



Laboratoire public
Conseil, Expertise et Analyse en Bretagne

SANTÉ
ALIMENTAIRE
SERVICES
EAU & ENVIRONNEMENT

Département du Finistère (29)

Syndicat Mixte du SAGE
Ouest Cornouaille

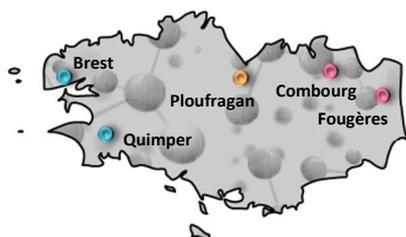


Rapport Final

Etude pour la réduction du transfert de phosphore sur les bassins situés en amont de la retenue du Moulin Neuf

J. Le Goff, T. Patris, C. Cotten

Septembre 2022



Finistère

Site de Brest :
Tél. 02 98 34 11 00

Site de Quimper :
Tél. 02 98 10 28 88

Côtes d'Armor

Site de Ploufragan
Siège Social
Zoopôle – 7 rue du Sabot - CS 30054
22440 PLOUFRAGAN
Tél. 02 96 01 37 22 – Fax. 02 96 01 37 50

Ille et Vilaine

Site de Combourg :
Tél. 02 99 73 02 29

Site de Fougères :
Tél. 02 02 99 94 74 10



FICHE D'IDENTIFICATION DE L'ÉTUDE

CLIENT

Nom	Syndicat Mixte du SAGE Ouest-Cornouaille
Adresse	Maison de la Baie d'Audierne – Saint Vio – 29720 TREGUENNEC
Contact	F. Hélias, animatrice agricole

PRESTATAIRE

Nom	LABOCEA – Service Bureau d'Etudes
Raison sociale	GIP à caractère sanitaire et social – SIREN 130 002 082 SIRET Site de Brest : 130 002 082 00027
Coordonnées	Technopôle Brest-Iroise 120 av. Alexis de Rochon - CS 10052 - 29 280 Plouzané
Contact	✉ contact@labocea.fr - http://www.labocea.fr ☎ 02 98 34 11 16 - Fax: 02 98 34 11 01

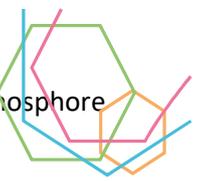
Etude

Nom	Etude pour la réduction du transfert de phosphore sur les bassins situés en amont de la retenue du Moulin Neuf
Localisation	Retenue du Moulin Neuf et son bassin versant
Type d'étude	Environnementale, caractérisation du transfert de nutriment

RAPPORT

Destinataire(s)	OUESCO
Date de rendu	15/06/2022
Nombre d'exemplaires	3
Responsable d'étude	Johan.legoff@labocea.fr
N° devis ou marché	Appel d'offre

	Nom	Fonction	Date	Signature
Analyse & Rédaction	Johan LE GOFF	Ingénieur d'études	05/09/2022	
Vérification	Thierry PATRIS	Ingénieur d'études	05/09/2022	
Support SIG	Charles COTTEN	Technicien d'études	05/09/2022	



SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	8
II. CONTEXTE DE L'ETUDE	9
II.1. Contexte législatif	9
II.1.1. Insertion dans le SDAGE Loire-Bretagne.....	9
II.1.2. Insertion dans le SAGE Ouest-Cornouaille	9
II.2. Contexte scientifique	10
III. MATERIEL ET METHODES	12
III.1. Bases de données utilisées.....	12
III.2. Méthodologie Phase 1.....	12
III.2.1. Définition de la zone d'étude.....	12
III.2.2. Calcul des charges en phosphore	15
III.2.3. Différentiation du phosphore agricole et de phosphore domestique	19
III.3. Méthodologie Phase 2.....	20
III.3.1. Traitement de la pente et de l'occupation du sol.....	20
III.3.2. Calcul de l'aléa érosif	22
III.3.3. Identification des sous-bassins versants prioritaires	22
IV. RESULTATS PHASE 1 – ETUDE QUANTITATIVE	23
IV.1. Contexte géographique et hydrographique	23
IV.2. Occupation du sol.....	24
IV.3. Observations sur les données de concentrations.....	27
IV.4. Calcul des débits	27
IV.5. Calcul des charges de phosphore.....	29
IV.5.1. Résultats de la Méthode 1.....	29
IV.5.2. Résultats de la Méthode 2.....	33
IV.6. Comparaison des charges et identification des sous-bassins versants prioritaires	34
IV.6.1. Comparaison des résultats de méthodes 1 et 2	34
IV.6.2. Identification des sous-bassins versants prioritaires.....	36
IV.7. Différentiation du Phosphore Agricole et du Phosphore Domestique.....	37
IV.7.1. Estimation des rejets de phosphore domestique.....	37
IV.7.2. Part des rejets agricoles et domestiques.....	39
V. RESULTATS PHASE 2 – ETUDE QUALITATIVE	41
V.1. Définition petits bassins versants	41
V.2. Calcul de l'aléa érosif et identification des sous-bassins-versants prioritaires..	42
V.3. Identification des points de transfert potentiels.....	44
V.3.1. Premier ordre de priorité.....	44
V.3.2. Deuxième ordre de priorité	52
VI. DISCUSSION	55
VII. CONCLUSIONS	56





LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Périmètre du SAGE Ouest-Cornouaille et emprise du bassin versant de la retenue du Moulin Neuf (OUESCO, modifié)	10
Figure 2 : le cycle du phosphore (Dossier phosphore, Alternatives économiques, 2011).....	10
Figure 3 : Les différentes formes du phosphore dans l’environnement (à gauche), et son transfert lors d’une crue (à droite)	11
Figure 4 : Délimitation du bassin versant de la retenue du Moulin Neuf (A) et détail des écarts entre la donnée fournie et la ligne de crête redessinée (B et C).....	13
Figure 5 : Bassin versant de la retenue du Moulin Neuf et ses sous-bassins versants. Les exutoires de chaque sous-bassin versant sont aussi les points de prélèvement pour les concentrations en Phosphore total et orthophosphates	14
Figure 6 : Cartographie des sous-bassins versants ‘gigogne’ de Pont l’Abbé Trémillec et de Pont l’Abbé Callac.	15
Figure 7 : Ensemble des données de concentration en phosphore (Phosphore Total et orthophosphates) pour chaque sous-bassin versant collectées par OUESCO. Les concentrations en ordonnées sont exprimées en mg/l, deux catégories été/hiver sont formées pour chaque paramètre Ptot/orthophosphates. Pour chaque graphique, les valeurs extrêmes (minimum et maximum) sont représentées par le trait noir vertical. La boîte bleue supérieure représente l’écart entre la médiane et le 3 ^{ème} quartile, et la boîte bleue inférieure l’écart entre la médiane et le 1 ^{er} quartile.....	16
Figure 8 : Comparaison des débits mesurés à Ty Poes (Lanvern) et des débits calculés par la méthode analogique, sur une année hydrologique	17
Figure 9 : Ensemble des concentrations utilisées pour chaque sous-bassin versant, chaque saison (été/hiver) et chaque hypothèse (basse, moyenne et haute) pour l’obtention des charges en phosphore. Les sous-bassins versants correspondants aux valeurs utilisées correspondent de haut en bas à Kerruc, Pratoazec, Trélenn, Lanvern, Pont l’Abbé Callac, Pont l’Abbé Trémillec, et Lestrémec	18
Figure 10 : Résumé synthétique de l’obtention des charges en phosphore par la méthode des concentrations variables	19
Figure 11 : Illustration de la méthode discrétisation du Phosphore d’origine domestique et agricole.....	20
Figure 12 : Calcul des pente à l’aide du MNT en vue du calcul de l’aléa érosif	21
Figure 13 : Visualisation des surfaces prises en compte (RPG 2020), cultures en orange, prairies temporaires en vert et prairies permanentes en bleu	21
Figure 14 : A) Situation du bassin versant de la retenue du Moulin Neuf au sud du cisaillement Sud-Armoricain ; B) Nature des lithologies rencontrées sur le bassin versant de la retenue du Moulin Neuf (abréviations : Gr., Granite ; O. Orthogneiss ; P.l’A, Pont l’Abbé).....	23
Figure 15 : Bassin versant de la retenue du Moulin Neuf (ou ZAP) et son bassin hydrographique. Les sous-bassins versants sont également représentés.	24
Figure 16 : Photo aérienne de l’emprise de la retenue du Moulin Neuf (Pitois, 2017, modifié).....	24
Figure 17 : Carte d’occupation du sol du bassin versant de la retenue du Moulin Neuf avec le nom et l’emprise des sous-bassins versants	25
Figure 18 : Représentativité de chaque sous-bassin versant (en vert) par rapport à l’emprise complète du bassin versant du Moulin Neuf (en bleu).	26
Figure 19 : Détail de l’occupation du sol sur l’ensemble du bassin versant et sur chaque sous-bassin versant.	27
Figure 20 : Estimation des débits à chaque station considérée à partir du débit mesuré à la station du Pont l’Abbé Trémillec.	28
Figure 21 : Contribution, ou charges horaires en Ptot sur les deux sous-bassins versants de Trélenn et de Pont l’Abbé Trémillec (histogrammes cumulés) pour les hypothèses haute (HH) et basse (HB). Les échelles verticales et horizontales sont identiques pour les deux graphiques afin de faciliter la comparaison.....	29
Figure 22 : Contribution, ou charge horaire en orthophosphates (P-PO4) sur les deux sous-bassins versants de Trélenn et de Pont l’Abbé Trémillec (histogrammes cumulés). Les échelles verticales et horizontales sont identiques pour les deux graphiques afin de faciliter la comparaison.	30
Figure 23 : Charges moyennes horaires (histogrammes cumulés) en Ptot et orthophosphates (P-PO4) pour les bassins versants dont l’exutoire est situé à la retenue du Moulin Neuf (Kerruc, Pratoazec, Trélenn, Lanvern, Pont l’Abbé Trémillec et Lestrémec).....	31
Figure 24 : Charges moyennes horaires en Ptot et orthophosphates (Histogrammes cumulés) sur les sous-bassins versants de Pont l’Abbé Trémillec et Pont l’Abbé Callac.	32
Figure 25 : Démonstration de la supériorité des charges en phosphore particulaire sur la partie Nord du bassin versant (sous-bassin versant de Pont l’Abbé Callac).....	33
Figure 26 : Charges moyennes horaires en Ptot et orthophosphates (P-PO4) pour les bassins versants de Kerruc, Pratoazec, Trélenn, Lanvern, Pont l’Abbé Trémillec et Lestrémec.	34
Figure 27 : Contribution respective des sous-bassins versant de la zone d’étude en phosphore total et orthophosphates P-PO4.....	35
Figure 28 : Charges annuelles en phosphore total (Ptot) et en orthophosphates (P-PO4) à la retenue par sous-bassin versant et par an.	36



Figure 29 : Carte des rejets domestique pris en compte pour l’apport de phosphore total sur la zone d’étude	38
Figure 30 : Part des charges agricoles et domestiques dans les apports de phosphore total à la retenue du Moulin Neuf par sous-bassin versant. Indices bruts (en haut) en kg/an et indices pondérés (en bas) en pourcentages en bas.	40
Figure 31 : Redécoupage des petits sous-bassins versants sur la zone d’étude.....	41
Figure 32 : Carte générale du bassin versant du Moulin Neuf avec le calcul de l’aléa érosif (à gauche) et les sous-bassins versants prioritaires (à droite).....	43
Figure 33 : Localisation des sous-bassins versants prioritaires au titre de l’aléa érosif	44
Figure 34 : Bassin versant de Troguennec. Représentation de l’aléa érosif et photo aérienne	45
Figure 35 : Bassin versant de Kermathéano. Représentation de l’aléa érosif et photo aérienne	46
Figure 36 : Bassin versant du Moulin Neuf. Représentation de l’aléa érosif et photo aérienne	47
Figure 37 : Bassin versant de Briscoul. Représentation de l’aléa érosif et photo aérienne	48
Figure 38 : Bassin versant de Ménez Ogan. Représentation de l’aléa érosif et photo aérienne.....	49
Figure 39 : Bassin versant de Saint-Germain. Représentation de l’aléa érosif et photo aérienne	50
Figure 40 : Bassin versant de Kéribic. Représentation de l’aléa érosif et photo aérienne	51
Figure 41 : Localisation des sous-bassins prioritaires au titre de l’aléa érosif.....	52
Figure 42 : Bassins versants de Guiler et du Run. Représentation de l’aléa érosif et photo aérienne	53
Figure 43 : Bassin versant de Pennarhoat. Représentation de l’aléa érosif et photo aérienne	53
Figure 44 : Bassins versants de St-Joseph et de Kerenguy. Représentation de l’aléa érosif et photo aérienne.....	54
Figure 45 : Bassins versants de Pratoazec et de Lestrémec. Représentation de l’aléa érosif et photo aérienne.....	55



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Listes des bases de données utilisées	12
Tableau 2 : Tableau des indices utilisés pour chaque type d'occupation du sol (prairie permanente, prairie temporaire et culture) et chaque classe de pente	22
Tableau 3 : Détail de l'occupation du sol par sous-bassin versant en km ² . Le code couleur utilisé est le même que sur les figures 17 et 19. Abréviations : HPI, hors périmètre d'irrigation ; Corine LC, Corine Land Cover.	26
Tableau 4 : Liste des sous-bassins versants et surface correspondante (en km ²)	28
Tableau 5 : Liste des sous-bassins versants ayant leur exutoire à la retenue du Moulin Neuf. Pour chaque sous-bassin versant, la surface est indiquée en km ² et en % du bassin versant général. Le pourcentage d'apport en phosphore total (P _{tot}) et en orthophosphates (P-PO ₄) est également indiqué en pourcentage. En vert, les apports sont inférieurs à la représentativité du sous-bassin versant. En rouge les apports sont supérieurs à la représentativité du sous-bassin versant.	36
Tableau 6 : Synthétisation des données d'exploitation des STEU aux alentours du bassin versant de la retenue du Moulin Neuf et estimation du rejet en phosphore total par habitant et par jour.....	37
Tableau 7 : Détail des ANC défectueux sur chaque sous-bassin versant, application des coefficients multiplicateurs nombre d'habitant et rejet moyen journalier par habitant pour l'évaluation du rejet domestique par sous-bassin versant. Abréviations : Défect., Défectueux ; Nb, nombre ; hab, habitant ; log. Logement ; Dom. domestique.....	38
Tableau 8 : Valeurs de phosphore total rejeté par habitant et par jour pour un échantillonnage à échelle départementale (Stricker et al., 2010).	39



I. INTRODUCTION

Le phosphore joue un rôle fondamental pour les écosystèmes naturels ; il est nécessaire à la croissance des végétaux. Sa distribution naturelle dans l'environnement est modifiée par les besoins et les rejets liés aux activités humaines. Un excès de phosphore dans l'environnement entraîne un dérèglement des équilibres naturels, et engendre notamment des phénomènes d'eutrophisation du milieu (prolifération d'algues et de végétaux, étouffement du milieu). Les sources du phosphore sont multiples. L'agriculture utilise par exemple les fertilisants phosphatés pour stimuler la croissance végétale. Les rejets domestiques (assainissement) sont aussi responsables d'un apport de phosphore au milieu. Si ces deux sources de phosphore sont connues et communes à de nombreuses zones d'étude, la proportion de chacune de ces sources peut varier d'une zone à l'autre.

Le SAGE Ouest Cornouaille (OUESCO) est engagé dans une volonté de réduction des apports de phosphore à la retenue du Moulin Neuf. La retenue est particulièrement sensible aux phénomènes d'eutrophisation et classée en plan d'eau prioritaire par le SDAGE Loire-Bretagne. Les objectifs fixés par le Plan d'Aménagement et de Gestion Durable (PAGD) du SAGE OUESCO prévoient l'atteinte du bon état pour la retenue du Moulin Neuf et l'atteinte du haut de classe de bon état sur les bassins versants de la rivière de Pont-l'Abbé et du Lanvern (objectifs chiffrés pour les orthophosphates, le phosphore total, et la chlorophylle A). Dans ce cadre de réduction des apports de phosphore à la retenue du Moulin Neuf, LABOCEA est chargé i) de quantifier et de caractériser les flux (ou charges) de phosphore, ii) d'estimer les sources de phosphore (% agricole et % domestique), et iii) d'identifier les sous-bassins prioritaires pour la mise en place de stratégies de réduction des apports.

Une étude **quantitative** (Phase 1) est développée pour répondre aux différents objectifs. L'exploitation des données de concentrations collectées entre 2020 et 2021 sur sept points du réseau hydrographique du bassin versant de la retenue du Moulin Neuf forme la pierre angulaire de cette étude quantitative. Les données sont exploitées dans une première étape de manière à calculer les flux (ici appelées charges) de phosphore sur différents sous-bassins (objectif i). Les calculs de charges sur les sous-bassins versants permettent d'établir le classement des contributions respectives et d'identifier les sous-bassins prioritaires (objectif iii). En parallèle, un travail est mené sur l'identification des contributions de phosphore domestique, qui permet de discrétiser la part des apports provenant des activités agricoles et des usages domestiques (objectif ii).

Une étude **qualitative** (Phase 2) a pour objectif de cibler avec une plus grande précision (hectométrique à métrique) les zones d'export préférentiel du phosphore particulière qui forme une partie importante du phosphore total. Les zones d'export préférentiel sont identifiées grâce au croisement entre la pente et l'occupation du sol, permettant de définir un indice d'érosion (ou aléa érosif) pour chacune des parcelles recensées sur la zone d'étude (objectif iii). Une redéfinition de la zone d'étude en petits sous-bassins versants a permis de définir 12 zones prioritaires au titre de l'aléa érosif.

Le présent rapport est organisé cinq parties distinctes. Le contexte de l'étude résume le cadre législatif et le contexte scientifique. La partie matériel et méthodes fait état des données utilisées et de leur utilisation. La partie résultats est composée d'une Partie 1 – Etude quantitative et d'une Partie 2 – Etude qualitative. Enfin, une courte discussion précède la conclusion du rapport.



II. CONTEXTE DE L'ETUDE

II.1. Contexte législatif

II.1.1. Insertion dans le SDAGE Loire-Bretagne

L'orientation 3B du SDAGE Loire-Bretagne vise à prévenir les apports de phosphore diffus. Cette orientation se décline en trois dispositions : i) la réduction des apports et des transferts de phosphore diffus à l'amont des 22 plans d'eau prioritaires, dont la retenue du Moulin Neuf (disposition 3B-1) ; ii) le retour à l'équilibre de la fertilisation pour le reste du territoire (disposition 3B-2), et iii) l'interdiction de rejets directs dans le milieu pour tout nouveau dispositif de drainage agricole.

II.1.2. Insertion dans le SAGE Ouest-Cornouaille

Les objectifs fixés par le Plan d'Aménagement et de Gestion Durable (PAGD) du SAGE Ouest-Cornouaille (Fig. 1) prévoient :

- L'atteinte du bon état pour la retenue du Moulin Neuf (0,02mg/l d'orthophosphates, 0,03 mg/l de phosphore total et 11,3 µg/l de chlorophylle A).
- L'atteinte du haut de classe de bon état sur les bassins versants de la rivière de Pont-l'Abbé et du Lanvern (0,1mg/l d'orthophosphates et 0,05 mg/l de phosphore total).

Les dispositions du PAGD prévoient en outre : i) la poursuite des actions «pollutions diffuses agricoles» (disposition 39) ; ii) le curage et la gestion pluriannuels des sédiments de la retenue du Moulin Neuf (disposition 40) ; iii) l'accompagnement des exploitants agricoles en vue de l'équilibre de la fertilisation phosphorée sur les bassins prioritaires phosphore (disposition 41) ; et iv) l'intégration des éléments bocagers dans les documents d'urbanisme (disposition 45).

Le Projet de Territoire pour l'eau (PTE) 2020-2025 définit, pour chaque enjeu identifié sur le territoire comme la réduction des apports en nitrates, phosphore, pesticides, une Zone d'Actions Prioritaires (ZAP). L'étude sur les transferts de phosphore est organisée en trois volets.

- **Volet 1** : Suivi du phosphore sur la période 2020-2021 sur tous les affluents de la retenue du Moulin Neuf. L'acquisition de données supplémentaires sur les concentrations en Phosphore total et en orthophosphates (suivi mensuel calendaire et par temps de pluie des cours d'eau contributeurs, de juin 2020 à mai 2021).
- **Volet 2** : L'étude de caractérisation des flux de phosphore et l'identification de sous-bassins prioritaires (novembre 2021 à mai 2022).
- **Volet 3** : La mise en œuvre d'un plan d'actions pour réduire les transferts de phosphore dans les sous-bassins prioritaires.

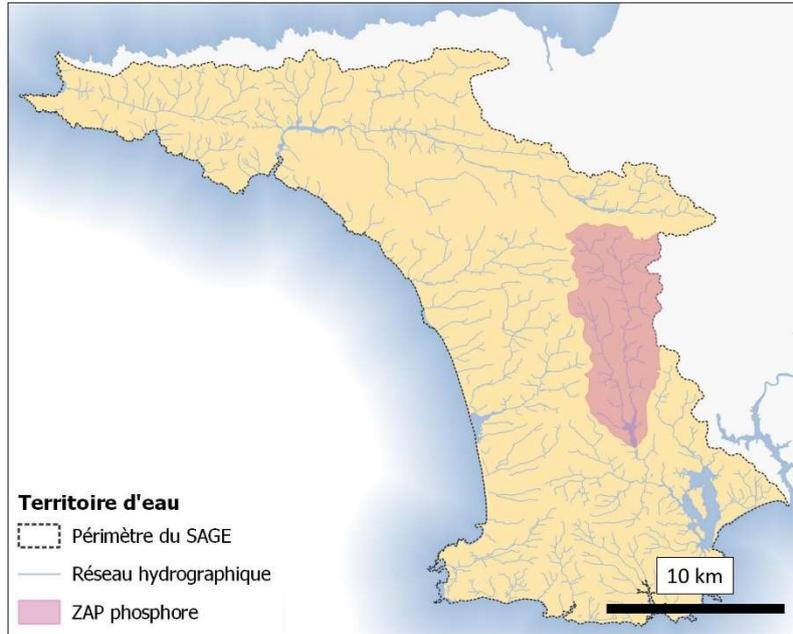


Figure 1 : Périmètre du SAGE Ouest-Cornouaille et emprise du bassin versant de la retenue du Moulin Neuf (OUESCO, modifié)

II.2. Contexte scientifique

Elément fondamental du vivant, le phosphore est indispensable aux écosystèmes naturels. La distribution du phosphore dans les écosystèmes naturels est largement modifiée par les besoins et les rejets liés aux activités humaines. Pour exemple, l'agriculture a recourt à l'ajout de fertilisants phosphatés minéraux ou organiques pour stimuler la croissance végétale. Une fertilisation excessive (apports > besoins) modifie l'équilibre du milieu, de même que les rejets d'assainissement qui constituent une source de phosphore anthropique (Fig. 2).

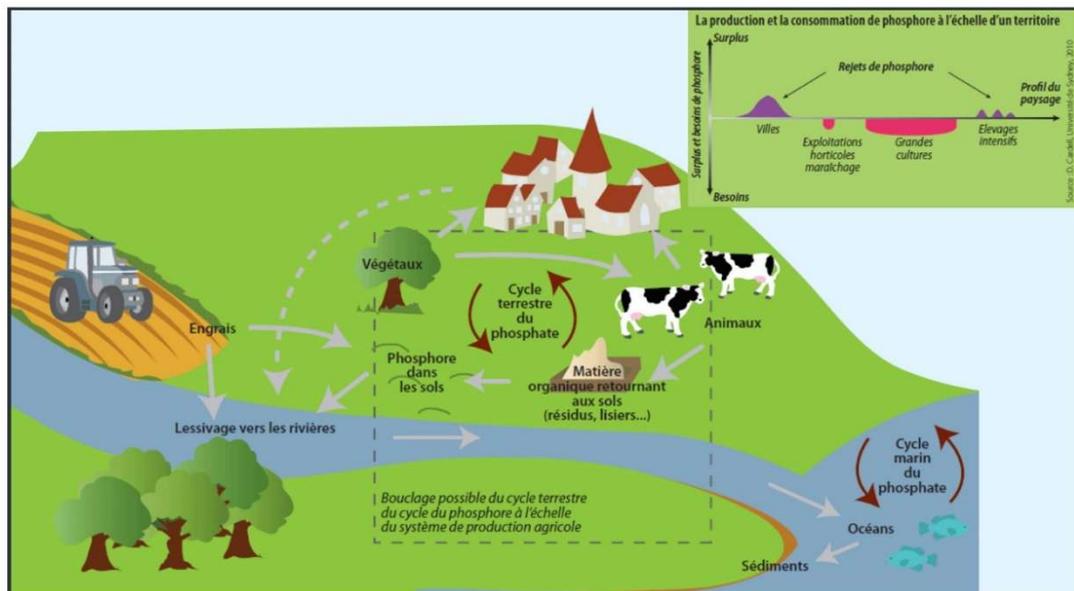


Figure 2 : le cycle du phosphore (Dossier phosphore, Alternatives économiques, 2011)



Le phosphore total se compose d'une fraction particulaire et d'une fraction dissoute (Fig. 3). La proportion de ces deux fractions peut varier. Le phosphore particulaire est très largement dominant dans les sols. Dans les eaux, le phosphore particulaire peut excéder la fraction dissoute, notamment lorsque les matières en suspension (MES) sont abondantes. Le phosphore particulaire est largement lié aux matières en suspension issues de l'érosion des sols. Sa concentration augmente très rapidement lors d'épisodes érosifs favorisés par le lessivage des sols. Le pic de phosphore total (fraction particulaire + fraction dissoute) précède le pic de débit sur les bassins versants à réponse hydrologique lente (Fig. 3). Cette anticipation du pic de phosphore total sur le débit s'explique par une érosion maximale en début de crue qui évacue principalement le phosphore particulaire. La fraction dissoute du phosphore est généralement estimée par la mesure des concentrations en orthophosphates (partie inorganique du phosphore dissous, Fig. 3). Lors d'une crue, le pic d'orthophosphates est concomitant au pic de débit, et même si les concentrations augmentent, elles restent plus ou moins proportionnelles au débit.

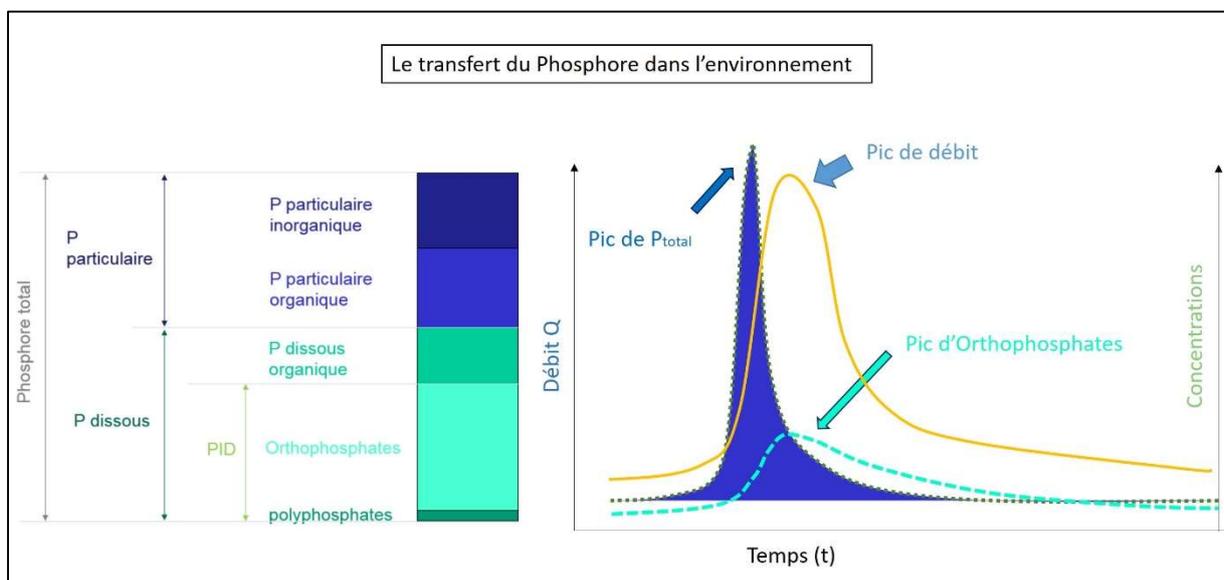


Figure 3 : Les différentes formes du phosphore dans l'environnement (à gauche), et son transfert lors d'une crue (à droite)

Ces relations d'évolution des concentrations en phosphore total et en orthophosphates durant un pic de crue (Fig. 3) conditionnent les mécanismes de transfert du phosphore dans l'environnement.

Remarque : Dans le présent rapport, le terme 'flux' est remplacé par le terme 'charge', plus adéquat pour parler de transfert de matière par unité de temps.



III. MATERIEL ET METHODES

III.1. Bases de données utilisées

INFORMATION	SOURCE(S)	LIENS(S)	ANNEE
1. Fonds de Carte – Données générales			
1.1. Géologie	Infoterre BRGM	https://infoterre.brgm.fr/	2021
1.2. Limites communales	Data Gouvernement	https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/decoupage-administratif-communal-francais-issu-d-openstreetmap/#resources	2020
1.3. Réseau Hydrographique	BD carthage	https://geo.data.gouv.fr/fr/datasets/05ca9c8713d19f758d4acd9c37ce4a571b4f5ae5	2017
1.4. Topographie	IGN	https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/cartes/scan25	2017
1.5. Référentiel Altimétrique	IGN	https://geoservices.ign.fr/rgealti	2022
1.6. Photos Aériennes	Google Earth	https://www.google.fr/earth/	2021
2. Occupation du sol et Agriculture			
2.1. Occupation du sol	Corine Land Cover	https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/corine-land-cover-edition-2018-france-metropolitaine/	2018
2.2. Registre Parcellaire Graphique	Data Gouvernement	https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/registre-parcellaire-graphique-rpg-contours-des-parcelles-et-ilots-cultureux-et-leur-groupe-de-cultures-majoritaire/	2020
3. Hydrographie, Points de suivi, Assainissement, et données communales			
3.1. Assainissement individuels non-conformes	CCHPB		2021
3.2. Points de suivi Phosphore	OUESCO		2020
3.3. Cours d'eau OUESCO	DDTM29		N/A
3.4. Masse d'eau Plan d'eau (retenue Moulin Neuf)	AELB		N/A

Tableau 1 : Listes des bases de données utilisées

III.2. Méthodologie Phase 1

III.2.1. Définition de la zone d'étude

III.2.1.1. Bassin versant de la retenue du Moulin Neuf

La définition d'une zone d'étude acceptée par l'ensemble des acteurs est primordiale pour réaliser les différentes analyses spatiales sur le bassin versant de la retenue du Moulin Neuf. L'investigation des données cartographiques fournies a révélé un écart minime avec le tracé théorique de la ligne de crête (ou ligne de partage des eaux) en limite de bassin versant. Cet écart s'est révélé problématique pour travailler à l'échelle de petits sous-bassins versant comme celui de Kerruc (au Sud-Ouest du BV, Fig. 4C). Cette étape de vérification a donc donné lieu à une redéfinition des limites du bassin versant (Fig. 4).

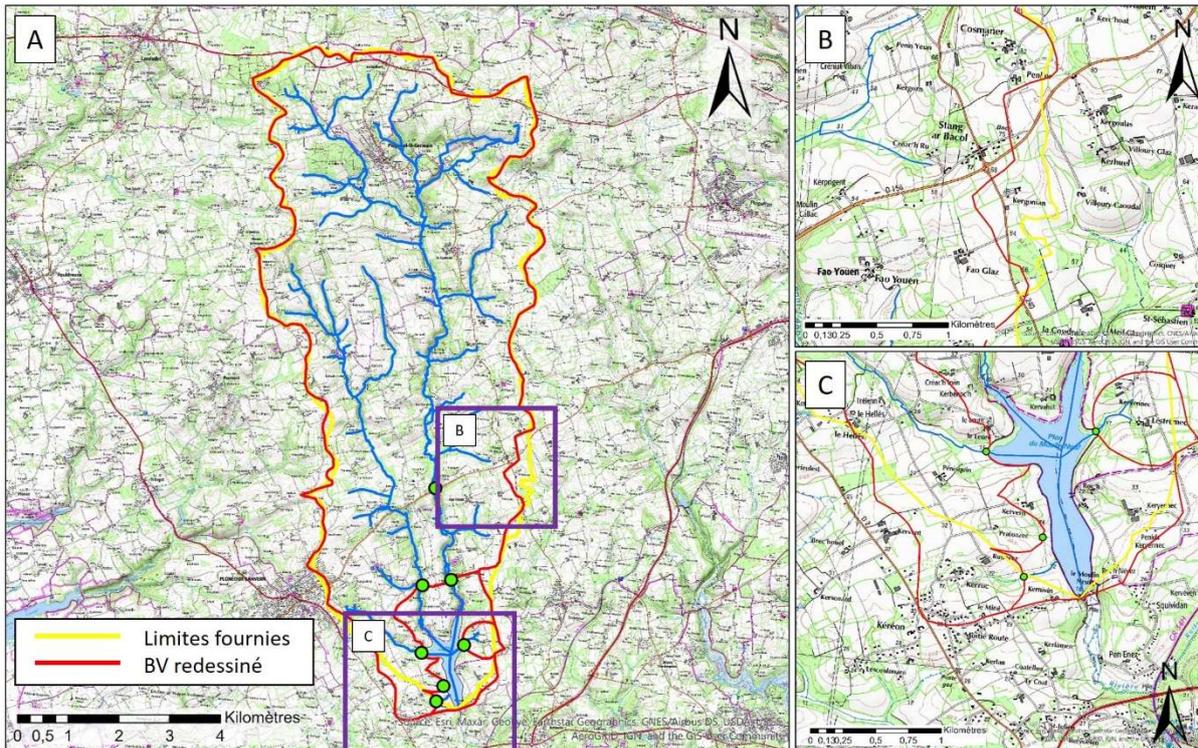


Figure 4 : Délimitation du bassin versant de la retenue du Moulin Neuf (A) et détail des écarts entre la donnée fournie et la ligne de crête redessinée (B et C)

III.2.1.2. Définition des sous-bassins versants

La définition de sous-bassins permet d'avoir une résolution plus fine de la zone d'étude et de cibler des zones prioritaires pour la réduction du transfert du phosphore. Cette division en sous-bassins versants correspond à une attente du maître d'ouvrage, elle est contrainte par les points d'échantillonnage du phosphore sur le bassin versant du Moulin Neuf. Il est important de rappeler que la taille des sous-bassins versants dépend de la localisation des points de prélèvements sur le réseau hydrographique. Chaque point de prélèvement (il y en a sept en tout) est considéré comme un exutoire qui draine un réseau hydrographique et une zone géographique. Pour Kerruc, Pratoazec, ou Lestrémec, les sous-bassins versants sont de petite taille car le réseau hydrographique en amont est peu, voire pas développé. A l'inverse, pour Lanvern ou Pont l'Abbé Callac, le réseau hydrographique en amont est très développé, ce qui explique leur grande taille. Pour travailler avec des sous-bassins versants de tailles homogènes, il faudrait idéalement multiplier les points d'échantillonnage sur le réseau hydrographique. Les données de concentrations exploitées pour le calcul des charges correspondent à celles fournies au début de l'étude, et les sous-bassins versants définis pour l'étude quantitative des charges en phosphore sont ceux de Kerruc, Pratoazec, Trélenn, Lanvern, Pont l'Abbé Callac, Pont l'Abbé Trémillec, et Lestrémec (Fig. 5).

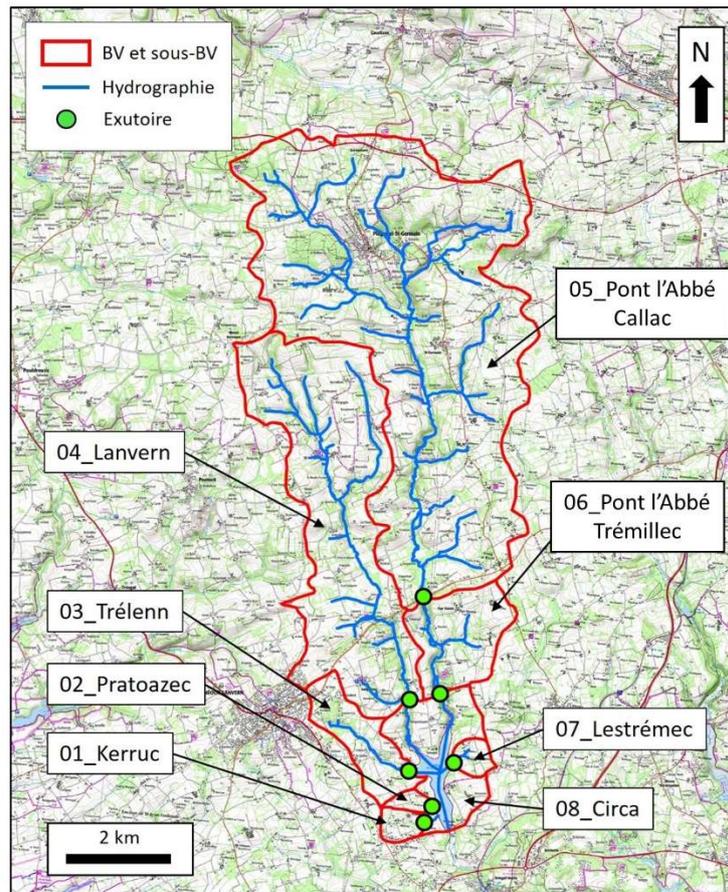


Figure 5 : Bassin versant de la retenue du Moulin Neuf et ses sous-bassins versants. Les exutoires de chaque sous-bassin versant sont aussi les points de prélèvement pour les concentrations en Phosphore total et orthophosphates

III.2.1.3. Cas particuliers

Le cas du sous-bassin versant de Pont l'Abbé Callac est particulier, car son exutoire ne donne pas directement sur la retenue du Moulin Neuf, contrairement aux six autres sous-bassins versants. Par conséquent, les charges de phosphore total et d'orthophosphates à l'exutoire de Pont l'Abbé Callac ne peuvent pas être prises en considération dans le calcul des intrants à la retenue. Ce calcul devra s'effectuer avec les charges de Pont l'Abbé Trémillec. Pont l'Abbé Callac forme la partie amont de Pont l'Abbé Trémillec. Cette configuration en 'gigogne' permet d'identifier la contribution des secteurs amont et aval sur Pont l'Abbé Trémillec (Fig. 6).

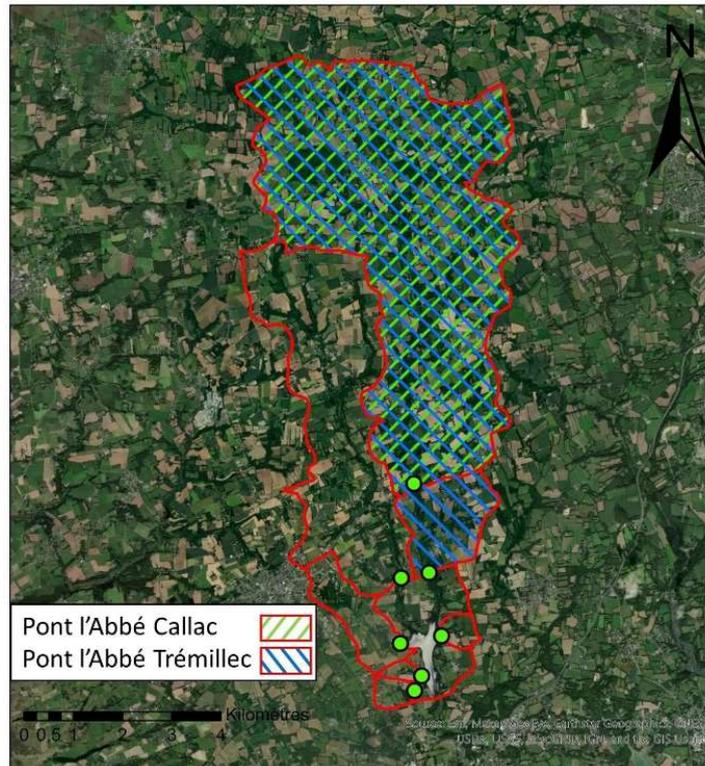


Figure 6 : Cartographie des sous-bassins versants 'gigogne' de Pont l'Abbé Trémillec et de Pont l'Abbé Callac.

Le sous-bassin versant noté Circa (Fig. 5) forme une petite zone autour de la retenue. Il n'existe pas de données de concentrations du phosphore sur cette zone, elle n'est donc pas prise en considération pour l'analyse quantitative.

III.2.2. Calcul des charges en phosphore

Les charges en phosphore sont calculées en multipliant des concentrations (en mg/m^3) par des débits (en m^3/s). Les résultats obtenus peuvent ensuite être exprimés en mg/s ou en kg/an etc.

III.2.2.1. Les données de concentration en phosphore

Au total, 502 données de concentrations (Phosphore Total et orthophosphates) ont été collectées. Ces données couvrent des périodes différentes (Fig. 7):

- 2012-2021 pour les stations de Lanvern-Ty Poes et rivière de Pont l'Abbé-Trémillec
- 2018-2021 pour la rivière de Pont l'Abbé à Pont l'Abbé Callac
- 2020-2021 pour Kerruc, Pratoazec, Trélenn, Lestrémec

Compte-tenu des améliorations de la qualité de l'eau sur les rivières de Pont l'Abbé et le Lanvern depuis 2012, et dans un souci d'homogénéisation des données sur l'ensemble du bassin versant du Moulin Neuf, seules les données sur la période 2020-2021 ont été considérées pour l'étude quantitative, soit un jeu de 289 données de concentration. L'observation des concentrations a permis de catégoriser les données en deux lots équivalents (été et hiver) pour chaque paramètre (Ptot et orthophosphates, Fig. 7). Cette catégorisation sera utile pour la méthode de calcul des charges avec des concentrations fixes (voir section IV.5.).

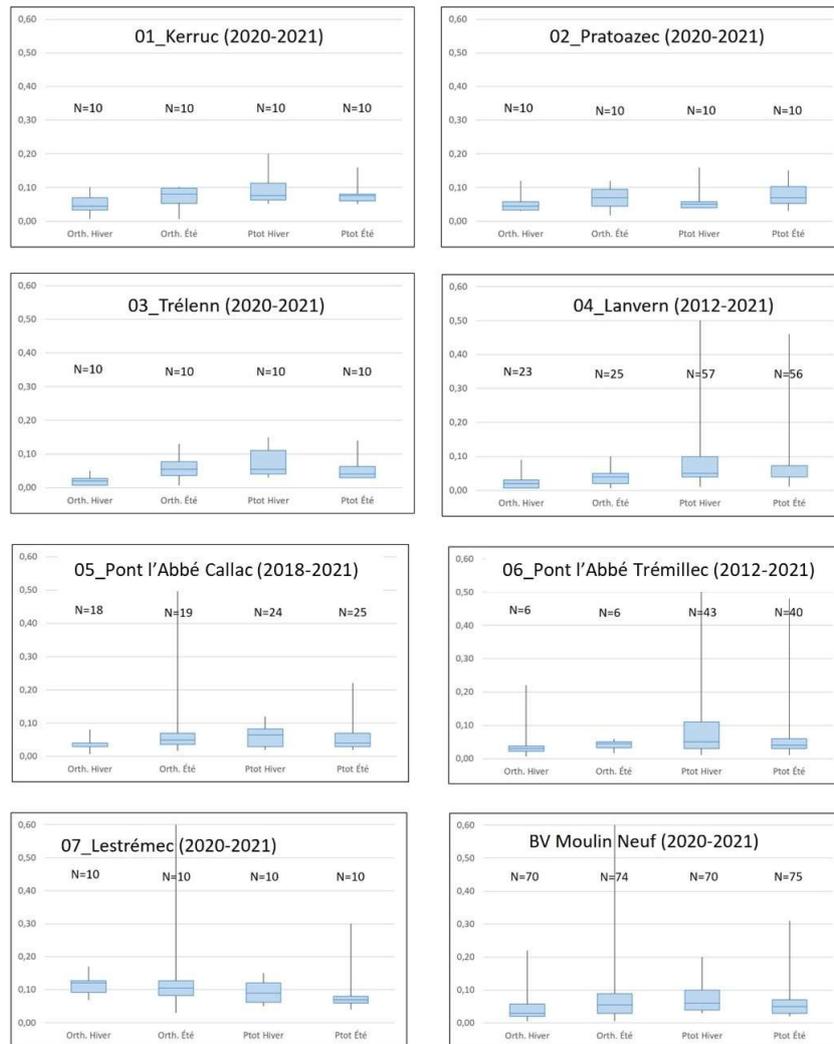


Figure 7 : Ensemble des données de concentration en phosphore (Phosphore Total et orthophosphates) pour chaque sous-bassin versant collectées par OUESCO. Les concentrations en ordonnées sont exprimées en mg/l, deux catégories été/hiver sont formées pour chaque paramètre Ptot/orthophosphates. Pour chaque graphique, les valeurs extrêmes (minimum et maximum) sont représentées par le trait noir vertical. La boîte bleue supérieure représente l'écart entre la médiane et le 3^{ème} quartile, et la boîte bleue inférieure l'écart entre la médiane et le 1^{er} quartile

Une conversion des données a été nécessaire pour pouvoir comparer le Ptot au Phosphore dissous (P-PO4). La conversion des orthophosphates en P-PO4 s'exécute en considérant les masses molaires mises en jeu selon l'équation suivante :

$$\frac{[PO_4] \times 31}{(31 + 16 \times 4)} = [P-PO_4]$$

Équation 1 : Conversion des orthophosphates en P-PO4



Le traitement des valeurs de concentrations inférieures au seuil de quantification (< x mg/l) a fait l'objet d'un choix nécessairement arbitraire. Ce choix résulte de considérer ces données sans leur donner un poids trop important (ex : seuil de quantification). Il a été attribué à ces valeurs le tiers du seuil de quantification, ce qui correspond à un choix a priori plutôt pessimiste (surestimation des apports).

III.2.2.2. Méthode de calcul des débits

Les bases de données de débit horaire : i) de la rivière de Pont l'Abbé à Plonéour-Lanvern (Pont l'Abbé Trémillec, J4124420) et ii) de la rivière du Lanvern à Plonéour-Lanvern (Ty Poes, J41225720) ont été investiguées dans le cadre de l'étude. Dans un premier temps, tous les débits horaires aux points d'intérêt (stations d'échantillonnage pour la concentration en Phosphore, Fig. 5) ont été recalculés avec la méthode des rapports de surfaces des bassins versants (ou méthode analogique) :

$$Q_{non\ jaugé} = Q_{voisin\ jaugé} \times \frac{S_{non\ jaugé}}{S_{voisin\ jaugé}}$$

Équation 2 : Méthode analogique de calcul des débits, ou Q est un débit et S une surface

Dans un deuxième temps, une comparaison des débits horaires du Lanvern mesurés *versus* calculés (avec l'équation 2) a été effectuée sur une année hydrologique. Les résultats de cette comparaison sont exposés en Fig.8. Compte-tenu de l'écart négligeable entre les deux méthodes d'estimation des débits (Fig. 8), l'application de l'équation 2 a été retenue pour le calcul des débits à tous les exutoires considérés.

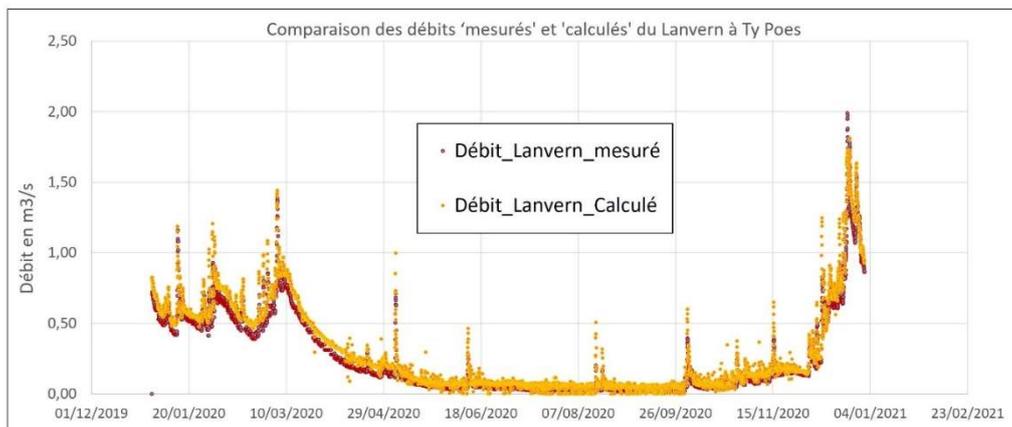


Figure 8 : Comparaison des débits mesurés à Ty Poes (Lanvern) et des débits calculés par la méthode analogique, sur une année hydrologique

III.2.2.3. Calcul des charges : concentrations fixes versus concentrations variables

Deux méthodes distinctes ont été utilisées pour le calcul des charges en phosphore, la Méthode 1 dite des concentrations fixes, et la Méthode 2, dite des concentrations variables.



III.2.2.3.1. Méthode 1 : concentrations fixes

Pour cette méthode, la catégorisation des données saisonnières été/hiver pour chaque paramètre (P_{tot} et P-PO₄) a fait l'objet d'un classement. Ce classement a donné lieu à trois hypothèses : i) l'hypothèse de concentration moyenne emploie les données moyennes de concentrations pour chaque saison (été et hiver) ; ii) l'hypothèse de concentration basse emploie les valeurs de 1^{er} quartile (ou quartile inférieur) pour chaque saison (été/hiver). Ainsi la concentration utilisée est la valeur au-dessous de laquelle se trouvent 25% de l'ensemble de données de concentrations pour une variable (P-PO₄ ou P_{tot}) et une saison donnée ; iii) l'hypothèse de concentration haute emploie les valeurs de 3^{eme} quartile (ou quartile supérieur) pour chaque saison (été/hiver). Ainsi la concentration utilisée est la valeur au-dessous de laquelle se trouvent 75% de l'ensemble de données de concentrations pour une variable (P-PO₄ ou P_{tot}) et une saison donnée.

Pour le calcul des charges horaires, journalières et annuelles en phosphore, les débits ont été multipliés par les valeurs exposées ci-après (Fig. 9) calculées pour chaque sous-bassin versant :

[P-PO ₄] Hiver	[P-PO ₄] Été	P _{tot} Hiver	P _{tot} Été
0,02	0,03	0,09	0,08
0,02	0,02	0,07	0,08
0,01	0,02	0,08	0,05
0,01	0,01	0,06	0,06
0,01	0,03	0,06	0,05
0,02	0,01	0,04	0,04
0,04	0,05	0,09	0,09
Hypothèse moyenne			

P-PO₄ et P_{tot}
Hypothèse moyenne

[P-PO ₄] 1er Quartile Hiver	[P-PO ₄] 3ème Quartile Hiver	[P-PO ₄] 1er Quartile Été	[P-PO ₄] 3ème Quartile Été
0,01	0,02	0,02	0,03
0,01	0,02	0,01	0,03
0,00	0,01	0,01	0,03
0,00	0,01	0,01	0,02
0,01	0,01	0,01	0,02
0,01	0,01	0,01	0,02
0,03	0,04	0,03	0,04
Hyp. basse	Hyp. haute	Hyp. basse	Hyp. haute

P-PO₄
Hypothèse haute et basse

[P _{tot}] 1er Quartile Hiver	[P _{tot}] 3ème Quartile Hiver	[P _{tot}] 1er Quartile Été	[P _{tot}] 3ème Quartile Été
0,06	0,11	0,06	0,08
0,04	0,06	0,05	0,10
0,04	0,11	0,03	0,06
0,04	0,10	0,04	0,07
0,03	0,08	0,03	0,07
0,03	0,11	0,03	0,06
0,06	0,12	0,06	0,08
Hyp. basse	Hyp. haute	Hyp. basse	Hyp. haute

P_{total}
Hypothèse haute et basse

Figure 9 : Ensemble des concentrations utilisées pour chaque sous-bassin versant, chaque saison (été/hiver) et chaque hypothèse (basse, moyenne et haute) pour l'obtention des charges en phosphore. Les sous-bassins versants correspondants aux valeurs utilisées correspondent de haut en bas à Kerruc, Pratoazec, Trélenn, Lanvern, Pont l'Abbé Callac, Pont l'Abbé Trémillec, et Lestrémec

III.2.2.3.2. Méthode 2 : concentrations variables

Pour la réalisation de cette méthode, la pluie de Pluguffan (P) commandée sur le site de Météo France pour la période 2020-2021 a permis d'établir une régression linéaire entre les concentrations à un instant (t) et une fonction de pluie à ce même instant (t) (Fig. 10).

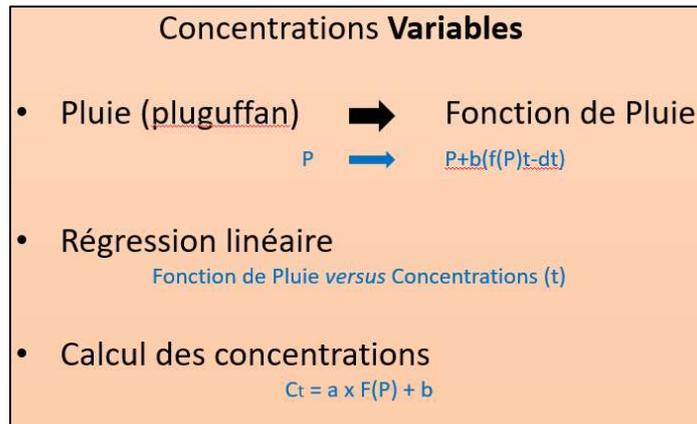


Figure 10 : Résumé synthétique de l'obtention des charges en phosphore par la méthode des concentrations variables

III.2.3. Différentiation du phosphore agricole et de phosphore domestique

Les calculs de charge en phosphore sur chaque sous-bassin versant (Fig. 5) se basent sur les concentrations en phosphore à chaque exutoire considéré. Les résultats de concentration disponibles (P_{total} et orthophosphates) ne fournissent pas l'origine de ce phosphore (agricole versus domestique). L'évaluation des rejets de phosphore d'origine domestique est articulée en deux étapes :

- Etape 1 : La prise en considération des rejets de STEU sur la zone d'étude. Sur le bassin versant de la retenue du Moulin Neuf, seule une STEU (Plogastel-saint-Germain) rejette ses effluents traités sur le réseau hydrographique. Les rejets en phosphore de la STEU de Plogastel-Saint-Germain seront donc pris en considération (données exploitant).
- Etape 2 : Les rejets de phosphore des systèmes d'assainissement non-collectifs (ANC) sont pris en considération. Pour ce faire, il est nécessaire de disposer du nombre et de la localisation des ANC défectueux (ceux qui rejettent au milieu) sur la zone d'étude. D'autre part, il est nécessaire d'estimer le rejet moyen par habitant et par jour sur la zone d'étude. Pour ce faire, les données des STEU de la région (en particulier les effluents d'entrée de STEU) seront exploitées pour évaluer au mieux les rejets moyens en phosphore par habitant et par jour sur le bassin versant étudié.

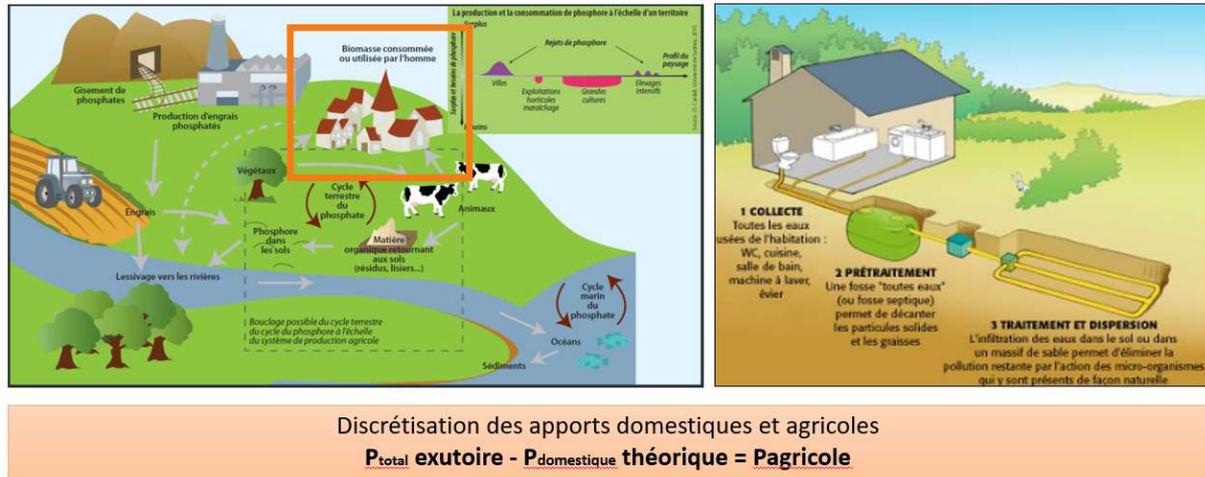


Figure 11 : Illustration de la méthode discrétisation du Phosphore d'origine domestique et agricole.

L'estimation des rejets en phosphore sur chaque sous-bassin versant sera soustraite à la quantité totale de phosphore mesurée à l'exutoire, ce qui permettra d'évaluer le phosphore d'origine agricole (Fig. 11).

III.3. Méthodologie Phase 2

La méthode qui suit a pour but d'identifier les zones les plus sensibles à l'érosion des pentes sur un bassin versant. Ce travail peut être adapté à l'étude de l'érosion et du transfert sédimentaire sur une zone ou un bassin versant donné. Cette méthode est une approche qualitative. Elle permet une identification des zones potentiellement sujettes à l'aléa érosif de par leurs caractéristiques morphologiques et d'assolement. Le calcul de volumes de sédiments, nutriments, ou de polluants sur une zone donnée ne pourra être réalisé par cette méthode.

Pour réaliser ce travail, plusieurs données géographiques sont essentielles en entrée :

- Modèle numérique de terrain (RGE Alti 1m ou 5m) : Prétraitement nécessaire sur le 1M
- Le Registre parcellaire graphique le plus récent (ici 2020)
- Limite des bassins versants

L'ensemble du traitement est réalisé avec QGIS et Grass.

III.3.1. Traitement de la pente et de l'occupation du sol

Le MNT (Modèle Numérique de Terrain) est livré par l'IGN sous forme de dalles qu'il convient d'unifier pour pouvoir effectuer le travail¹. Pour ce faire, on utilise l'algorithme « Fusionner » qui permet d'unir les dalles entre elles.

Une adaptation de la résolution du raster (initialement RGE Alti 1 m) est nécessaire pour corriger les micro-artefacts (pentes très localisées, bâti sur zone d'étude etc.) et pour alléger les traitements. Pour ne pas affecter le résultat final, les valeurs proches sont moyennées entre elles. La résolution passe de 1 à 4 mètres de résolution. Pour ce faire, l'algorithme 're-échantillonné' est utilisé. Une fois le MNT rééchantillonné à une résolution de 4m, l'application du calcul des pentes est générée (Fig. 12).

¹ Pour savoir quelles dalles afficher, utiliser le fichier shape « dalles » dans le répertoire « SUPPLEMENT LIVRAISON » contenu dans le dossier de l'IGN (RGE Alti 1m et 5m)

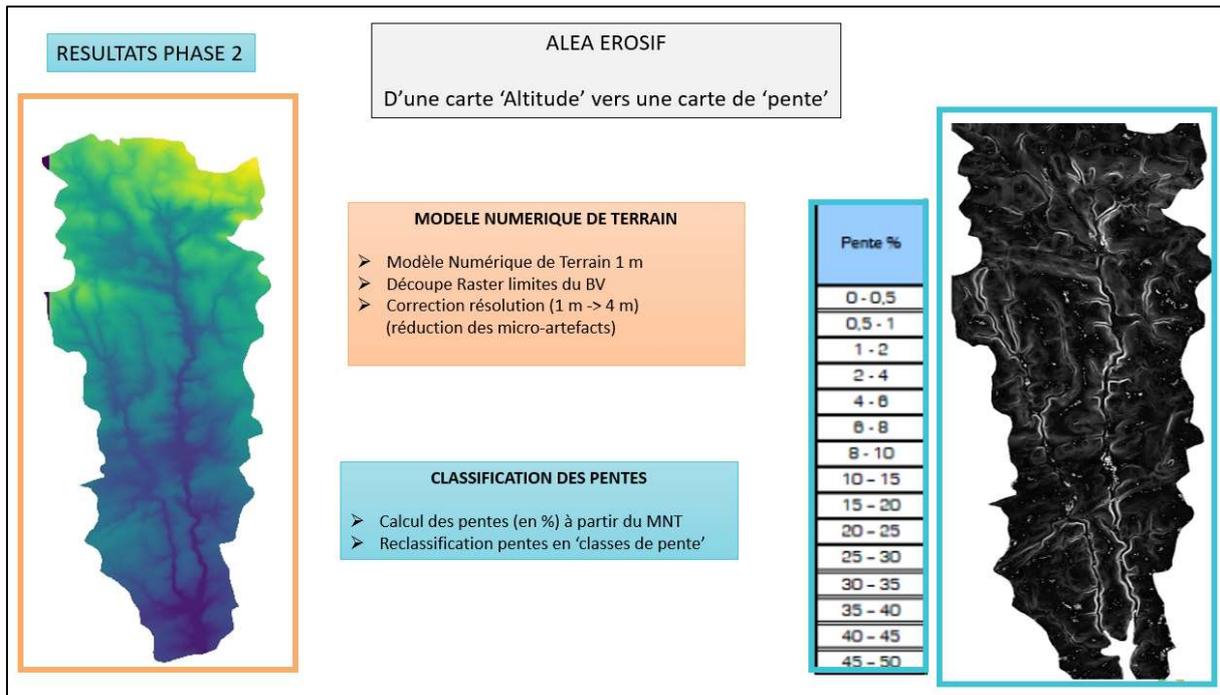


Figure 12 : Calcul des pentes à l'aide du MNT en vue du calcul de l'aléa érosif

Pour calculer les pentes du bassin, le MNT échantillonné à l'étape précédente est employé. Les valeurs de pente sont affichées en pourcentage. Pour se faire, le traitement « Pente » de Gdal (algorithmique de Qgis) est utilisé. Une classification des pentes est effectuée (Fig. 12).

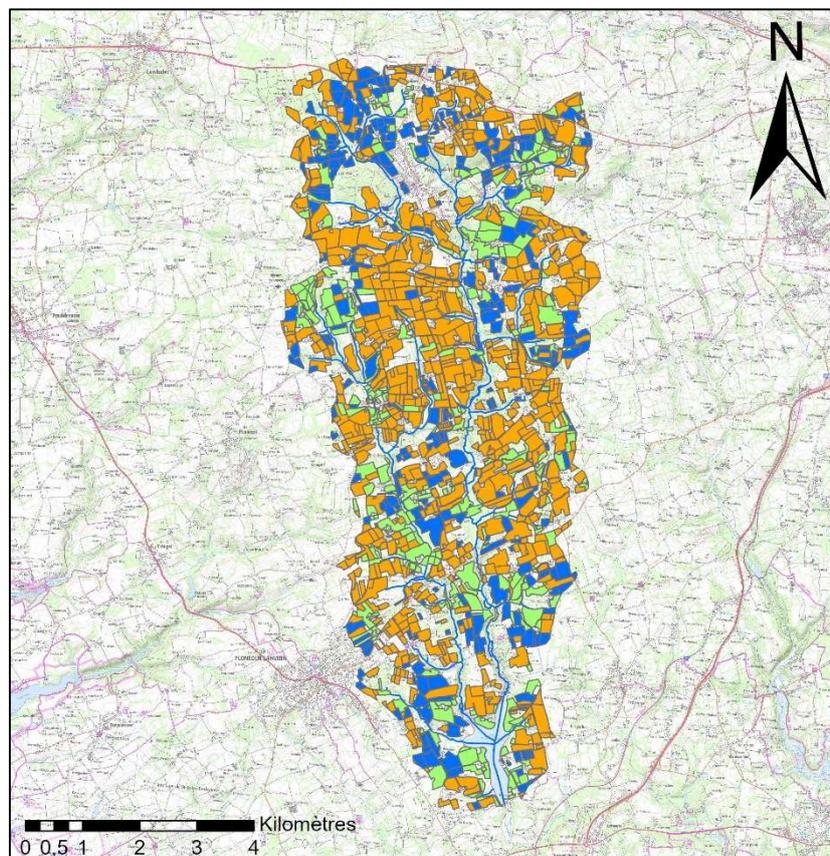


Figure 13 : Visualisation des surfaces prises en compte (RPG 2020), cultures en orange, prairies temporaires en vert et prairies permanentes en bleu



Pour transformer le RPG ou la couche occupation des sols en raster, il faut classer les entités qui nous intéressent et les coder par un chiffre (Fig. 13). On aura donc les transformations suivantes à effectuer :

- Cultures = 1
- Prairie temporaire = 2
- Prairie permanente = 3

Dans la table attributaire, trois colonnes sont créées pour trier les différentes entités en 3 classes suivant la couche utilisée.

III.3.2. Calcul de l'aléa érosif

Les indices de ruissellement sont calculés pour chaque classe de pente et selon trois catégories issues du RPG 2020 (Prairies permanentes, prairies temporaires et cultures). Les indices pour les prairies temporaires et pour les cultures sont issus d'une référence externe (AURIF-MOS, 1999). Pour les besoins de l'étude, des indices ont été recalculés pour les prairies temporaires (Tableau 2).

Pentes (%)	Prairies Permanentes (code 3)	Prairies Temporaires (code 2)	Cultures (code 1)
0 - 0,5	0,005	0,06	0,12
0,5 - 1	0,02	0,08	0,13
1 - 2	0,04	0,11	0,18
2 - 4	0,07	0,15	0,23
4 - 6	0,09	0,18	0,27
6 - 8	0,11	0,21	0,31
8 - 10	0,13	0,24	0,34
10 - 15	0,17	0,29	0,4
15 - 20	0,19	0,32	0,45
20 - 25	0,22	0,36	0,5
25 - 30	0,25	0,40	0,55
30 - 35	0,27	0,43	0,59
35 - 40	0,29	0,46	0,62
40 - 45	0,31	0,48	0,65
45 - 50	0,33	0,51	0,69

Tableau 2 : Tableau des indices utilisés pour chaque type d'occupation du sol (prairie permanente, prairie temporaire et culture) et chaque classe de pente

Les indices de ruissellement varient de 0.005 (indice faible pour les prairies permanentes peu pentues) à 0.69 (cultures en pente).

III.3.3. Identification des sous-bassins versants prioritaires

L'identification des sous-bassins versants prioritaires est effectuée par évaluation de la surface occupée par l'aléa érosif 'fort'. Des points de transfert potentiels sont indiqués pour chaque zone sensible qui ne présente pas de haie



IV. RESULTATS PHASE 1 – ETUDE QUANTITATIVE

IV.1. Contexte géographique et hydrographique

Le bassin versant de la retenue du Moulin Neuf est situé au sud du cisaillement sud-Armoricain, grande faille géologique qui segmente le réseau hydrographique du SAGE de OUESCO. Au sud de la faille, le réseau hydrographique est divisé en deux ensembles : i) un chevelu hydrographique orienté d'Est en Ouest avec des exutoires fluviaux dirigés vers la Baie d'Audierne ii) plus à l'Ouest, un réseau hydrographique plus développé, d'orientation Nord-Sud. Le bassin versant de la retenue du Moulin Neuf s'inscrit dans le deuxième ensemble. Il est organisé de part et d'autre des rivières de Pont l'Abbé et du Lanvern (Fig. 14).

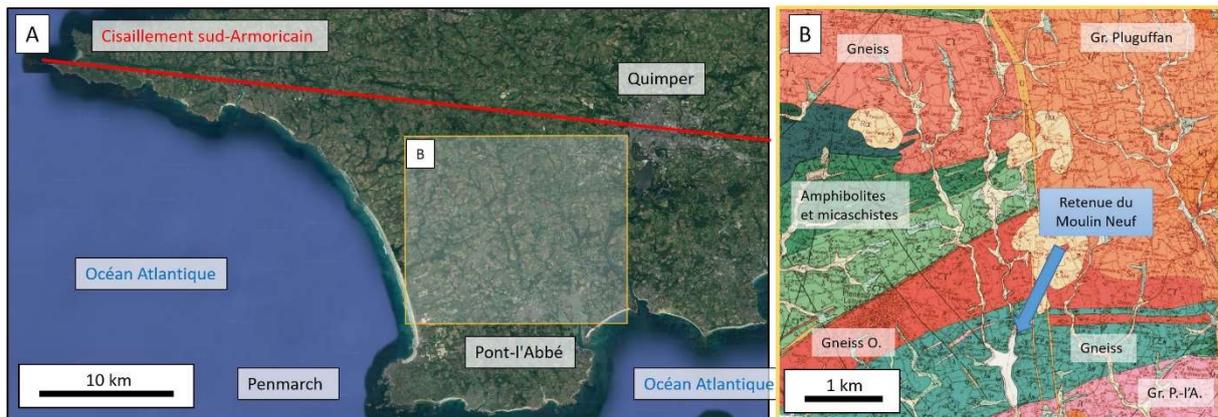


Figure 14 : A) Situation du bassin versant de la retenue du Moulin Neuf au sud du cisaillement Sud-Armoricain ; B) Nature des lithologies rencontrées sur le bassin versant de la retenue du Moulin Neuf (abréviations : Gr., Granite ; O. Orthogneiss ; P.l'A, Pont l'Abbé).

Les lithologies rencontrées sur le bassin versant du Moulin Neuf sont quasi-exclusivement des roches métamorphiques. Il s'agit de roches très anciennes et métamorphiques (Ordovicien-Silurien, -450 Millions d'années) telles que le gneiss (proche de la composition du granite, qui lui est d'origine magmatique), d'amphibolites et de micaschistes (roches méta-sédimentaires). A l'Est, le granite de Pluguffan, plus récent (intrusion hercynienne, -360 Millions d'années) recoupe ces formations anciennes. Ces lithologies sont caractéristiques du domaine sud armoricain (Fig. 14). Sur certains points hauts (tâches jaune pâle sur la Fig. 14B), des limons éoliens déposés lors de la glaciation vistulienne persistent (- 70 000 ans). Le fond des vallées de la rivière de Pont l'Abbé et du Lanvern (en jaune pâle sur la Fig. 14B) préservent les alluvions récents (< 20 000 ans).

Le bassin versant de la retenue du Moulin Neuf a une superficie de 51.6 km². Au total, 71 km de cours d'eau y sont recensés. Les rivières de Pont l'Abbé et du Lanvern, toutes deux orientées Nord-Sud, forment l'essentiel du réseau hydrographique du bassin versant. Au Sud du bassin versant, trois cours d'eau identifiés comme non-pérennes sur la carte IGN (Trélen, Kerruc, et Lestrémec) et un écoulement non-identifié sur la carte (Pratoazec) participent aussi, dans une moindre mesure, au remplissage de la retenue (Fig. 15).



L'occupation du sol est très largement agricole sur l'ensemble du bassin versant du Moulin Neuf. Sur les 51,6 km² du bassin versant, environ 43 km² sont occupés par des terres arables, prairies, systèmes culturaux et autres surfaces agricoles (couleurs jaune à marron clair, Tableau 3). Selon la classification de *Corine Land Cover*, on retrouve principalement les systèmes culturaux (code 242) dans les fonds de vallées, et les terres arables hors périmètre d'irrigation sur les coteaux et zones plus élevées. Les forêts représentent environ 7 km² de l'ensemble du bassin versant et occupent principalement les zones basses et zones humides en bordure de cours d'eau. La retenue du Moulin Neuf occupe 0.5 km², et les zones urbaines (code 112) moins de 1 km². Les deux zones urbaines sur le bassin versant sont celles de Plogastel-Saint-Germain (au Nord) et la partie Est du bourg de Plonéour-Lanvern (Fig. 17).

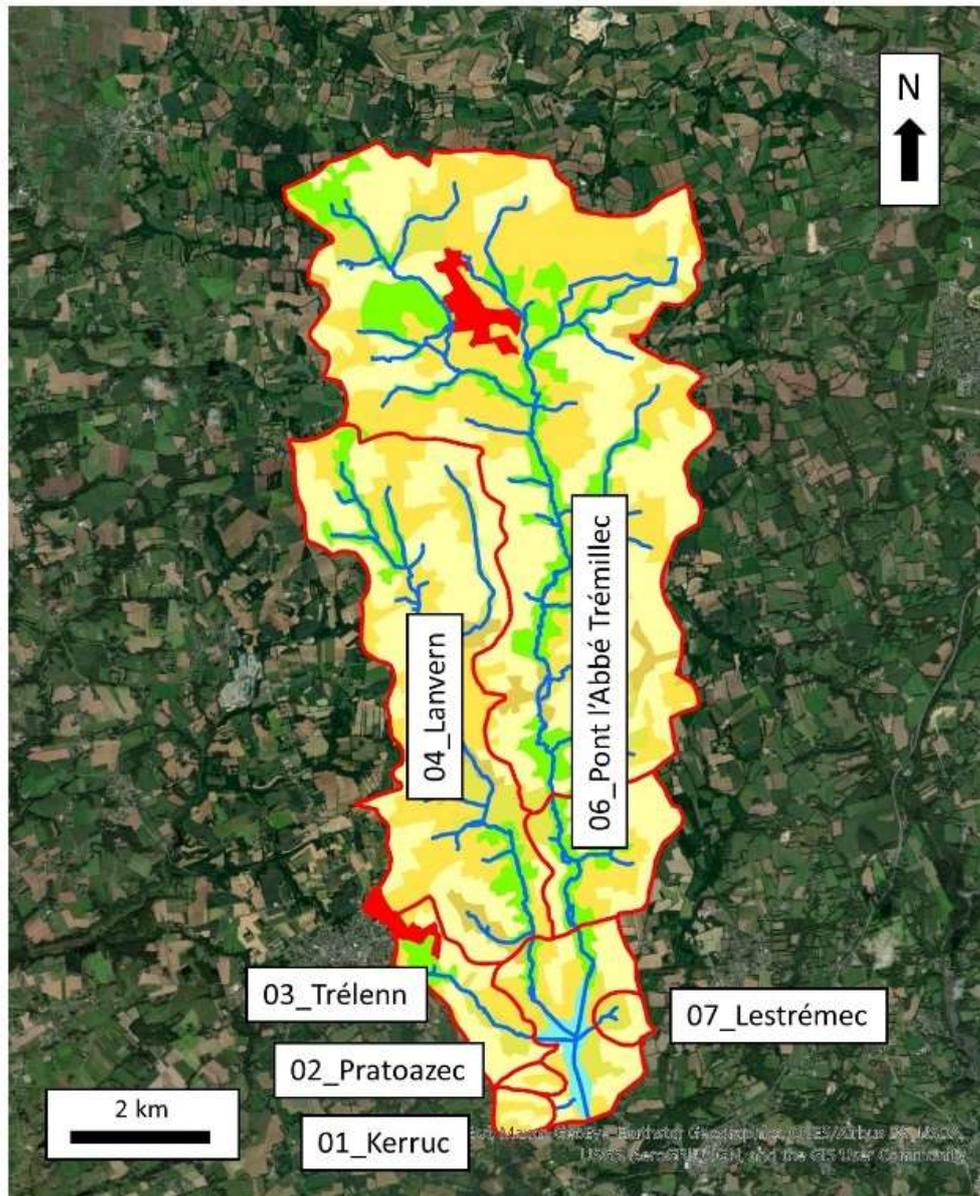


Figure 17 : Carte d'occupation du sol du bassin versant de la retenue du Moulin Neuf avec le nom et l'emprise des sous-bassins versants



Code Corine LC	112	211	231	242	243	311	512	% ss-bassin
Usage	Tissu urbain discontinu	Terres arables HPI	Prairies	Systèmes culturaux	Surfaces agricoles	Forêts	Plan d'eau	
01_Kerruc	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,8
02_Pratoazec	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5
03_Tréleonn	0,2	0,9	0,4	0,4	0,0	0,3	0,0	4,0
04_Lanvern	0,1	5,2	0,9	4,5	1,2	1,2	0,0	25,4
06_Pont l'Abbé Trémillec	0,6	13,5	1,7	10,3	0,6	5,4	0,0	62,3
07_Lestrémec	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
Total BV général	0,9	21,5	3,6	16,1	1,9	7,1	0,5	100,0

Tableau 3 : Détail de l'occupation du sol par sous-bassin versant en km². Le code couleur utilisé est le même que sur les figures 17 et 19. Abréviations : HPI, hors périmètre d'irrigation ; Corine LC, Corine Land Cover.

La représentativité surfacique des sous-bassins versant à l'échelle de la zone d'étude est très variable. Les sous-bassins versant de Kerruc, Pratoazec, et Lestrémec représentent chacun moins de 1% de la superficie total du bassin versant général. Le sous-bassin versant de Tréleonn représente à peine plus (4%, Fig. 18). Le sous-bassin versant de Lanvern représente 25%, soit un quart de la superficie totale. Le cas des sous-bassins versant 'gigogne' de Pont l'Abbé Callac et de Pont l'Abbé Trémillec est particulier. Le sous-bassin versant de Pont l'Abbé Trémillec est de loin le plus grand ; il représente 62% de la superficie générale du bassin versant. Il englobe dans sa totalité le sous-bassin versant de Pont l'Abbé Callac (57% de la superficie totale du bassin versant, Fig. 18).

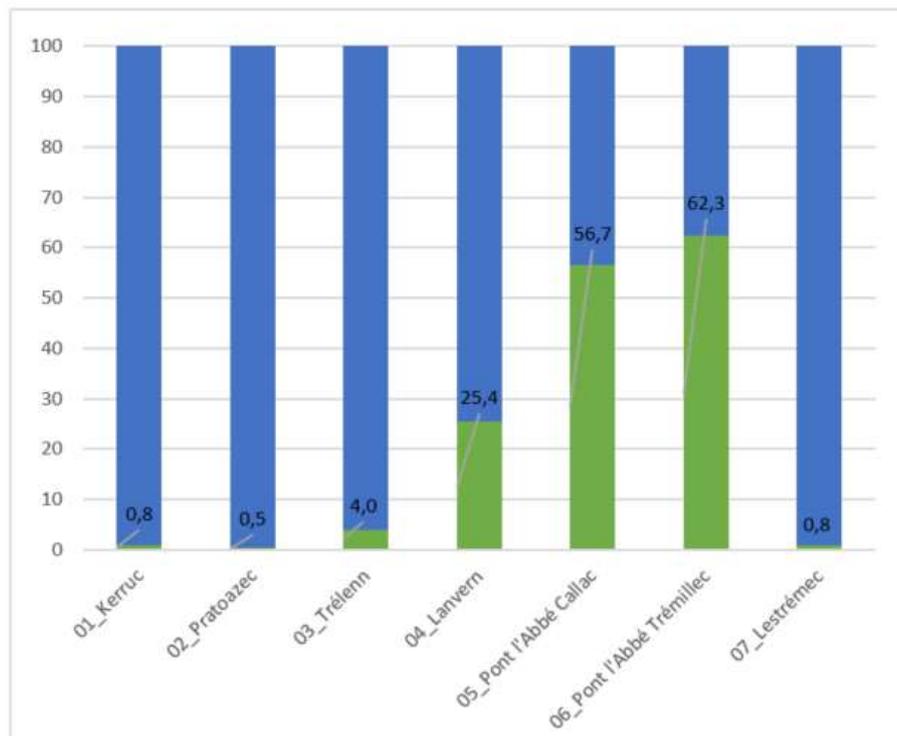


Figure 18 : Représentativité de chaque sous-bassin versant (en vert) par rapport à l'emprise complète du bassin versant du Moulin Neuf (en bleu).

Le détail de l'occupation du sol sur le bassin versant de la retenue du Moulin Neuf et chaque sous-bassin versant est indiqué en Figure 19.

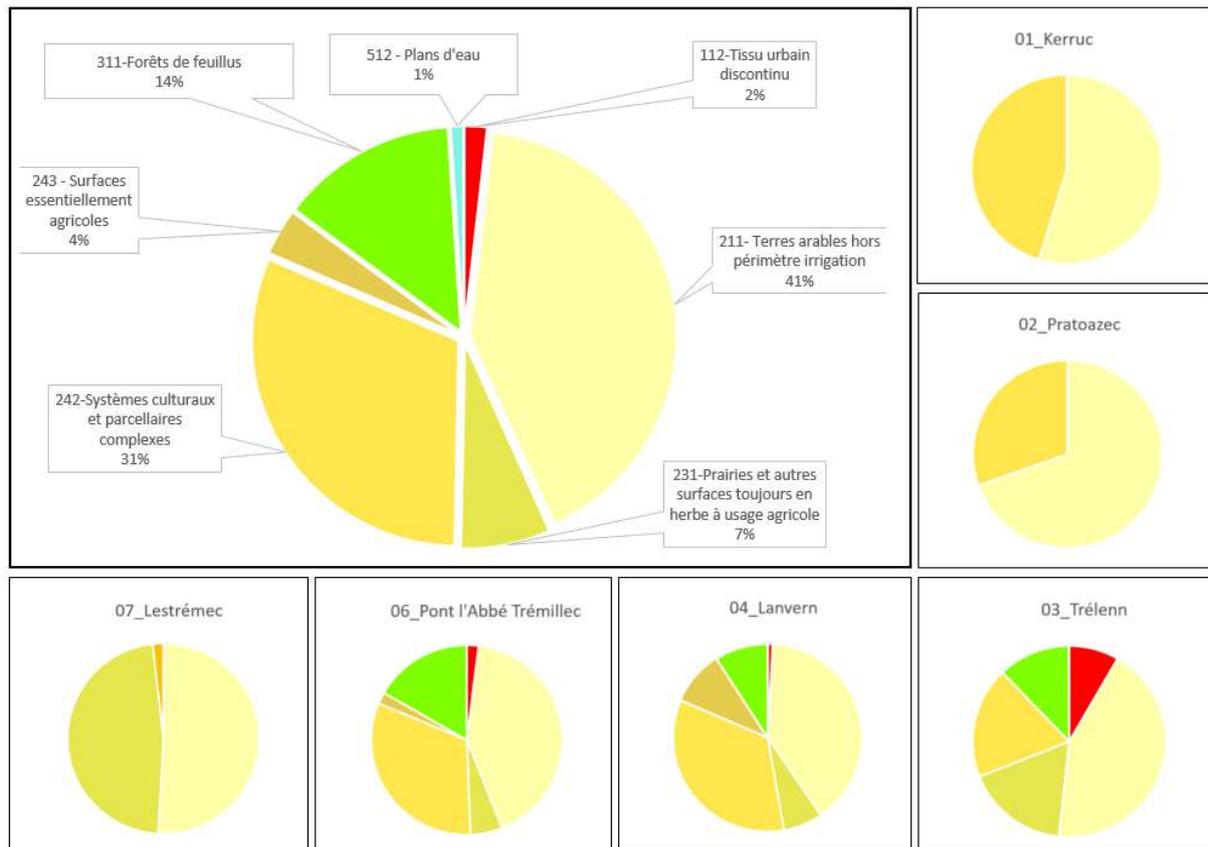


Figure 19 : Détail de l'occupation du sol sur l'ensemble du bassin versant et sur chaque sous-bassin versant.

IV.3. Observations sur les données de concentrations

L'ensemble des 289 données de concentrations en phosphore total et en orthophosphates pour la période 2020-2021 est utilisé pour l'étude quantitative. Plusieurs observations peuvent être dégagées des données présentées en figure 7 :

- Les concentrations en orthophosphates sont en général plus élevées en été qu'en hiver sur l'ensemble des sous-bassins versants (les débits sont au contraire en général plus élevés en hiver qu'en été). Cela correspond à un phénomène de dilution des apports permanents, dont notamment les rejets des systèmes d'assainissement collectif ou non-collectifs
- Les concentrations moyennes en Phosphore total sont plus élevées en hiver, mais les valeurs maximales sont toujours atteintes en été.
- Sur la période 2020-2021, 75% des concentrations sont inférieures à 0.1 mg/l pour les orthophosphates (PO₄) et le Phosphore total.
- C'est à l'exutoire du sous-bassin versant de Lestrémec que les concentrations mesurées sont les plus importantes.

IV.4. Calcul des débits

La méthode analogique de calcul des débits utilise les rapports de surface des sous-bassins versants pour déduire les valeurs de débits des différents sous-bassins (équation 2). Les surfaces de sous-bassins versants sont calculées sur ArcGis et indiquées dans le tableau 4.



Bassin versant	Surface (km ²)
01_Kerruc	0,4
02_Pratoazec	0,3
03_Tréenn	2,1
04_Lanvern	13,1
05_Pont l'Abbé Callac	29,3
06_Pont l'Abbé Trémillec	32,2
07_Lestrémec	0,4

Tableau 4 : Liste des sous-bassins versants et surface correspondante (en km²)

Les débits horaires calculés sont proportionnels à la taille des sous-bassins versants. Ainsi, on retrouve dans l'ordre décroissant les débits aux exutoires de : i) Pont l'Abbé Trémillec, ii) Pont l'Abbé Callac, iii) Lanvern, iv) Tréenn, v) Kerruc, vi) Lestrémec, et vii) Pratoazec (Fig. 20). Pour la période 2020-2021, des débits relativement élevés de l'ordre de 1.5-2.0 m³/s sont identifiés de janvier à mars 2020 à l'exutoire de Pont l'Abbé Trémillec (Fig. 20). Les débits restent bas (< 0.25 m³/s en moyenne) d'avril à octobre 2020 avec quelques pics de débit à 1 m³/s (Fig. 20). De novembre 2020 à mars 2021, les débits à Pont l'Abbé Trémillec sont plus importants, 1.5-2.0 m³/s en moyenne. Deux pics de débit à 4.5 m³/s sont identifiés en décembre 2020 et en janvier 2021. Les débits d'étiages se mettent en place progressivement à partir du mois de mars et jusqu'en novembre 2021 (Fig. 20).

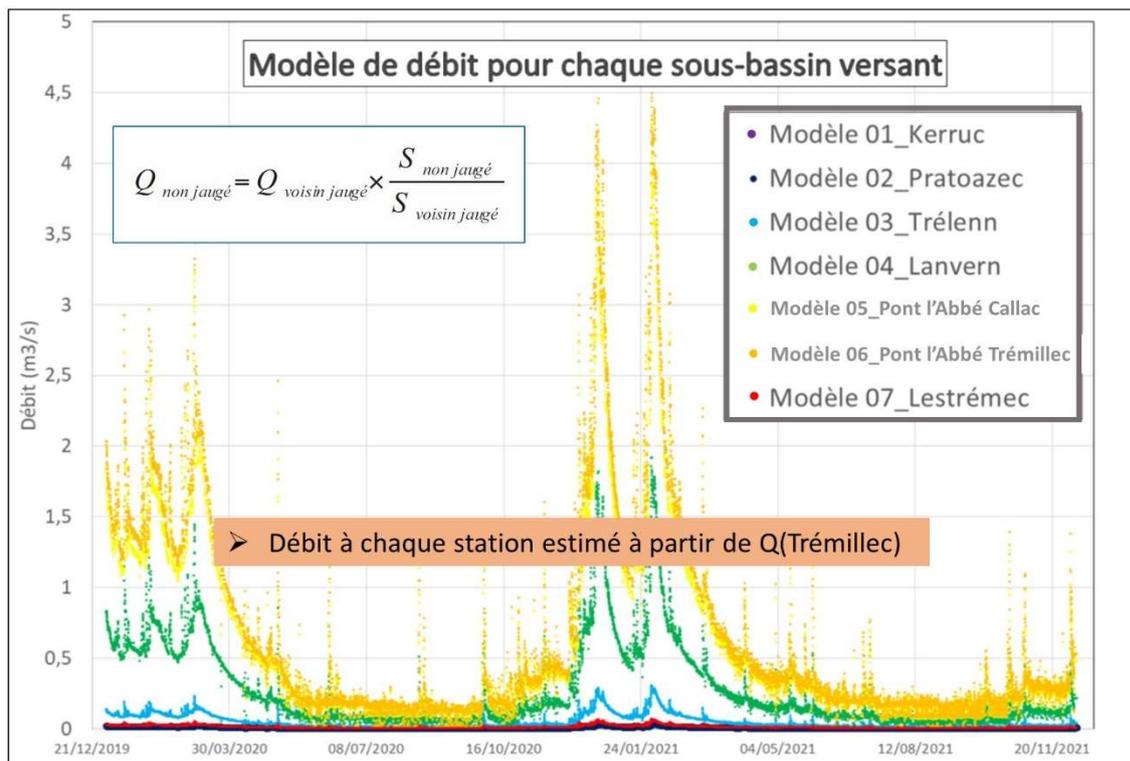


Figure 20 : Estimation des débits à chaque station considérée à partir du débit mesuré à la station du Pont l'Abbé Trémillec.



IV.5. Calcul des charges de phosphore

Les charges de phosphore sont ici calculées suivant les méthodes 1 et 2 explicitées dans la section II. La comparaison des résultats des deux méthodes intervient au point IV.5.3.

IV.5.1. Résultats de la Méthode 1

Des simulations de charges sont effectuées pour les différentes hypothèses (basse, moyenne et haute) et pour chacun des sous-bassins versants. En Figure 21 et 22 les résultats pour les sous-bassins versants de Trélenn et Pont l'Abbé Trémillec sont exposés pour les hypothèses haute et basse des paramètres phosphore total et orthophosphates (P-PO₄), respectivement.

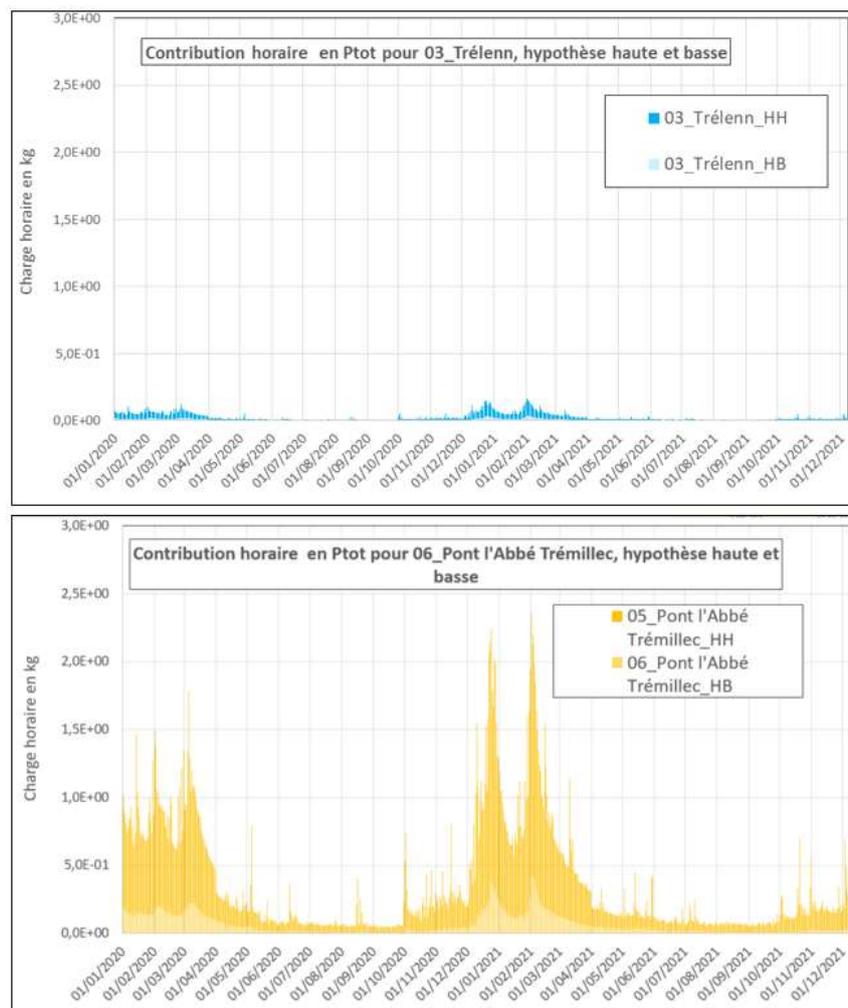


Figure 21 : Contribution, ou charges horaires en Ptot sur les deux sous-bassins versants de Trélenn et de Pont l'Abbé Trémillec (histogrammes cumulés) pour les hypothèses haute (HH) et basse (HB). Les échelles verticales et horizontales sont identiques pour les deux graphiques afin de faciliter la comparaison.

Les résultats obtenus montrent une contribution horaire en Ptot (Fig. 21) et en orthophosphates P-PO₄ (Fig. 22) bien supérieure sur le sous-bassin versant de Pont l'Abbé Trémillec (> 2.0 kg Ptot /h et > 0.5 kg Porth /h en débit de pointe) par rapport au sous-bassin versant de Trélenn (< 1.0 kg Ptot /h et < 0.05 kg Porth /h en débit de pointe). Par ailleurs, même les résultats obtenus avec l'hypothèse basse de Pont l'Abbé Trémillec sont largement supérieurs à ceux obtenus pour Trélenn. Les charges des autres petits sous-bassins versants sont inférieures (ex : Lanvern) voire négligeables (ex : Kerruc,



Pratoazec, Lestrémec) par rapport à Pont l'Abbé Trémillec. Le cas du bassin versant de Pont l'Abbé Callac est traité plus bas.

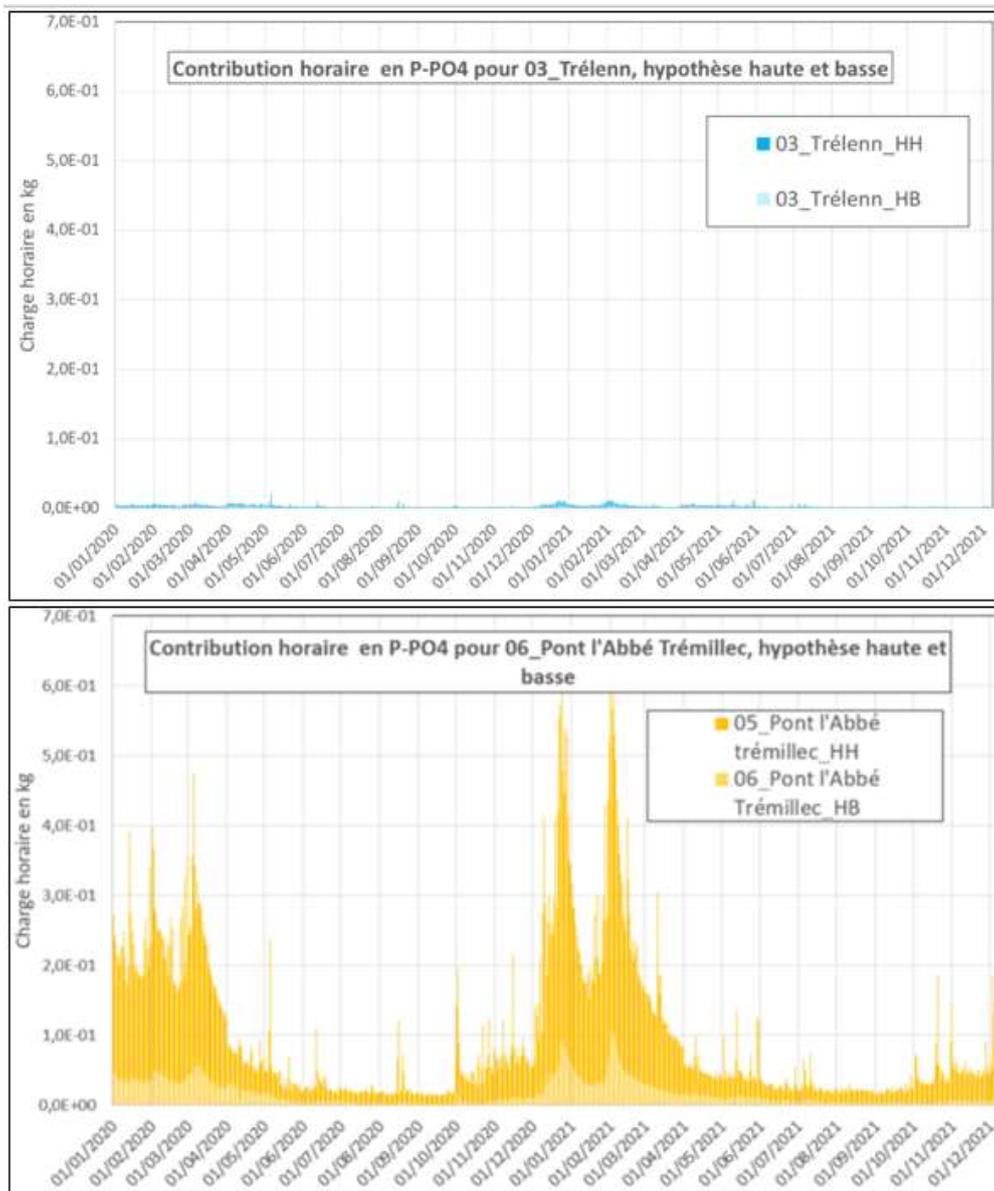


Figure 22 : Contribution, ou charge horaire en orthophosphates (P-PO4) sur les deux sous-bassins versants de Trélenn et de Pont l'Abbé Trémillec (histogrammes cumulés). Les échelles verticales et horizontales sont identiques pour les deux graphiques afin de faciliter la comparaison.

Les charges horaires moyennes sur la période 2020-2021 (Fig. 23) permettent de comparer facilement les contributions à la retenue pour chaque sous-bassin versant et de distinguer les plus gros contributeurs. Sur la figure 23, Pont l'Abbé Trémillec (en orange) et Lanvern (en vert) sont les plus gros contributeurs de Ptot, l'apport des autres petits sous-bassins versants est négligeable. La contribution en orthophosphates (P-PO4) provient largement du sous-bassin versant de Pont l'Abbé Trémillec. Le sous-bassin versant de Lanvern contribue également dans une moindre mesure. La contribution en orthophosphates (P-PO4) des autres petits bassins versants est négligeable par rapport à celle de Pont l'Abbé Trémillec.

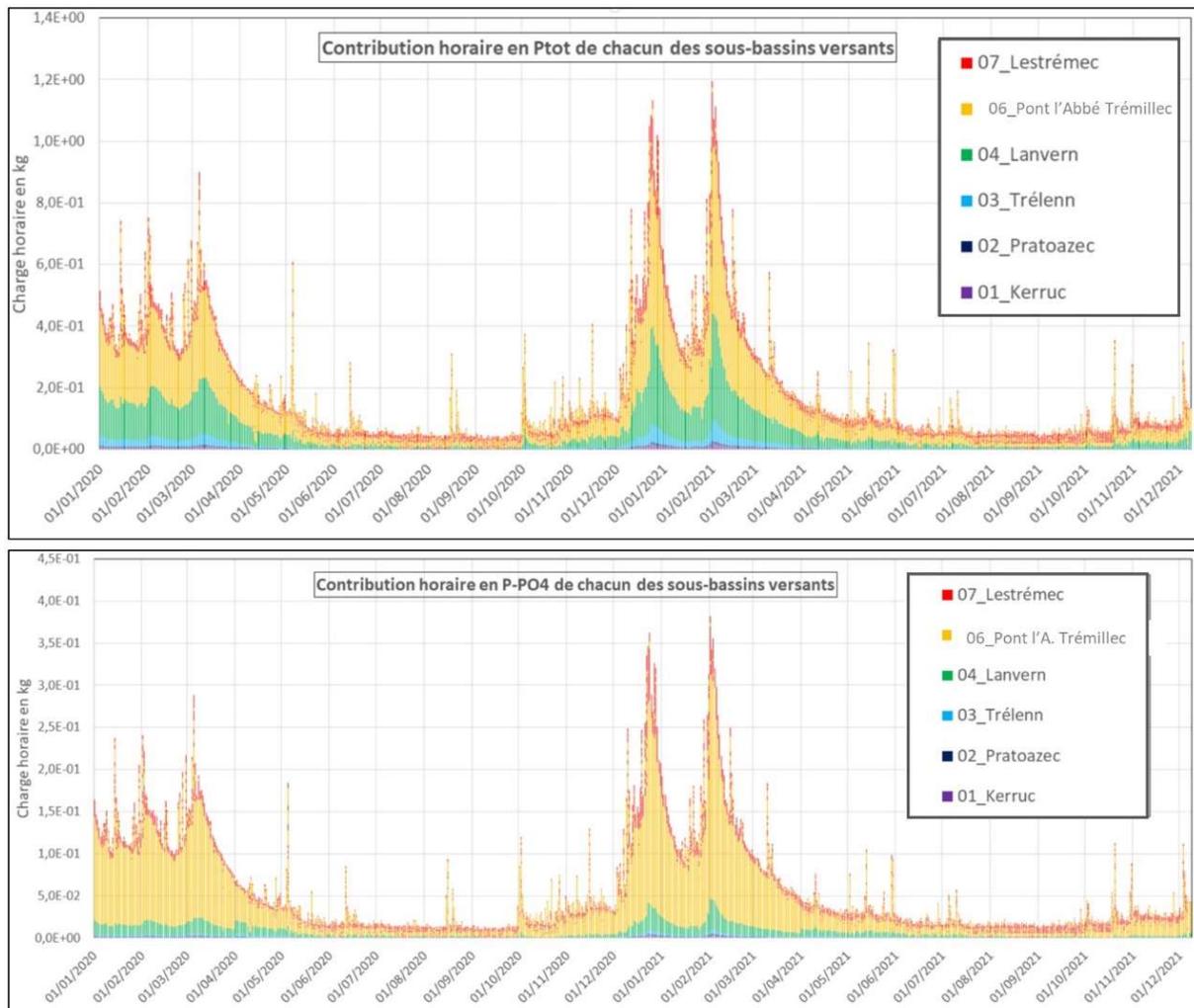


Figure 23 : Charges moyennes horaires (histogrammes cumulés) en Ptot et orthophosphates (P-PO4) pour les bassins versants dont l'exutoire est situé à la retenue du Moulin Neuf (Kerruc, Pratoazec, Tréleñn, Lanvern, Pont l'Abbé Trémillec et Lestrémec).

Le cas des sous-bassins versants de Pont l'Abbé Callac et Pont l'Abbé Trémillec est révélateur de la complexité du transfert et de l'accumulation du phosphore dans l'environnement. Le sous-bassin de Pont l'Abbé Trémillec (défini comme les autres sur la base de son exutoire de la limite de partage des eaux) contient le sous-bassin versant de Pont l'Abbé Callac, qui constitue la partie 'amont' de Pont l'Abbé Trémillec. Ainsi, il serait tentant de vouloir soustraire les charges ($Ch_{\text{Pont l'Abbé Trémillec}} - Ch_{\text{Pont l'Abbé Callac}}$) pour connaître la contribution respective de chaque surface ($S_{[\text{Pont l'Abbé Trémillec} - \text{Pont l'Abbé Callac}]}$ et $S_{[\text{Pont l'Abbé Callac}]}$). Cet exercice de soustraction de charges n'est pas pertinent dans le cas présent car les résultats montrent une contribution supérieure de Pont l'Abbé Callac sur Pont l'Abbé Trémillec en Ptot (Fig. 24). On aurait donc $F_{\text{Pont l'Abbé Trémillec}} - F_{\text{Pont l'Abbé Callac}} < 0$.

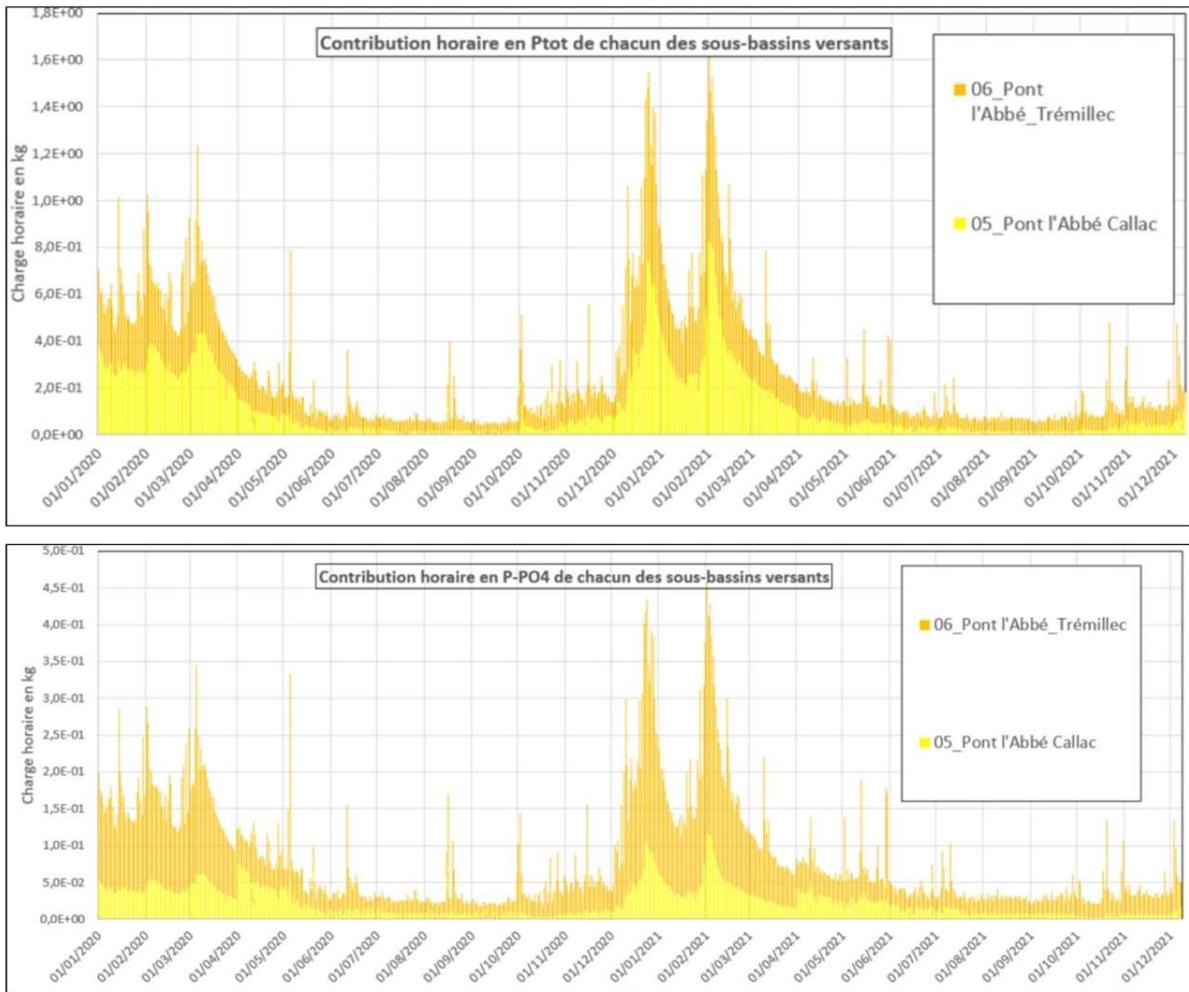


Figure 24 : Charges moyennes horaires en Ptot et orthophosphates (Histogrammes cumulés) sur les sous-bassins versants de Pont l'Abbé Trémillec et Pont l'Abbé Callac.

Ces résultats nous apportent tout de même une information intéressante sur les conditions de transfert du phosphore à l'échelle du bassin versant de la retenue du Moulin Neuf (Fig. 24 et 25). Le phosphore total (Ptot) est composé de phosphore particulaire (Ppart) issu de l'érosion des sols, et de phosphore dissous (Pdis) dont une large partie d'orthophosphates (P-PO₄, Fig. 3). On a donc l'équation (1) sur la figure 25. Pour chaque sous-bassin versant, le phosphore total (Ptot) est donc environ (*) égal à la somme du phosphore particulaire (Part) et des orthophosphates (P-PO₄) sur la zone concernée. On a donc (2) et (3) respectivement pour Pont l'Abbé Callac et Pont l'Abbé Trémillec. La figure 24 nous montre que la charge horaire moyenne de Pont l'Abbé Callac est supérieure à celle de Pont l'Abbé Trémillec (4). Par ailleurs la charge d'orthophosphates est similaire sur les deux sous-bassins versants concernés, si bien que la soustraction des deux charges s'annule (4). Ceci met en évidence :

- La quasi-absence d'apport d'orthophosphates par les terrains situés entre l'exutoire de Pont l'Abbé Callac et l'exutoire de Pont l'Abbé Trémillec,
- Un phénomène de sédimentation des matières en suspension où se trouve fixé le phosphore total entre l'exutoire de Pont l'Abbé Callac et l'exutoire de Pont l'Abbé Trémillec,
- Un transfert de phosphore particulaire plus important (5) dans le sous-bassin versant de Pont l'Abbé Callac, et donc une érosion plus forte dans cette partie Nord de la zone d'étude.



Remarque (*) : Le phosphore dissous comprend les formes minérales d'ions orthophosphates (ions mono-orthophosphates HPO_4^{2-} et di-orthophosphates $\text{H}_2\text{PO}_4^{3-}$), et les formes organiques en cours de minéralisation de la matière morte (phosphoprotéines, phospholipides), généralement présents à des bien plus faibles niveaux de concentrations que les orthophosphates.

- (1) $P_{\text{tot}} \approx P_{\text{part}} + P_{\text{orth}}$
- (2) $P_{\text{totMC}} \approx P_{\text{partMC}} + P_{\text{orthMC}}$ (pour Moulin Callac)
- (3) $P_{\text{totMT}} \approx P_{\text{partMT}} + P_{\text{orthMT}}$ (pour Moulin Trémillec)
- (4) $P_{\text{totMC}} > P_{\text{totMT}}$ et $P_{\text{orthMC}} \approx P_{\text{orthMT}} \Rightarrow P_{\text{orthMC}} - P_{\text{orthMT}} \approx 0$
- (5) $\Rightarrow P_{\text{partMC}} > P_{\text{partMT}}$

Figure 25 : Démonstration de la supériorité des charges en phosphore particulaire sur la partie Nord du bassin versant (sous-bassin versant de Pont l'Abbé Callac).

IV.5.2. Résultats de la Méthode 2

Les charges horaires calculées avec la méthode 2 sur la période 2020-2021 (Fig. 26) permettent de comparer les contributions de chaque sous-bassin versant à la retenue et de distinguer les plus gros contributeurs. Sur la figure 26, Pont l'Abbé Trémillec (en orange) et Lanvern (en vert) sont les plus gros contributeurs de P_{tot} , l'apport des autres petits sous-bassins versants étant négligeable. La contribution en orthophosphates (P-PO₄) provient largement du sous-bassin versant de Pont l'Abbé Trémillec. Le sous-bassin versant de Lanvern contribue également dans une moindre mesure. La contribution en orthophosphates (P-PO₄) des autres petits bassins versants est négligeable par rapport à celle de Pont l'Abbé Trémillec.

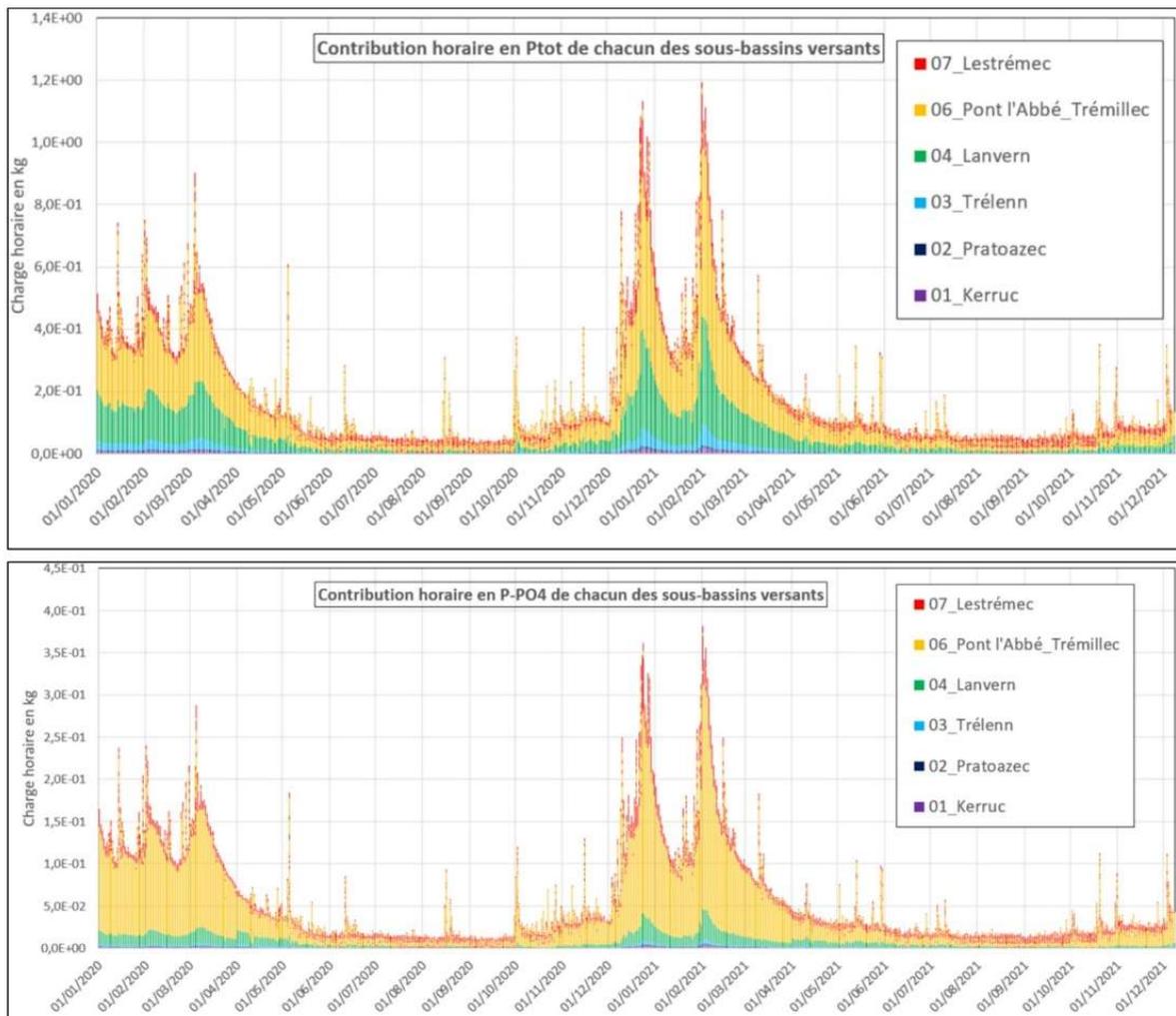


Figure 26 : Charges moyennes horaires en Ptot et orthophosphates (P-PO4) pour les bassins versants de Kerruc, Pratoazec, Trélenn, Lanvern, Pont l'Abbé Trémillec et Lestrémec.

Les résultats obtenus avec la méthode 2 montrent de manière identique à la méthode 1 la contribution plus importante de Pont l'Abbé Callac en phosphore total par rapport à Pont l'Abbé Trémillec. Les résultats de ces deux sous-bassins versants 'gigognes' (Pont l'Abbé Callac étant l'amont de Pont l'Abbé Trémillec) montrent que l'essentiel du phosphore total provient de la partie amont du bassin versant du Moulin Neuf. L'essentiel de ce phosphore total est exportée sous forme particulière. L'export est privilégié lors des entrainements de sol pendant les épisodes pluvieux (épisodes érosifs).

IV.6. Comparaison des charges et identification des sous-bassins versants prioritaires

IV.6.1. Comparaison des résultats de méthodes 1 et 2

Les résultats obtenus avec les méthodes 1 et 2 permettent de comparer les contributions en phosphore total et orthophosphates sur l'ensemble du bassin versant. Les résultats obtenus montrent une contribution en Ptot et en orthophosphates P-PO4 supérieure avec la méthode 2 (Figs. 23 et 26). En débit de pointe les charges calculées avec la méthode 2 atteignent 2.0 kg Ptot /h et 0.45 kg Porth /h contre 1.2 kg Ptot /h et 0.35 kg Porth /h avec la méthode 1 respectivement (hypothèse moyenne). L'hypothèse haute de la méthode 1 donne des résultats similaires à la méthode 2. Les résultats des deux méthodes s'accordent sur les points suivants :



- Les deux plus gros contributeurs de phosphore total sont les sous-bassins versants de Pont l'Abbé Trémillec (56%) et de Lanvern (34%).
- La partie amont du sous-bassin versant de Pont l'Abbé Trémillec (*cad* Pont l'Abbé Callac) est la zone la plus contributrice en phosphore total. Elle représente des apports 1.5 fois plus élevés que ceux de Pont l'Abbé Trémillec. Ce phosphore total est essentiellement constitué de phosphore particulaire généré par l'érosion des sols.
- La contribution en orthophosphates est largement dominée par les apports de Pont l'Abbé Trémillec, et dans une moindre mesure par ceux de Lanvern.
- Les petits bassins versants de Kerruc, Pratoazec, Trélen, et Lestrémec ont une contribution négligeable au regard des sous-bassins versants de Pont l'Abbé Trémillec et de Lanvern, et ce aussi bien pour le phosphore total (env. 10% cumulé) que les orthophosphates (env. 10%).

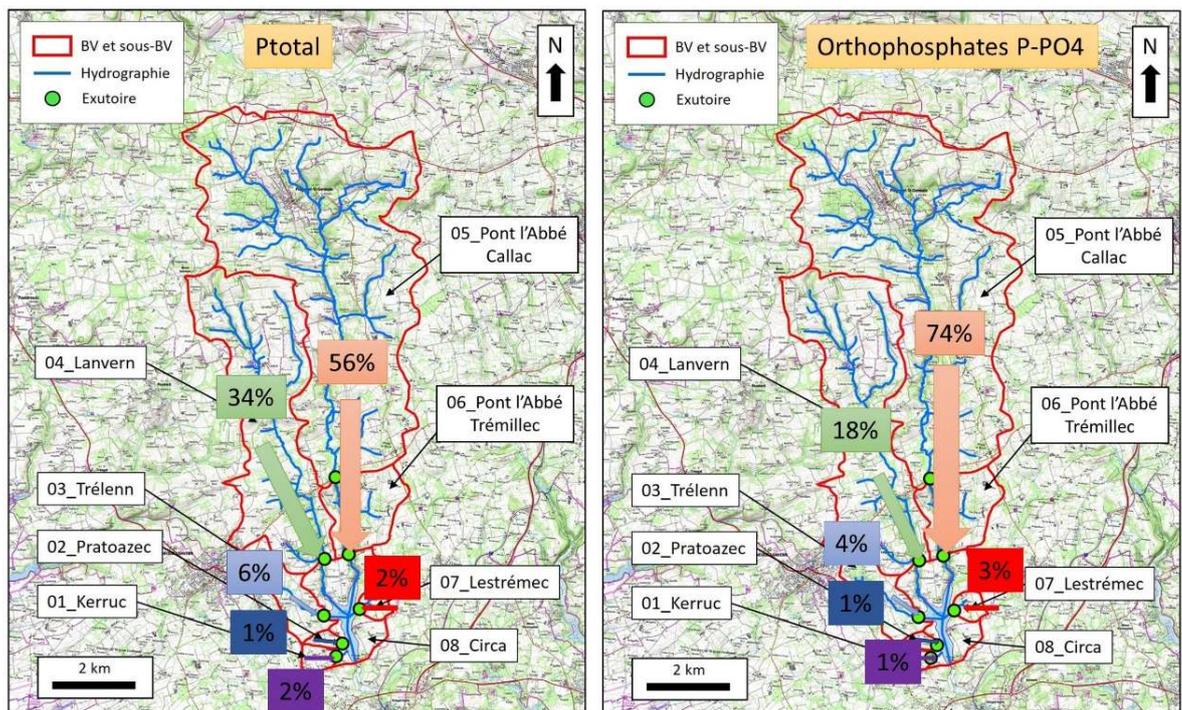


Figure 27 : Contribution respective des sous-bassins versant de la zone d'étude en phosphore total et orthophosphates P-PO4

La méthode 2, dite des concentrations variables, est retenue pour la suite de l'étude, ceci pour plusieurs raisons :

- Elle simule mieux la relation Pluie-Concentration, avec notamment des pics d'exports de phosphore total lors des épisodes pluvieux.
- Elle retranscrit davantage l'effet mémoire de la pluie du fait de la régression linéaire établie entre la fonction de pluie et les concentrations. Ce point est important, car le transport particulaire ne se limite pas dans le temps à la période pluvieuse ; il se poursuit encore lorsque la pluie cesse et ne se tarit que progressivement.

Les bilans annuels par sous-bassin versant sont donc établis sur la base des résultats de la méthode 2.



Figure 28 : Charges annuelles en phosphore total (Ptot) et en orthophosphates (P-PO4) à la retenue par sous-bassin versant et par an.

Les bilans annuels montrent la répartition des charges en phosphore total et orthophosphates par sous-bassin versant. Environ deux tonnes de phosphore total arrivent dans la retenue du Moulin Neuf par an, parmi lesquelles environ 600 kg d'orthophosphates. Ces apports sont majoritairement issus du sous-bassin versant de Pont l'Abbé Trémillec (Fig. 28), responsable d'un apport de 1200 kg de phosphore total et d'environ 450 kg d'orthophosphates sur une période d'un an.

Remarque : L'hydraulicité (débit moyen d'un cours d'eau lors d'une période déterminée) est particulièrement élevée sur la période étudiée. Cela implique que les charges calculées sont plus importantes qu'en « année moyenne » car les épisodes de crue responsables des entrainements de phosphore total vers le réseau hydrographique ont été plus nombreux.

IV.6.2. Identification des sous-bassins versants prioritaires

La notion de sous-bassin prioritaire peut s'entendre de deux manières: i) un sous-bassin versant contribue plus que les autres proportionnellement à sa taille (ex : la zone représente 2% du territoire mais émet 4% des nutriments) ; et ii) un sous-bassin versant contribue plus que les autres en valeur brute (ex : la zone émet 51% des nutriments). Le Tableau 5 permet de visualiser la représentativité de chaque sous-bassin versant considéré (% Surface) et la proportion d'apports pour les deux paramètres (% apports Ptot et P-PO4).

Bassin versant	Surface (km ²)	% Surface	% Ptot	%P-PO4
01_Kerruc	0,4	0,9	0,9	1,0
02_Pratoazec	0,3	0,5	0,8	0,8
03_Trélenn	2,1	4,3	5,8	3,3
04_Lanvern	13,1	27,0	34,1	13,9
06_Moulin Trémillec	32,2	66,4	56,6	79,1
07_Lestrémec	0,4	0,9	1,8	2,0

Tableau 5 : Liste des sous-bassins versants ayant leur exutoire à la retenue du Moulin Neuf. Pour chaque sous-bassin versant, la surface est indiquée en km² et en % du bassin versant général. Le pourcentage d'apport en phosphore total (Ptot) et en orthophosphates (P-PO4) est également indiqué en pourcentage. En vert, les apports sont inférieurs à la représentativité du sous-bassin versant. En rouge les apports sont supérieurs à la représentativité du sous-bassin versant.



Plusieurs points se dégagent du tableau 5 :

- i) Les sous-bassins versants de Pont l'Abbé Trémillec et de Lanvern représentent à eux deux environ 80% des apports en phosphore total et en orthophosphates. Pour faire baisser l'apport de phosphore à la retenue du Moulin Neuf, les actions doivent donc se concentrer sur ces deux grandes zones situées à l'amont de la retenue.
- ii) Les deux plus petits sous-bassins versants (Pratoazec et Lestrémec) ont un pourcentage d'apport en phosphore total et en orthophosphates supérieur au prorata de leur superficie. Par conséquent, il existe une marge de manœuvre pour réduire les apports en provenance de ces deux sous-bassins versants. Cependant, ces deux sous-bassins versants combinés ne représentent qu'environ 3% des apports totaux. Une réduction des apports dans ces deux zones ne changera que faiblement les apports annuels.

IV.7. Différentiation du Phosphore Agricole et du Phosphore Domestique

IV.7.1. Estimation des rejets de phosphore domestique

Le rejet moyen par habitant et par jour est estimé à partir des STEU de Plozévet, Landudec, Peumerit, Plogastel-St-Germain, Plonéour-Lanvern et Plovan. Les résultats sont assez homogènes pour les STEU de Landudec, Peumerit, Plogastel-St-Germain, Plonéour-Lanvern avec un rejet moyen par habitant et par jour de phosphore total variant de 1,1 à 1,6 g. Les résultats sont plus élevés pour les STEU de Plozévet et de Plovan, avec 4.5 et 4.4 g.j⁻¹.hab⁻¹(Tableau 6). Ces résultats plus élevés peuvent s'expliquer : i) par la présence d'une grosse entreprise sur la commune de Plozévet (Capitaine Cook) qui peut modifier les concentrations en entrée de STEU ; ii) par la non-représentativité de la STEU de Plovan avec le faible échantillonnage représenté par les habitants raccordés (env. 60 pers.)

La moyenne des rejets moyens par habitant et par jour pour ces six STEU est retenue pour le rejet moyen par habitant et par jour rejeté par les assainissements non-collectifs (ANC). La valeur utilisée est 2.3 g.j⁻¹.hab⁻¹. Cette valeur surestime probablement le rejet moyen domestique.

	Plozévet	Landudec	Peumerit	Plogastel-St-Germain	Plonéour-Lanvern	Plovan
Habitants	1325	645	140	920	4880	60
Débit (m3/j)	620	70	11	100	660	17
Ptot (mg/l) Sortie	0,3	0,7	6,9	1,3	0,7	1,1
Rendement (%)	0,97	0,94	0,48	0,88	0,94	0,93
Ptot (g/m3) entrée	10	12	13	11	12	16
Ptot/hab/j (g.hab-1.j-1)	4,5	1,3	1,1	1,2	1,6	4,4

Tableau 6 : Synthétisation des données d'exploitation des STEU aux alentours du bassin versant de la retenue du Moulin Neuf et estimation du rejet en phosphore total par habitant et par jour.

Les rejets domestiques pris en compte sur la zone d'étude sont : i) celui de la STEU de Plogastel-St-Germain, dont le rejet en phosphore total est évalué à 47 kg/an ; et ii) les ANC défectueux, ici considérés comme 100% défailants avec un rejet direct au milieu, qui sont au nombre de 104 sur l'ensemble du bassin versant (Fig.29).

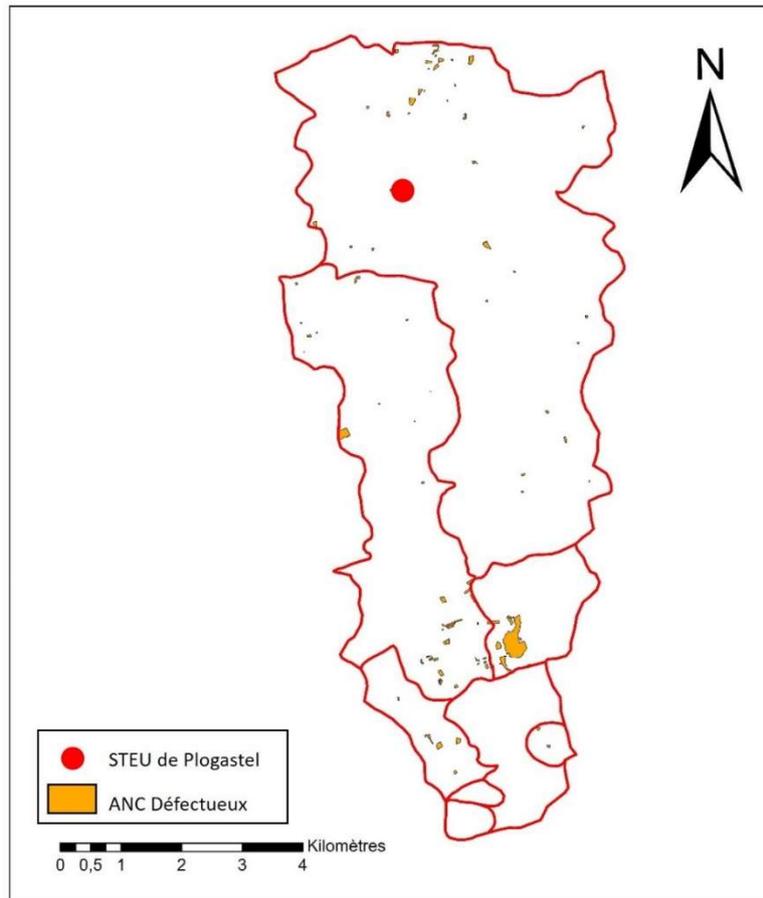


Figure 29 : Carte des rejets domestique pris en compte pour l'apport de phosphore total sur la zone d'étude

La répartition des ANC défectueux est contrastée sur le bassin versant de la retenue du Moulin Neuf (cf. Fig. 29 et Tableau 7). 52 ANC défectueux sont identifiés sur le sous-bassin versant de Pont l'Abbé Trémillec (dont 45 sont communs avec le sous-bassin versant de Pont l'Abbé Callac). 45 ANC défectueux sont identifiés sur le sous-bassin versant de Lanvern. Par ailleurs, seuls 5 et 2 ANC défectueux sont identifiés sur les sous-bassins versant de Trélenn et de Lestrémec. Aucun ANC défectueux n'est comptabilisé sur les sous-bassins versants de Kerruc, Pratoazec, et Lestrémec.

Nom sous-BV	Superficie (km ²)	ANC Défect.	ANC défect./km ²	hab/log.	Nb Hab. rejet	Ptot/hab/j (g.hab-1j-1)	Ptot/hab/an (kg.hab-1.an-1)	Rejet Dom. (kg.an-1)
01_Kerruc	0,4	0,0	0,0	2,3	0,0	2,3	0,8	0,0
02_Pratoazec	0,3	0,0	0,0	2,3	0,0	2,3	0,8	0,0
03_Trélenn	2,1	5,0	2,4	2,3	11,4	2,3	0,8	9,6
04_Lanvern	13,1	45,0	3,4	2,3	103,0	2,3	0,8	86,4
05_Pont l'Abbé Callac	29,3	41,0	1,4	2,3	93,8	2,3	0,8	78,8
06_Pont l'Abbé Trémillec	32,2	52,0	1,6	2,3	119,0	2,3	0,8	99,9
07_Lestrémec	0,4	2,0	4,7	2,3	4,6	2,3	0,8	3,8

Tableau 7 : Détail des ANC défectueuses sur chaque sous-bassin versant, application des coefficients multiplicateurs nombre d'habitant et rejet moyen journalier par habitant pour l'évaluation du rejet domestique par sous-bassin versant. Abréviations : Défect., Défectueuses ; Nb, nombre ; hab, habitant ; log. Logement ; Dom. domestique.

L'estimation du rejet de phosphore total d'origine domestique est le plus important sur le sous-bassin versant de Trémillec (100 kg/an), suivi de Lanvern (86 kg/an), puis de Trélenn (10kg/an) et de Lestrémec (4 kg/an).

Les rejets de phosphore total par habitant et par jour sur le bassin versant du Moulin Neuf ont été évalués à partir des STEU de Plozévet, Landudec, Peumerit, Plogastel-St-Germain, Plonéour-Lanvern



et Plovan. D'autres études à de plus larges échelles sur le territoire national (cf. Tableau 8) fournissent des estimations des rejets de phosphore total par habitant et par jour. L'étude de Stricker et al., 2010) estime à 2.1 g de phosphore total le rejet par habitant et par jour. Cette valeur est comparable à celle utilisée pour le bassin versant du Moulin Neuf (2.3g/hab/jour).

Jeux de données	Nombre de stations	DCO / EH ₆₀ (IC95%)	MES / EH ₆₀ (IC95%)	N / EH ₆₀ (IC95%)	P / EH ₆₀ (IC95%)
Somme	29	151 (6)	65 (6)	13.8 (1.0)	2.28 (0.18)
Bas Rhin	20	141 (16)	84 (12)	14.0 (1.6)	2.08 (0.28)
Isère	30	147 (5)	73 (10)	16.1 (1.0)	2.11 (0.17)
Savoie	19	145 (10)	74 (13)	15.5 (1.7)	2.17 (0.27)
Exploitants	143	145 (4)	/	/	2.01 (0.10)
SN Seine	6	144 (4)	81 (10)	14.7 (1.4)	2.07 (0.17)
Total	247	145 (3)	74 (5)	14.9 (0.6)	2.08 (0.07)
Défaut proposé		145	75	15	2.1

Tableau 8 : Valeurs de phosphore total rejeté par habitant et par jour pour un échantillonnage à échelle départementale (Stricker et al., 2010).

IV.7.2. Part des rejets agricoles et domestiques

L'estimation des apports domestiques pour chaque sous-bassin versant permet de recalculer la part agricole dans l'apport de phosphore total. Sur le sous-bassin versant de Pont l'Abbé Trémillec, environ une tonne (1041 kg) de phosphore total par an provient des activités agricoles, contre seulement 147 kg de phosphore total d'origine domestique. Pour le sous-bassin versant de Lanvern, 631 kg de phosphore total par an sont d'origine agricole, contre 86 kg d'origine domestique (230 g/j). Les autres sous-bassins versants (Kerruc, Pratoazec, Trélenn, et Lestrémec) ont une contribution quasi-négligeable au regard de ces grands contributeurs (Pont l'Abbé Trémillec et Lanvern). Pour les sous-bassins versants de Trélenn, Lanvern, Pont l'Abbé Trémillec et Lestrémec, la part domestique représente environ 10% de la charge en phosphore total apportée sur une année, la part agricole est donc de 90%. Pour les petits sous-bassins versants de Kerruc et de Pratoazec, les activités agricoles représentent la totalité de l'apport en phosphore total. Cependant, notons que la contribution agricole en situation moyenne est sans doute un peu exagérée du fait de la forte hydraulité rencontrée sur la période étudiée.

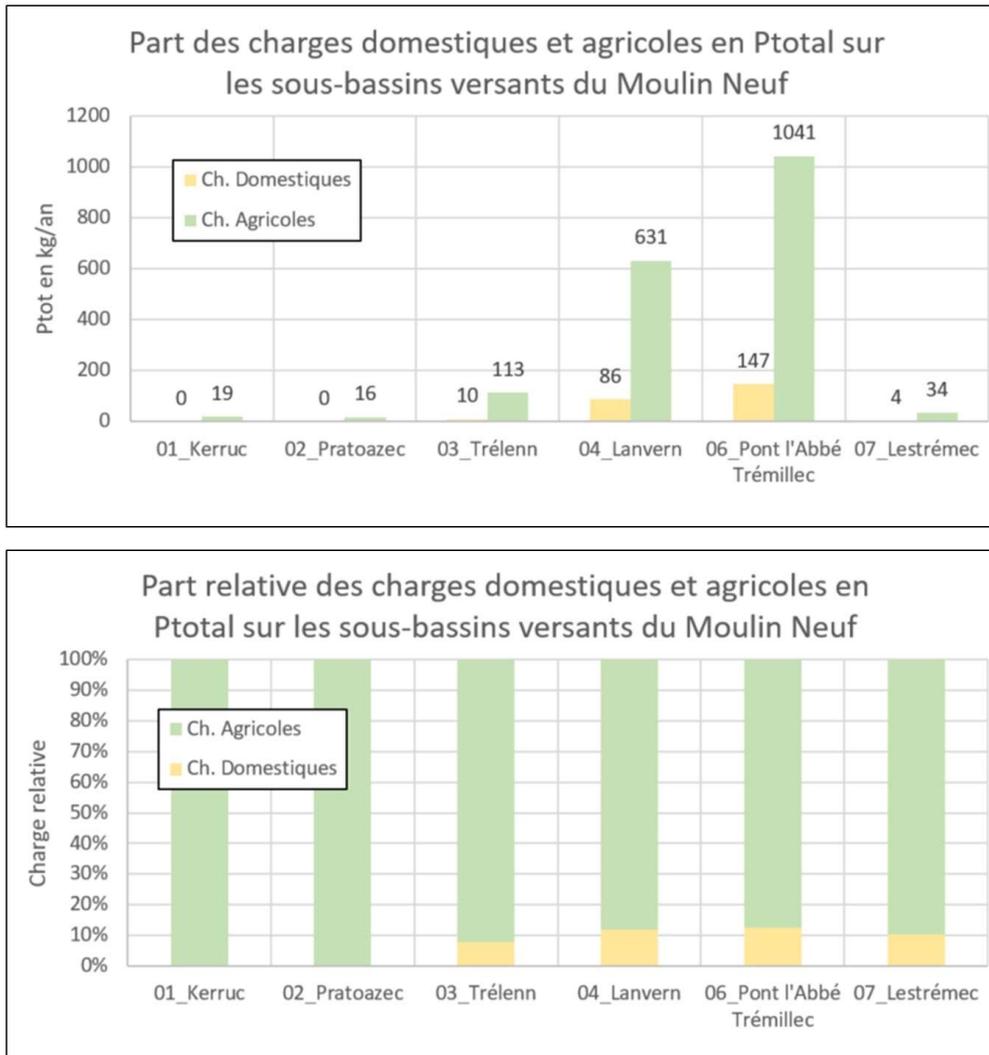


Figure 30 : Part des charges agricoles et domestiques dans les apports de phosphore total à la retenue du Moulin Neuf par sous-bassin versant. Indices bruts (en haut) en kg/an et indices pondérés (en bas) en pourcentages en bas.



V. RESULTATS PHASE 2 – ETUDE QUALITATIVE

La deuxième partie de l'étude, dite **qualitative**, vise à cibler les zones sensibles à l'export de phosphore. Cet export est essentiellement favorisé par l'évacuation de phosphore particulaire (fraction solide du phosphore liée aux matières en suspension) lors d'épisodes pluvieux érosifs. Pour la représentation de l'aléa érosif sur l'ensemble de la zone d'étude, un traitement sous logiciel SIG prend en compte la distribution des pentes et la différenciation entre prairies (peu soumises à l'érosion) et cultures (davantage soumises à l'érosion). Ce traitement permet d'identifier des secteurs plus localisés (à la parcelle) dont le potentiel érosif est fort et qui nécessitent des actions préventives.

V.1. Définition petits bassins versants

De manière à identifier le plus finement possible les zones contributrices en phosphore, un redécoupage de l'ensemble du bassin versant en petits sous-bassins versants a été réalisé. Au total, 53 petits sous-bassins versants sont identifiés.

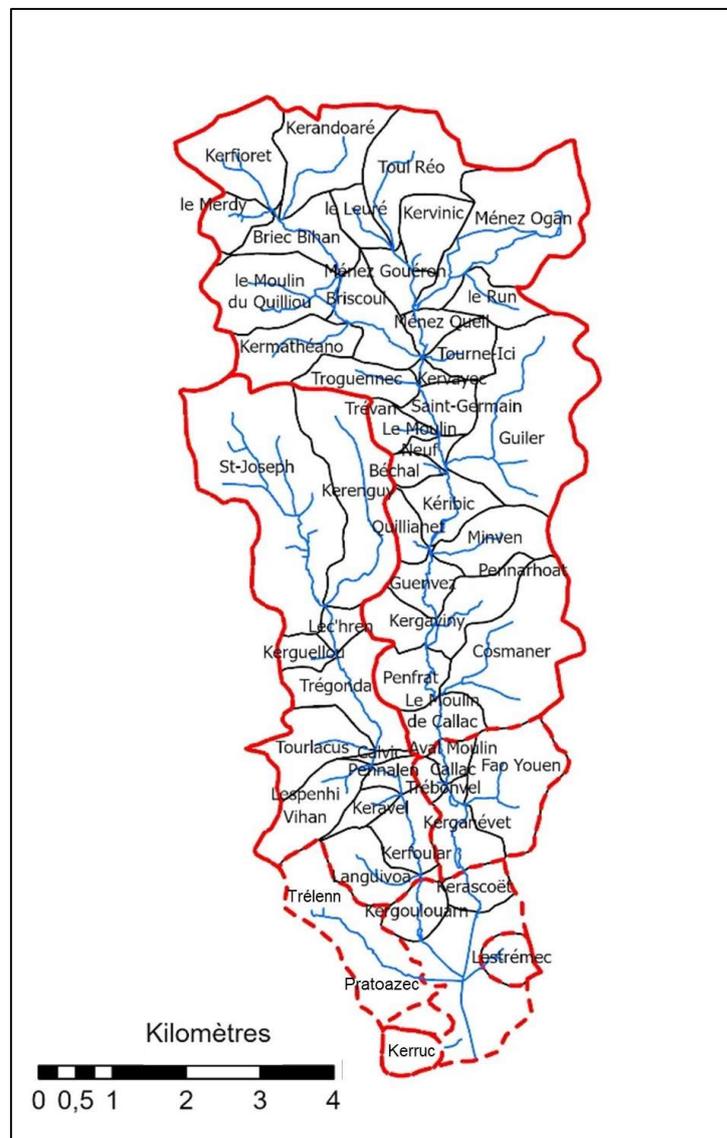


Figure 31 : Redécoupage des petits sous-bassins versants sur la zone d'étude



V.2. Calcul de l'aléa érosif et identification des sous-bassins-versants prioritaires

Les zones à aléa érosif fort sont représentées par des couleurs chaudes sur la figure 32, et contrastent avec les couleurs froides, moins soumises au ruissellement et à l'érosion. Les zones à aléa érosif fort sont situées en majeure partie dans le tiers supérieur du bassin versant du Moulin Neuf (Fig. 32). L'essentiel des zones à aléa érosif fort sont concentrées dans les grands sous-bassins versants amont de Pont l'Abbé Callac et de du Lanvern. Des points rouges sporadiques sont distribués sur l'ensemble de la zone d'étude, y compris sur les sous-bassins versants de Kerruc ou de Lestrémec. La superficie et le rapprochement des zones à aléa érosif fort permet de pointer des petits sous-bassins versants prioritaires (Fig. 32). Deux ordres de priorités sont définis en fonction de la quantité de zones à aléa érosif fort :

- Un premier ordre de priorité d'inventaire et d'actions est défini pour six sous-bassins versant : Troguennec, Kermathéano, Briscoul, Ménez Ogan, St-Germain, et le Moulin Neuf. Ces zones sont toutes situées sur le sous-bassin versant de Pont l'Abbé Callac (Fig. 32).
- Un deuxième ordre de priorité d'inventaire et d'actions est défini pour cinq sous-bassins versants : St-Joseph, Kerenguy, le Run, Guiler, Pennarhoat. Ces différentes zones sont situées sur les sous-bassins versants du Lanvern et de Pont l'Abbé Callac.

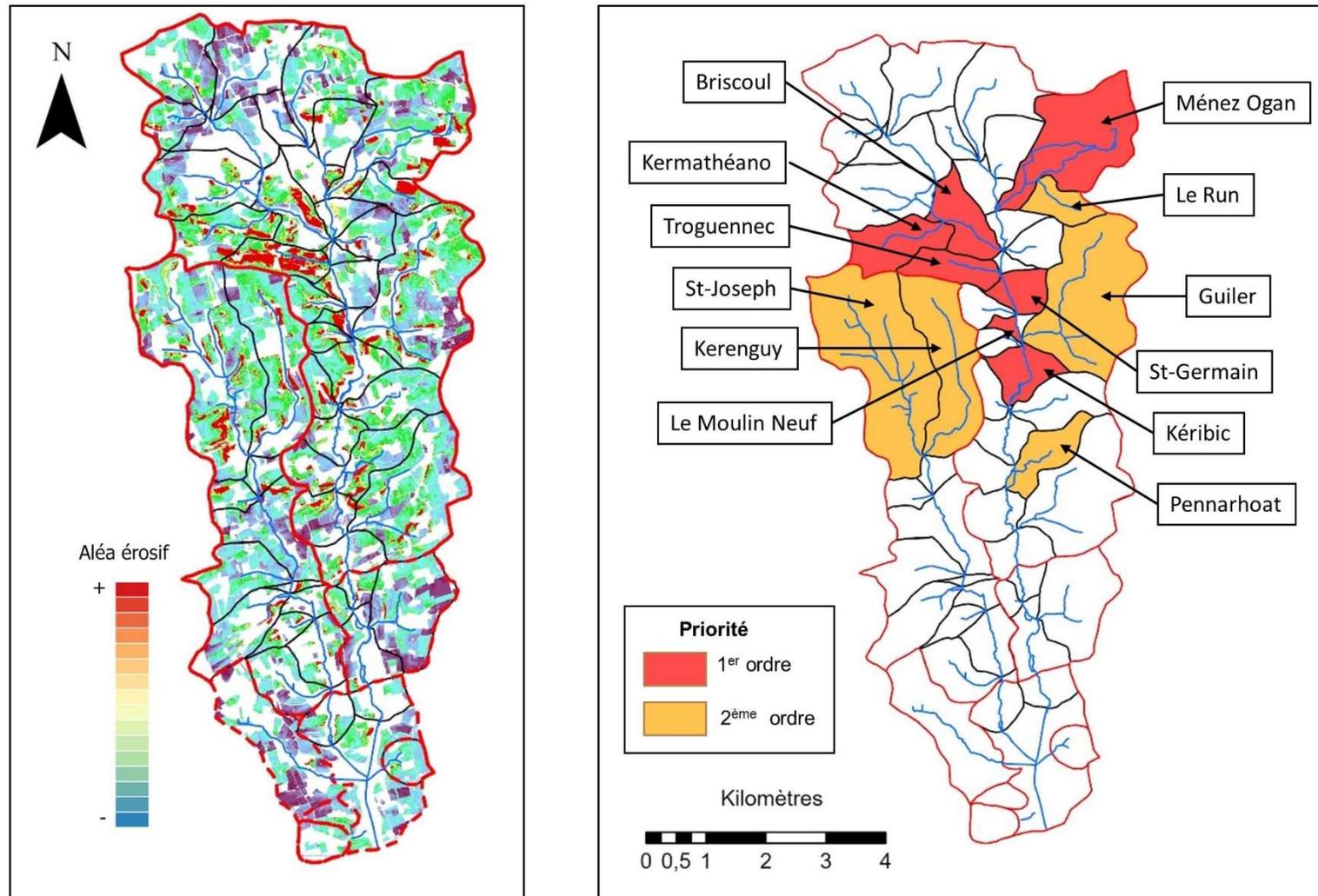


Figure 32 : Carte générale du bassin versant du Moulin Neuf avec le calcul de l'aléa érosif (à gauche) et les sous-bassins versants prioritaires (à droite)



V.3. Identification des points de transfert potentiels

Chaque zone prioritaire est représentée sous forme de sous-bassins versant dans l'atlas présenté ci-après. L'implantation des haies et la topographie sont associées à la carte de l'aléa érosif. Des points de transfert potentiels sont indiqués en rouge sur la carte de l'aléa érosif. Pour un repérage plus aisé sur le terrain, une photographie aérienne est associée à chaque carte.

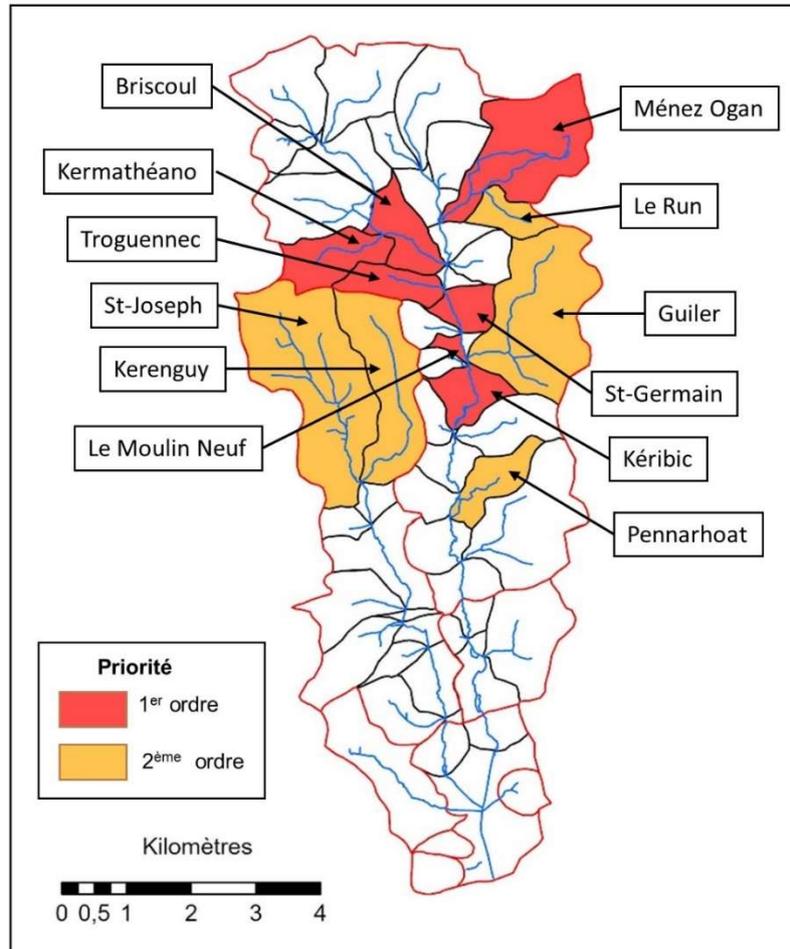


Figure 33 : Localisation des sous-bassins versants prioritaires au titre de l'aléa érosif

V.3.1. Premier ordre de priorité

Les zones à aléa érosif fort sont situées à proximité de la rivière de Pont l'Abbé et de certains de ses affluents en amont du bassin versant. Sept sous-bassins versants sont identifiés comme prioritaire au regard de la superficie occupée par les zones en rouge (aléa érosif fort). Il s'agit des sous-bassins versants de Troguennec, Kermathéano, Moulin Neuf, Briscoul, Ménez Ogan, Saint Germain, et Kéribic. Ces sous-bassins versants sont présentés dans les figures 34 à 40.



Figure 34 : Bassin versant de Troguennec. Représentation de l'aléa érosif et photo aérienne

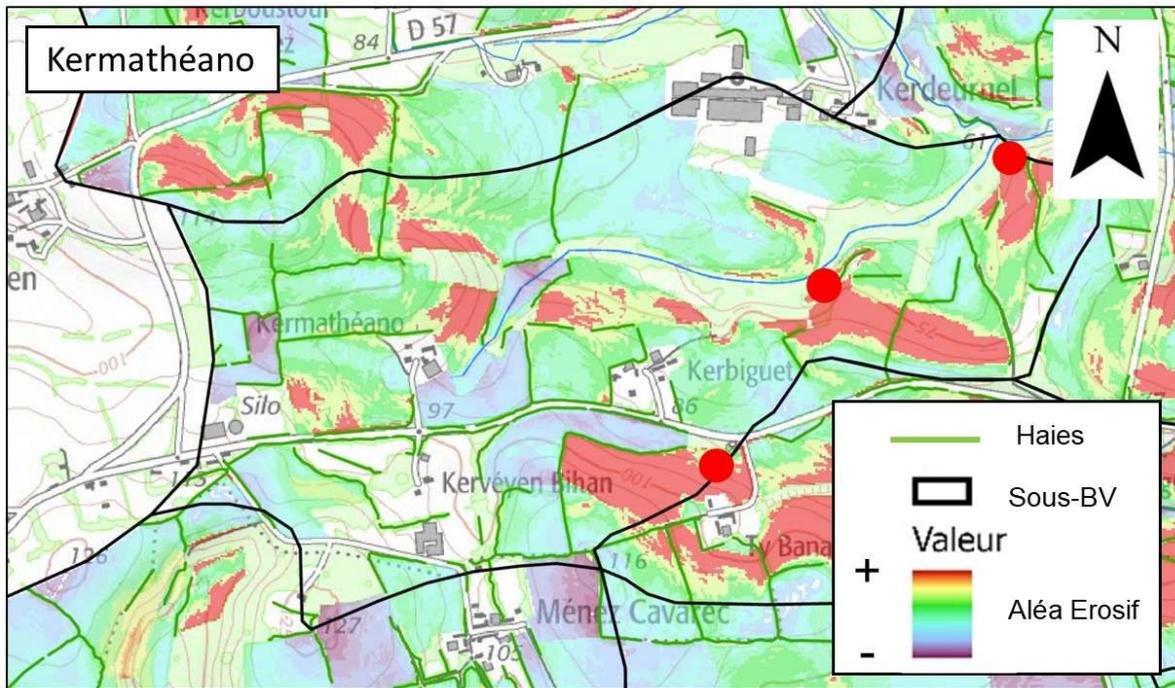


Figure 35 : Bassin versant de Kermathéano. Représentation de l'aléa érosif et photo aérienne

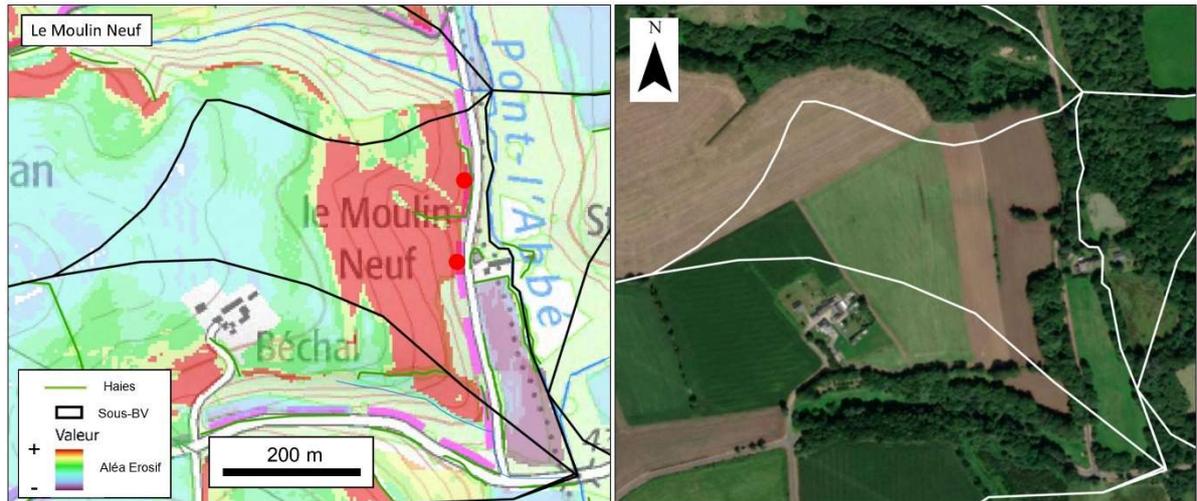


Figure 36 : Bassin versant du Moulin Neuf. Représentation de l'aléa érosif et photo aérienne



Figure 37 : Bassin versant de Briscoul. Représentation de l'aléa érosif et photo aérienne

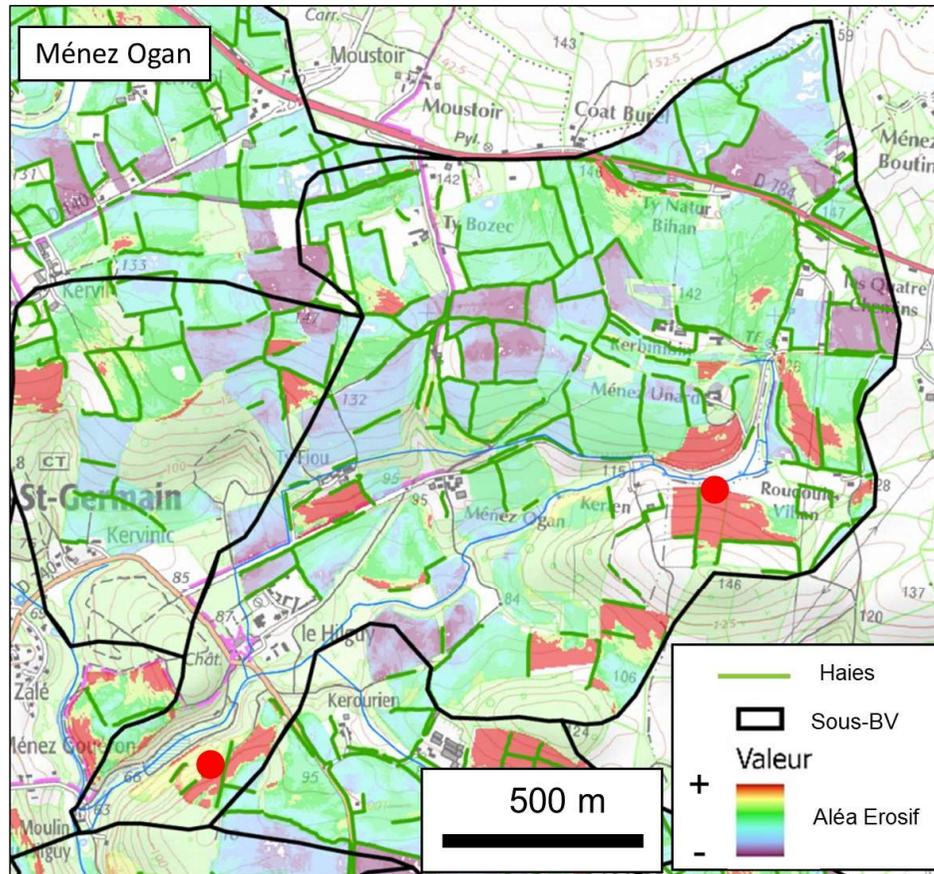


Figure 38 : Bassin versant de Menez Ogan. Représentation de l'aléa érosif et photo aérienne

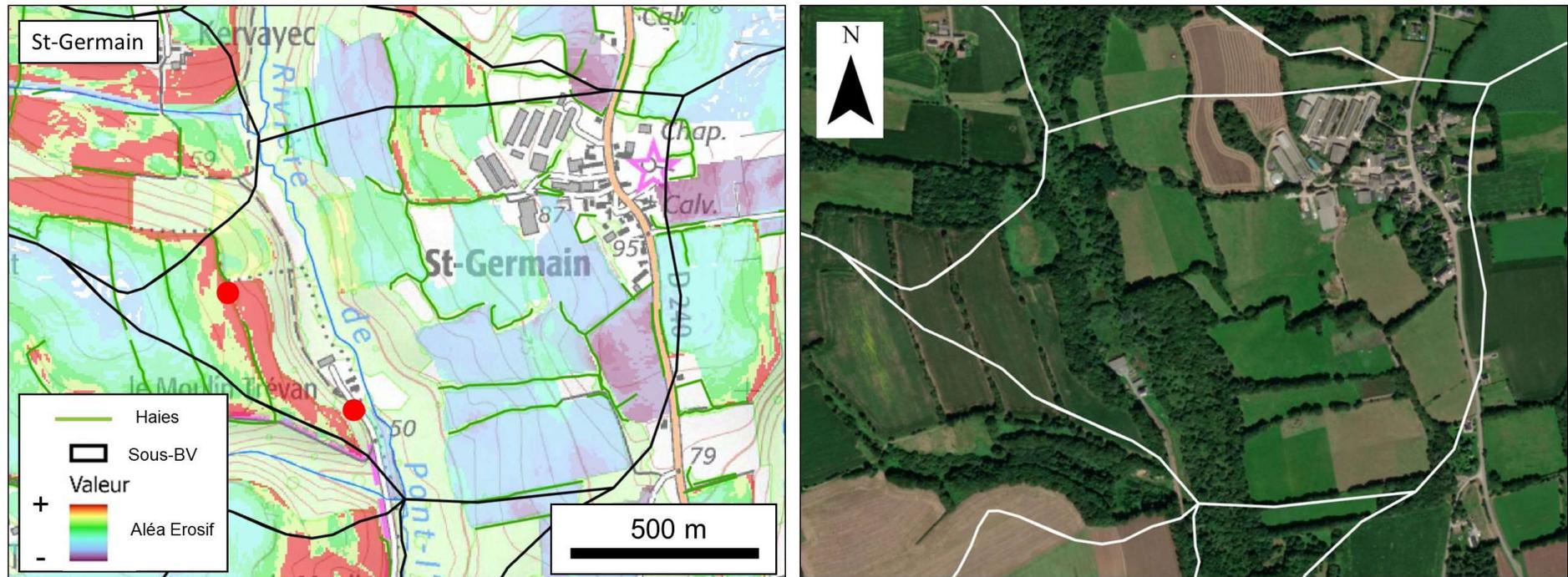


Figure 39 : Bassin versant de Saint-Germain. Représentation de l'aléa érosif et photo aérienne

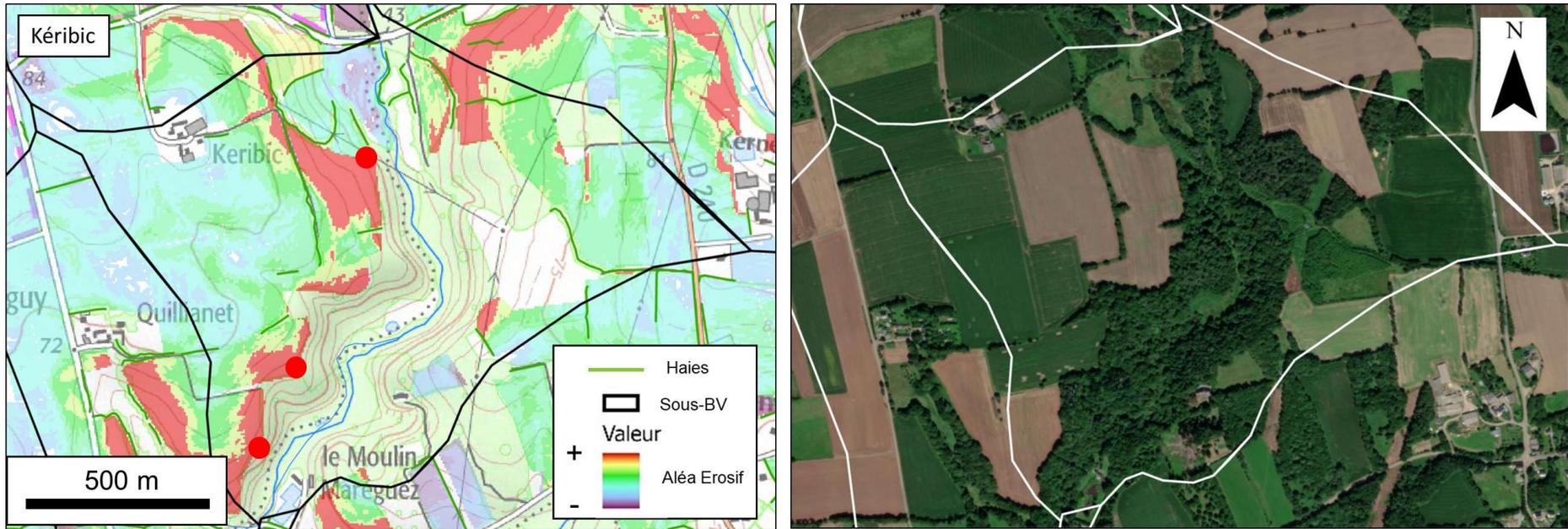


Figure 40 : Bassin versant de Kéribic. Représentation de l'aléa érosif et photo aérienne



V.3.2. Deuxième ordre de priorité

Le deuxième ordre de priorité au titre de l'aléa érosif est attribué à des affluents de la rivière de Pont l'Abbé (Le Run, Guiler, Pennarhoat), et à deux sous-bassins versants du Lanvern (Saint-Joseph et Kerenguy). Ces sous-bassins versants sont présentés dans les figures 42 à 45. Les zones à aléa érosif fort sont représentées sporadiquement sur les sous-bassins versants concernés

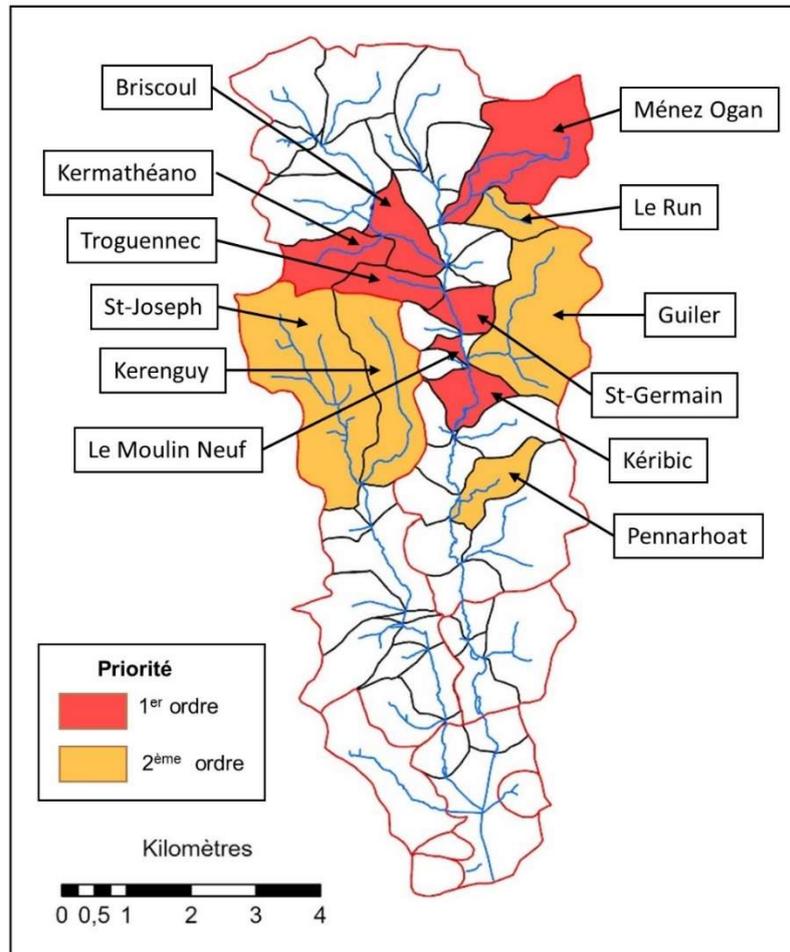


Figure 41 : Localisation des sous-bassins prioritaires au titre de l'aléa érosif

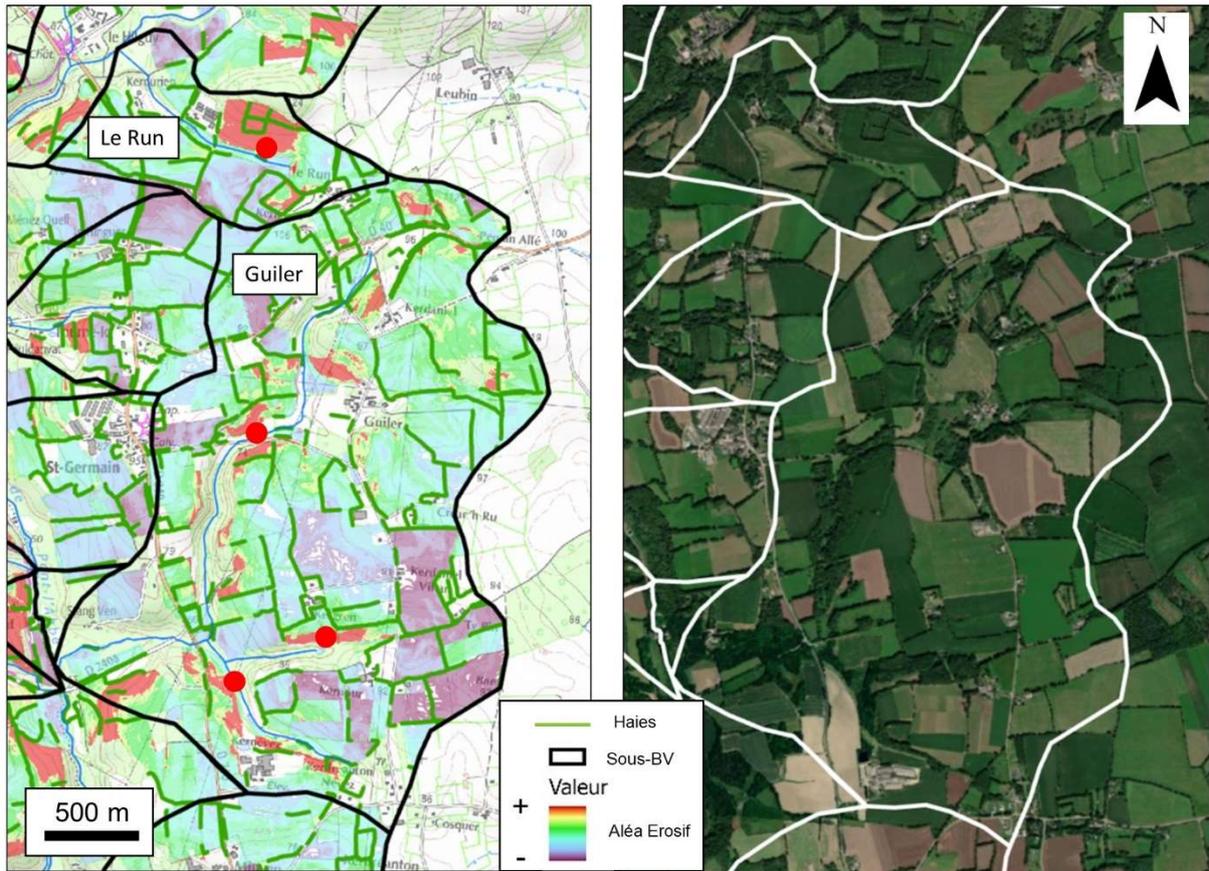


Figure 42 : Bassins versants de Guiler et du Run. Représentation de l'aléa érosif et photo aérienne

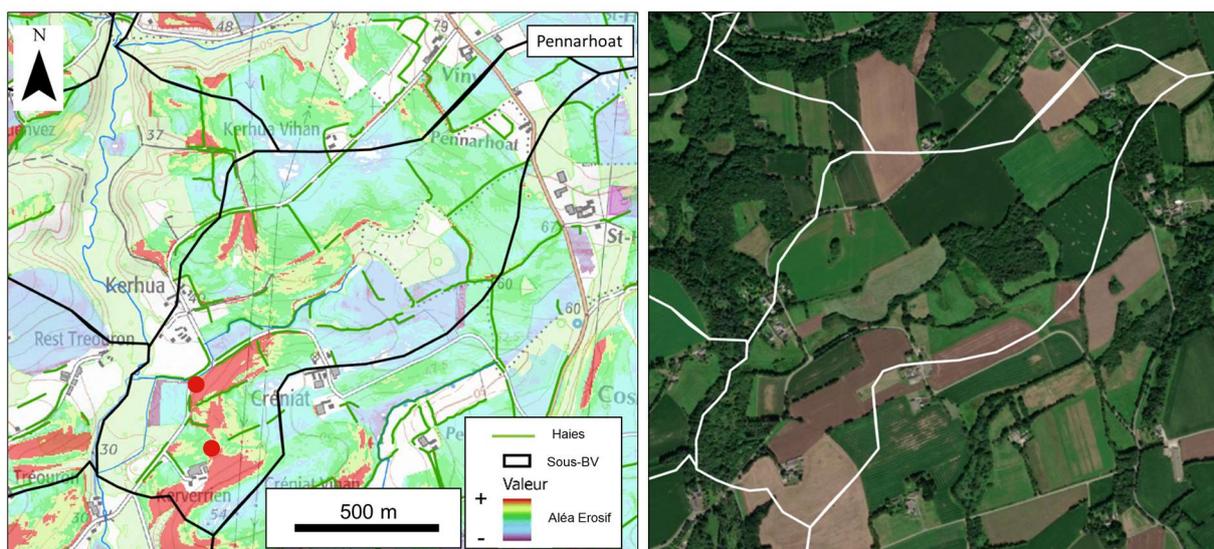


Figure 43 : Bassin versant de Pennarhoat. Représentation de l'aléa érosif et photo aérienne



Figure 44 : Bassins versants de St-Joseph et de Kerenguy. Représentation de l'aléa érosif et photo aérienne



VI. DISCUSSION

Les résultats des phases 1 et 2 s'accordent pour pointer les zones les plus contributrices en phosphore dans la partie amont des sous-bassins versant de Pont l'Abbé Trémillec et du Lanvern. Les sous-bassins versants de Pratoazec et de Lestrémec ne ressortent pas de manière très franche de l'analyse qualitative (aléa érosif) alors que leur contribution 'spécifique' est jugée forte au regard des résultats de l'analyse quantitative (Tableau 5). Deux hypothèses peuvent être proposées pour expliquer le contraste entre les deux méthodes :

- Le calcul des charges en phosphore s'appuie sur la méthode analogique (Eq. 2). Cette méthode peut induire des erreurs lorsque les tailles de bassins versants sont très différentes, ce qui est le cas pour les bassins versants de Pont l'Abbé Trémillec et de Pratoazec/ Lestrémec. Par conséquent, il est possible que les débits (et donc les charges en phosphore) soient surestimés pour les petits sous-bassins-versants de Pratoazec et de Lestrémec.
- Les zones restreintes à aléa érosif fort identifiées sur les deux bassins versants contribuent fortement lors d'épisodes pluvieux. L'implantation des haies à l'aval de ces zones sensibles n'est pas optimale, et la proximité à la retenue est un élément qui facilite le transfert direct. Une investigation complémentaire de terrain sur les deux zones ciblées pourrait permettre d'éclaircir ces deux points.

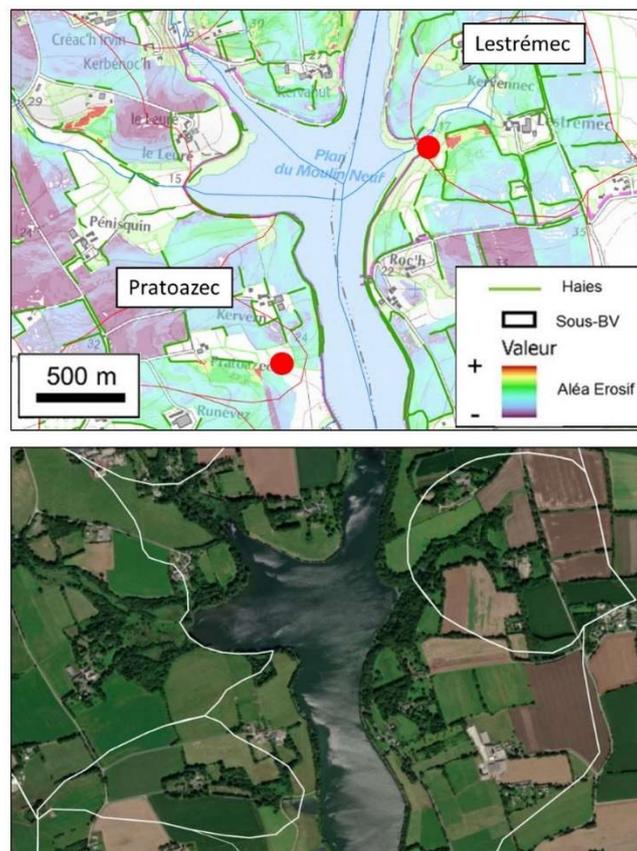


Figure 45 : Bassins versants de Pratoazec et de Lestrémec. Représentation de l'aléa érosif et photo aérienne



VII. CONCLUSIONS

L'étude du transfert de phosphore sur le bassin versant du Moulin Neuf a été réalisée selon deux approches distinctes, l'une **quantitative**, l'autre **qualitative**.

- (1) L'étude **quantitative** réalisée à partir des concentrations disponibles sur sept exutoires a permis de calculer :
 - Les flux (ou charges) en phosphore parvenant à la retenue du Moulin Neuf (exprimés en kg/h ou kg/an) et les contributions respectives sur sept sous-bassins versants (définis par les sept exutoires). Ainsi, les charges annuelles de phosphore total à la retenue sont de 2 000 kg, dont 600 kg d'orthophosphates (P-PO4 dissous). La majeure partie des apports de phosphore total provient des sous-bassins versants amont de Pont l'Abbé Trémillec (56%) et du Lanvern (34%). La majeure partie des apports d'orthophosphates provient également des sous-bassins versants de Pont l'Abbé Trémillec (74%) et du Lanvern (18%). Ces deux sous-bassins versants sont situés dans la partie amont de la zone d'étude, et couvrent une superficie plus importante que les autres sous-bassins versants connectés à la retenue, ce qui peut en partie expliquer leur contribution significative. Par ailleurs, les deux petits sous-bassins versants de Pratoazec et de Lestrémec sont ceux qui contribuent le plus, au prorata de leur superficie (charge spécifique).
 - Les quantités de phosphore d'origine agricole et d'origine domestique parvenant à la retenue du Moulin Neuf. D'après l'évaluation des apports domestiques (rejet de STEU et ANC défectueux), la part domestique des apports est évaluée à 10%, contre 90% d'apports d'origine agricole.

Le phosphore total est en majeure partie formée par une fraction dite 'particulaire' (fraction solide liée aux matières en suspension et mobilisée lors des épisodes pluvieux érosifs). Cette fraction particulaire provient essentiellement des secteurs amont du bassin versant (Lanvern et Pont l'Abbé Trémillec). Cette observation est renforcée par le calcul des charges dans les deux sous-bassins versants 'gigognes' de Pont l'Abbé Trémillec et Pont l'Abbé Callac, ce dernier formant la partie amont de Pont l'Abbé Trémillec. Pont l'Abbé Callac exporte 1.5 fois plus de phosphore total que Pont l'Abbé Trémillec, essentiellement sous forme particulaire. L'essentiel des apports de phosphore par érosion a donc lieu dans la partie amont du bassin versant de la retenue du Moulin Neuf.

- (2) L'étude **qualitative** s'inscrit dans une volonté de cibler avec plus de précision les exports de phosphore particulaire (contributeur majeur du phosphore total).
 - Le traitement sous logiciel SIG prend en considération la distribution des pentes et la différenciation entre prairies permanentes (peu soumises à l'érosion), prairies temporaires (soumises modérément à l'érosion) et cultures (davantage soumises à l'érosion).
 - Les résultats montrent que sur 53 petits sous-bassins versants constituant la zone d'étude, 12 doivent faire l'objet d'une priorisation au titre de l'aléa érosif. Parmi ces 12 petits sous-bassins versants, deux niveaux de priorité sont définis. Les secteurs les plus sensibles sont regroupés dans une grande moitié amont de la zone d'étude, principalement le long de la rivière Pont l'Abbé et de ses affluents, et de manière secondaire dans la partie amont du Lanvern. Chacun des petits sous-bassins versants prioritaire fait l'objet d'une représentation de l'aléa érosif et du maillage bocager, ce qui permet d'identifier des points de transfert potentiels au cours d'eau, qu'il conviendra de vérifier sur le terrain.



Les résultats des approches **quantitative** et **qualitative** pointent un apport de phosphore dans la partie amont des bassins versants des rivières de Pont l'Abbé et du Lanvern. Ces zones concentrent une grande partie des départs de phosphore total (lui-même constitué largement de phosphore particulaire). Un programme d'action ciblé sur les zones prioritaires permettra de réduire les apports de phosphore à la retenue du Moulin Neuf afin de réduire les effets néfastes liés à son accumulation (eutrophisation, développement de cyanobactéries, etc.).

Cette étude vise à constituer un appui de terrain pour vérifier les zones ciblées (points de transfert potentiels) et à servir d'appui scientifique pour la mise en place de mesures de gestion du phosphore sur le bassin versant du Moulin Neuf.



REMERCIEMENTS

Labocéa remercie l'Agence de l'Eau Loire Bretagne d'avoir facilité le contact avec le Syndicat mixte de la Ria d'Etel (SMRE) sur la thématique de l'aléa érosif. Le SMRE est remercié pour le partage de sa méthodologie sur l'aléa érosif.