

Accord Cadre ZABR - Agence de l'Eau

Fiche projet

2020-n°73 – BIOGEOZH-UMR INRA-USMB –Elaboration d'un outil opérationnel pour évaluer, préserver ou restaurer les fonctions biogéochimiques en zones humides répondant aux enjeux de qualité des eaux et de biodiversité

Titre du projet :

Elaboration d'un outil opérationnel pour évaluer, préserver ou restaurer les fonctions biogéochimiques en zones humides répondant aux enjeux de qualité des eaux et de biodiversité

Personnes responsables :

Pr. Jean-Christophe CLEMENT
Dir. Adj. CARRTEL (UMR INRA-USMB)
UFR SceM/ Bât. Belledonne - Campus Universitaire - 73376 Le Bourget du Lac
+33 4 79 75 88 63

EQUIPES DE RECHERCHES ZABR CONCERNEES ET CONTACT SCIENTIFIQUE DE L'EQUIPE

(équipe membre ou associée de la ZABR)

CARRTEL - Université Savoie Mont Blanc (Jean-Christophe CLEMENT)
Laboratoire Ecologie microbienne - UMR1418 INRA (Thomas POMMIER)

AUTRES PARTENAIRES (préciser leur degré d'implication et leur accord)

- **Recherche** : Biotope, bureau d'étude dans l'environnement, sera sous-traitant dans le cadre de ce projet sur les objectifs 2 et 4 (Florence BAPTIST, directeur d'étude au sein du service R&D de Biotope)
- **Institutionnel** : UMS PatriNat AFB – CNRS – MNHN (Guillaume GAYET). L'intervention de Guillaume Gayet garantira l'opérationnalité des outils développés et veillera à leur bonne appropriation par la sphère technique.

THEME DE RATTACHEMENT ZABR

Flux Polluants, Ecotoxicologie, Ecosystèmes (FPEE)

THEME DE RATTACHEMENT AGENCE DE L'EAU -QUESTIONS AGENCE DE L'EAU

questions 2.2.1, 3.1.2 et 3.2

Thème de rattachement Agence de l'Eau (accord cadre)

Thème : La protection, la restauration des milieux et les gains écologiques

Thématique : Restauration, fonctionnement physique

Inventaire des besoins en matière de connaissance opérationnelle pour la gestion des milieux aquatiques :

2.2 – Mieux évaluer l'état et les risques de dégradation des masses d'eau en améliorant les données et l'utilisation des pressions liées aux activités humaines

2.2.1 – Améliorer l'évaluation de l'état et des risques concernant l'atteinte des objectifs environnementaux pour une évaluation pertinente à l'échelle des masses d'eau

3.1.2 – Soutenir un déploiement efficace et optimisé des mesures

3.2 - Informer les maîtres d'ouvrages sur les connaissances, outils actuels et les retours d'expérience

SITE OU OBSERVATOIRE DE RATTACHEMENT ZABR : Bassin versant du Rhône

L'étape de synthèse bibliographique se basera, entre autres, sur les retours d'expériences des équipes de la ZABR incluant par exemple :

- UMR 5600 EVS – EMSE : Etude et compréhension du rôle hydrologique et hydrogéologique des zones humides de têtes de bassins dans le soutien d'étiage des cours d'eau. Recherche de références dans les contextes très contrastés du bassin du Rhône.
- UMR CARRTEL INRA USMB : Dynamique des transferts et effets des Micropolluants Organiques persistants dans le fonctionnement d'une Tourbière alcaline en restauration (DynaMOT)

Le travail de développement expérimental portera en revanche sur le bassin de la Bourbre dont la gestion est assurée par le Syndicat Mixte du Bassin de la Bourbre (contact : Claire JEUDY).

RESUME DU PROJET GLOBAL (15 lignes max)

- Résumé 15 lignes :

Les fonctions biogéochimiques (par ex. dénitrification) et les services associés (par ex. épuration des eaux) sont souvent avancés comme un argument en faveur de la préservation des zones humides ; alors que les processus sous-jacents (liés notamment à l'engorgement des sols) et les outils/indicateurs les caractérisant sont peu connus des acteurs techniques. En conséquence, les bénéfices des actions écologiques dans ce domaine sont mal identifiés (hors zones tampons en milieu agricole) prévenant une vision multifonctionnelle de ces écosystèmes et une communication efficace des bénéfices induits pour la société. Nous proposons d'élaborer un outil d'évaluation des enjeux biogéochimiques à l'échelle d'un bassin versant et d'identifier à partir d'indicateurs simples, basés sur la géomatique, la biogéochimie ou la microbiologie, l'expression des fonctions épuratoires d'une zone humide donnée en intégrant les approches innovantes basées sur l'utilisation des « omics¹ ». Les indicateurs identifiés dans la littérature seront testés via une expérimentation. Les résultats seront synthétisés et vulgarisés dans un guide destiné aux gestionnaires présentant les fonctions épuratoires, les indicateurs permettant de qualifier les enjeux à l'échelle d'un bassin versant et la capacité épuratoire des ZH et enfin les actions écologiques favorables à ces fonctions.

- **Livrables :**

- **Synthèse bibliographique**
- **Rapport scientifique à l'issue du projet présentant l'ensemble des résultats incluant tests et validation des indicateurs pertinents.**
- **Guide opérationnel destiné aux gestionnaires**
- **Rapports des deux stagiaires**

Encart 2020 - n°73 – BIOGEOZH -USMB – Jean-Christophe CLEMENT

- La contribution du Carrel, pilotée par Jean-Christophe Clément, s'inscrit dans les 4 tâches du projet : synthèse bibliographique, modèle QGIS localisant les Zones humides les plus à même de jouer un rôle épuratoire, expérimentation in situ, élaboration du guide opérationnel. Pour conduire ces actions l'équipe s'appuie sur Biotope (Florence Baptiste) sur l'objectif 2 (outil SIG) et 4 (élaboration du guide opérationnel). Il s'appuie également sur l'UMS PatriNat AFB - CNRS – MNHN (Guillaume Gayet) qui veillera à l'appropriation des outils développés dans le cadre du projet dans la sphère technique.

Le Carrel encadre le travail bibliographique du stagiaire de Master 2, contribue à la stratégie expérimentale, à la récolte des échantillons et à l'analyse des données.

Biotope travaillera spécifiquement, sur l'objectif 2 (outil SIG) et 4 (élaboration du guide opérationnel). Il participera également à l'encadrement des deux stagiaires, la relecture de la synthèse bibliographique, les entretiens avec les équipes cibles (retours d'expérience), la mise en place des expérimentations et l'analyse des résultats.

L'UMS PatriNat AFB - CNRS – MNHN garantie l'aspect opérationnel des outils développés

Encart 2020 - n°73 – BIOGEOZH- UMR1418 – Thomas POMMIER

- La contribution de l'UMR 1418 piloté par Thomas Pommier, dans le cadre de ce projet sont les suivantes : Réalisation des mesures de dénitrification comme principal indicateur de la capacité épuratoire des zones humides, et des composantes affectant directement ces mesures, comme les abondances relatives des gènes nirK/S et nos Z 1 & 2 des groupes fonctionnels clefs de ce processus, de la disponibilité en azote (libre ou produit par la nitrification)- Analyses de bioinformatique nécessaires aux mesures de biodiversité fonctionnelle - Participera à l'encadrement d'un des 2 stagiaires impliqués dans le projet.

¹ Sciences associées à la génomique, protéomique, métabolomique etc.

FINALITES ET ATTENDUS OPERATIONNELS(1 p. maxi) :

Les fonctions biogéochimiques (par ex. dénitrification, immobilisation, transformation) et les services associés (par ex. Qualité des eaux) sont souvent mis en avant pour communiquer en faveur de la préservation des zones humides (ZH) ; alors que les processus sous-jacents liés notamment à l'engorgement des sols et aux activités biologiques, ainsi que les outils/indicateurs les caractérisants sont peu connus des acteurs techniques. En conséquence, les bénéfices des actions écologiques mobilisables dans ce domaine sont mal identifiés (hors zones tampons en milieu agricole) prévenant une vision multifonctionnelle de ces écosystèmes et une communication circonstanciée des bénéfices induits pour la société.

A la différence des fonctions hydrologiques et biologiques, les indicateurs opérationnels permettant l'évaluation des fonctions biogéochimiques restent peu développés. La boîte à outil RHOME² propose des indicateurs liés à la dynamique hydrologique ou aux nutriments (azote, phosphore) et aux substances humiques qui reflètent en partie des processus biogéochimiques de dégradation de la MO, mais l'interprétation proposée vise à évaluer le niveau d'eutrophisation et non le niveau d'expression de ces fonctions. La démarche Territ'eau développée par agrotransfert Bretagne³ propose également une grille de lecture mais difficile à prendre en main par des gestionnaires. Enfin la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides⁴ liste un certain nombre d'indicateurs spécifique à l'azote et au phosphore et dont la liste pourrait être enrichie de techniques peu utilisées à ce jour ; comme par exemple les outils de la génomique⁵, de la protéomique⁶ ou de l'isotopie (Jensen et al. 2018, Clément et al. 2003, Ademe 2017). Ces outils, tels que la génomique et le séquençage de l'ADN environnemental, ont été utilisés depuis environ trois décennies pour étudier des communautés d'êtres vivants dans les écosystèmes naturels, y compris les microorganismes. Ils permettent ainsi de compiler de grands jeux de données sur l'abondance, la diversité et les activités de ces microorganismes selon les conditions environnementales afin de contribuer au diagnostic de la qualité des écosystèmes en élaborant des référentiels d'interprétation pertinents pour les sites à gérer. Ainsi, ces indicateurs difficilement applicables lors de l'élaboration des dossiers de loi sur l'eau seraient potentiellement intéressants dans le cadre des plans de gestion stratégique des zones humides et le suivi de la restauration (analyse des gènes fonctionnels, analyse de la diversité des sols etc.). Enfin, les actions de génie écologique favorisant les fonctions biogéochimiques sont pour l'instant peu connues ou spécifiquement liées à la création/restauration de zones tampons en milieu agricole (CORPEN 2007, Catalogne et Le Hénaff 2016) pour réduire la dispersion des pollutions diffuses et l'érodabilité des sols agricoles. Il est donc difficile d'envisager dans ce cadre les actions à promouvoir selon un double objectif : la qualité des eaux et les fonctions d'accueil de la biodiversité.

Ce constat souligne la nécessité d'élaborer un outil pour permettre, à l'échelle d'un bassin versant, de 1/ hiérarchiser les ZH prioritaires sur la base de données spatiales (à partir des données d'occupation du sol dans le bassin d'alimentation en eau de la ZH, du fonctionnement hydrogéomorphologique, de la connexion au réseau hydrographique etc.), et à l'échelle d'une zone humide, 2/ d'évaluer à partir d'indicateurs simples le niveau de réduction des composés azotés, phosphorés et des phytosanitaires et 3/ préciser les actions de gestion à préconiser.

OBJECTIFS ET METHODOLOGIE(2 p. maxi) :

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- Objectif 1 :** Réaliser une synthèse bibliographique basée sur la littérature existante et les retours d'expérience des chercheurs et opérateurs:
 1. Préciser les indicateurs les plus à même de témoigner de la capacité épuratoire des ZH au regard du phosphore, de l'azote et des phytosanitaires. Ce travail portera sur les caractéristiques hydrogéomorphologiques et biologiques d'une ZH (indicateurs obtenus par analyse spatiale et après prospection de terrain)
 2. Préciser parmi les actions écologiques les plus courantes, celles favorisant ou restaurant les fonctions biogéochimiques dans une recherche de multifonctionnalité et tenant compte des contextes fonctionnels et systémiques différents des zones humides du territoire de la ZABR.
- Objectif 2 :** Développer un modèle sous QGIS localisant simplement les ZH les plus à même de jouer un rôle épuratoire en fonction de leurs caractéristiques hydrogéomorphologiques et biologiques (habitats).

²<http://rhomeo-bao.fr/>

³https://agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/Territ_Eau/CONNAISSANCES/Zones_humides/

⁴<http://www.zones-humides.org/guide-de-la-m%C3%A9thode-nationale-d%C3%A9valuation-des-fonctions-des-zones-humides>

⁵Etude du fonctionnement d'un organisme à l'échelle du génome, au lieu de se limiter à l'échelle d'un seul gène.

⁶Etude des protéomes, c'est-à-dire l'ensemble des protéines d'une cellule.

- Objectif 3 :** Mettre en place une expérimentation *in situ* afin de tester la pertinence des indicateurs qui seront retenus dans la phase bibliographique sur la base d'une mesure directe des concentrations en N, P et phytosanitaires à l'entrée et à la sortie de la ZH.
- Objectif 4 :** Elaborer un guide opérationnel décrivant la démarche globale de priorisation des enjeux épuratoires à l'échelle d'un bassin versant et des actions à préconiser pour répondre aux enjeux biodiversité et qualité des eaux.

La méthodologie proposée pour chacun de ces objectifs est détaillée ci-dessous.

- Objectif 1 : Réaliser une synthèse bibliographique basée sur la littérature existante et les retours d'expérience des chercheurs et opérateurs**

Ce premier objectif vise tout d'abord à établir une liste d'indicateurs obtenus par analyse spatiale ou collectés sur le terrain à même de témoigner de la capacité épuratoire des ZH.

Concernant l'identification des indicateurs à collecter sur le terrain, ce travail a en partie été réalisé dans le cadre de la méthode nationale d'évaluation des fonctions des ZH excepté pour les phytosanitaires. L'ADEME a par ailleurs édité une série de fiches d'utilisation des outils de microbiologie moléculaire pour le diagnostic environnemental. Ces outils ne sont toutefois pas automatiquement intégrés car cette approche reste peu adaptée dans le cadre de l'élaboration d'un dossier loi sur l'eau (délai et budget très limités). A l'inverse, dans le cadre des plans de gestion stratégique et le suivi de la restauration, la temporalité diffère et ces techniques peuvent s'avérer tout à fait pertinentes. Il s'agit donc ici d'élargir la synthèse actuelle aux phytosanitaires ainsi qu'à des techniques basées sur la biologie moléculaire et les approches de type « omics ». Cet aspect est particulièrement innovant dans le cadre spécifique de la gestion des zones humides.

Dans un second temps, l'ensemble des actions généralement préconisées en ZH seront par ailleurs analysées par le prisme des fonctions biogéochimiques afin de déterminer leur intérêt dans ce contexte. Des actions spécifiques pourront également être identifiées dans la littérature. Ce travail se basera sur une revue de la littérature scientifique et grise tel que par exemple les productions de l'INRA de Rennes dans le cadre du réseau expérimental mis en place sur le département du Finistère (par exemple Vidal 2015). Des bases de données pourront également être exploitées à cette fin (par ex. <https://www.conervationevidence.com/>). Des entretiens dédiés avec notamment les équipes de la ZABR ayant travaillé sur ces questions seront également organisés. Nous intégrerons aussi l'analyse bibliographique sur les fonctions (hydrologique, biogéochimique, écologique) en cours (AE RMC Anne Rapin) qui vise la construction d'un argumentaire destiné aux acteurs du territoire (élus, techniciens) à l'image de ce qui a été fait par l'AE RMC sur la restauration hydromorphologique des cours d'eau.

- Objectif 2 : Développer un modèle sous QGIS localisant simplement les ZH les plus à même de jouer un rôle épuratoire du fait de leurs caractéristiques hydrogéomorphologiques et biologiques (habitats).**

A partir d'une sélection de ZH présentant des enjeux biogéochimiques importants sur le bassin de la Bourbre⁷ (basée sur une analyse de l'occupation du sol du bassin versant de la ZH très agricole ou très urbanisée), nous proposons d'affiner le travail géomatique afin d'évaluer celles qui sont en mesure *a priori* d'exprimer ces fonctions.

Nous partons de l'hypothèse que la durée de rétention de l'eau est un des facteurs principaux favorisant ces fonctions.

Ainsi, nous proposons de développer une routine sous SIG permettant de caractériser pour une cinquantaine de ZH :

- **Le type de ZH** (alluvial, plateau, dépression etc.) : le système hydrogéomorphologique d'une ZH est déterminant pour évaluer l'expression des fonctions épuratoires car il permet de qualifier le mode d'alimentation en eau et donc sa connexion au réseau hydrographique. Nous nous baserons sur la classification de Brinson(1993) pour établir cette classification ;
- **La pente moyenne de la ZH** de son point le plus haut au point le plus bas (exutoire) en tenant compte de la mésotopographie (variance de la pente au sein de la ZH) ;
- **Le coefficient de rugosité** basée sur une identification visuelle de l'occupation du sol au sein de la ZH (couvert nu, herbacé, arbustif ou arboré) ;
- **Le coefficient de drainage** : cet indicateur sera basé sur une identification visuelle (ou issu de cartographie existante / analyse à partir du MNT) du réseau de fossé sur la ZH. Les drains souterrains ne pourront en revanche pas être pris en compte ;
- **La capacité de stockage de l'eau au sein de la ZH selon ses caractéristiques topographiques** ;

⁷Ce travail a été effectué par Biotope en 2018 sur le bassin de la Bourbre pour le SMABB en partenariat avec l'agence de l'eau.

Cette sélection de paramètres/indicateurs sera complétée/corrigée à l'issue de la synthèse bibliographique réalisée précédemment (cf. objectif 1).

Ce travail aboutira à une classification des ZH selon quatre grandes catégories liées à la durée de rétention des eaux (très élevée, élevée, modérée, faible).

Parmi ces 4 catégories, nous sélectionnerons 20 ZH comme suit :

- Temps de résidence très élevé : 4 ZH
- Temps de résidence élevé : 6 ZH
- Temps de résidence modéré : 6 ZH
- Temps de résidence faible : 4 ZH

- Objectif 3 : Mettre en place une expérimentation *in situ* afin de tester la pertinence des indicateurs qui seront retenus dans la phase bibliographique sur la base d'une mesure directe des concentrations en N, P et phytosanitaires à l'entrée et à la sortie de la ZH**

A l'issue de la phase précédente, nous mettrons en place un suivi permettant d'évaluer le devenir en N, P et phytosanitaires sur ces 20 ZH et ce afin de tester les différents indicateurs retenus lors de la phase bibliographique (obtenus spatialement ou après collecte sur le terrain).

Le protocole proposé est le suivant :

Pour chaque ZH, trois zones de prélèvement seront identifiées sur un transect amont – aval des écoulements de (sub)surface et du transit de nappe : A l'amont, au milieu et à l'aval (exutoire) de la ZH.

Pour chaque point, deux échantillons de sol seront prélevés sur l'horizon 0 – 40 cm puis poolés. Le sol ainsi prélevé sera récolté après analyse de la texture, des traces d'hydromorphie, du pH, de l'épaisseur de l'épisol humifère et des paramètres complémentaires qui auront été identifiés (objectif 1). Sur les deux points situés le plus en amont et le plus en aval, des échantillons d'eau seront également collectés à l'aide d'un piézomètre de 40 cm installés préalablement.

Des photographies seront effectuées ainsi que l'enregistrement GPS correspondant au point de récolte. Le type de végétation sera renseigné selon la classification EUNIS niveau 3. Enfin, un sondage de 120 cm sera réalisé en parallèle pour décrire plus précisément le type de sol et l'évolution des traces d'hydromorphie en profondeur. Ainsi en synthèse, 3 prélèvements de sol et 2 prélèvements d'eau seront réalisés pour chaque ZH (soit un total de 60 analyses de sol et 40 analyses d'eau pour 20 ZH).

Les analyses suivantes seront réalisées :

Sol	Eau
Carbone total, azote total, phosphore total Concentration en azote inorganique, azote total dissous et azote organique dissous (N-NO ₃ , N-NH ₄ , N-TDN, N-DON) Carbone organique dissous (DOC) Concentration en phosphore dissous Taux d'humidité, teneur en matière organique, densité du sol, pH NEA/DEA/Phosphatase Phytosanitaires (notamment glyphosate, AMPA, metolachlore, atrazine et chlorotoluron) Flux de N ₂ O Analyses moléculaires : Extraction et quantification des ADN environnementaux <ul style="list-style-type: none">• pour abondances des groupes : 5 gènes en PCR quantitative (nirK, nirS, nosZ 1, nosZ 2, phoA)• pour la diversité de ces groupes : Métagénomique par séquençage haut-débit (Illumina MiSeq).	Concentration en azote inorganique, azote total dissous, et azote organique dissous(N-NO ₃ , N-NH ₄ , N-TDN, N-DON) Carbone organique dissous (DOC) Concentration en phosphore dissous Phytosanitaires (notamment glyphosate, AMPA, metolachlore, atrazine et chlorotoluron)

La période visée pour cette expérimentation est comprise entre novembre 2019 et février 2020. Il faudra avoir réalisé l'ensemble des prélèvements sur une durée maximale de 3 semaines pour limiter les biais climatiques. Les ZH devront présenter une diversité importante en termes de sol, d'habitats et d'alimentation en eau.

Les résultats obtenus permettront - par le biais d'analyses statistiques de type multivariées - de tester les indicateurs collectés sur le terrain et ceux obtenus par analyse spatiale. **Ce travail permettra d'indiquer les indicateurs les plus à même de témoigner de la capacité épuratoire d'une ZH et de distinguer d'éventuelles variations de rétention des sources d'Azote, de Phosphore et de Phytosanitaires.**

Ces résultats pourront être comparés avec ceux obtenus *via* d'autres méthodes (Rapinel et al. 2016 ; Catteau 2017). Les résultats d'analyse chimique des sols et de la ressource en eau pourront par ailleurs être mis en regard

avec les données de qualité des eaux existantes (selon leur disponibilité et incluant par exemple la base de données Nutriments Zones humides de l'agence de l'eau RMC).

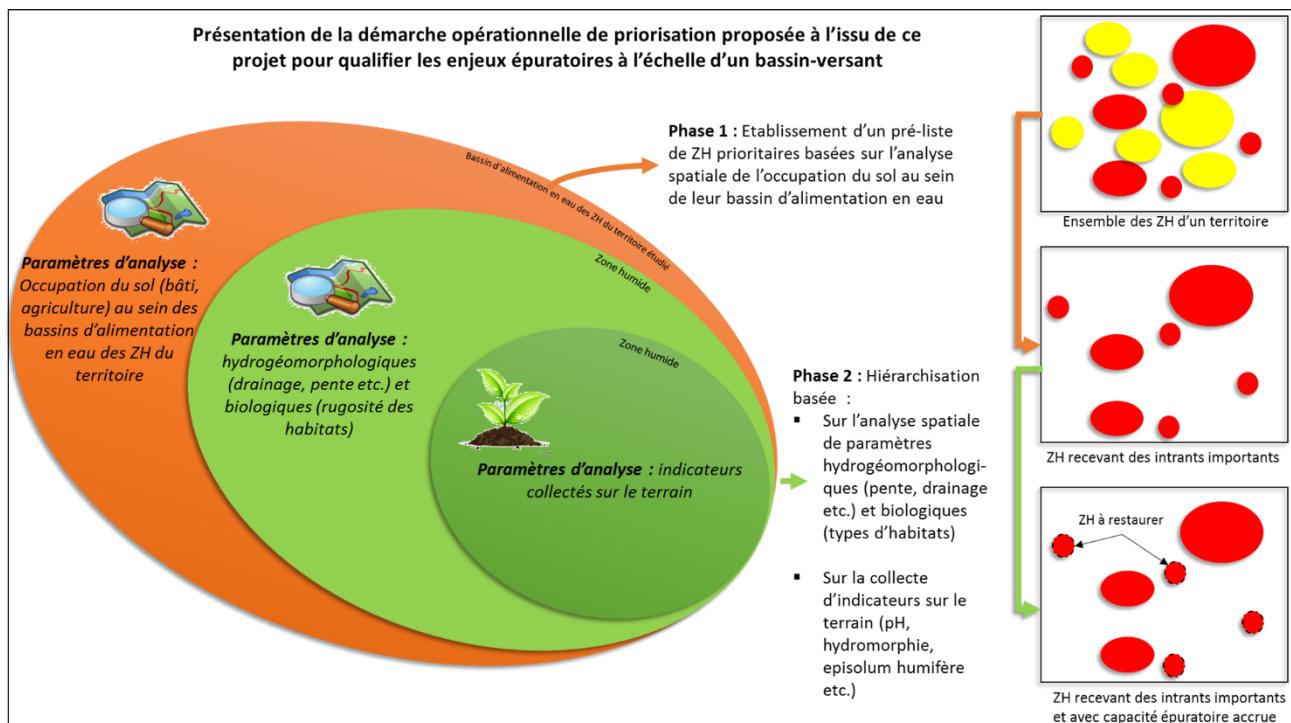
- **Objectif 4 : Elaborer un guide opérationnel décrivant la démarche globale de priorisation des enjeux épuratoires à l'échelle d'un bassin versant et des actions à préconiser pour répondre aux enjeux biodiversité et qualité des eaux.**

A l'issu de ce travail, un guide sera élaboré afin de présenter la démarche générale à mettre en œuvre à l'échelle d'un BV pour prioriser les ZH selon au regard des enjeux épuratoires.

La démarche que nous proposons déclinera en **deux phases opérationnelles** et aboutira à la liste des ZH les plus pertinentes à restaurer / préserver au regard de leur rôle épuratoire :

- **Phase 1 :** Evaluation des enjeux biogéochimiques à l'échelle d'un bassin versant sur la base de la description de l'occupation du sol au sein des bassins d'alimentation en eau des ZH.
Cette première phase permettra d'identifier les ZH interceptant des intrants importants issus du bassin versant (ZH en rouge à droite dans la figure).
- **Phase 2 :** Identification de ZH les plus à même de remplir un rôle épuratoire sur la base de leur caractéristique intrinsèque obtenus par analyse spatiale ou après collecte sur le terrain.
Cette seconde phase permettra d'identifier les ZH à conserver en priorité au regard de leur rôle épuratoire (grands cercles rouges à droite dans la figure) et celles à restaurer (petits cercles rouges avec pointillé).

Dans le cadre de ce projet, les travaux proposés concernent la phase 2 uniquement. La phase 1 a été traitée dans le cadre d'une étude portée par le syndicat mixte du Bassin de la Bourbre et financée par l'agence de l'eau.



Enfin, les actions à préconiser seront présentées tenant compte des enjeux de qualité des eaux mais également de biodiversité. Les acteurs visés par les résultats de ce travail incluent notamment les gestionnaires en charge de la réalisation des diagnostics de fonctionnement zones humides y compris dans les périmètres élargis de l'espace de bon fonctionnement de ces milieux. Ces résultats s'avèreront particulièrement pertinents dans le cadre de l'élaboration des plans de gestion stratégiques des zones humides impulsés par l'agence de l'eau RMC sur le SDAGE 2016-2021

DUREE DU PROJET: 2 ans

- Année 1 : Objectif 1 / Objectif 2 / Objectif 3
- Année 2 : Objectif 3 (analyse) / Objectif 4

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ademe 2017. La microbiologie moléculaire au service du diagnostic environnemental ADEME: 172.
- Catalogne C., Le Hénaff G. 2016. Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole. Rapport [Irstea- ONEMA](#) élaboré dans le cadre du Groupe Technique Zones Tampons, 69pp.
- Catteau S. 2017, Tests méthodologiques pour la localisation des zones humides dans le bassin Rhône-Méditerranée et la qualification des fonctions et pressions. Rapport de stage de master2 Sciences des Environnements Continentaux et Côtiers, sous la direction de CHAMBAUD F. et LE BOT S., Université de Rouen-Normandie, 50p.
- Clément J., Holmes R.M., Peterson B. and Pinay, G. (2003), Isotopic investigation of denitrification in a riparian ecosystem in western France. *Journal of Applied Ecology*, 40: 1035-1048. doi:[10.1111/j.1365-2664.2003.00854.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2003.00854.x)
- [CORPEN](#). 2007. Les fonctions environnementales des zones tampons : les bases scientifiques et techniques des fonctions de protection des eaux. Première édition, 176 p.
- Jensen A., Ford W. Fox J. & A. Husic. 2018 Improving in-stream nutrient routines in water quality models using stable isotope tracers: a review and synthesis. 61: 139-157. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*. DOI: 10.13031/trans.12545
- Rapinel S., Hubert-Moy, L., Clément, B., & Maltby, E. 2016. Mapping wetland functions using Earth observation data and multi-criteria analysis, *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(11). doi:10.1007/s10661-016-5644-1
- Vidal S. 2015. Evaluation de la dénitrification dans des zones humides ripariennes réhabilitées. Rapport de master. 30 p.

- RAPPELS -

Tout projet ZABR doit répondre à 5 critères : être pluridisciplinaire, entrer dans les problématiques scientifiques de la ZABR, impliquer au moins 2 équipes du GIS ZABR, s'appliquer sur un site ou un observatoire de la ZABR, provenir d'équipes ayant une production scientifique internationale garantissant la valorisation future du travail de recherche. Tous les renseignements sont disponibles sur le site internet de la ZABR. www.zabr.org

Remarque : le critère de site ou d'observatoire peut être levé s'il est démontré : soit que l'action est en lien avec des travaux en cours sur un site ou un observatoire de la ZABR (ex : test d'un outil sur un autre secteur), soit si l'action permet une analyse comparative avec les travaux réalisés sur les sites et observatoires et nécessite de passer à l'échelle du bassin versant du Rhône.

Modalités d'intervention de l'Agence de l'Eau :

Règle générale : une subvention de 50% d'un budget prévisionnel HT

Montant global alloué par l'Agence de l'Eau sur l'accord cadre AE ZABR : 250 k€ à 300 k€/an