

Mutualiser les enjeux territoriaux en contexte de grandes cultures : INSPA, un outil SIG couplant hydrologie et écologie

Les zones tampons humides artificielles installées en région agricole drainée sont efficaces non seulement pour améliorer la qualité chimique de l'eau, mais également pour maintenir la biodiversité locale et la diversité du paysage. Partant de ces constats, les chercheurs d'INRAE ont créé l'outil d'analyse spatiale INSPA (INsertion SPAtiale), qui en croisant les informations sur les fonctions hydrologiques et écologiques d'un territoire permet de sélectionner les sites d'implantation de zones tampons humides artificielles en vue de constituer une mosaïque paysagère favorable à la biodiversité.

La problématique

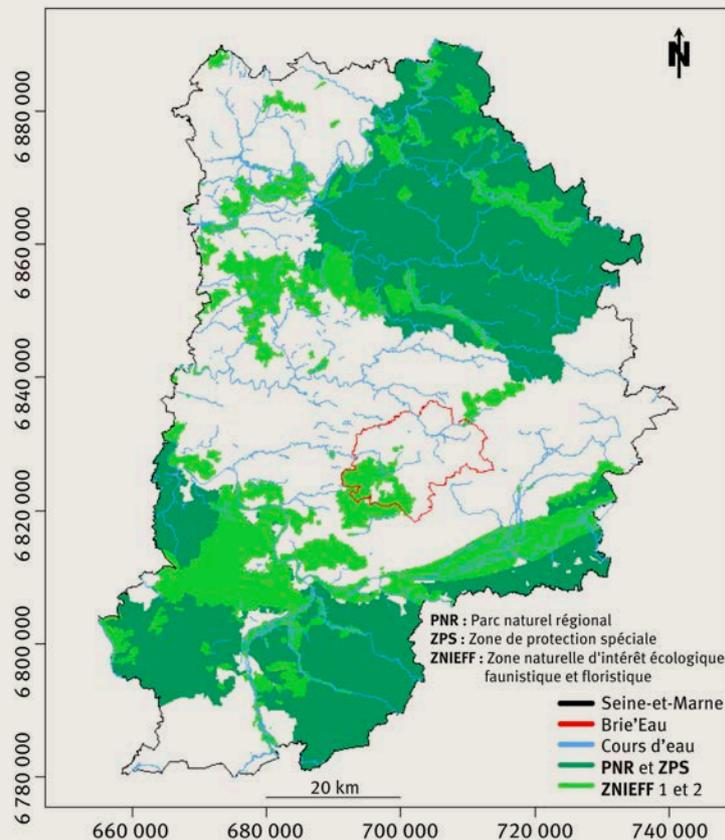
Depuis les années 1950, les systèmes de production agricoles évoluent avec une diminution du nombre d'exploitations, une augmentation des surfaces cultivées et une utilisation croissante d'intrants chimiques comme les fertilisants et les produits phytosanitaires. Ces évolutions foncières et structurelles ont participé à la perte de fonctionnalités écologiques des écosystèmes attestée par la pollution de l'eau et de l'air, le déclin de la biodiversité, l'érosion des sols et l'homogénéisation des paysages (MEA, 2005). Cependant, l'intensification des pratiques agricoles n'est pas la seule responsable, l'urbanisation joue un rôle important dans la modification des paysages contribuant aux perturbations environnementales.

Dès 1999, en France, une réflexion sur l'aménagement du territoire est instaurée par la loi d'orientation pour l'aménagement durable du territoire et perdure depuis. Plus récemment, depuis 2017, la loi NOTRe (Nouvelle organisation territoriale de la République) et la compétence GEMAPI (Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations) sont des exemples d'actions concertées en faveur de l'aménagement durable des territoires. Ces actions sont appuyées par de nombreux documents de planification et de gestion des territoires tels que SAGE (schéma d'aménagement et de gestion des eaux), SRCE (schéma régional de cohérence écologique), et SCoT (schéma de cohérence territoriale).

Ces trois types de documents sont complémentaires puisqu'ils agissent respectivement sur les enjeux de préservation de l'eau, de la biodiversité et d'aménagement du territoire en jouant sur la pression foncière de façon interdépendante.

Des outils d'ingénierie écologique contribuant au développement des solutions fondées sur la nature (SFN) proposent aujourd'hui d'utiliser les principes de l'écologie en faveur de la gestion de l'environnement dans les projets de développement des territoires. C'est le cas sur un secteur pilote de la Brie Nangissienne en Seine-et-Marne (77), où des projets d'aménagement sont mis en réflexion à l'échelle d'un territoire dominé par de grandes cultures. Ce type d'action prend part au projet Brie'Eau dont l'objectif est de tester des outils de dialogues participatif et collaboratif afin de préserver la qualité de la ressource de la nappe du Champigny. L'aquifère du Champigny est exploité pour fournir de l'eau potable à l'est de la région parisienne. L'association AQUI'Brie, partenaire du projet Brie'Eau contribue à l'acquisition de connaissances afin d'assurer un usage partagé et durable de la nappe du Champigny. Deux leviers d'action sont mis en discussion sur la thématique de la maîtrise des pollutions diffuses d'origine agricole : levier agronomique basé sur les changements de pratiques agricoles, et levier « aménagement » comme l'insertion paysagère de zone tampon, par exemple les zones tampons humides artifi-

❶ Localisation et contexte du territoire Brie'Eau en Seine-et-Marne : le territoire Brie'Eau (en rouge) est situé entre deux cœurs de biodiversité (en vert) et sur deux bassins versants différents.



cielles (ZTHA) sur le territoire, pour intercepter des flux provenant des zones agricoles. Ce dernier point implique une emprise foncière à « écologiser » dans un milieu de grandes cultures.

Le territoire d'étude du projet Brie'Eau, délimité par le trait rouge au centre de la figure ❶, comprend quatorze communes (224 km²). Il est caractérisé par une hydrologie artificialisée par le drainage agricole sur sols hydromorphes (correspondant à plus de 85 % de la surface agricole utile du territoire), la présence de zones d'engouffrement mettant en communication directe les eaux de surfaces avec la nappe du Champigny et une faible connectivité entre les éléments naturels du paysage. Le SRCE local montre d'ailleurs que le territoire d'étude se situe sur un « passage prolongé en culture », ce qui est un frein non négligeable au déplacement de nombreuses espèces.

Des zones naturelles existent néanmoins et il est possible de les considérer comme des cœurs ou réservoirs de biodiversité (vert foncé et clair sur la figure ❶). Ceux-ci sont définis par le code de l'environnement comme : « des espaces dans lesquels la biodiversité, rare ou commune, menacée ou non, est la plus riche ou la mieux représentée, où les espèces peuvent effectuer tout ou partie de leur cycle de vie (alimentation, reproduction, repos) et où les habitats naturels peuvent assurer leur fonctionne-

ment, en ayant notamment une taille suffisante. Ce sont des espaces pouvant abriter des noyaux de populations d'espèces à partir desquels les individus se dispersent, ou susceptibles de permettre l'accueil de nouvelles populations ». Cependant, comme le montre la figure ❶, il existe un morcellement dans la répartition de ces réservoirs et le territoire d'étude Brie'Eau se situe entre les deux principaux cœurs de biodiversité (au nord et au sud) distants de 15 km.

De nombreux types de zones tampons existent et sont à privilégier selon le type d'écoulement à intercepter. La typologie est décrite dans le guide publié par l'Office français de la biodiversité (Catalogne *et al.*, 2016). Dans le cas de sol drainé, la zone tampon la plus appropriée est la zone tampon humide artificielle, ce que nous cherchons à appliquer au territoire de Brie'Eau. Une expérience menée depuis 2010 a permis la création des premières ZTHA près de Nangis. Ces dispositifs élaborés afin d'améliorer la qualité de l'eau face aux pollutions diffuses (Tournebize *et al.*, 2017 ; Tournebize *et al.*, 2020) ont ensuite démontré leur potentiel écologique pour offrir des habitats en faveur de la biodiversité ici et aux États-Unis (Kadlec, 2012, Letournel, 2017).

En combinant l'écologie et l'hydrologie du site, l'objectif d'INSPA (INsertion SPAtiale) est double : optimiser l'insertion des ZTHA sur le territoire pour la qualité des

▶ eaux et proposer des éléments relais pour la biodiversité à la façon de « pas japonais » ou de corridors discontinus (figure 2) favorisant ou restaurant une connectivité entre cœurs de biodiversité.

Le modèle INSPA

Le SRCE Île-de-France cible principalement les cœurs de biodiversité et la connectivité à l'échelle d'une région. Certains éléments provenant du SRCE sont complétés par d'autres informations telles que les cours d'eau, les zones inondables, les haies et les bois, mais aussi des couches écologiques régies par des traits fonctionnels de taxons choisis. Le modèle INSPA ressemble au SRCE mais répond aux enjeux eau, biodiversité et continuité par une approche hydrologique et écologique. Il effectue une analyse spatiale des couches par système d'information géographique (SIG) et permet d'obtenir l'interprétation d'un paysage en contexte de grandes cultures.

Hypothèses et choix des données pour le modèle

INSPA repose sur cinq hypothèses qui servent de base lors des concertations avec les acteurs du territoire pour la création d'une zone tampon :

- les zones de grandes cultures impactent fortement la qualité de l'eau ;
- les zones homogènes défavorisent la biodiversité ;
- les zones fréquemment inondées sont moins productives pour l'agriculture ;
- celles-ci témoignent d'un nœud hydrologique vers lequel convergent les écoulements lors des crues (par le biais des collecteurs ou fossés de drainage agricole) ;
- les zones avec peu de corridors écologiques sont plus impactées par les ravages de cultures.

Dans une deuxième étape, plusieurs couches SIG sont utilisées pour intégrer au modèle les cinq hypothèses présentées ci-dessus. Ces couches sont accessibles en ligne pour certaines et sur demande pour d'autres. Les données ont été sélectionnées en ciblant les éléments essentiels pour la création d'une ZTHA (éléments hydrologiques) et pour l'environnement (éléments écologiques).

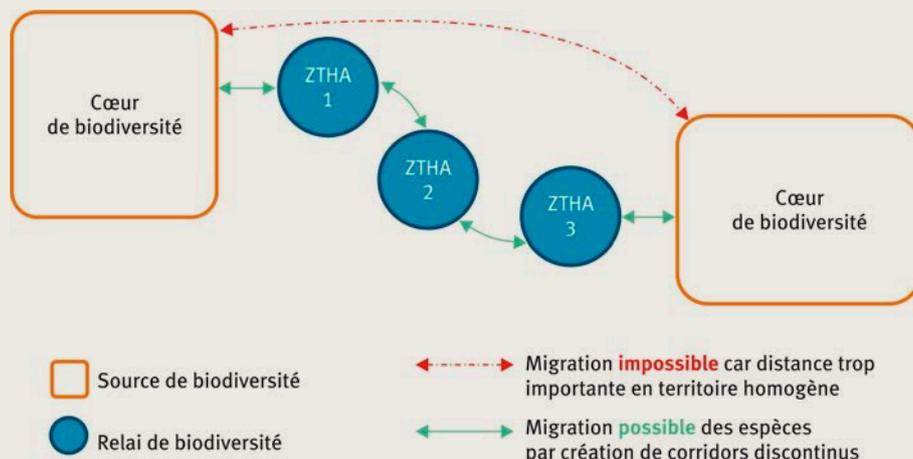
Couches hydrologiques

- La couche MHYST (Modélisation hydraulique simplifiée en écoulement stationnaire) est créée à partir de données topographiques, d'équations hydrauliques simplifiées et de débits. Ce modèle adapté aux territoires où l'on manque de données permet d'identifier et de prévoir les zones inondées (Rebolho, 2018) – figure 3. Cet élément est lié à l'hypothèse que les zones de débordements fréquents sont moins productives et qu'elles peuvent présenter des traits fonctionnels de zones humides.
- Le réseau hydrographique, couche nécessaire pour localiser la création de ZTHA en interception des écoulements, a été téléchargé sur le site de l'Institut géographique national (IGN). Il est complété par les nœuds hydrologiques calculés à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT_25m) qui apporte les informations topographiques pour estimer les écoulements de l'eau en surface.
- Une couche recensant les gouffres fournie par AQUI'Brie sert à cibler l'enjeu qualité de l'eau, en permettant de créer préférentiellement une ZTHA en amont d'un gouffre et protéger ainsi la zone d'infiltration préférentielle vers la nappe du Champigny.

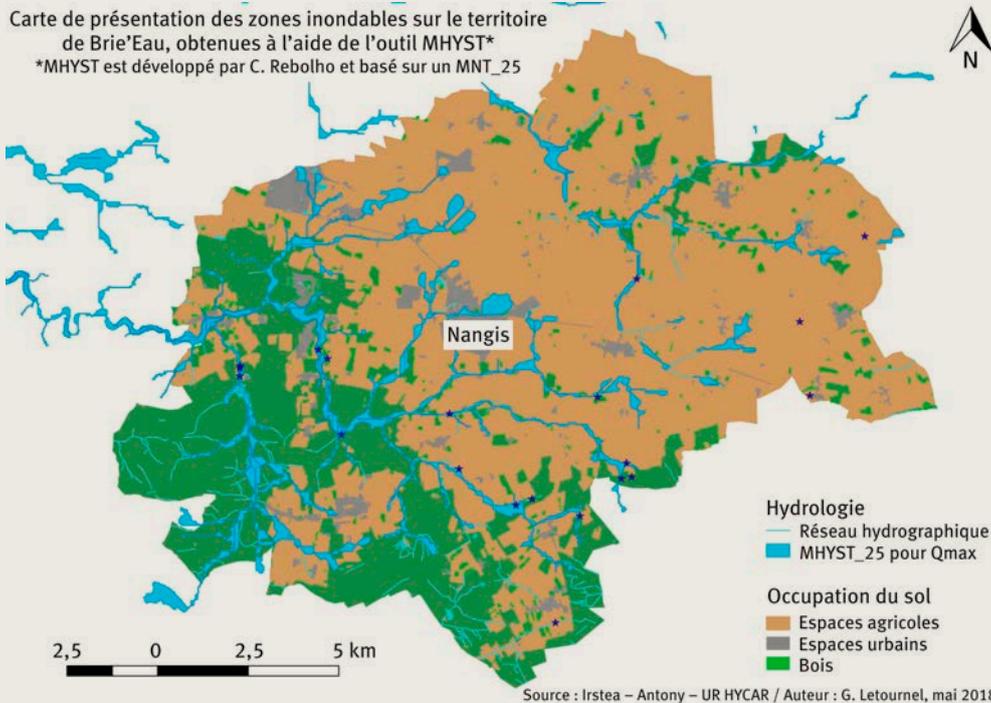
Couches écologiques

- Les couches cœur de biodiversité et bois proviennent de la couche « Ecomos Île-de-France ». Le critère de distinction entre un élément cartographique « bois » et un « cœur de biodiversité » est défini par une surface limite mais il n'existe pas de limite officielle concernant la surface minimale. Sur le territoire d'étude, il existe peu d'espaces boisés et leur taille est petite, donc afin de ne pas les discriminer il a été choisi de garder les surfaces inférieures à 5 hectares comme bois et le reste comme cœur de biodiversité.
- La couche trame verte correspond à la fusion des couches haies et bois pour figurer le potentiel de déplacement des espèces dans une couche unique. La couche haie provient du SRCE Île-de-France.
- La couche route est retenue afin d'exclure des zones où la création des ZTHA ne serait pas possible et où le trafic perturberait la biodiversité. Elle provient du site de l'IGN.

2 Présentation de la notion de corridors discontinus.



④ Zones identifiées comme inondables par la modélisation MHYST, considérées comme des nœuds hydrologiques sur le territoire de Bri'e'Eau. Les étoiles indiquent les zones d'engouffrement préférentiel des eaux de surface.



Principe du modèle

La démarche d'analyse spatiale des couches SIG est automatisée par un script sous le logiciel R (version 3.5.1). Les cinq couches SIG sont croisées entre elles par quatre analyses géomatiques (A1 – A4). La figure ④ schématise ces quatre analyses successives.

Calibration du modèle

On affine à chaque couche SIG une distance tampon ou buffer (zone autour d'une entité cartographique quantifiée en mètre), dans le but de réaliser une analyse spatiale de proximité.

Dans le cas des couches écologiques, ce buffer est régi par un trait fonctionnel ciblé qui correspond à la capacité de déplacement la plus faible d'un groupe taxonomique observé sur site. Dans le cas de cette étude c'est le groupe des Urodèles, aussi appelés communément Tritons, qui est retenu. Ce taxon sert à calibrer le modèle en tant que « groupe parapluie », i.e. si ce groupe est présent, les autres espèces auront une forte probabilité de l'être aussi car elles présentent des capacités de déplacement plus élevées. Les recherches bibliographiques (Muséum national d'Histoire naturelle [Ed]. 2003-2015, Inventaire national du patrimoine naturel) et les échanges avec les spécialistes, indiquent que les Urodèles ont deux types de déplacements. Le premier trajet entre la zone d'habitat terrestre et l'habitat aquatique de reproduction est généralement inférieur à 100 m. Le second, qui traduit leur capacité de dispersion/migration, lorsque les juvéniles quittent le lieu de naissance et colonisent de nouveaux milieux, dépasse rarement 1 000 m. Néanmoins, ces distances maximales sont réalisables lorsque des

corridors existent et relient des habitats favorables. Ce n'est pas le cas du territoire d'étude où les déplacements des Urodèles sont réduits par des passages prolongés en grande culture. Aussi, pour calibrer le modèle, deux priorités sont testées à l'aide de buffers variables :

- priorité biodiversité avec un buffer de 25 m pour la trame verte et un buffer compris entre 50 et 500 m pour les cœurs de biodiversité ;
- priorité qualité des eaux qui mise sur un potentiel de déplacement plus optimiste avec 50 m pour la trame verte et un espace compris entre 50 et 1 000 m pour la couche cœur de biodiversité.

Les buffers associés aux cœurs de biodiversité sont des intervalles car l'enjeu de dispersion est trop faible s'il n'y a pas de limite inférieure fixée. Sous-entendu, une ZTHA créée au sein d'un cœur de biodiversité ne favorisera pas autant la biodiversité qu'une ZTHA positionnée en zone de grandes cultures à un nœud hydrologique. En effet, les ZTHA sont ici étudiées comme espaces relais et non comme réservoirs de biodiversité.

Pour la couche routes, une proximité de moins de 10 m est négative pour la biodiversité et empêche la création de ZTHA (distance minimum de 5 m) pour des critères de faisabilité.

Enfin, la couche gouffres est particulière car elle n'est pas utilisée par le script pour l'analyse spatiale d'INSPA. Toutefois, dans l'optique de futur projet, cette information sert à mieux cibler les enjeux liés à l'engouffrement définitif comme une vulnérabilité à la pollution diffuse (objectif d'amélioration de la qualité de l'eau avant qu'elle ne s'infilte préférentiellement dans le sous-sol).

4 Schéma des quatre analyses géomatiques réalisées par INSPA.

A1 résulte de l'intersection entre la couche *MHYST* et la couche cours d'eau



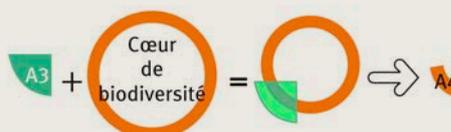
A2 supprime les routes des résultats d'A1



A3 est l'intersection entre A2 et la couche *trame verte*



A4 cible les zones d'A3 dans la couche cœur de biodiversité



Scénarios et optimisation du modèle

L'automatisation du script sous le logiciel R permet de réaliser plusieurs scénarios de façon simple. Afin de tester le modèle, quatre scénarios sont réalisés selon l'enjeu environnemental jugé prioritaire, en affectant deux tailles de buffers aux couches utilisées (tableau 1) :

- scénario 1 : cible l'enjeu qualité de l'eau comme étant prioritaire;
- scénario 2 : cible l'enjeu biodiversité comme étant prioritaire;
- scénario 3 : prend les valeurs les plus contraignantes pour les deux enjeux cités;
- scénario 4 : utilise les valeurs les moins contraignantes pour ces deux enjeux.

Les modalités, autrement dit le choix de combinaison des distances tampons, permettent de fixer des limites au modèle et d'apprécier la sensibilité des résultats selon les enjeux ciblés. Concernant les couches hydrologiques (*MHYST* et *Hydro*), l'amplitude des buffers choisie est faible (0-10 et 25-50 respectivement) car l'eau interceptée par la ZTHA doit y parvenir et en repartir par gravité ce qui correspond donc à une contrainte hydraulique généralisable à d'autres sites. En revanche, les buffers écologiques peuvent être adaptés selon l'espèce cible considérée. Les scénarios présentés par le tableau 1 correspondent donc aux tests sur le territoire Brie'Eau ciblant le taxon des urodèles pour délimiter les buffers de dispersion.

Résultats des scénarios et utilisations

Pour rappel, l'insertion préconisée des ZTHA sur un territoire fortement drainé, pour qu'elles soient significativement efficaces dans l'amélioration de la qualité de l'eau (réduction supérieure à 40%, Tournebize *et al.*, 2017), représente un ratio d'au moins 1 % de la surface du bassin versant amont drainé. Si l'on considère uniquement

la surface rurale du territoire (13 864 ha) ce ratio préconisé représente ici 138 ha.

Dans les résultats du tableau 2, on remarque que la couche route n'est jamais discriminante. En revanche la couche trame verte supprime de grandes surfaces avec un impact plus marqué si la biodiversité est prioritaire, ce qui illustre le manque de connectivité initial.

Après traitement INSPA, les surfaces calculées pour l'insertion des ZTHA sont variables selon le scénario choisi. Le scénario 3, qui est le plus restrictif dans l'analyse, dégage seulement 43,8 ha de surface éligible, alors que le scénario 4, le moins contraignant, propose 171,8 ha. Au regard de l'objectif de 138 ha, seul le scénario 4 est satisfaisant et excède même l'ambition fixée. Ainsi, toutes les surfaces ciblées ne sont pas forcément à retenir et un tri supplémentaire peut s'effectuer sur la base du critère de proximité avec un gouffre et de visites sur le terrain.

Les trois premiers scénarios n'atteignent pas la surface requise avec les différentes contraintes fixées, mais il reste envisageable d'atteindre l'objectif de 1 %, en élargissant la surface autour des ZTHA élémentaires identifiées (entités). Pour illustrer cette démarche, le tableau 2 présente le nombre d'entités de chaque scénario, où seules les entités de plus de 1 000 m² sont retenues pour supprimer les artefacts générant des surfaces trop petites pour un aménagement. On obtient ainsi la surface moyenne des ZTHA de chaque scénario pour atteindre les 138 ha de l'objectif initial de 1 % du bassin versant amont drainé.

Deux tendances se dégagent : les scénarios 1 et 4 avec une surface moyenne des ZTHA plus faible (< 1,25 ha) et les scénarios 2 et 3 avec une surface moyenne des ZTHA plus importante (> 1,75 ha). Cette information demeure indicative, car la surface d'une ZTHA aménagée, même élargie par rapport au calcul d'INSPA, devra tant que possible s'adapter à la surface de son bassin versant contributeur et du foncier disponible. On notera la parti-

cularité du scénario 1 qui n'atteint que 67 % de la surface préconisée, et en revanche, présente le nombre d'entités maximum car il n'intègre pas de contrainte écologique forte dans son calcul.

Le scénario 4 est retenu puisque c'est le plus réaliste dans l'optique d'atteindre l'objectif de 1%. La figure 5 présente le résultat de l'analyse INSPA avec en rouge les zones prioritaires retenues pour l'insertion de ZTHA sur le territoire. Au centre de la carte certains espaces sont dépourvus de zones favorables à l'insertion de ZTHA, notamment au sud de Maison-Rouge et du Clos-Fontaine car les distances entre cœurs de biodiversité sont trop importantes et l'espèce cible ne pourra pas se déplacer sur de telles distances. Pour permettre une insertion sur ces espaces trop homogènes, une avancée pas à pas est une démarche envisageable (figure 2).

En effet, une première étape consistera à l'aménagement de ZTHA dans les zones prioritaires en rouge sur la carte. Après quelques années, elles présenteront une certaine stabilité et maturité écologique. Il sera possible de les intégrer pour une nouvelle analyse INSPA incluant ces nouveaux éléments de paysage. Cette analyse permettra d'étendre le critère prioritaire (rouge) aux zones potentielles (orange). En réitérant cette démarche après colonisation et stabilisation de ces zones potentielles, elles deviendront elles-mêmes un nouveau relai permettant d'inclure de nouveaux sites comme les zones secondaires (en jaune). Il faudra cependant confirmer la maturité écologique de la ZTHA à l'aide d'indicateurs bio-

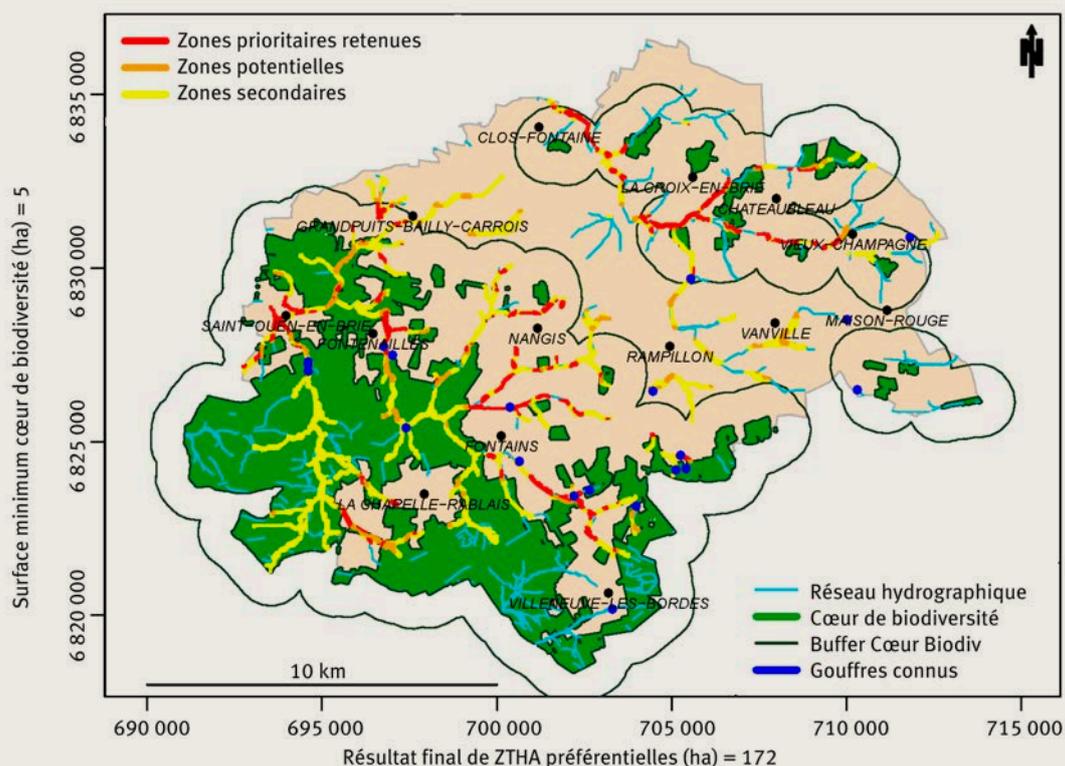
1 Présentation des couches retenues et des différents scénarios avec leurs buffers associés.

Critères →	Hydrologiques (mètre)		Écologiques (mètre)		
	MHYST	Hydro	Trame verte	Cœur de biodiversité	Routes
S1 EAU	0	25	50	[50-1000]	5
S2 BIODIV	10	50	25	[50-500]	10
S3 EAU&BIODIV +	0	25	25	[50-500]	10
S4 EAU&BIODIV -	1010	50	50	[50-500]	5
Enjeux	Eau	Eau & Corridor	Corridor	Dispersion	Barrière
Origine couche	INRAE	INRAE & IGN	SRCE IDF & Ecomos IDF	SRCE IDF	IGN

2 Résultats des surfaces potentielles (ha) pour chaque analyse selon les quatre scénarios.

Analyses / Scénarios	S1 EAU	S2 BIODIV	S3 EAU&BIODIV +	S4 EAU&BIODIV -
A1 – Intersect (MHYST & Hydro)	584	1090	584	1090
A2 – Différence (A1 & Routes)	578	1072	574	1078
A3 – Intersect (A2 & TrameVerte)	165	175	113	300
A4 – Intersect (A3 & CœurBiodiv)	92,6	68,1	43,8	171,8
Ratio de l'objectif 138 ha (%)	67%	49%	32%	124%
Nombre d'entités (>1 000 m ²)	132	79	72	111
Surface moyenne des ZTHA (ha) : pour objectif 1%	1,05	1,75	1,92	1,24

5 INSPA utilisé avec le scénario 4 sur le territoire Brie'Eau.



1 VALIDATION TERRAIN DU MODÈLE INSPA

Le modèle INSPA est un outil géomatique d'aide à la décision qui nécessite cependant de se confronter à la réalité du terrain pour valider les résultats ciblés. Une première étape est la photo-interprétation pour s'assurer que les cibles soient dans une zone favorable et non au milieu d'un champ ou chez un particulier. Il convient ensuite de se rendre sur place pour une analyse technique des sites. Cette réflexion peut être appuyée par le *Guide technique à l'implantation des zones tampons humides artificielles* (Tournebize *et al.*, 2015).

Sur le terrain, avoir des regards complémentaires afin de confirmer le potentiel du site, est essentiel. En effet, il est important d'appréhender les critères écologiques, hydrauliques, économiques et sociologiques pour estimer la faisabilité des travaux.

Pour illustration, parmi les zones prioritaires rouges ciblées par INSPA, huit zones ont été retenues à proximité de gouffres. Lors de la visite terrain, six zones offrent réellement la possibilité d'insertion de ZTHA, ce qui montre l'efficacité d'INSPA. Le premier des deux sites non retenus offre trop peu d'espace non cultivé, de plus le fossé trop encaissé ne permettrait pas de capter et de restituer l'eau par gravité sauf pour un volume trop limité. Pour le second site invalidé, il se trouve en bout d'une piste d'atterrissage d'aéromodélisme et le club ne verrait sans doute pas d'un bon œil l'ajout d'une difficulté supplémentaire pour les manœuvres délicates. D'où l'intérêt de valider *in situ* une zone pré-ciblée.

1 Visite terrain pour valider un des sites potentiels résultant du modèle INSPA (juin 2018).



logiques. Concrètement, les limites de déplacement de l'espèce cible resteront fixées à 1 000 m, mais la frange de dispersion pourra se propager dès lors qu'une ZTHA de l'étape antérieure aura été implantée et ce jusqu'à établir une mosaïque paysagère favorisant un corridor discontinu fonctionnel ou « pas japonais ». Cependant, il est important de noter que le processus d'« écologisation » du territoire nécessitera du temps et un suivi par évaluation ou une analyse de la réussite/échec au cas par cas pour adapter au mieux l'insertion des zones tampons dans un objectif de mutualisation des services.

Conclusion et perspectives

Si des guides techniques existent déjà pour l'aide à l'implantation des ZTHA (Catalogne *et al.*, 2016), le modèle INSPA a pour but de proposer une localisation potentielle sur un territoire par une approche géomatique mutualisant des enjeux hydrologiques et écologiques. En outre, Il permet une planification temporelle des actions en prévoyant l'insertion de ZTHA étape par étape pour constituer une mosaïque paysagère fonctionnelle, c'est donc un outil stratégique pour les gestionnaires du territoire.

Testé sur le territoire Brie'Eau, INSPA peut servir à la fois à la reconquête de la qualité de l'eau et au maintien de la biodiversité en utilisant le réaménagement territorial de façon concertée. Il sert à cibler ou pré-identifier des zones prioritaires, évitant une reconnaissance exhaustive et fastidieuse de tout un territoire. C'est néanmoins un outil théorique et la confirmation du potentiel des sites prioritaires par une visite terrain reste une étape incontournable pour confirmer l'analyse ainsi que la faisabilité de la création d'une ZTHA avant de lancer les nombreuses démarches nécessaires (encadré 1). Ce travail de reconnaissance terrain est aussi un moment pragmatique pour réfléchir à d'autres actions écologiques en faveur

de la qualité de l'eau et de la biodiversité telles que la diversification du lit du cours d'eau et/ou la plantation de haies, voire de ripisylve.

Enfin, dans la mesure où plusieurs enjeux d'aménagements sont mutualisés autour d'un même objet écologique, l'outil INSPA peut servir d'interface et d'outil d'aide à la décision favorisant le dialogue entre tous les acteurs du territoire. ■

Les auteurs

Guillaume LETOURNEL*

Université Paris-Saclay, INRAE, UR HYCAR, 92160 Antony, France.

* Actuellement chargé de projets Environnement au Comité ZIP du Haut Saint-Laurent, Salaberry-de-Valleyfield, QC J6S 2N9, Québec, Canada.

✉ guillaume.letournel@hotmail.fr

Charlène PAGES

Biotope, Agence bassin parisien, 25 impasse Mousset, 75012 Paris, France.

✉ cpages@biotope.fr

Cédric CHAUMONT et Julien TOURNEBIZE

Université Paris-Saclay, INRAE, UR HYCAR, 92160 Antony, France.

✉ cedric.chaumont@inrae.fr

✉ julien.tournebize@inrae.fr

François BIRMANT et Laëtitia PERRIER

AQUI'Brie, 145 quai Voltaire, 77190 Dammarie-les-Lys, France.

✉ contact@aquibrie.fr

Cédric REBOLHO*

Université Paris-Saclay, INRAE, UR HYCAR, 92160 Antony, France.

* Actuellement chargé d'affaire à Axa Assurance, 75000 Paris, France.

Remerciements

Le projet Brie'Eau a été financé par le programme « Pour et sur le développement régional » (PSDR 2016-2020, région Île-de-France, INRAE, AgroParisTech) et par le Piren-Seine.

Les auteurs remercient les agriculteurs, le Syndicat mixte des Quatre Vallées de la Brie, les collectivités de Nangis et de Rampillon.

EN SAVOIR PLUS...

- 📖 Site internet du projet Brie'Eau : <https://artemhys.inrae.fr/projets/projet-brieeau>
- 📖 CATALOGNE, C., LE HÉNAFF, G. (coordinateurs), 2016, *Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole*, élaboré dans le cadre du groupe technique Zones tampons, Agence française pour la biodiversité, collection Guides et protocoles, 64 p., http://oai.afbiodiversite.fr/cindocoai/download/PUBLI/1032/1/2017_020.pdf_15580Ko
- 📖 KADLEC, R.-H., 2012, Constructed marshes for nitrate removal, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 42, p. 934-1005, <https://doi.org/10.1080/10643389.2010.534711>
- 📖 LETOURNEL, G., 2017, *Peut-on concilier les enjeux Eau et Biodiversité dans les zones tampons humides artificielles de Rampillon (77) ?*, Rapport de stage, Irstea, 30 p.
- 📖 REBOLHO, C., ANDRÉASSIAN, V., LE MOINE, N., 2018, Inundation mapping based on reach-scale effective geometry, *Hydrology and Earth System Sciences, European Geosciences Union*, vol. 22(11), p. 5967-5985, <https://doi.org/10.5194/hess-2018-146>
- 📖 TOURNEBIZE, J., CHAUMONT, C., MARCON, A., MOLINA, S., BERTHAULT, D., 2015, *Guide technique à l'implantation des zones tampons humides artificielles (ZTHA) pour réduire les transferts de nitrates et de pesticides dans les eaux de drainage*, Rapport Irstea-Onema, 60 p., <https://hal.inrae.fr/hal-02599350/document>
- 📖 TOURNEBIZE, J., CHAUMONT, C., MANDER, Ü., 2017, Implications for constructed wetlands to mitigate nitrate and pesticide pollution in agricultural drained watersheds, *Ecological Engineering*, vol. 103, p. 415-425, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.02.014>
- 📖 TOURNEBIZE, J., HENINE, H., CHAUMONT, C., 2020, Gérer les eaux de drainage agricole : du génie hydraulique au génie écologique, *Sciences Eaux & Territoires*, n° 32, p.32-41, <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2020.2.06>

Dans ce même numéro :

- 📖 LETOURNEL, G., PAGES, C., CHAUMONT, C., SEGUIN, L., TOURNEBIZE, J., 2021, Biodiversité et services écosystémiques des zones tampons humides artificielles de Rampillon – Seine-et-Marne (77), *Sciences Eaux et Territoires*, p. xx-xx.
- 📖 LETOURNEL, G., CHAUMONT, C., LEBRUN, J., BIRMANT, F., TOURNEBIZE, J., 2021, Qualité de l'eau et écotoxicologie des zones tampons humides artificielles de Rampillon – Seine et Marne (77), *Sciences Eaux et Territoires*, p. xx-xx.