humides du bassin versant du Blavet n'ont pas de tables attributaires homogènes ni renseignées de la même façon (exemple : certains inventaires ne renseignent pas le code CORINE). Le cahier des charges du SMSB n'a pas toujours été respecté par les communes et leurs prestataires. Ce problème d'homogénéisation des données a impliqué un temps de travail important et imprévu.

### **Représentativité de l'échantillonnage**

Les 50 sites échantillonnés représentent 11 % des forêts fermées de conifères en têtes de bassin versant du Blavet. Cela est peu pour une étude scientifique mais elle permet néanmoins d'apprécier les grandes tendances.

## **4.2. Résultats**

### **4.2.1. A l'échelle du bassin versant du Blavet**

#### **4.2.1.1. Les têtes de bassin versant du Blavet**

Le linéaire total de cours d'eau de la couche Inventaire cours d'eau du SAGE de 2016 est de 3 250 km. Sur cette couche, 78 % des cours d'eau du bassin versant du Blavet sont en tête de bassin versant (Figure 28).

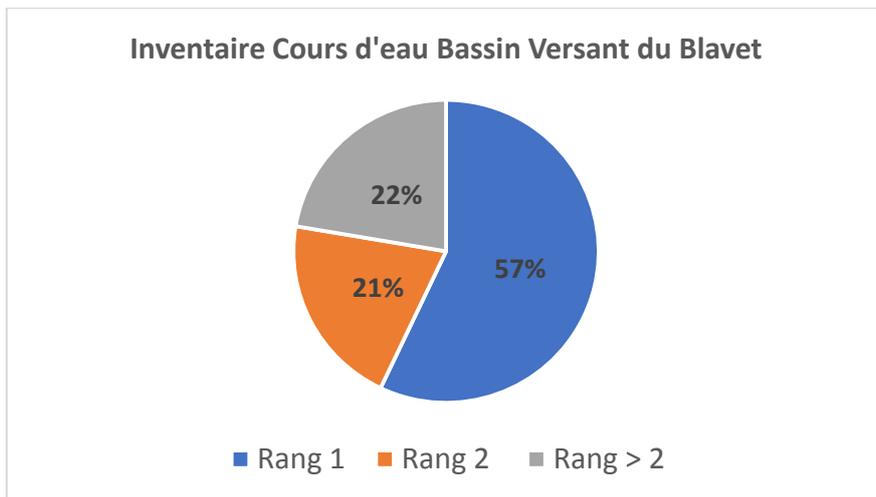


Figure 28 : Pourcentage de linéaire de cours d'eau des rangs 1 et 2 de Strahler et des rangs supérieurs à partir de l'inventaire 2016 des cours d'eau du SAGE Blavet

Le bassin versant du Blavet est composé de 20 % de forêts réparties sur tout le territoire mais avec une densité plus importante à l'Ouest et au Nord ainsi qu'à la limite entre les deux départements comme sur la commune de Sainte-Brigitte (Figure 29).

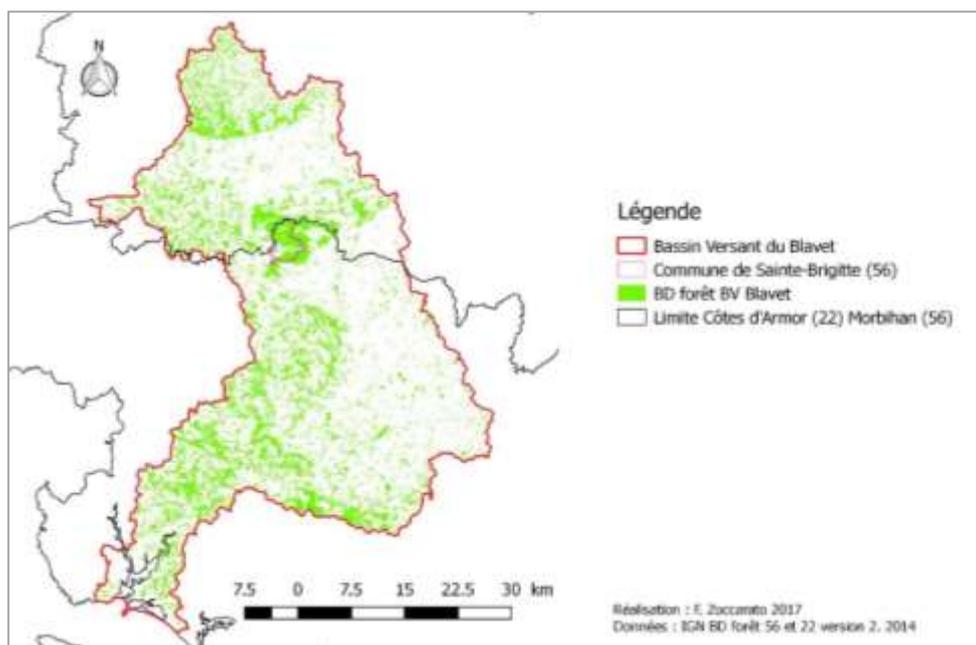


Figure 29 : Carte des forêts du Bassin Versant du Blavet

La majorité de ces forêts sont des forêts fermées de feuillus (cf. tableau 1).

Tableau 15 : Type de couverture et composition générale des forêts du BV du Blavet

Forêt fermée de feuillus	67,50%
Forêt fermée mixte	14,70%
Forêt fermée de conifères	11,00%
Forêt ouverte de feuillus	2,80%
Forêt fermée sans couvert arboré	2,30%
Peupleraie	1,20%
Forêt ouverte mixte	0,40%
Forêt ouverte de conifères	0,10%

Sur les cours d'eau de rang 1 et 2 de Strahler, 48 % sont considérés comme forestiers d'après la définition présentée partie 4.1.1. (Figure 30).

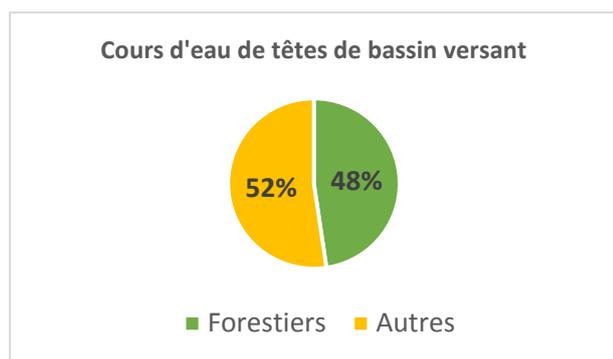


Figure 30 : Pourcentage de cours d'eau de rang de Strahler 1 et 2 forestier

Ces zones tampons forestières (tampons de 20 m sur les cours d'eau de tête de bassin versant) sont en majorité des forêts de feuillus. Les conifères représentent 4 % de la surface totale des zones tampons (Figure 31).

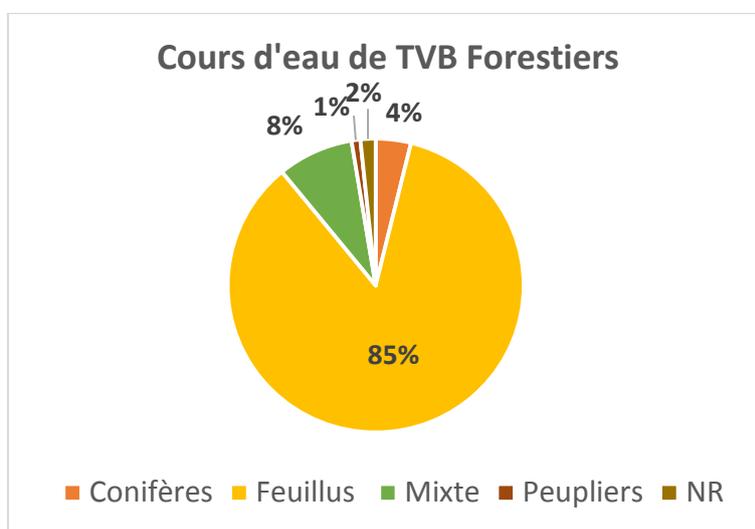


Figure 31 : Répartition des différentes essences en fonction de leur surface dans les zones tampons en TVB. (NR : Essence non discriminée ou composition indéterminée (coupe rase ou incident...))

Ces cours d'eau de tête de bassin versant en milieu forestier ne sont pas forcément associés à des zones humides comme c'est le cas de la Noë Molic. En effet, ce paramètre dépend du contexte pédologique et de la pente du site. Afin de contextualiser le cas de la Noë Molic, nous allons donc maintenant nous intéresser aux zones humides de tête de bassin versant toujours en contexte forestier.

#### 4.2.1.2. Les forêts fermées de conifères

En se basant sur les inventaires actuels (voir partie 4.1.2.1.) les zones humides occupent 11 % du bassin versant. Les boisements humides concernent 21 % de la surface forestière et 4 % sont des forêts fermées de conifères (FFC). La moitié des forêts humides sont en bord de cours d'eau de têtes de bassin versant (54 %), représentant une surface de pratiquement 5 000 ha.

Ci-dessous, la répartition des forêts humides en bord de cours d'eau de tête de bassin versant du Blavet :

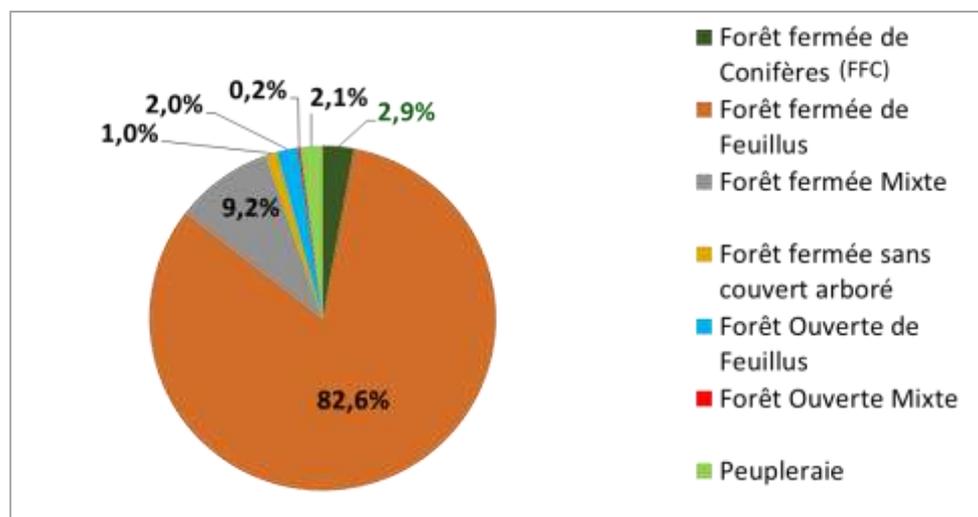


Figure 32 : Forêts humides en bord de cours d'eau de tête de bassin versant du Blavet

La grande majorité de ces forêts sont des forêts fermées de feuillus.

#### 4.2.1.3. Résultats de l'échantillonnage

Au total, 50 sites ont été échantillonnés, cela représente 11 % de l'ensemble des sites de FFC humides en tête de bassin versant.

38 sites ont leur code CORINE renseigné. Seuls 18 sites ont un code CORINE de 83.3.1 c'est-à-dire renseignés en tant que plantations de résineux. 66 % des sites ont été identifiés comme conforme à la BD forêt, et donc, sont véritablement des FFC. Parmi ces sites, 27 % présentent une ripisylve (premiers mètres de bord de cours d'eau) différente. Les autres sont principalement des forêts à essences mixtes.

13 sites présentent des fossés (26 %) (Figure 33) dont 11 sont des fossés connectés. Seul un site présente un réseau de fossé en « peigne ». 2 sites présentent entre 5 et 10 fossés. Les autres moins de 5 fossés. 52 % des sites présentent un cours d'eau chenalisé (Figure 33). Et 7 sites sont visiblement hors de leur talweg. A noter que la plupart des sites présentant des fossés présentent aussi un cours d'eau chenalisé.

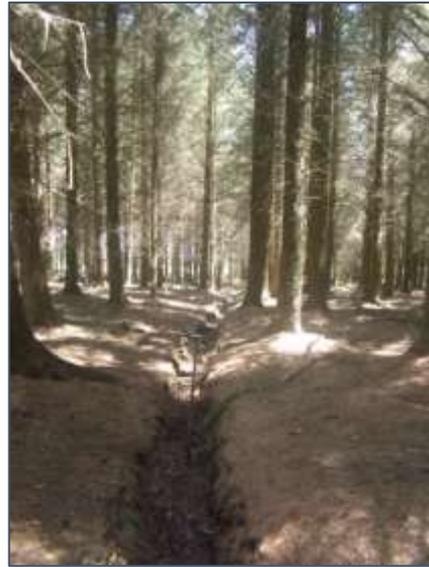


Figure 33 : Photographies d'un cours d'eau chenalisé (à gauche) et d'un fossé drainant (à droite) dans une plantation de conifères. (R. Caignec)

#### 4.2.2. A l'échelle du Morbihan

A l'échelle du Morbihan, 86 % des cours d'eau de l'inventaire de 2016 sont considérés comme cours d'eau de tête de bassin versant (Figure 34). En considérant la BD TOPO de 2011, le pourcentage est de 72 %. L'inventaire cours d'eau 2016 du Morbihan comporte 2 400 km de cours d'eau en plus que celui de la BD topographique.

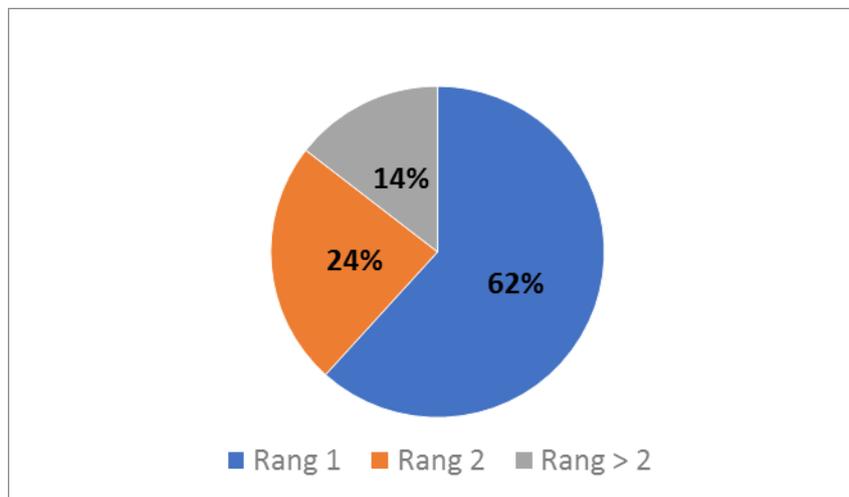


Figure 34 : Classification des différents cours d'eau du Morbihan, Inventaire 2016

21 % du territoire est boisé (17 % d'après le rapport IGN sur la Bretagne de 2010) dont 6 % est géré par l'ONF. Le Morbihan est le département de Bretagne le plus boisé. La moitié de la surface boisée est occupée par des forêts fermées de feuillus, 19 % par des conifères (Tableau 16).

Tableau 16 : forêt Morbihan (56)

FFC	18,6%
FFF	51,2%
FFM	24,7%
FF sans couvert arboré	2,1%
FOC	0,5%
FOF	1,4%
FOM	0,7%
Peupleraie	0,8%

Les zones humides occupent 12 % du territoire d'après l'inventaire en cours et 9 % de la surface des forêts du Morbihan se situent en zone humide et en bord de cours d'eau de tête de bassin versant. Les trois quarts sont occupées par des forêts fermées de feuillus (Figure 35). Environ 14 % est en forêt fermée mixte. Enfin, les forêts de conifères représentent seulement 5 %.

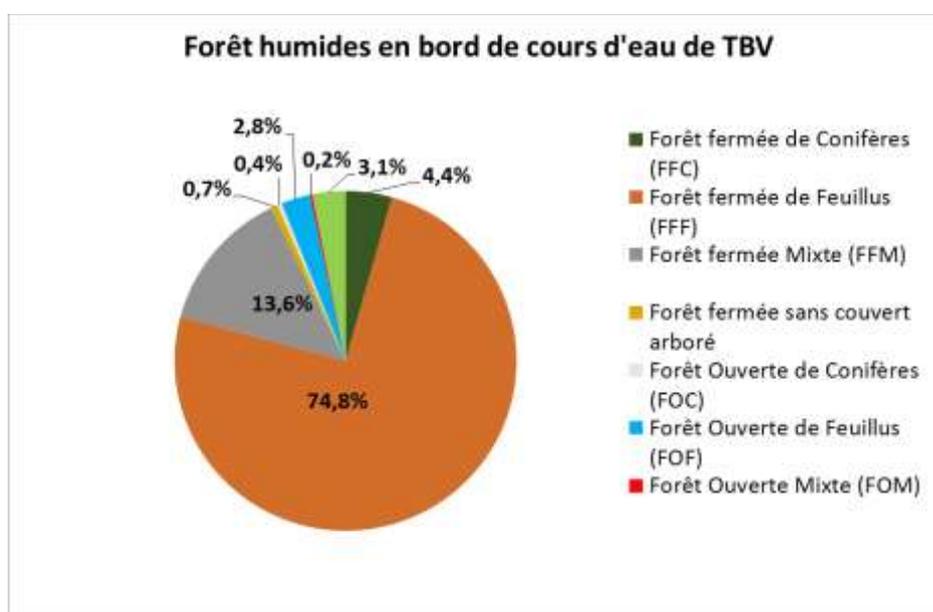


Figure 35 : Type de couverture et composition générale de la formation végétale des forêts humides en TBV du Morbihan(56)

Environ 7 % de la surface des FFC humides en bords de cours d'eau de tête de bassin versant sont estimées être gérées par l'ONF.

### 4.3. Discussion

#### 4.3.1. Extrapolation du site de la Noë Molic

Les cours d'eau en têtes de bassin versant du bassin du Blavet représentent 78 % du linéaire hydrographique ce qui est en accord avec la bibliographie (70 à 80 % d'après Le Bihan, 2009). En revanche, les résultats sont légèrement au-dessus à l'échelle du Morbihan (86 %).

Au vu des résultats présentés ci-dessus, la Noë Molic n'est pas un site très représentatif, autant du point de vue foncier, que du point de vue des pressions subies. En effet, peu de forêts fermées de conifères en zone humide sont gérées par l'ONF : 120 000 ha environ, représentant 85 %, des forêts du Morbihan sont privées (IGN campagne 2009, 2013). Les compositions des peuplements sont, pour les feuillus, majoritairement du Chêne pédonculé (37 000 ha) et pour les conifères, du pin maritime (environ 23 000 ha).

La campagne IGN menée de 2009 à 2013 sur le Morbihan, indique que les peuplements purs de feuillus sont de 74 000 ha, ce qui représente 52 % de la surface forestière totale. Les peuplements purs de conifères occupent 18 %, et les peuplements mixtes 17 % (Campagne IGN 2009 / 2013). A noter que sur la Base de données forêt 2014 (IGN), les peuplements mixtes représentent 25 % de la surface boisée, ce qui est supérieur. En revanche, les autres pourcentages sont très similaires. Si l'on compare les résultats de Flora André (2012), 82 % des forêts humides du département de Haute-Loire étaient des essences résineuses, ce chiffre est estimé à 4 % pour le bassin versant du Blavet.

La prospection sur le terrain nous permet d'affirmer que le site de la Noë Molic n'est pas représentatif de nombreux cas au niveau des pressions cumulées. Cependant la moitié des sites présentaient un cours d'eau chenalisé. Cette pression hydromorphologique impacte la quantité mais aussi la qualité de l'eau des cours d'eau (cf. bibliographie). En Bretagne, l'eau potable venant majoritairement des eaux de surface, préserver les cours d'eau en bonne qualité est donc primordial. Ainsi l'eau provenant d'un contexte forestier est généralement de meilleure qualité et nécessite moins de traitements à la condition d'une bonne gestion sylvicole. D'après le guide « Des forêts pour l'eau potable : la forêt protège votre eau » (Foret privée française) le coût des dommages liés à une gestion forestière déconnectée des milieux aquatiques peut dans le cas d'un accident de turbidité coûter 69 000 € au syndicat ou à l'entreprise s'occupant de l'eau potable (avec des conséquences directes, indirectes et potentielles) (Fiquepron et *al.* 2012). Les têtes de bassin versant enrésinées possèdent de forts enjeux au niveau des milieux aquatiques et de la qualité de l'eau. Ainsi, elles nécessitent la mise en place d'actions, qui, au vu de la faible surface de ses milieux, impacteront probablement peu l'économie forestière générale.

#### **4.3.2. Perspectives pour les politiques publiques**

Tout comme la protection des captages en forêt, les cours d'eau de tête de bassin versant pourraient bénéficier d'actions de différents types menées par des organismes publics :

##### Le levier réglementaire :

Du fait de l'impact important des plantations résineuses en bord immédiat des cours d'eau et de la faible surface que cela représente sur le plan de l'économie globale de la « filière résineuse », il semble envisageable de prévoir d'interdire ce type de plantation en bord des ruisseaux de têtes de bassin. La largeur de la bande d'interdiction reste à définir et pourrait être à adapter à différents critères (ex : largeur du cours d'eau, sensibilité des écosystèmes...). Les règlements de Sage (sous réserve de faisabilité juridique) pourraient inclure ce type de mesure.

##### Le levier financier :

Il existe en Bretagne, un programme d'aide à la plantation forestière sur la période 2014-2020, financé par la Région, les conseils régionaux et le FEADER. Les plantations sur certains milieux humides sensibles sont exclues de ces aides. Il pourrait être envisagé de définir des critères de définition liés aux têtes de bassin pour identifier des espaces sur lesquels il n'y aurait pas de financement public.

Même si elle semble a priori plus difficile à mettre en œuvre, la piste des incitations financières peut également être creusée. Il s'agirait, à l'instar du système des mesures agro-environnementales et climatiques qui s'adresse aux agriculteurs, de compenser la perte financière estimée du fait de changement de pratique.

##### Le levier pédagogique :

Associer les forestiers privés aux projets (propriétaires, Syndicats ou CRPF) minimise les risques de contentieux. La connaissance des enjeux « tête de bassin versant » doit donc être partagée, et les propriétaires de parcelles forestières en tête de bassin versant informés. Il est important de responsabiliser les forestiers et de reconnaître leur rôle pour la protection des milieux aquatiques. Le regroupement des propriétaires est un

élément favorable à une meilleure prise en compte des enjeux forestiers (Fiquepron et al. 2012). Il peut ainsi être envisagé de prévoir des actions spécifiques de communication sur les enjeux liés aux têtes de bassin par le biais de guides ou de réunion d'information en s'appuyant sur le CRPF.

#### Le levier curatif :

Si les 3 premiers types d'actions ont pour objectif de ne pas reproduire des erreurs passées dont on observe aujourd'hui les effets, ils ne permettent pas de corriger ce qui a déjà été fait. Sur ce point des programmes de restauration de milieux sont à mettre en œuvre. Les cadres de mise en œuvre peuvent être variés (Contrat Territorial Milieux Aquatiques, actions des PNR...). Pour la mise en œuvre de ces actions, une priorisation des actions peut être effectuées. Il semble ainsi pertinent, pour un projet de restauration, de cibler les têtes de bassin versant ayant des pressions hydromorphologiques importantes, de même que celles incluses dans des espaces sensibles (ZNIEFF, ENS...) à fort enjeu en terme de faune et flore, ou encore, celles situées en amont des masses d'eau en mauvais état écologique au regard de la Directive Cadre sur l'Eau.

## 5. Conclusion

Les têtes de bassin versant sont importantes au niveau de la quantité d'eau qu'elles fournissent. Par ailleurs, elles sont déterminantes pour la qualité de l'eau à l'aval et sont le siège d'une riche biodiversité. En milieux forestiers elles peuvent subir diverses pressions dues : à la gestion forestière, aux choix des essences, à l'altération hydromorphologique du cours d'eau ou de la zone humide et enfin aux travaux lors de l'exploitation forestière. Pour restaurer ces écosystèmes particuliers où les liens terres et eaux sont omniprésents, il est nécessaire d'utiliser des techniques variées spécifiques aux zones humides, aux cours d'eau ou combinant les 2 approches.

Malgré une année hydrologique particulièrement sèche, l'ensemble des suivis ont permis de faire un diagnostic de la tête de bassin versant de la Noë Molic, cependant une année de suivi supplémentaire est nécessaire afin de confirmer certaines hypothèses mais surtout de préciser les préconisations de restauration. L'ensemble des suivis montrent que le site de la Noë Molic ne remplit pas ses fonctions hydrologiques, son rôle « d'éponge ». La présente étude a permis de mettre en avant que les sites similaires à la Noë Molic représentent un faible pourcentage des surfaces boisées du Morbihan et que ce sont en grande majorité de petites parcelles privées. A la vue des forts enjeux sur les milieux aquatiques des actions et politiques publiques sont à définir/développer en intégrant le rôle important des forestiers privés.

Avec la mise en place d'une batterie de suivis pendant 5 ans, ce site test va permettre de montrer de façon scientifique et précise la réussite ou l'échec de techniques de restauration d'hydromorphologie de cours d'eau de tête de bassin versant et de réduction de l'effet drainant de fossés. A terme, les recommandations techniques issues de ces travaux pourront servir à la restauration de têtes de bassin versant en contexte forestier impacté par des peuplements inadaptés et/ou des travaux hydrauliques.

## 6. 1. Références bibliographiques

- AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE. 2016 — *Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux. Les Sdage Loire-Bretagne 2016-2021 et son programme de mesures associé* — Chapitre 11 : préserver les têtes de bassin versant. p. 34
- ALEXANDER (Richard B), BOYER (Elizabeth W), SMITH (Richard A), SCHWARTZ (Grégory E) and MOORE (Richard B). 2007 — The Role of Heaswater Streams in Downstream Water Quality. — *Journal of the American Water Resources Association*, n° 43(1), p. 41 – 59.
- ANDRE (Flora). 2012 — *Avenir des plantations de résineux situées en zones humides. Diagnostic et proposition d'une stratégie de gestion.* — Nancy : Agroparistech. 103 p. (Mémoire de fin d'études)
- ARPIN (Pierre) et PONGE (Jean-François). 1986 — *Influence d'une implantation récente de pin sylvestre sur le comportement de la nématofaune du sol, par comparaison avec un peuplement feuillu pur et un peuplement mélangé.* — *Pedobiologia*, Elsevier, n°29 (6), p. 391-404.
- BADEAU (Vincent), BREDA (Nathalie), GRANIER (André) et FIQUEPRON (Julien). 2012 — L'eau forestière de qualité : comment agir sur les quantités produites ? — *Revue forestière française*, vol. LXIV, n°3, p. 283-292
- BARNAUD (Geneviève) 2013 — *Spécificités des têtes de bassin, cours d'eau et zones humides associées.* — Tours : Atelier « Têtes de bassin » Rencontres Eau, Espaces, Espèces Préservation des zones humides, de la continuité écologique et de la biodiversité. — 32 p.
- BAUDOIN (Jean-Marc). 2007 — *Biodiversité et fonctionnement de cours d'eau forestiers de tête de bassin : Effet de l'acidification anthropique et d'une restauration.* — Metz : Université Paul Verlaine, Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes — 258 p.
- BISHOP (K.), BUFFAM (I.), ERLANDSSON (M.), FORSTER (J.), LAUDON (H.), SEIBERT (J.) et TEMNERUD (J.). 2008 — Aqua Incognita : the unknown headwaters. — *Hydrological Processes*, n° 22, p. 1239-1242.
- BOSSIS (Mathieu). 2014 — *Etude de l'hydromorphologie à l'échelle stationnelle des cours d'eau de tête de bassin versant armoricains en situation de référence.* — ONEMA ; Université de Rennes 1 ; AgroCampus Ouest. 42 p. (Rapport de stage Master 2).
- BOUAS (Guillaume). 2016 — *Etude de la biodiversité (macro-invertébrés et ichtyofaune) des cours d'eau en tête de bassin versant.* — ONEMA ; Polytech Tours. — 75 p. (Rapport de stage Master 2).
- CAVAN (Nanthilde). 2015 — *Evaluation de l'aire effectivement asséchée par le drainage agricole en zones humides.* — ONEMA ; Université de Rouen. — 81 p. (Rapport de stage Master 2)
- COLIN (Marion). 2015 — *Etude de l'hydromorphologie à l'échelle stationnelle des cours d'eau de tête de bassin versant, Evaluation de l'impact des travaux de chenalisation.* — Université Rennes 1 ; ONEMA. — 57 p. (Rapport de stage Master 2).
- CORSON (Mathieu). 2013 — *Etat initial et Etude de faisabilité d'un projet de restauration de tourbière du pays de Bray humide.* Agroparistech Nancy ; CRPFN. — 100 p. (Mémoire de fin d'études).
- DATRY (Thibault). 2012 — Benthic and hyporheic invertebrate assemblages along a flow intermittence gradient: effects of duration of dry events. — *Freshwater Biology*, n° 57, p. 563-574.
- DURELET (Pierre). Coordination. 2009 — *Eléments techniques pour la préservation des ruisseaux.* — PNRM ; ONF ; ADAPEMONT ; PNRH. LIFE04NAT/FR/000082. 80 p.
- FIQUEPRON (Julien), PICARD (Olivier) et TOPPAN (Eric). 2012 — *Des forêts pour l'eau potable : la forêt protège votre eau. Les forestiers fournissent et proposent des services pour une eau de qualité.* — Forêt Privée Française. 31 p.
- FIQUEPRON (Julien) et CHARNET (François). 2013 — *Expertise et synthèse bibliographique – Effets des pratiques forestières sur la qualité des eaux.* — LIFE SEMEAU. 32 p.
- FRANKARD (Philippe). 2006 — *2. Evaluation des techniques de restauration des landes sèches, des landes tourbeuses et des genévrières testées sur le plateau des Hautes Fagnes* — Hautes Fagnes

- Les techniques de gestion des milieux naturels et semi-naturels mises en œuvre depuis 1994 dans la RND des Hautes Fagnes— p. 21-29
- GAYRAUD (S.), HEROUIN (E.) et PHILIPPE (M.). 2002 — Le colmatage minéral du lit des cours d'eau : revue bibliographique des mécanismes et des conséquences sur les habitats et les peuplements macroinvertébrés. — *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, n° 365/366, p. 339-355.
  - GODREAU (Vincent), PARIS (Laurent), DURLET (Pierre), VINCENT (Anne-Sophie), CHAPUT (Eric). 2009 — *Rapport post-LIFE « Ruisseaux de têtes de bassins et faune patrimoniale associée » 2004-2009* — Parc naturel régional du Morvan. 38 p.
  - JAN (Alexandre). 2013 — *Etude du fonctionnement hydromorphologique de référence des cours d'eau de tête de bassin versant sur le Massif Armoricaïn*. — Université Rennes 1 : mention Biodiversité – Ecologie – Environnement. 112 p. (Rapport de stage Master 2).
  - JANISCH (Jack E.), FOSTER (Alex D.) et EHINGER (William J.). 2011 — Characteristics of small headwater wetlands in second-growth forests of Washington, USA. — *Forest Ecology and Management*, n° 261, p. 1265-1274.
  - JOCHNER (M.), TUROWSKI (J. M.), BADOUX (A.), STOFFEL (M.) et RICKLI (C.). 2015 — The role of log jams and exceptional flood events in mobilizing coarse particulate organic matter in a steep headwater stream. — *Earth Surface Dynamics*, n° 3, p. 311-320.
  - KNOEPP (Jennifer D.) et CLINTON (Barton D.). 2009 — Riparian zones in southern Appalachian headwater catchments: Carbon and nitrogen responses to forest cutting. — *Forest Ecology and Management*, n° 258, p. 2282-2293.
  - LANDRY (Josée) et ROCHEFORT (Line). 2011 — *Le drainage des tourbières : impacts et techniques de remouillage* — Groupe de recherche en écologie des tourbières ; Université LAVAL. 60 p.
  - LE BIHAN (Mikaël). 2009 — *L'enterrement des cours d'eau en tête de bassin en Moselle (57)*. — ONEMA ; Université Paul Verlaine Metz. 49 p. (Rapport de stage Master 2).
  - LECERF (Antoine). 2005 — *Perturbations anthropiques et fonctionnement écologique des cours d'eau de tête de bassin : Etude du processus de décomposition des litières*. — Toulouse III en Ecologie fonctionnelle. 176 p. (Thèse de doctorat)
  - LE COZ (Jérôme), CAMENEN (Benoît), DRAMAIS (Guillaume), RIBOT-BRUNO (José), FERRY (Michel), ROSIQUE (Jean-Louis). 2011 — *Contrôle des débits réglementaires – Application de l'article L. 214-18 du Code de l'environnement* — ONEMA et CEMAGREF. Guide technique Police de l'eau. 132 p.
  - LE PIMPEC (Paul). 2002 — *Guide pratique de l'agent préleveur chargé de la police des milieux aquatiques* — CERMAGREF. 160 p.
  - LUCOT (Eric), DEGIORGI (François), ADOT (Pierre-Marie), PEREIRA (Vincent), AUGÉ (Vincent), DURELET (Pierre). Automne 2008 — ONF RDV technique n°22 — p. 56-60
  - LEVRAT (Julien), ouvrage collectif. 2017 — *Les boisements en zones humides de têtes de bassin versant*. — Fédération des Conservatoires d'espaces naturels. 20 p.
  - LHERITIER (Nicolas). 2012 — *Les têtes de bassin : de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins*. — Limoges : Université de Limoges. Faculté des lettres et sciences humaines. 481 p. (Thèse de doctorat).
  - MATHIEU (Aurélia). Août 2010 — *Cours d'eau enterrés en tête de bassin : préconisations pour leur restauration*. — Délégation Interrégionale Nord-Est de l'Onema. 29 p.
  - MEYER (Judy L.), BEILFUSS (Richard), KAPLAN (Louis A.), CARPENTER (Quentin), NEWBOLD (Denis), SEMLITSCH (Ray), STRAYER (Davis L.), WATZIN (Mary C.), WOLTEMADE (Christopher J.), ZEDLER (Paul H.), ZEDLER (Joy B.). 2007 — *Where rivers are born: The scientific Imperative for Defending Small Streams and Wetlands*. — American Rivers and Sierra Club. — 28 p.

- MILLINGTON (C. E.) et SEAR (D. A.). 2007 — Impacts of river restoration on small-wood dynamics in low-gradient headwater stream. — *Earth Surface Processes and Landforms*, n° 32, p. 1204-1218.
- MINISTERE DE L'ENERGIE ET DES RESSOURCES DU QUEBEC. 1989 — *Guide sur le drainage sylvicole*. — Bibliothèque nationale du Québec. — 62 p.
- MONDESIR (Laura). Avril 2017 — *Guide technique : Protocole de caractérisation de la biodiversité (Macro-invertébrés et ichtyofaune) des cours d'eau en tête de bassin versant (Rang de Strahler 1)*. — AFB DIR 2 Rennes. 14 p.
- MORELLE (Sébastien). Avril 2007 — *La gestion des ruisseaux des têtes de bassin dans le PNR des Vosges du Nord, l'exemple des cours d'eau sur grès Natura 2000*. — Actes des Rencontres nationales techniques — Gestion des ruisseaux de tête de bassin et zones humides associées. Maison du PNR du Morvan. p. 12-25
- NAVARRO (Lionel), PERESS (Josée) et MALAVOI (Jean René). 2012 — Aide à la définition d'une étude de suivi – *Recommandations pour des opérations de restauration de l'hydromorphologie des cours d'eau* — ONEMA. 48 p.
- ONEMA, AGENCES DE L'EAU ET MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DE L'ENERGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER. — *La restauration des cours d'eau, Recueil d'expériences sur l'hydromorphologie*.
- PARC NATUREL REGIONAL D'ARMORIQUE, BRETAGNE VIVANTE. Octobre 2016 — *Restauration des landes desensées dans les Monts d'Arrée Stratégie nationale pour la biodiversité 2011-2020. Rapport de synthèse projet SNB* — 72 p.
- PORTERET (Jérôme). 2008 — *Fonctionnement hydrologique des têtes de bassin versant tourbeuses du Nord-Est du Massif Central*. — Saint-Etienne : Université Jean Monnet Centre de Recherche sur l'Environnement et l'Aménagement. 430 p. (Thèse de doctorat).
- POUVREAU (Romain). 2015 — *Comparaison de différents indices hydrobiologiques « invertébrés » en Ile-de-France – Vers la mise en application de l'Indice Invertébrés Multi-Métrique (I2M2)*. — Université de Pau et des pays de l'Adour ; Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie Ile-de-France. 81 p. (Rapport de stage Master 2).
- PYWELL (R. F.), PAKERMAN (R. J.), ALLCHIN (E. A.), BOURN (N. A. D.), WARMAN (E.A.) et WALKER (K. J.). 2002 — The potential for lowland heath regeneration following plantation removal. — *Biological Conservation*, n° 108, p. 247-258.
- SCHNEIDER (Jean-Baptiste). 2007 — Plaidoyer pour une restauration des cordons rivulaires naturels des ruisseaux et ruisselets forestiers. — *Forêt wallonne* n°86 – janvier/février 2007. 15 p.
- SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL SCIENCE & POLICY WORKING GROUP. 2004 — *L'ABCDAire sur l'écologie de la restauration de la SER Internationale* — The SER International Primer on Ecological Restoration. [www.ser.org](http://www.ser.org) & Tucson : Society for Ecological Restoration International. 15 p.
- SPITONI (Marie). 2012 — *Caractérisation géospatiale des pressions anthropiques physiques qui s'exercent sur les cours d'eau de tête de bassin versant*. — Université de Strasbourg ; Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg. 79 p. (Rapport de stage Licence professionnelle).
- SUURKUKKA (Heli), VIRTANEN (Risto), SUORSA (Ville), SOININEN (Janne), PAASIVIRTA (Lauri), MUOTKA (Timo). 2014 — Woodland key habitats and stream biodiversity : Does small-scale terrestrial conservation enhance the protection of stream biota ? — *Biological Conservation*, n° 170, p. 10-19.
- VANNOTE (Robin L.), MINSHALL (G. Wayne), CUMMINS (Kenneth W.), SEDELL (James R.), et CUSHING (Colbert E.). 1980 — *The river continuum concept*. — *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137 p.

- VUORI (Kari-Matti), JOENSUU (Ilona), LATVALA (Jyrki), JUTILA (Eero) et AHVONEN (Anssi). 1998 — Forest drainage: a threat to benthic biodiversity of boreal headwater streams? — *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, n° 8, p. 745-759.
- WARREN (Dana R.), BERNHARDT (Emily S.), HALL (Robert O.) et LIKENS (Gene E.). 2007 — Forest age, wood and nutrient dynamics in headwater streams of the Hubbard Brook Experimental Forest, NH. — *Earth Surface Processes and Landforms*. — n° 32, p. 1154-1163.
- WELSCH (David J.), SMART (David L.), BOYER (James N.), MINKIN (Paul), SMITH (Howard C.) et McCANDLESS (Tamara L.). 2001 — *Forested Wetlands. Functions, Benefits, and the Use of Best Management Practices* — United States : Department of Agriculture, Forest, Natural Resources Conservation Services, Army Corps of Engineers, Environmental Protection Agency and Department of the Interior Fish and Wildlife Service. — 68 p.
- WHILES (Matt R.) et WALLACE (J. Bruce). 1997 — Leaf litter decomposition and macroinvertebrate communities in headwater streams draining pine and hardwood catchments. — *Hydrobiologia*, n° 353, p. 107-119.
- WIPFLI (Mark S.), RICHARDSON (John S.) et NAIMAN (Robert J.). Février 2007 — Ecological linkages between headwaters and downstream ecosystems: transport of organic matter, invertebrates, and wood down headwater channels. — *American Water Resources Association*, Vol. 43, n° 1, 72-85 p.

Pages web et autres documents consultables sur internet :

- CARLUER N. et GASCUEL C., Les éléments du paysage ; consulté en juin 2017 chapitre 3 : les fossés et cours d'eau [https://agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/Territ\\_Eau/CONNAISSANCES/referentiel\\_complet\\_partie2.pdf](https://agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/Territ_Eau/CONNAISSANCES/referentiel_complet_partie2.pdf)
- CLEMENT B., MEROT P. et GASCUEL C., *Les éléments du paysages, Chapitre 4 : Les zones humides.* Consulté en juin 2017 [https://agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/Territ\\_Eau/CONNAISSANCES/referentiel\\_complet\\_partie2.pdf](https://agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/Territ_Eau/CONNAISSANCES/referentiel_complet_partie2.pdf)

## 6.2. Liste des contacts

Tableau 17 : Liste des contacts

CAIGNEC Ronan	Technicien rivière et zones humides au Syndicat Mixte du Sage Blavet – 21, rue de Rimaison Talvern Nénèze 56930 PLUMELIAU – 02.97.25.05.92 – <a href="mailto:ronan.caignec@sage-blavet.fr">ronan.caignec@sage-blavet.fr</a>
DAUSSE Armel	Forum des Marais Atlantiques, Coordinatrice de l'antenne-relais de Brest – 02.56.31.13.65 - <a href="mailto:ADausse@forum-marais-atl.com">ADausse@forum-marais-atl.com</a>
HOLDER Emmanuel	Bretagne Vivante, Conservateur de la RNN Venec, Responsable de la RNR Cragou-Bergam – 02.98.79.71.98 - <a href="mailto:emmanuel.holder@bretagne-vivante.org">emmanuel.holder@bretagne-vivante.org</a>
LE BIHAN Mikaël	Inspecteur de l'environnement, AFB – Direction Interrégionale Bretagne, Pays de la Loire – 84, rue de Rennes, 35510 Cesson-Sévigné – 02.23.45.20.82 - <a href="mailto:mikael.le_bihan@afbiodiversite.fr">mikael.le_bihan@afbiodiversite.fr</a>
LE BOURHIS Tristan	ONF, Unité territoriale Morbihan et Finistère SUD – Triage de Baud – La Métairie 56310 Malrand – 02.97.07.89.46 - <a href="mailto:tristan.le-bourhis@onf.fr">tristan.le-bourhis@onf.fr</a>
MERLE Yves	Technicien rivière au Syndicat de la vallée du Blavet (SVB) – BP 43 56150 Baud <a href="mailto:yves.merle@blavet.bzh">yves.merle@blavet.bzh</a>

## 7. Les annexes

7.1.	<u>Protocole caractérisation des fossés</u> .....	71
7.2.	<u>Protocole suivi de l'intermittence du cours d'eau</u> .....	76
7.3.	<u>Tableau comparaison IBGN et suivi macro-invertébré Noë Molic</u> .....	79
7.4.	<u>Estimation de l'ETP mensuelle formule de Thronthwaite</u> .....	80
7.5.	<u>Piézomètres</u> .....	81
7.6.	<u>Pluviométrie (données du pluviomètre manuel)</u> .....	83
7.7.	<u>Mesures de pH et de conductivité</u> .....	84
7.8.	<u>Caractérisation des fossés de la Noë Molic</u> .....	85
7.9.	<u>Suivi intermittence</u> .....	87
7.10.	<u>Carte des habitats en 2016 sur le site de la Noë Molic (source : rapport Agnès Stephan)</u> .....	88
7.11.	<u>Carte de localisation des espèces intéressantes sur le site de la Noë Molic (source : rapport 2016 Agnès Stephan)</u> .....	89
7.12.	<u>Carte de l'indice d'Ellenberg</u> .....	89
7.13.	<u>Résultat évaluation des fonctions de la zone humide (2017)</u> .....	90
7.14.	<u>Simulation des habitats de la Noë Molic après action écologique</u> .....	91

## 7.1. Protocole caractérisation des fossés

### Protocole fonctionnement hydraulique d'un réseau de fossés

Ce protocole a pour objectif d'évaluer le fonctionnement hydraulique d'un réseau de fossés en contexte forestier en vue d'une restauration. Il doit être rapidement effectué et doit donner une idée **globale du fonctionnement hydraulique** du réseau et aider à orienter les actions à mettre en place pour réduire le drainage de ce réseau.

Du fait de leurs caractéristiques physiques tous les fossés n'ont pas le même pouvoir drainant. De plus avec le temps certains perdent leurs efficacités de drainage. En vue d'une restauration, le bouchage de tous les fossés peut être coûteux. Il est par conséquent utile de connaître le fonctionnement d'un réseau de drainage afin de prioriser des actions de restauration et de maximiser le rapport efforts/coûts/bénéfices.

**Définition d'un fossé :** Fosse creusée en long pour délimiter des parcelles de terrain, pour faciliter l'écoulement des eaux, ou pour servir de défense, de rempart (Larousse). Les fossés et les drains sont des ouvrages artificiels créés par l'homme comme réseaux d'écoulement.

- **Les différentes parties du protocole**

Le protocole se compose de 3 parties. La première partie (partie A) consiste à caractériser le réseau de fossés (emplacement, géométrie, encombrement). La deuxième partie (partie B) est la caractérisation des écoulements dans les fossés. Enfin, les mesures de débits complémentaires sont présentées dans la partie C.

- **Conditions d'application hydroclimatiques favorables à l'observation**

Aucune période n'est recommandée pour la partie A. La caractérisation des écoulements (partie B) doit se faire lorsque les nappes d'eau sont hautes (généralement du mois d'octobre au mois d'avril). Il est conseillé d'effectuer cette partie juste après (ou pendant) d'importantes précipitations et quelques jours après l'arrêt de ces précipitations.

Pour la partie C, la méthode d'évaluation des débits n'est valable que pour les petits débits (< 5L/s). Les mesures de débits doivent être faites à deux périodes : nappes hautes et nappes basses. Les différents points devront être mesurés le même jour. Idéalement, pour un évènement pluvieux donné, des mesures avant et après la pluie sont à faire.

- **Préparation et moyen**

Moyens humains :

Une seule personne peut suffire à réaliser ce protocole.

Moyens matériels :

Matériel	Quantité	Partie (A, B ou C)
Mètre	1	A, B et C
Carte, plan du site	1	A, B et C
Décamètre	1	A
Logiciel traitement SIG	1	A
Tige (bois ou fer)	1	A (déterminer la hauteur du fossé)
Clinomètre	1	A
Planches en bois (contreplaqué)	Variable (en fonction du nombre de points de mesure et de la possibilité d'utiliser une planche en différents points)	C
Tuyau diamètre 100 mm	Variable	C
Chronomètre	1	C
Marteau	1	C

Réceptif rigide de volume connu	1	C
Cale en bois	1	C

## Partie A : Géométrie des fossés et localisation des principaux obstacles

### 1 : Objectif

L'objectif de cette première partie est d'effectuer une caractérisation physique du réseau de fossés. Elle comporte deux phases, une phase terrain avec la prise des mesures et une phase cartographique.

**Sera considéré comme obstacle :** Tout élément qui bouche partiellement ou totalement le fossé.

### 2. Préparation

Pré-requis : Pour préparer au mieux la phase terrain, il est possible de repérer préalablement la station à l'aide de supports cartographiques (photos aériennes par exemple).

### 3. Réalisation

Méthode phase terrain :

Il faut parcourir l'ensemble des fossés en les cartographiant avec si possible des relevés GPS et en notant les paramètres suivants :

- Hauteur totale du fossé (Ht)
- Largeur à plein bord (Lpb)
- Hauteur de sédiments (Hsédiments)
- Géométrie du fossé (U, V, trapèze)
- Nature du fond du fossé (sol apparent/végétaux morts/végétaux vivants/sable)
- Localisation des obstacles en mètres par rapport à l'aval ou l'amont du fossé
- Nature de l'obstacle : arbre, rémanents, terre
- Dimensions de l'obstacle : largeur (haute et basse), longueur, hauteur
- Pente du fossé à l'aide du clinomètre

Il est utile de prendre des photos de chaque obstacle.

Remarque 1 : si les caractéristiques (hauteur du fossé, largeur à plein bord) diffèrent au sein d'un même fossé alors il faudra identifier le fossé amont et le fossé aval et faire plusieurs mesures.

Remarque 2 : Si la localisation précise des fossés n'a pas été faite alors elle doit être réalisée pendant cette partie à l'aide d'un GPS ou d'une tablette.

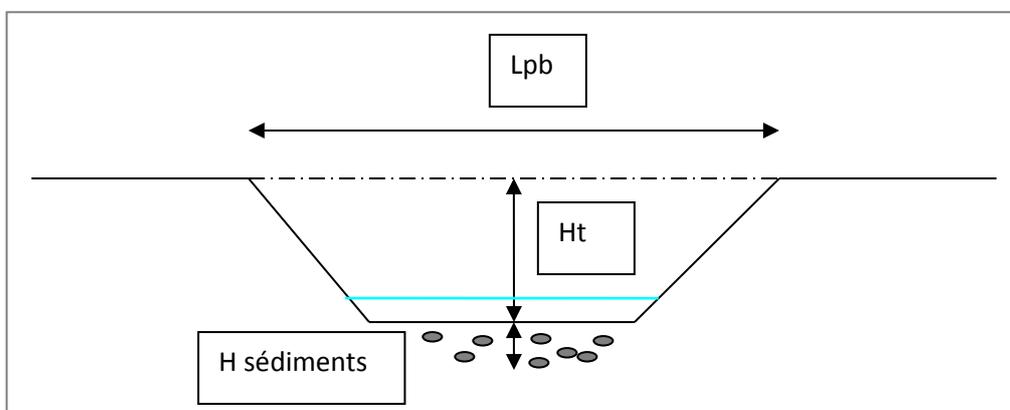
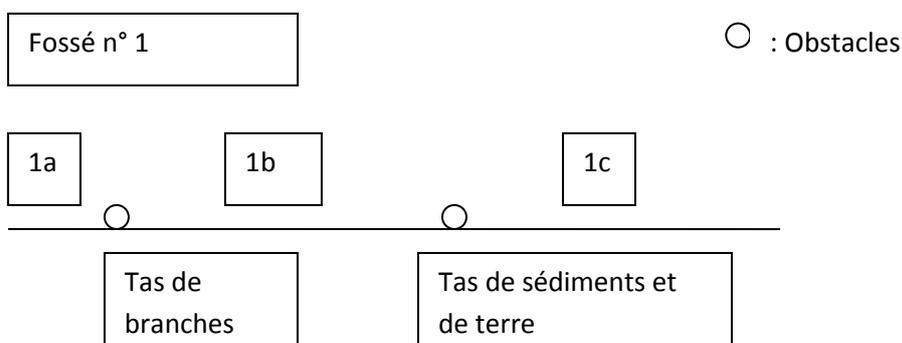


Figure 36 : Schéma de la section d'un fossé et des différentes mesures prises



Figure 37 : Photo d'obstacles sur le site de la Noë Molic date : 23 mars 2017 © F. Zoccarato

Après la phase terrain, il faut cartographier les obstacles présents dans les fossés et renommer les tronçons de fossé (utile à la partie B) comme dans l'exemple ci-dessous :



L'estimation d'un pourcentage d'obstruction de la section pour chaque obstacle peut être calculée en comparant la surface de la section du fossé et celle de l'obstacle.

## Partie B : Suivi intermittence niveau d'eau des fossés

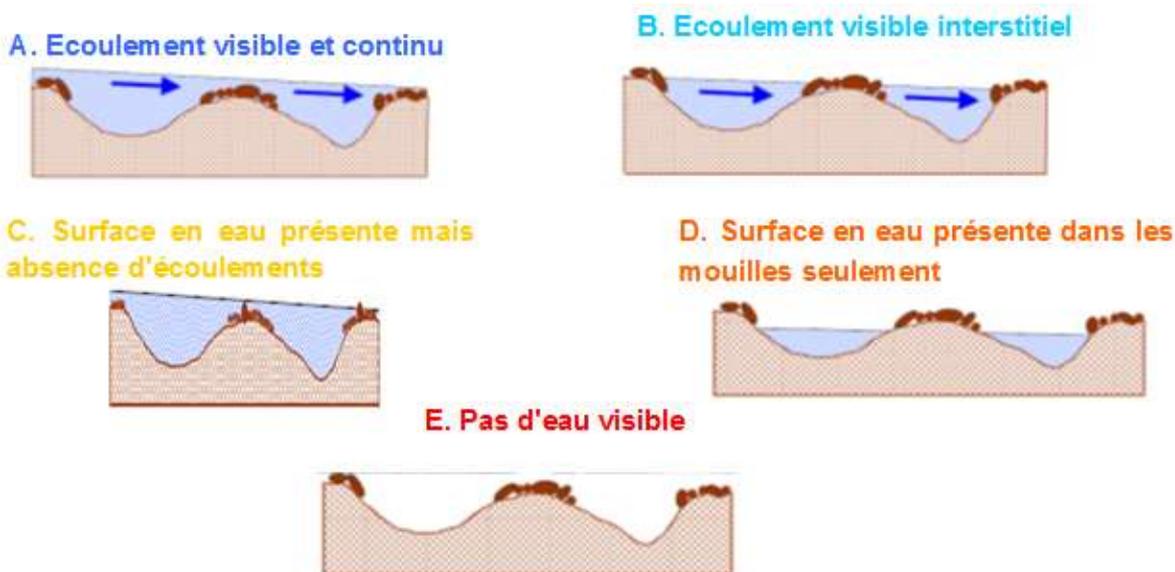
### 1. Objectif de la mesure

Cette partie a pour objectif de caractériser rapidement les conditions d'écoulements au sein des fossés en période de hautes eaux. Les conditions sont déterminées par une évaluation visuelle et sont définies d'après la méthode de caractérisation des conditions d'écoulement des cours d'eau de l'ONEMA utilisant les classes d'écoulement de Fritz.

### 2. Réalisation

Pour chaque tronçon (i. e. entre deux obstacles ou à une intersection) il faut noter la classe d'écoulement majoritaire. Lorsqu'il y a présence d'eau il faut noter la hauteur de celle-ci (avec une précision au cm).

**Classe d'écoulement (méthode de caractérisation des conditions d'écoulement des cours d'eau de l'ONEMA, protocole Fritz) :**



## Partie C : Mesure de débits

### 1. Objectif de la mesure

Cette partie est complémentaire aux deux parties précédentes. Elle donne une information supplémentaire sur l'intensité du drainage des fossés.

La mesure de débits est effectuée à des emplacements stratégiques du réseau représentatifs du réseau de drainage.

### 2. Préparation et moyen



Figure 38 : Dispositif de mesure de débit tuyau  $\varnothing$  100 mm ©F. Zoccarato

Il faut au préalable choisir les emplacements de mesures de débits et avoir les dimensions exactes des fossés.

Préparation des planches : Couper les planches en fonction de la largeur du fossé en rajoutant 5 à 10 cm de chaque côté. Faire un trou de diamètre 100 mm dans chacune (la hauteur de l'emplacement du trou doit être inférieure à celle des berges). La hauteur de la planche est supérieure ou égale à la hauteur des berges (voir figure 38).

Remarque : pour plus de précision, il est possible de coller le tuyau à la planche (avec un joint en silicone par exemple) mais cela implique d'avoir un tuyau par planche.

### 3. Réalisation

Il faut fixer la planche dans le fossé afin de bloquer complètement l'écoulement. Il est possible d'utiliser la bêche dans un premier temps pour fendre les berges du fossé puis enfoncer la planche de plusieurs centimètres dans le fond du fossé à l'aide d'un marteau et d'une cale en bois en tapant dessus. Si besoin, les extrémités de la planche seront colmatées avec de la terre ou de l'argile. Il faut ensuite chronométrer le temps que met le récipient pour se remplir. En divisant le nombre de litres par le temps de remplissage cela nous indique directement une mesure de débit<sup>17</sup>. La mesure de temps est répétée jusqu'à l'obtention de trois résultats concordants.

<sup>17</sup> A convertir selon l'unité voulue

## **Bibliographie :**

- CAVAN Nanthilde **Evaluation de l'aire effectivement asséchée par le drainage agricole en zones humides**. Master 2 Eaux, Sols, Environnement, Université de Rouen, ONEMA, 2015. 81 p.
- Service des traitements sylvicoles Québec **Guide sur le drainage sylvicole**, Bibliothèque nationale du Québec, Gouvernement du Québec, 1989, ISBN : 2-550-19917-0. 62 p.
- LE COZ (Jérôme), CAMENEN (Benoît), DRAMAIS (Guillaume), RIBOT-BRUNO (José), FERRY (Michel), ROSIQUE (Jean-Louis). 2011 — *Contrôle des débits réglementaires – Application de l'article L. 214-18 du Code de l'environnement* — ONEMA et CEMAGREF. Guide technique Police de l'eau. 132 p.

## 7.2. Protocole suivi de l'intermittence du cours d'eau

### Méthode de caractérisation des conditions d'écoulement des cours d'eau

Cette méthode a pour objectif de caractériser rapidement les conditions d'écoulements au sein des cours d'eau en tête de bassin versant. Les conditions sont déterminées par une évaluation visuelle du niveau de connexion des eaux de surface et des vitesses d'écoulement du cours d'eau.

Les conditions d'écoulements varient dans le temps (saison, précipitation / évapotranspiration) et dans l'espace (en fonction de l'éloignement des zones de sources, de l'occupation des sols, des capacités de stockage des eaux souterraines...). Ce niveau de connexion ou de fragmentation des écoulements est fondamental et contrôle la structure et la fonction des cours d'eau en tête de bassin versant parce qu'il affecte les propriétés physico-chimiques, les capacités de déplacements biologiques et les disponibilités en zones refuges (Boulton & Lake 1990, Dietrich & Anderson 1998, Maltchik *et al.*, 1994).

5 conditions d'écoulement (observés dans les cours d'eau en tête de bassin versant) sont décrites et représentent les différents niveaux de connexion des écoulements à un point donné dans le temps et dans l'espace. Chaque condition est décrite dans les pages suivantes par un schéma représentant une section longitudinale d'un cours d'eau, une photo et un texte explicatif. Le bleu indique la surface en eau, les flèches indiquent la présence et la direction de l'écoulement visible.

#### ✓ Dans le cas de la caractérisation du régime d'écoulement d'un cours d'eau :

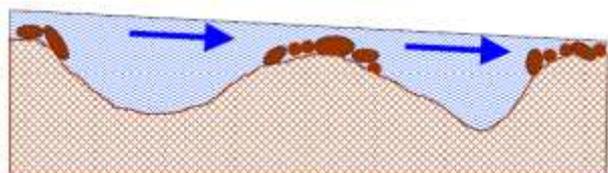
A minima, la caractérisation des écoulements doit être réalisée une fois en période sèche et une fois en période humide. La caractérisation peut être basée sur la condition d'écoulement prédominante sur le site d'étude. Ceci constitue une méthode simple pour identifier les types de régimes d'écoulement (permanent, intermittent, éphémère).

#### ✓ Dans le cas d'un suivi de l'intermittence d'un cours d'eau donné suite à une restauration ou une altération :

- A minima, il est pertinent d'avoir une année hydrologique complète pour réaliser l'état initial. Pour exploiter les données, il est essentiel d'avoir la pluviométrie par jour (en mm) sur une station pluviométrique à proximité immédiate du site d'étude.
- Il est nécessaire de faire un suivi régulier (une fois par semaine ou à minima toutes les 2 semaines pendant la période critique pour les écoulements (à définir pour le site étudié). Pour faciliter l'acquisition de la donnée sur le terrain, il est conseillé de réaliser une intercalibration entre les différents opérateurs en charge des relevés.
- Afin d'avoir une évaluation rapide, précise et facile à exploiter, il convient de poser des repères fixes en berges (géoréférencés et numérotés).

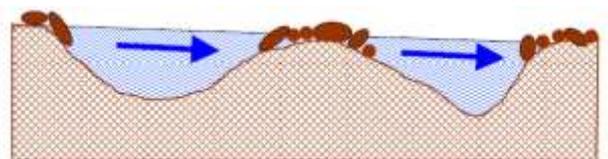
### A – Ecoulement visible et continu

On observe la présence d'un écoulement qui est ininterrompu entre les faciès d'écoulement. La plupart de la granulométrie au sein du chenal est submergée par l'eau.



### B – Ecoulement visible interstitiel

L'eau de surface est interrompue entre les faciès d'écoulement, à tel point que la majorité de la granulométrie des radiers sont non submergés. Cependant, un écoulement interstitiel connectant les faciès d'écoulement est évident.



### C – Surface en eau présente mais absence d'écoulements

La surface en eau est ininterrompue entre les faciès d'écoulements, cependant il n'y a pas d'écoulement visible. L'eau restant dans les mouilles s'apparente à de l'eau stagnante. Cette condition survient plus souvent dans les cours d'eau à faible pente que les cours d'eau à forte pente.



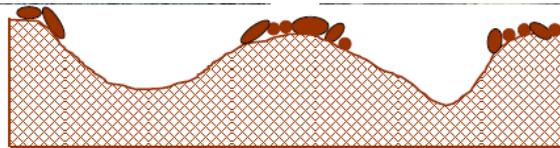
### D – Surface en eau présente dans les mouilles seulement

L'eau de surface est uniquement présente dans les mouilles et il n'y a pas d'eau visible ni d'écoulements entre les mouilles. Les sédiments du lit entre les mouilles peuvent être humides.



### **E – Pas d'eau visible**

L'eau est absente du lit du cours d'eau.



### 7.3. Tableau comparaison IBGN et suivi macro-invertébré Noë Molic

Sources : Pouvreau, 2015; Bouas, 2016 ; Mondésir, 2017

	IBGN	IBG DCE	Noë Molic
Station	Longueur = 10x largeur du lit mouillé	Longueur = 12 x largeur plein bord (pour les petits cours d'eau)	30 m = distance écologique du cours d'eau (Jan, 2013)
Substrats types	10 types	12 types	12 types
Echantillonnage	8 prélèvements dans des couples substrat/vitesse (habitats) les plus distincts possible, en privilégiant l'habitabilité des substrats	12 prélèvements dans des couples substrat/vitesse (habitats) différents et selon leur représentativité : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase A = 4 dans les habitats marginaux (&lt;5% de la superficie mouillée)</li> <li>- Phase B = 4 dans les habitats dominants (≥5 % de la superficie mouillée)</li> <li>- Phase C = 4 dans les habitats dominants au prorata de leur superficie de recouvrement</li> </ul>	12 prélèvements : <ul style="list-style-type: none"> <li>- A = 5 dans les substrats biogènes dans des faciès d'écoulement différents afin d'optimiser la diversité des couples « substrats/ faciès biogènes »</li> <li>- B = 1 dans un substrat peu biogène</li> <li>- C<sup>18</sup> = 6 supplémentaires décomposés en 4 prélèvements sur substrats biogènes et 2 prélèvements sur substrats peu biogènes</li> </ul>
Calcul des indices	Classe de variété taxonomique, Groupe faunistique indicateur et IBGN	IBGN-équivalent (phase A et B seulement) et note I2M2 (12 prélèvements)	Richesse taxonomique (6 et 12 prélèvements), Richesse taxonomique EPT (6 prélèvements), Abondance (6 prélèvements), Groupe faunistique Indicateur (6 prélèvements), IBGN-équivalent (6 prélèvements), IBGN (8 prélèvements)

<sup>18</sup> Ces 6 prélèvements supplémentaires servent seulement à déterminer l'effort d'échantillonnage minimum à l'obtention de la richesse spécifique la plus élevée

#### 7.4. Estimation de l'ETP mensuelle formule de Thornthwaite

$$ETP(m) = 16 * \left[ \frac{10 * \bar{T}(m)}{I} \right]^a * F(m, \varphi)$$

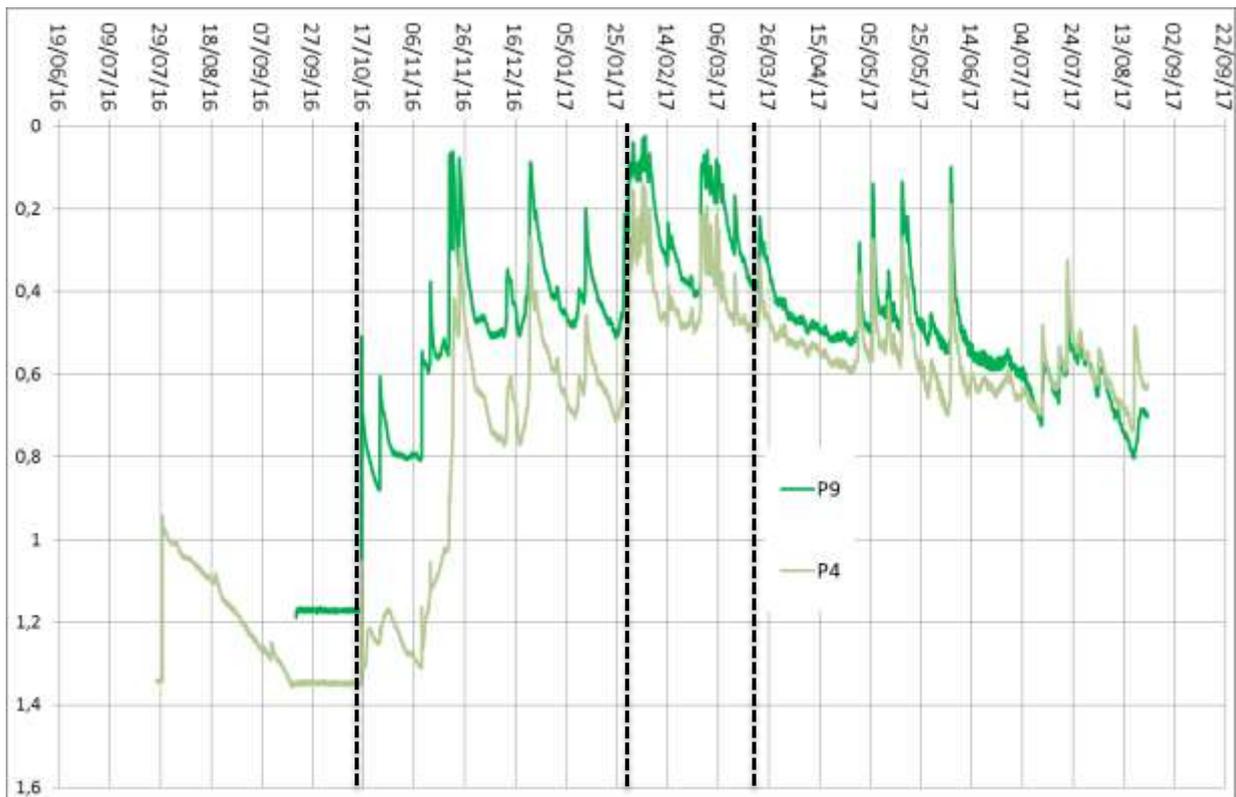
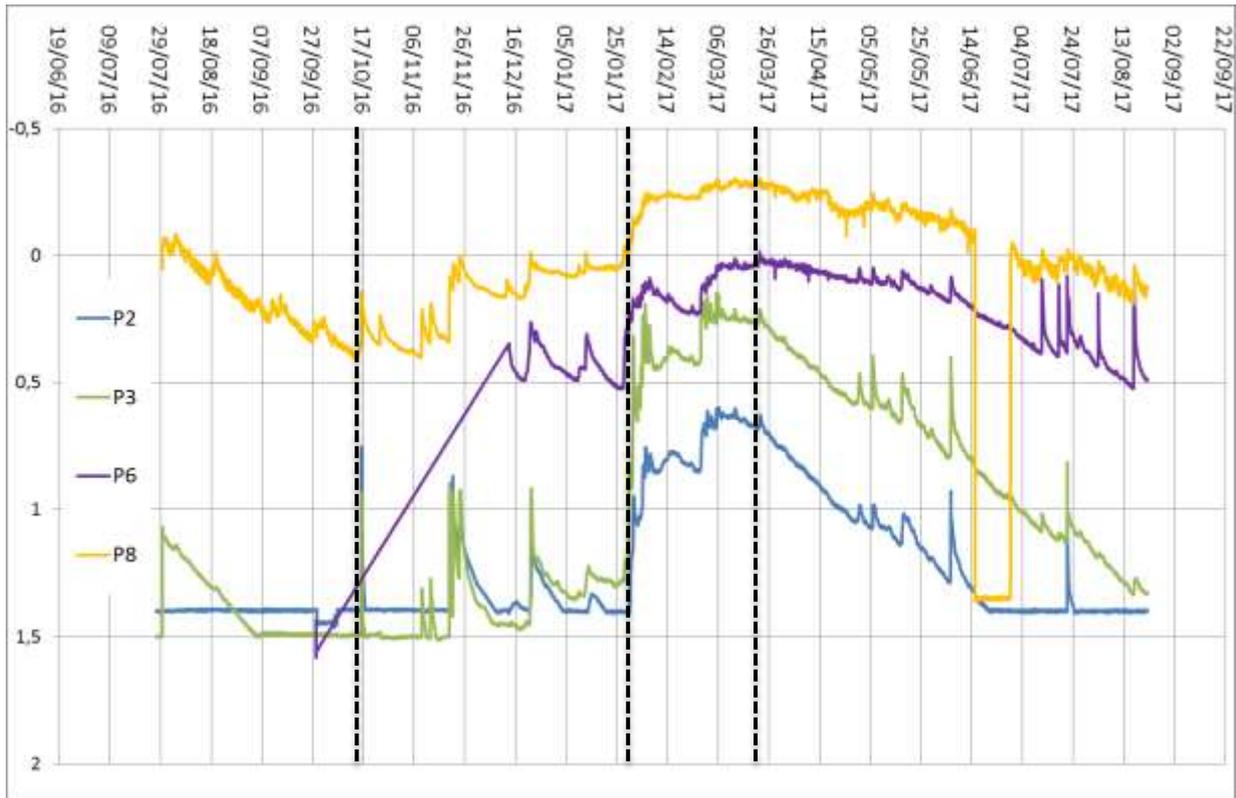
Avec:

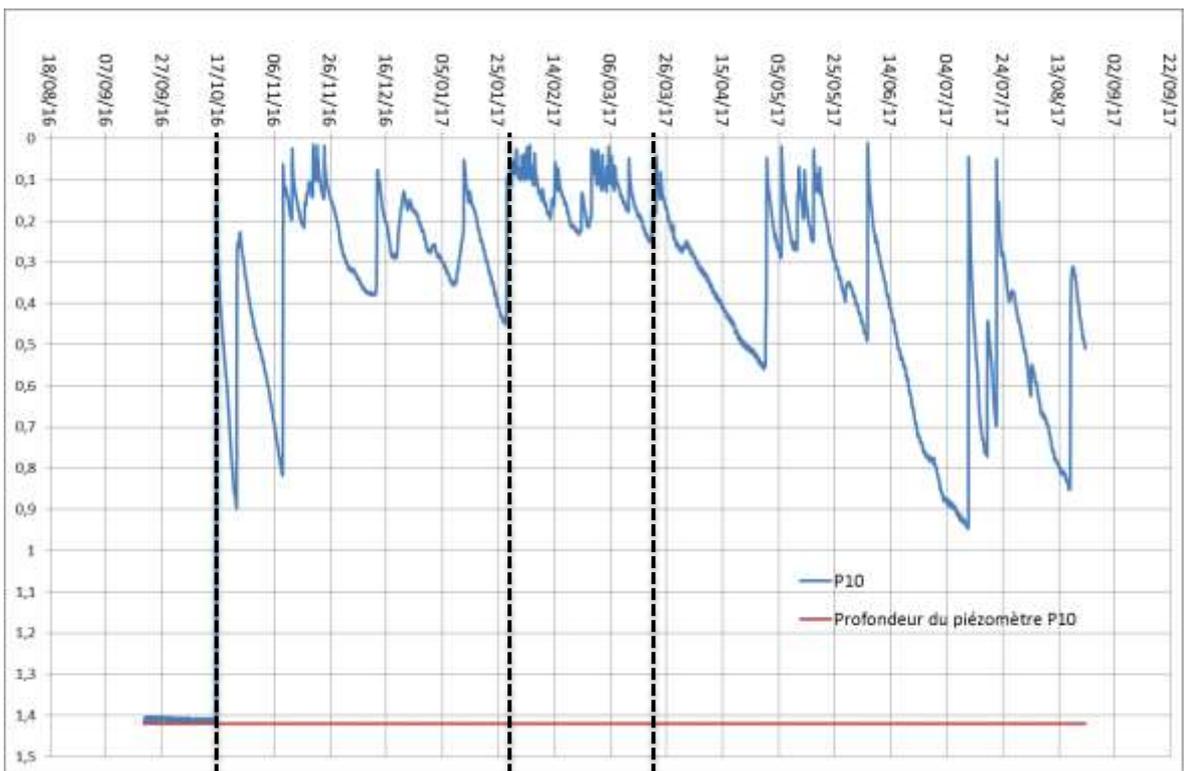
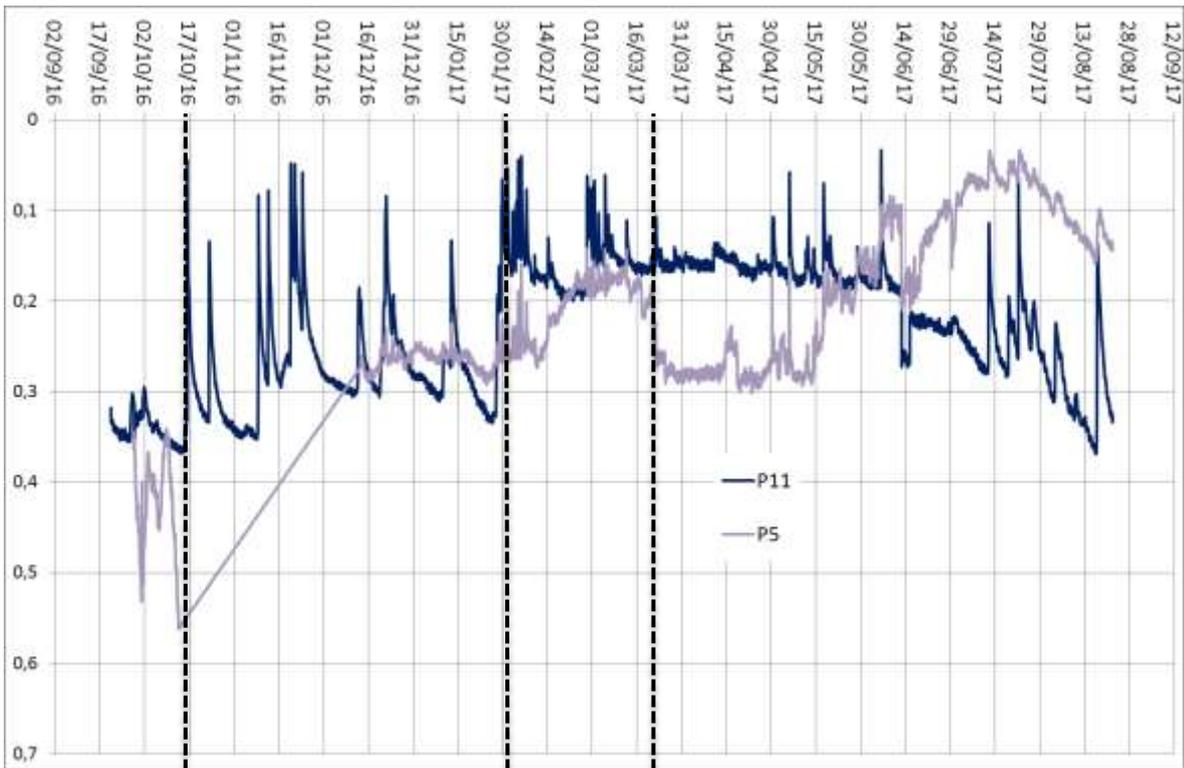
- ETP(m) : l'évapotranspiration moyenne du mois m (m = 1 à 12) en mm,
- T : moyenne interannuelle des températures du mois, °C
- a :  $0.016 * I + 0.5$
- I indice thermique annuel :

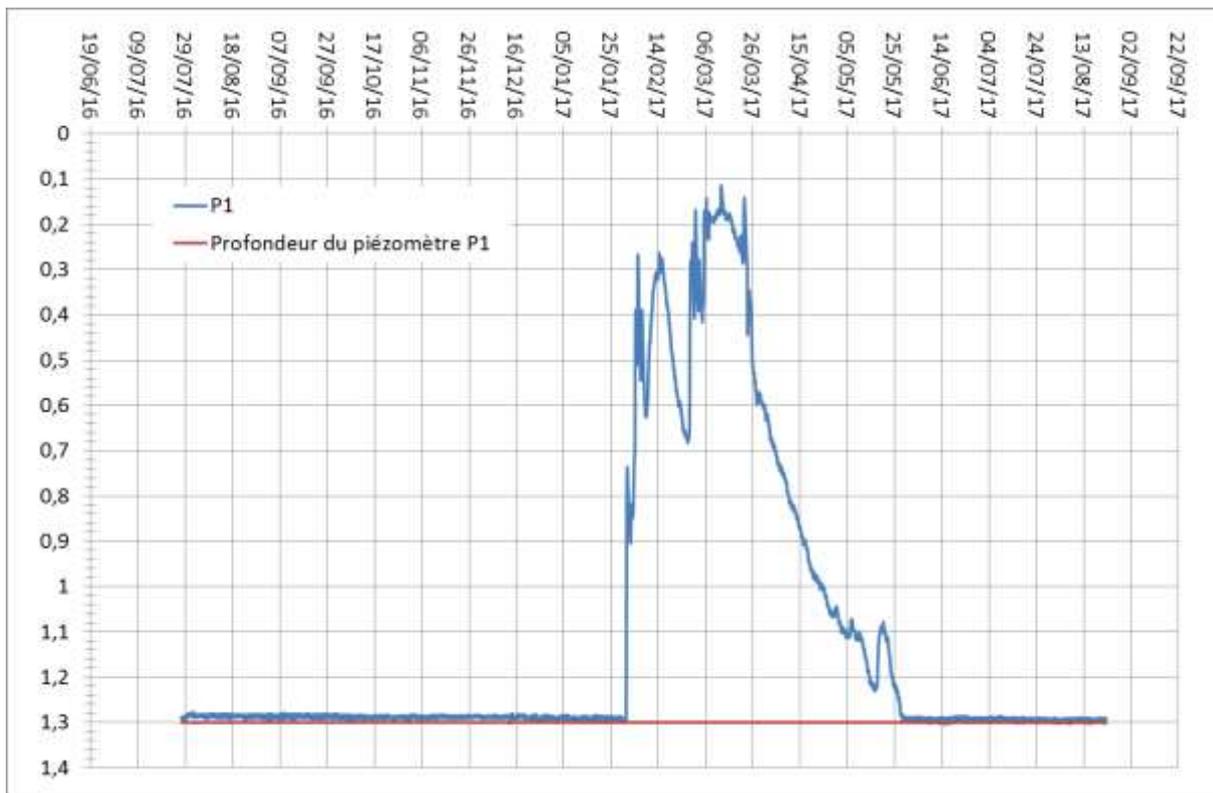
$$I = \sum_{m=1}^{12} i(m) \qquad i(m) = \left[ \frac{\bar{T}(m)}{5} \right]^{1.514}$$

Lorient latitude 47.45 °N

## 7.5. Piézomètres







### 7.6. Pluviométrie (données du pluviomètre manuel)

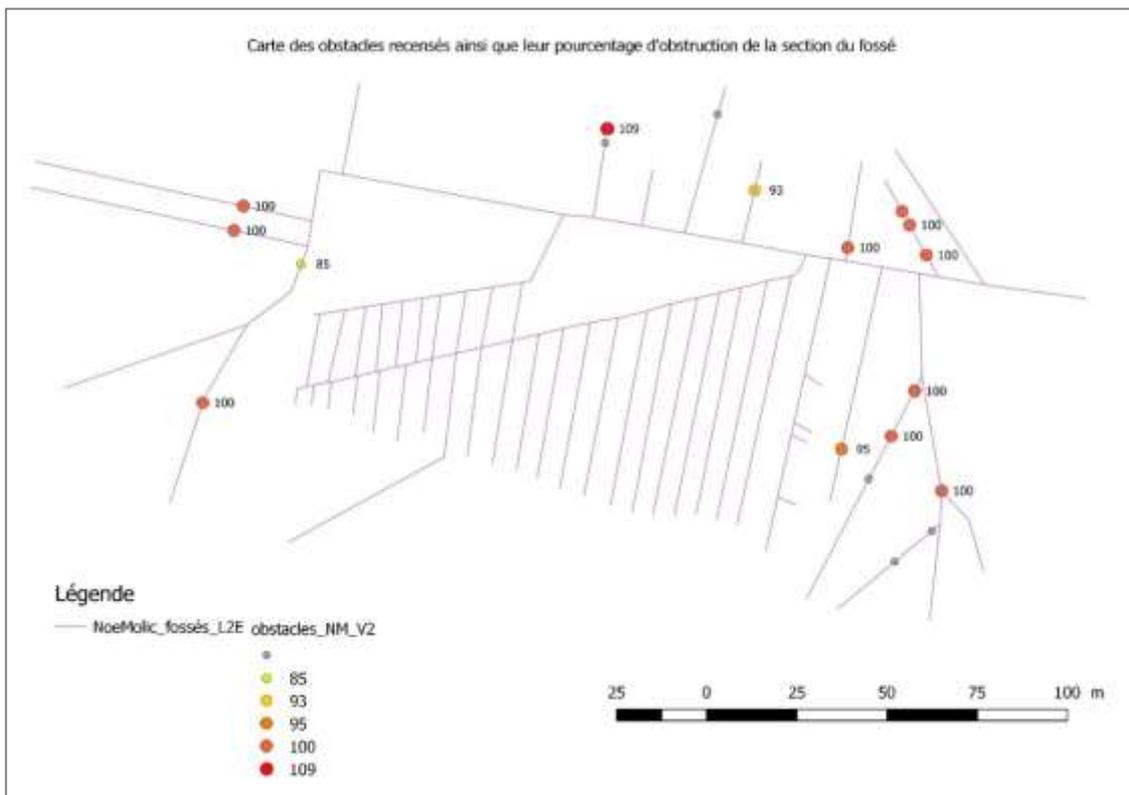
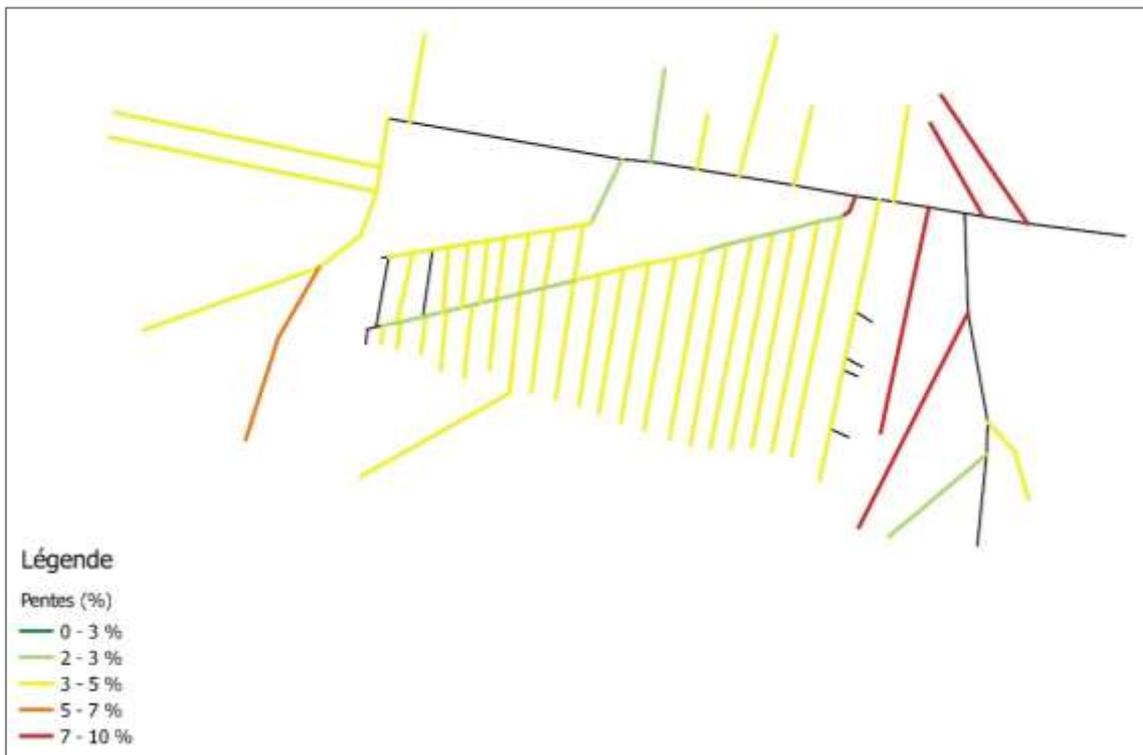
2016	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Somme
juin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	8	3	4	6	2	4	1	0	0	15	3	1	12	0	0	0	0	1	4	2	110	
juillet	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	11	
août	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	22	
septembre	0	0	0	1	3	0	0	0	0	8	0	0	10	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	8	0	0	4	38		
octobre	6	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	32	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	57	
novembre	0	0	0	2	0	0	0	0	18	2	0	0	0	0	0	3	4	3	2	30	22	0	17	0	1	0	0	0	0	104		
décembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	0	0	0	0	0	0	0	5	1	23	0	5	0	4	0	0	0	0	49		
<b>2017</b>																																
janvier	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	3	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	7	11	19	71
février	10	9	14	17	7	0	0	0	0	0	0	2	0	8	4	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	3	25	10			114	
mars	18	0	9	5	14	7	4	4	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	4	0	10	3	0	0	0	0	0	0	0	88	
Avril	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	15	26	
Mai	1	0	0	0	0	18	0	0	0	0	7	5	6	0	0	0	22	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	0	0	78
juin	0	0	0	28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	2	0	36	
juillet	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	17	0	0	0	0	0	0	10	5	0	0	4	3	0	0	8	0	2	0	3	0	56
août	0	0	8	0	1	0	0	3	5	0	0	2	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	42	

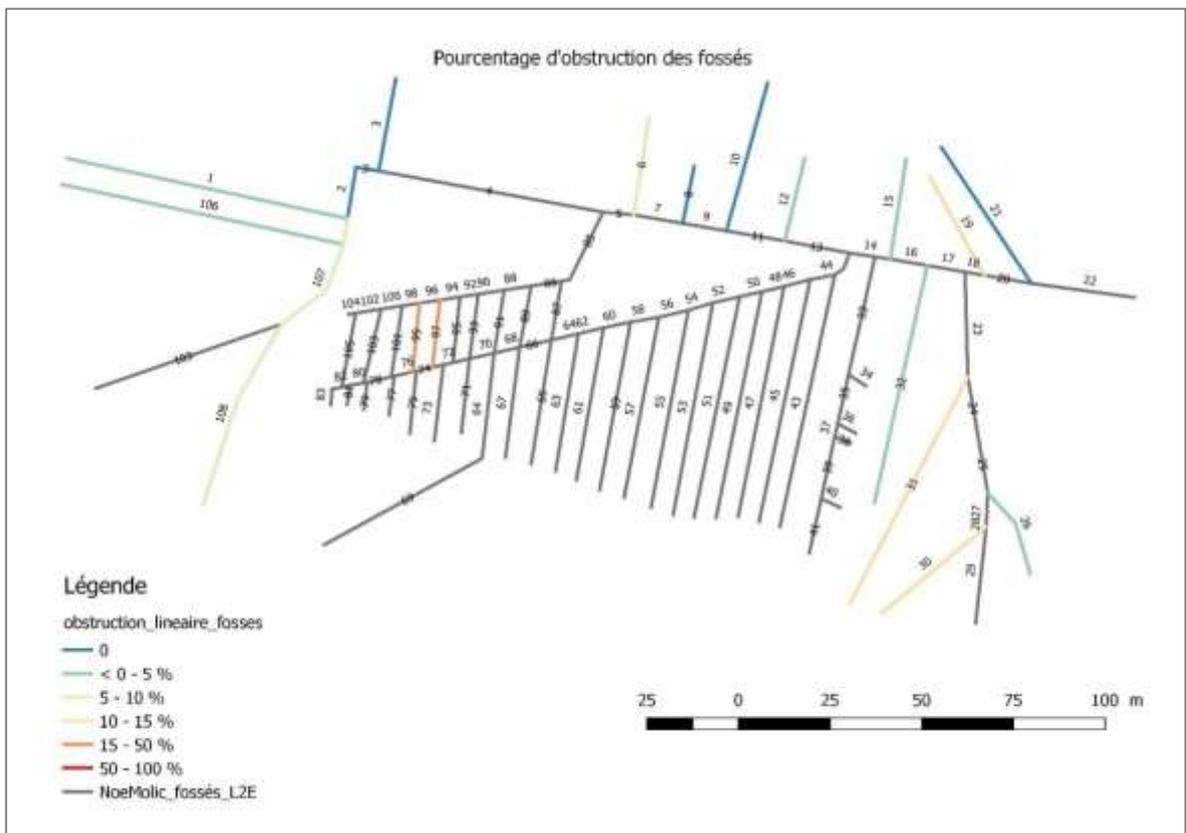
## 7.7. Mesures de pH et de conductivité

<b>pH</b>	10-avr-17	18-avr-17	02-mai-17	Moyenne
Piézomètre n° 1	Pas de mesure			
Piézomètre n° 2	Pas de mesure			
Piézomètre n° 3	4,0	5,9	5,6	5,2
Piézomètre n° 4	4,2	5,7	5,6	5,2
Piézomètre n° 5	4,9	6,6	5,5	5,7
Piézomètre n° 6	2,2*	4,2	5,6	4,9*
Piézomètre n° 7	2,2*	5,9	6,1	6,0*
Piézomètre n° 8	2,2*	6,8	6,5	6,7*
Piézomètre n° 9	Pas de mesure			
Piézomètre n° 10	5,9	6,3	6,5	6,2
Piézomètre n° 11	5,3	4,4	6,3	5,3
CE amont tronçon 4	5,0	5,7	5,7	5,5
CE amont 2ème CE tronçon 17	6,1	6,1	7,0	6,4
CE tronçon 18	6,0	6,7	7,2	6,6
2ème CE tronçon 23	6,0	6,3	7,2	6,5
<b>Conductivité (mS/cm)</b>	10-avr-17	18-avr-17	02-mai-17	Moyenne
Piézomètre n° 1	Pas de mesure			
Piézomètre n° 2	Pas de mesure			
Piézomètre n° 3	0,17	0,18	0,16	0,170
Piézomètre n° 4	0,09	0,09	0,08	0,087
Piézomètre n° 5	0,13	0,14	0,13	0,133
Piézomètre n° 6	0,21	0,21	0,21	0,210
Piézomètre n° 7	0,2	0,19	0,18	0,190
Piézomètre n° 8	0,24	0,27	0,24	0,250
Piézomètre n° 9	Pas de mesure			
Piézomètre n° 10	0,2	0,19	0,14	0,177
Piézomètre n° 11	0,12	0,12	0,14	0,127
CE amont tronçon 4	0,15	0,14	0,13	0,140
CE amont 2ème CE tronçon 17	0,13	0,14	0,09	0,120
CE tronçon 18	0,11	0,11	0,13	0,117
2ème CE tronçon 23	0,09	0,02	0,08	0,063

\*moyenne seulement sur les deux dernières mesures

## 7.8. Caractérisation des fossés de la Noë Molic





## 7.9. Suivi intermittence

Point	1 (amont)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28 (aval)	
Distance (m)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	230	250	270	290	310	330	
juin-16	02/06/2016	E	D	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	10/06/2016	E	D	C	C	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	17/06/2016	E	D	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	24/06/2016	E	D	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
juil-16	01/07/2016	E	E	E	E	D	C	C	C	C	C	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	08/07/2016	E	E	E	E	D	D	C	C	C	C	D	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	15/07/2016	E	E	E	E	D	D	D	D	C	C	C	C	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	22/07/2016	E	E	E	E	D	D	E	E	D	D	D	D	C	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	29/07/2016	E	E	E	E	D	D	E	E	D	D	D	D	C	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
août-16	05/08/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	D	E	D	D	D	D	D	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	12/08/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	D	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	19/08/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	D	D	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	26/08/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
sept-16	02/09/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	D	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	09/09/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	B	A	A	A	A	A/B	A/B	A	A/B	A/B	A/B
	15/09/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	22/09/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	B	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B
29/09/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
oct-16	07/10/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	14/10/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	22/10/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	29/10/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	C	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
nov-16	04/11/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	C	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	11/11/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	D	C	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	18/11/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	D	D	C	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	25/11/2016	E	E	E	C	C	C	C	C	C	C	C	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
déc-16	02/12/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	D	D	D	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	09/12/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	D	D	D	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	16/12/2016	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	D	D	D	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	23/12/2016	E	E	E	D	E	D	D	D	C	B	C	C	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
31/12/2016	E	E	E	E	E	D	D	D	D	D	D	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
janv-17	06/01/2017	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	13/01/2017	E	E	E	E	E	E	D	D	D	C	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	20/01/2017	E	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	C	C	C	C	C	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	27/01/2017	E	E	E	E	E	E	E	D	D	D	D	C	C	C	C	C	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
févr-17	02/02/2017	D	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	10/02/2017	D	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	17/02/2017	D	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	24/02/2017	D	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
mars-17	02/03/2017	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	10/03/2017	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Avril	A/B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
mai-17	02/05/2017	E	B	C	C	D	D	B	C	B	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	12/05/2017	E	E	B	C	C	D	B	A	C	B	A	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	19/05/2017	D	B	B	C	C	B	A	A	C	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	24/05/2017	E	E	D	C	C	D	B	B	C	B	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
31/05/2017	E	E	D	D	D	B	C	C	B	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
juin-17	06/06/2017	E	D	C	C	B	A	A	C	B	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

A : Ecoulement visible et continu

B : Ecoulement visible interstitiel

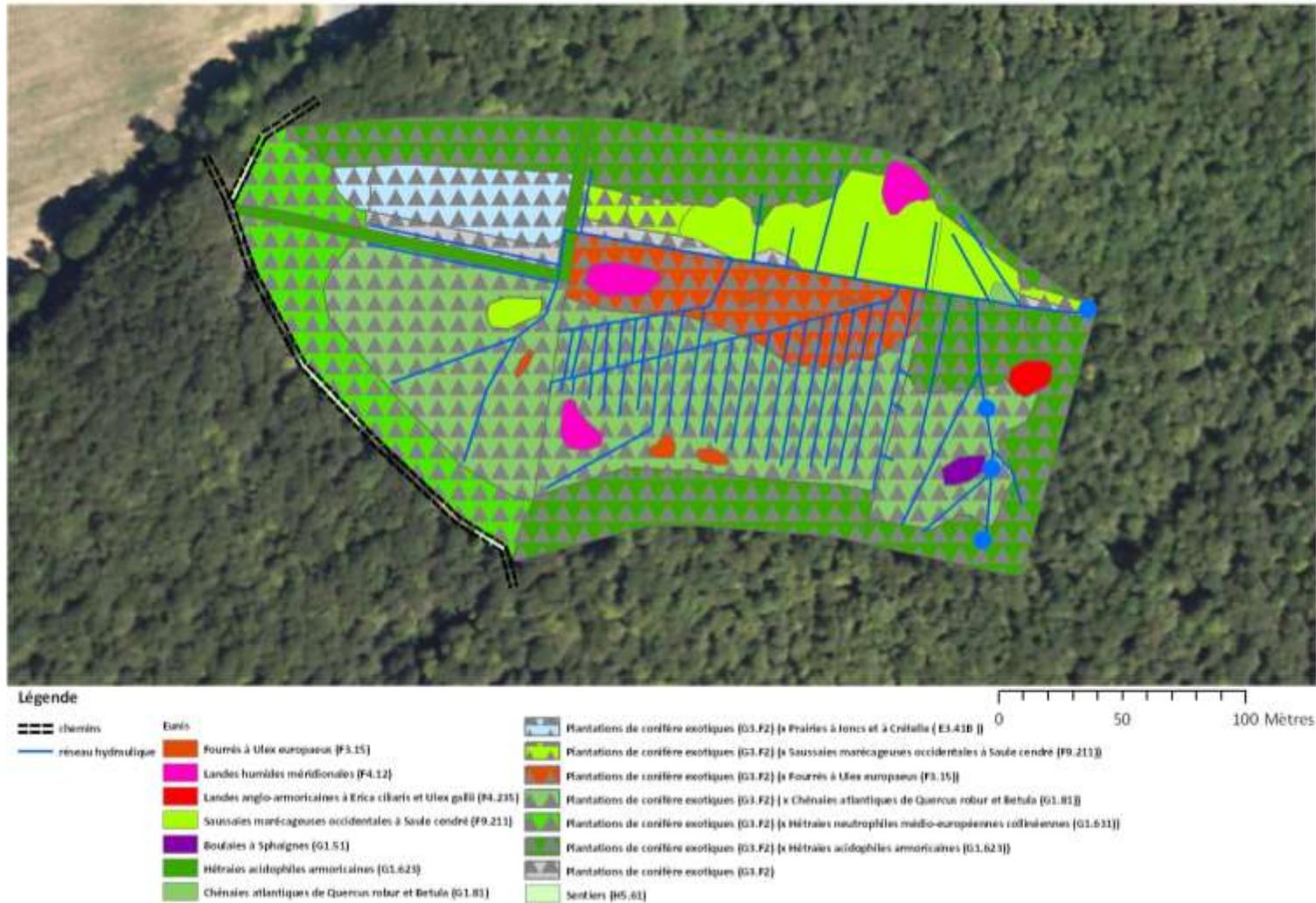
C : Surface en eau présente mais absence d'écoulements

D : Surface en eau présente dans les mouilles seulement

E : Pas d'eau visible

## 7.10. Carte des habitats en 2016 sur le site de la Noë Molic (source : rapport Agnès Stephan)

Carte des habitats en 2016 sur le secteur de Noë Mollic en forêt de Camors (56)

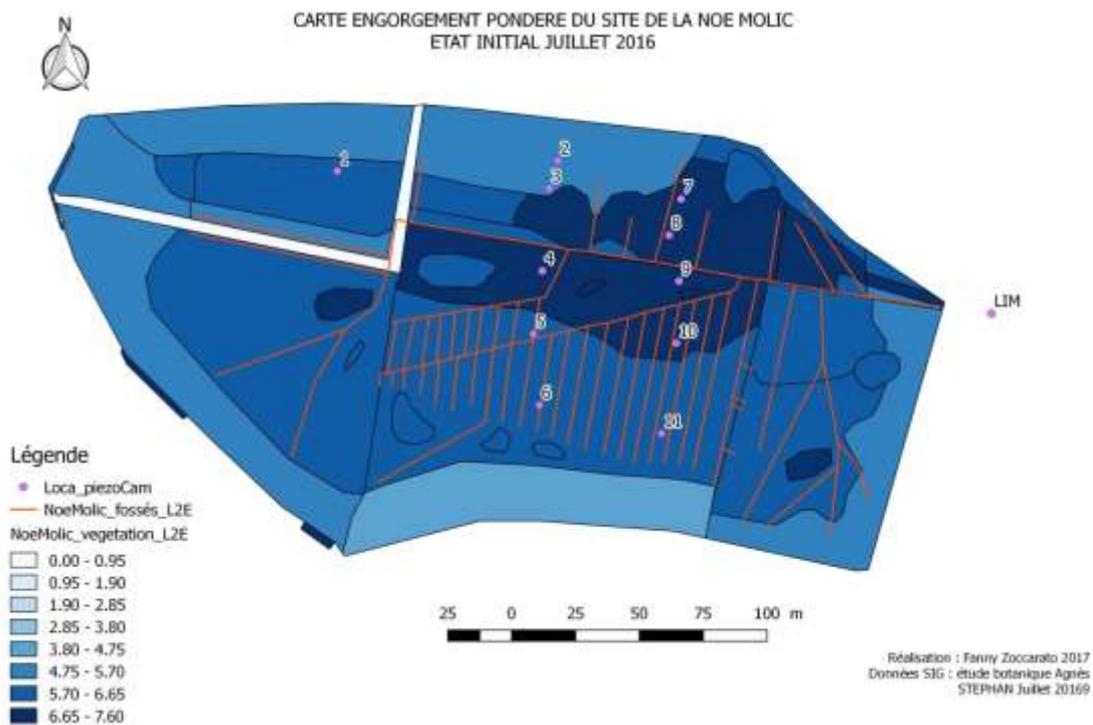


## 7.11. Carte de localisation des espèces intéressantes sur le site de la Noë Molic (source : rapport 2016 Agnès Stephan)

Carte de localisation des espèces intéressantes sur le secteur de Noë Molic en forêt de Camors (56)



## 7.12. Carte de l'indice d'Ellenberg



### 7.13. Résultat évaluation des fonctions de la zone humide (2017)

	En défaveur	En faveur
<b>Fonctions hydrologiques</b>		
Ralentissement des ruissellements	Cours d'eau rectiligne	Couvert surtout arborescent, site très proche du cours d'eau
Recharge des nappes		Pas de drains souterrains
Rétention des sédiments	Fossés très peu végétalisés, Episolum humifère très mince (moy = 8 cm), Densité d'infrastructure de transport assez importante dans la zone contributive (apport de sédiments), cours d'eau rectiligne,	Surface couvert végétal permanent (100 % dans le site et 95 % dans la Zone tampon) et surtout arborescent, pas de ravinement, Berges plutôt végétalisées, part de la zone contributive en culture/construite est faible (moins de sédiment), Site très proche du cours d'eau, texture du sol dans les 30 premiers m de plus en plus sableuse
Commun aux 3	Densité de fossés très importante (433 m/ha), Cours d'eau assez incisé (Hpb [0,5 - 1 m])	Absence de rigoles, Absence de fossés profonds (> 1 m)
<b>Fonctions Biogéochimiques</b>		
Dénitrification des nitrates (Nd)	Episolum humifère très mince (moy = 8cm), pas de MO enfouie, texture en surface et en profondeur n'est pas de plus en plus fine, faible hydromorphie	
Assimilation végétale de l'azote (Nv)	Episolum humifère très mince (moy = 8cm), pas de MO enfouie	
Adsorption et précipitation du phosphore (Pa)		
Assimilation végétale des orthophosphates (Pv)		
Commun aux 4	Densité de fossés très importante, fossés très peu végétalisé	Surface couvert végétal permanent (100 % sur site et dans zone tampon), couvert arboré principalement, Absence de rigoles, absence de fossés profonds, pas de drains souterrain, pas de ravinement, Berges avec couvert végétal permanent, surface de culture/enherbée/construites faibles dans la ZC
Séquestration du carbone (C)	Episolum humifère très mince (moy = 8cm), pas de MO enfouie, horizon histique en surface très mince, faible hydromorphie	Le couvert végétal tend vers un couvert arboré
<b>Fonctions d'accomplissement du cycle biologique des espèces</b>		
Support des habitats	Seulement 2 grand habitats, équipartition des habitats assez réduite (E= 0,45),mais équipartition (EUNIS niv 3) réduite assez forte densité de lisière (415 m/ha), assez forte perturbations anthropiques (couvert arbustif monospécifique)	Richesse des habitats (EUNIS niv 3) bonne, Pas de plantes invasives, Richesse des grands habitats du paysage bonne (6)

<p>Connexion des habitats</p>	<p>La densité et la superficie de haie est faible dans le paysage, Densité des petites infrastructures de transport est assez importante (2,6 km/100ha)</p>	<p>Faible isolement des habitats (dist moyenne = 0,2 km) et habitat assez similaire au paysage, la densité de corridor aquatique permanent est très importante dans le paysage (1,2 km/100 ha), rareté des grandes infrastructures de transport</p>
-------------------------------	---	---

#### 7.14. Simulation des habitats de la Noë Molic après action écologique

