



**HAL**  
open science

## **Rapport final du projet INTERFACE (2022-2023) : Modélisation de réseaux multi-habitats pour la conservation intégrée des milieux d'interface**

Céline Clauzel, Marion Bailleul, Christophe Eggert, Claire Godet, Claude  
Miaud, Simon Tarabon, Gilles Vuidel

### ► To cite this version:

Céline Clauzel, Marion Bailleul, Christophe Eggert, Claire Godet, Claude Miaud, et al.. Rapport final du projet INTERFACE (2022-2023) : Modélisation de réseaux multi-habitats pour la conservation intégrée des milieux d'interface. Université paris 1 Panthéon- Sorbonne; Ladyss UMR CNRS 7533. 2023. hal-04298953

**HAL Id: hal-04298953**

**<https://hal.science/hal-04298953>**

Submitted on 21 Nov 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# RAPPORT FINAL DU PROJET INTERFACE (2022-2023)

## Modélisation de réseaux multi-habitats pour la conservation intégrée des milieux d'interface

**Responsable :** Céline CLAUZEL, UMR 7533 LADYSS CNRS, Université Paris I Panthéon-Sorbonne ([celine.clauzel@univ-paris1.fr](mailto:celine.clauzel@univ-paris1.fr))

**Auteurs :** Marion Bailleul, Céline Clauzel, Christophe Eggert, Claire Godet, Claude Miaud, Simon Tarabon, Gilles Vuidel.

Le projet INTERFACE a été financé par la Fondation française pour la recherche sur la biodiversité (FRB), le ministère de la Transition écologique (MTE) et l'Office français de la biodiversité (OFB). Sa réalisation est le fruit d'un travail collectif, regroupant plusieurs personnes qui ont contribué activement aux discussions, aux développements méthodologiques et à la réalisation du projet dans son ensemble. Il s'agit de chercheuses et chercheurs en géographie, écologie et informatique (Christophe Eggert, Jean-Christophe Foltête, Stéphane Garnier, Claire Godet, Claude Miaud, Paul Savary, Simon Tarabon, Gilles Vuidel), d'acteurs opérationnels (Marion Bailleul), de gestionnaires administratifs (Myriam Djedi, Bénédicte MacGrégor, Faïza Mohamed-Said) et d'étudiants de Master (Sabrina Ferdjoux, Christelle Fleutry, Léo Kizirian, Lili Pasquet).

### Résumé du projet

Le projet INTERFACE est adossé au projet TRAMARE (2019-2022) dédié à l'analyse des réseaux de mares en Île-de-France. Il bénéficie ainsi d'un réseau de partenaires opérationnels et d'un accès facilité aux données géographiques et biologiques. Le projet vise à explorer une problématique méconnue de gestion de la biodiversité soulevée par les participants aux ateliers TRAMARE : comment analyser la connectivité fonctionnelle des milieux d'interface qui recouvrent une variété d'habitats. Pour cela, l'objectif est d'identifier et de caractériser la "trame turquoise" et d'utiliser ces connaissances pour recommander des actions pertinentes de préservation et de restauration des habitats dans une perspective multi-espèces. En englobant la trame bleue et la partie de la trame verte en forte interaction fonctionnelle avec la trame bleue, ce réseau composite apparaît stratégique pour la conservation des espèces liées aux milieux d'interface comme les amphibiens, les odonates ou certains chiroptères. L'enjeu scientifique et opérationnel du projet INTERFACE est donc de construire un modèle innovant de réseaux multi-habitats afin de développer des indicateurs permettant d'évaluer la connectivité de la trame turquoise de manière intégrée, mais aussi la connectivité de certains habitats comme les mares et les zones humides de manière séparée mais

non cloisonnée, c'est-à-dire en tenant compte des interactions spatiales fonctionnelles entre les différents milieux. Notre hypothèse est qu'une approche par un réseau multi-habitats est plus pertinente qu'une approche basée sur plusieurs réseaux mono-habitats pour étudier les relations entre la connectivité du paysage et la biodiversité. Par exemple, on peut imaginer qu'une mare isolée géographiquement d'autres mares mais proche d'un réseau dense de zones humides ou d'une forêt sera moins isolée fonctionnellement et accueillera donc une biodiversité plus riche qu'un micro-réseau de quelques mares regroupées dans un paysage uniforme. Pour tester cette hypothèse, le projet consiste à :

- Co-construire avec les partenaires un modèle de graphe multi-habitats pour caractériser la trame turquoise et évaluer l'impact des activités anthropiques sur la connectivité pour les espèces liées à ce réseau composite, comme les amphibiens déjà étudiés dans le projet TRAMARE et des espèces supplémentaires comme le campagnol amphibie (*Arvicola sapidus*).
- Comparer les valeurs de connectivité déjà obtenues à partir d'une approche mono-habitat (projet TRAMARE) et celles obtenues à partir d'une approche multi-habitat, avec des données biologiques (richesse spécifique, abondance) pour déterminer quelle approche est la plus pertinente pour expliquer la présence et l'abondance des espèces cibles.
- Proposer des actions pour réduire l'impact des pressions anthropiques et améliorer la connectivité de ce réseau composite dans une perspective de conservation multiespèces.

La description des travaux reprend la structuration du projet en 5 grands volets (Fig.1).

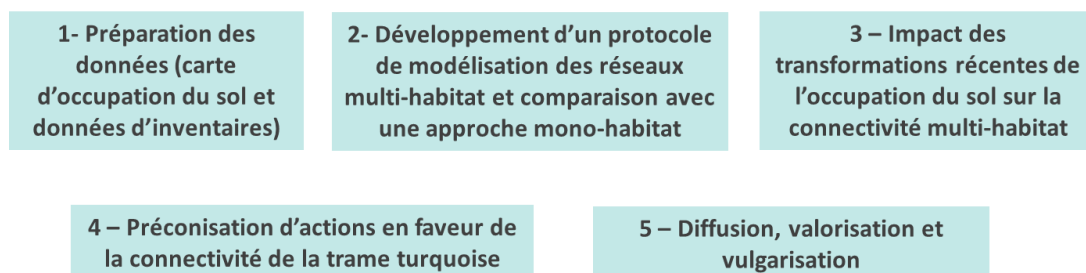


Fig.1 : Organisation du projet INTERFACE en 5 volets

## Volet I – Préparation des données d'inventaires et d'occupation du sol

Le projet INTERFACE prend comme terrain d'étude une partie du département de l'Essonne en Ile-de-France, soit une surface de 1080 km<sup>2</sup> qui englobe les vallées de l'Orge, la Juine et l'Essonne (Fig.2). L'occupation du sol est principalement occupée par l'agriculture (53 %) et la forêt (24 %). Les zones humides et les zones urbanisées occupent respectivement 3 % et 9 % de la zone d'étude. [L'inventaire des mares d'Ile-de-France](#) de la Société nationale pour la protection de la nature (SNPN) y recense 952 mares, dont 529 (56 %) ont été identifiés par photo-interprétation (présence potentielle) et les 423 autres (44 %) confirmés par une observation de terrain. Les mares se trouvent dans les forêts (37 %), les terres cultivées et les prairies (28 %), les espaces verts urbains (27 %) et d'autres zones telles que les carrières ou les dépendances vertes des infrastructures de transport (6 %). Outre ces mares potentielles et confirmées, 54 mares sont indiquées comme ayant disparu (asséchées ou comblées de manière permanente) entre 2008 et 2021.

La première étape du projet a consisté à collecter des données d'observation sur les espèces liées à la trame turquoise sur le secteur d'étude. Ces données proviennent de trois bases de données : [INPN-OpenObs](#) et [GEONAT>IDF](#) en accès libre, ainsi qu'une base de données interne transmise par la [LPO-Ile-de-France](#).

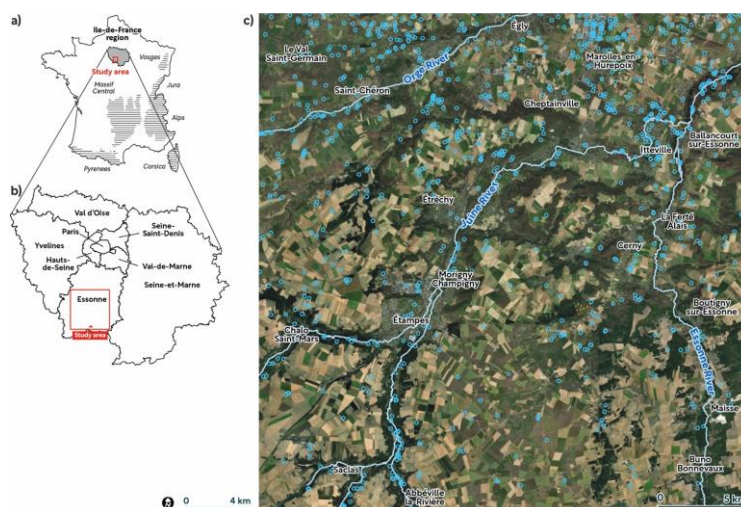


Fig.2 : Localisation du terrain d'étude du projet INTERFACE (Source : S.Tarabon)

Les données d'occurrence ont été homogénéisées avant d'être agrégées, et les doublons supprimés. Notre étude a porté sur neuf espèces d'amphibiens présentes dans le département de l'Essonne (Tab.1). Sur les 858 points, 33 % contiennent des informations sur l'abondance des espèces observées. L'espèce ayant le plus d'occurrences est la grenouille agile (n=324) alors que l'occurrence la plus faible (n=3) concerne la rainette verte.

Groupes	Espèces	Nombre total de points d'observation	Nb points avec abondance	Nombre d'individus (abondance)	
<b>Group 1</b>	<b>Total</b>	<b>133</b>	<b>64</b>	<b>556</b>	
	<i>DistM:75 m</i> <i>DistD:150 m</i>	Triton palmé ( <i>Lissotriton helveticus</i> )	114	59	524
		Triton ponctué ( <i>Lissotriton vulgaris</i> )	19	5	32
<b>Group 2</b>	<b>Total</b>	<b>451</b>	<b>123</b>	<b>1555</b>	
	<i>DistM:500 m</i> <i>DistD:1 km</i>	Grenouille agile ( <i>Rana dalmatina</i> )	324	100	1244
		Grenouille rousse ( <i>Rana temporaria</i> )	90	12	239
		Triton crêté ( <i>Triturus cristatus</i> )	18	9	59
Rainette verte ( <i>Hyla arborea</i> )		3	2	13	
<b>Group 3</b>	<b>Total</b>	<b>284</b>	<b>126</b>	<b>1165</b>	
	<i>DistM:500 m</i> <i>DistD:1 km</i>	Grenouille Rieuse ( <i>Pelophylax ridibundus</i> )	164	79	663
		Grenouille verte ( <i>Pelophylax kl. esculentus</i> )	67	25	190
Pélodyte ponctué ( <i>Pelodytes punctatus</i> )		53	22	312	

	<b>Total</b>	<b>858</b>	<b>283</b>	<b>3276</b>
--	--------------	------------	------------	-------------

Tab.1 : Groupe d'amphibiens étudié, nombre de points d'observation et d'individus. *DistM* est la distance de migration ; *DistD* est la distance maximale de dispersion.

La seconde étape a consisté à construire une carte d'occupation du sol regroupant l'habitat aquatique (plan d'eau), les habitats terrestres ainsi que les éléments paysagers facilitant ou au contraire freinant les déplacements des amphibiens. Cette carte de 5 m de résolution combine le [MOS de l'Institut Paris Région](#), la BD TOPO® de l'IGN pour les bâtiments, les infrastructures de transport, les haies et les cours d'eau, la typologie des zones humides de la Direction régionale et interdépartementale de l'Environnement, de l'Aménagement et des Transports (DRIEAT), et l'inventaire participatif des mares.

## Volet 2 – Développement d'un protocole de modélisation des réseaux multi-habitats et comparaison avec une approche mono-habitat

La modélisation des réseaux écologiques par la théorie des graphes s'est largement développée ces dernières années, grâce notamment à l'outil Graphab. Dans l'approche classique, un réseau écologique est modélisé par un graphe dans lequel les nœuds correspondent soit à une catégorie d'occupation du sol, soit à plusieurs catégories d'occupation du sol fusionnées. Par conséquent, les différences entre les types d'habitat sont gommées. Les liens du graphe peuvent être élagués à différentes distances en fonction des capacités de déplacement de l'espèce considérée, mais ils relient toujours des paires du même type d'habitat, par exemple entre les habitats de reproduction pour la dispersion (Fig. 3a). Or, cette approche ne reflète pas complètement la réalité pour les amphibiens car les connexions entre les habitats de reproduction ne sont pas directes mais passent nécessairement par un habitat terrestre intermédiaire utilisé l'hiver.

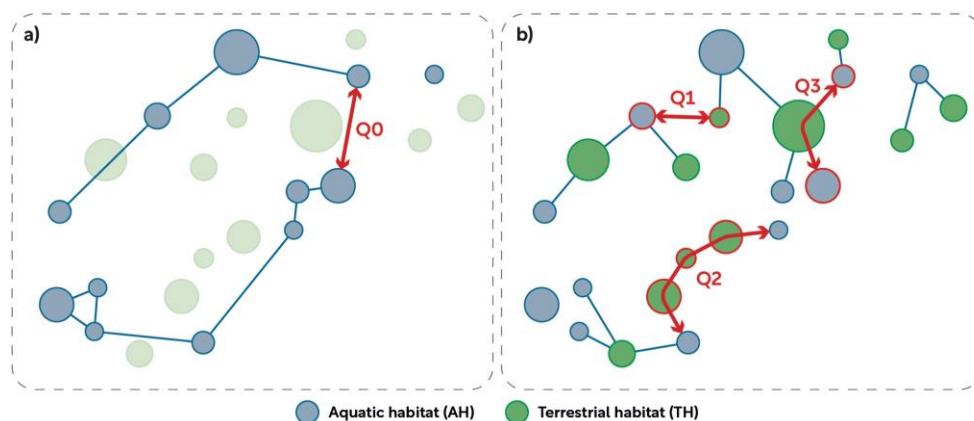


Fig.3 : (a) Comparaison de la connectivité mono-habitat (entre habitats aquatiques à l'échelle de dispersion -Q0-) et (b) de la connectivité multi-habitats (entre habitats aquatiques et terrestres à l'échelle de la migration -Q1- et de la dispersion -Q2, Q3-). Pour chaque processus écologique, les taches d'habitat focales (pour lesquelles les valeurs sont calculées) sont représentées par un cercle rouge. (Source : S.Tarabon)

Dans l'approche multi-habitat développée dans le cadre du projet INTERFACE, les nœuds correspondent à plusieurs catégories d'occupation du sol regroupées en deux types d'habitats distincts : les habitats aquatiques et les habitats terrestres (Fig.3b). À partir de ces deux ensembles de nœuds, un jeu de liens inter-habitat est calculé, reliant des paires d'habitats de types différents. À partir de ce graphe bipartite, différents types de connectivité peuvent être mesurés en choisissant le(s) type(s) d'habitat et la distance correspondant au

processus ciblé. Pour s'adapter au cycle de vie biphasique des amphibiens, la connectivité a été évaluée à l'échelle de la migration et de la dispersion. À l'échelle de la migration saisonnière, la connectivité (Fig.3b, Q1) est mesurée entre les habitats aquatiques et terrestres afin d'évaluer l'intensité du flux potentiel d'individus (métrique Flux) entre les habitats de différents types, c'est-à-dire les mares connectées aux habitats terrestres et, inversement, les habitats terrestres connectés aux mares. À l'échelle de la dispersion, la connectivité a été mesurée soit au niveau de l'habitat terrestre, soit au niveau de l'habitat aquatique. Dans le premier cas (Fig.3b, Q2), nous avons évalué la capacité des habitats terrestres à faciliter la dispersion entre les habitats aquatiques (métrique Centralité intermédiaire), c'est-à-dire les habitats terrestres qui constituent des étapes intermédiaires entre deux saisons de reproduction. Dans le second cas, nous avons évalué la capacité des habitats aquatiques à émettre ou recevoir un flux d'individus (Fig.3b, Q3, métrique Flux), en ne considérant que les connexions indirectes à travers un habitat terrestre pour relier deux sites de reproduction.

L'approche multi-habitat a nécessité le développement d'une nouvelle version du logiciel Graphab (v.3.0, sortie prévue début 2024) réalisée par le laboratoire [Thema](#) à Besançon.

Les graphes modélisant les réseaux écologiques de chaque groupe (voir l'exemple de la Fig.4 pour le groupe 2) révèlent des réseaux écologiques longeant les cours d'eau. Dans le graphe mono-habitat (Fig.4a), les liens ne relient que les habitats aquatiques alors que dans le graphe multi-habitat (Fig.4b), les liens relient des habitats de type différent. Malgré le plus grand nombre d'habitat, la structure du réseau est globalement similaire, ce qui signifie que les habitats terrestres sont principalement concentrés dans les vallées dans des zones déjà connectées. L'approche multi-habitat (Fig.4cd) révèle également des secteurs potentiellement fonctionnels qui étaient absents de l'approche mono-habitat, en particulier autour de Marolles-en-Hurepoix, Etréchy et Saint-Chéron.

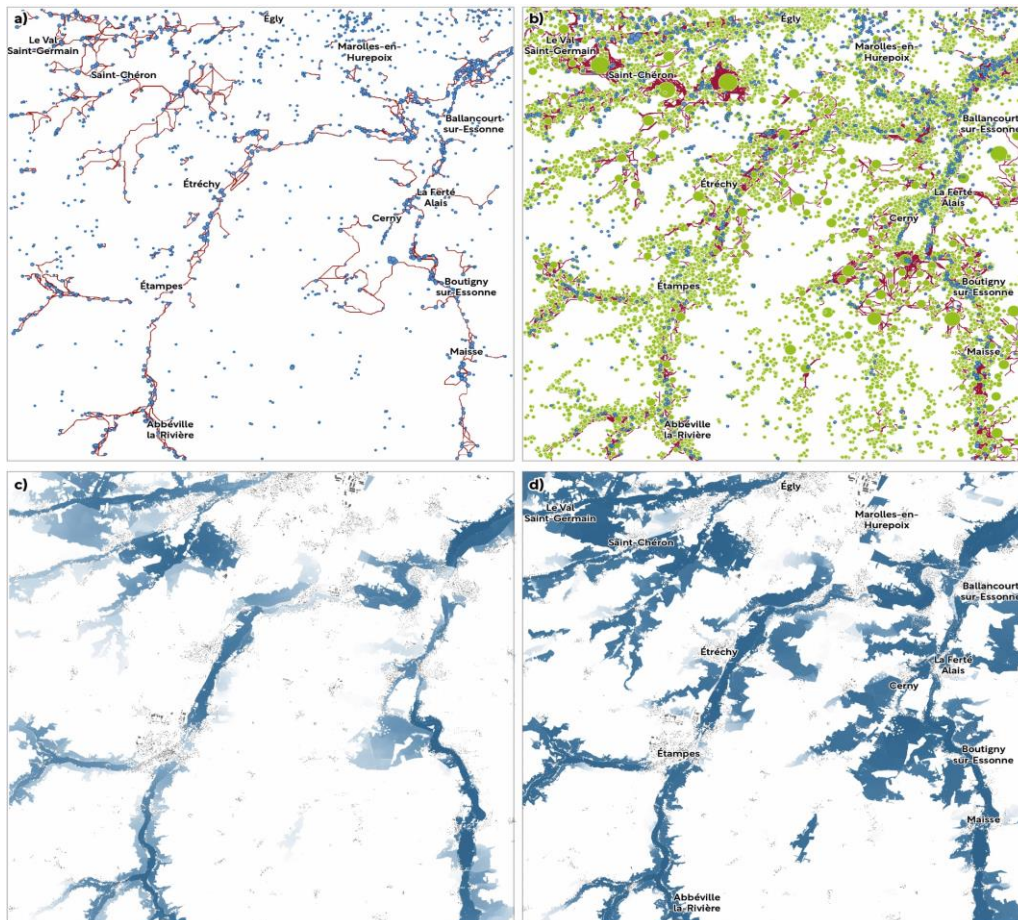


Fig.4. Graphe modélisant le réseau écologique du groupe 2 (en haut) et distribution spatiale des valeurs de connectivité à l'échelle de dispersion (en bas), en utilisant une approche mono-habitat (à gauche) ou multi-habitat (à droite). Les points bleus représentent les habitats aquatiques, les points verts les habitats terrestres. Les lignes rouges représentent les chemins de moindre coût entre (a) les habitats aquatiques ou (b) les habitats aquatiques et terrestres. (Source : S.Tarabon)

Pour évaluer l'intérêt de l'approche multi-habitat pour expliquer la biodiversité, nous avons comparé les valeurs de connectivité des taches d'habitat avec la présence, l'abondance et la richesse spécifique observées dans ces mêmes taches. Les résultats révèlent que quelle que soit l'approche, mono- ou multi-habitat, les valeurs de connectivité sont corrélées positivement à la biodiversité, en particulier à l'échelle de la dispersion (Q0 ou Q3). Même si les deux approches sont significatives, la connectivité multi-habitat obtient pour l'ensemble des groupes de meilleurs résultats que la connectivité mono-habitat.

Ces résultats montrent que l'évaluation de la connectivité à l'échelle de la dispersion en considérant uniquement les connexions inter-habitats (habitats aquatiques et terrestres) est plus explicative de l'abondance et la diversité des espèces qu'avec des connexions directes entre les habitats aquatiques. Ces résultats peuvent être liés au contexte paysager de notre zone d'étude qui contient de nombreux habitats favorables à proximité des sites de reproduction, l'ensemble étant relativement circonscrit dans les vallées. La généralisation du protocole à d'autres contextes paysagers permettra de préciser la contribution et les limites des réseaux multi-habitat.

## Volet 3 – Impact des transformations de l’occupation du sol sur la connectivité multi-habitat

### 3.1. Impacts des transformations récentes de l’occupation du sol (2008-2021)

Les transformations de l’occupation du sol survenues entre 2008 et 2021 (Fig.5), ont été regroupées en 21 transitions (par exemple, des haies aux cultures, des plans d’eau aux zones urbaines, des forêts aux routes, etc.). L’impact de chacune de ces transitions a été évalué séparément puis globalement sur la connectivité à l’échelle de la migration et de la dispersion.

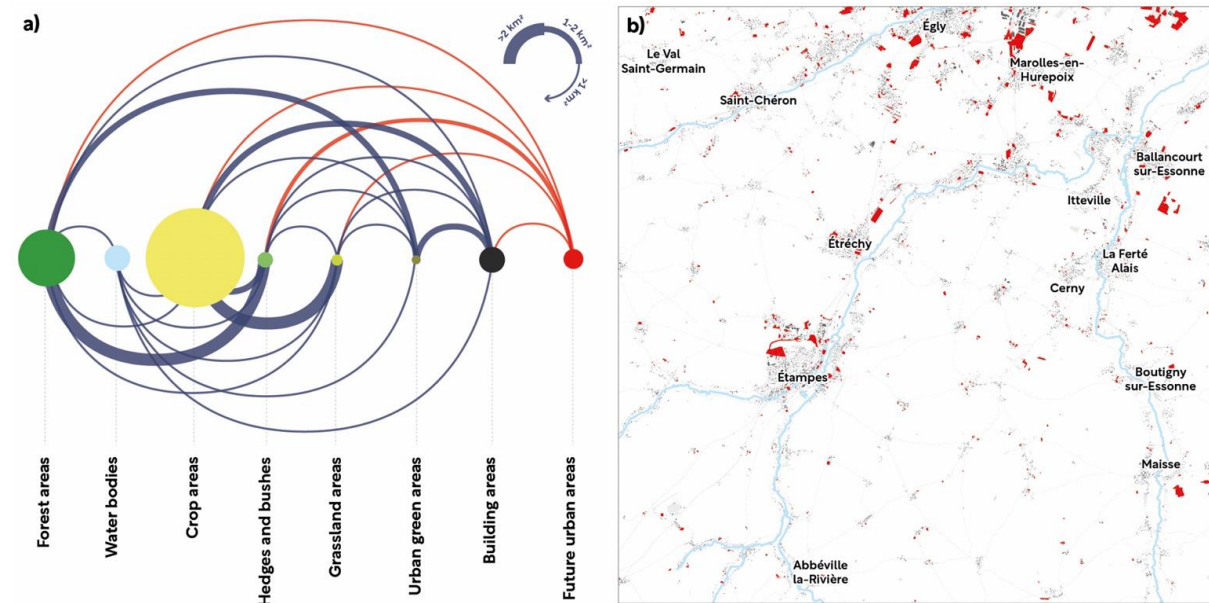


Fig.5 : (a) Principaux changements de l’occupation du sol entre 2008 et 2021 (liens en bleu) et prise en compte des changements induits par les futures zones urbaines planifiées (liens en rouge) et (b) localisation de ces futures zones urbaines (en rouge). (Source : S.Tarabon)

L’ensemble des changements d’occupation du sol depuis 2008 a entraîné une diminution moyenne de la connectivité de -7,3 %, sans différence significative entre les processus de migration et de dispersion, ni entre les groupes d’espèces. En fonction des types de transition paysagère, les impacts peuvent varier. La création d’habitats aquatiques a un effet très positif quel que soit le type d’occupation du sol initial. Cela est d’autant plus fort que les surfaces concernées sont très faibles. À l’inverse, les impacts négatifs les plus importants concernent la perte d’habitats terrestres, pour lesquels à l’inverse de très grandes surfaces peuvent être concernées. Il s’agit notamment de la transformation de forêts en espaces verts urbains (jusqu’à 1,4 km<sup>2</sup> cumulé) et de la transformation de prairies en cultures ou en zones artificialisées (2,9 et 1 km<sup>2</sup>, respectivement).

Les résultats montrent que la connectivité multi-habitat a diminué au cours de la dernière décennie malgré la création de plans d’eau (qui s’avèrent être principalement des bassins de collecte des eaux de pluie dans le cadre de nouveaux projets urbains). Cette diminution est principalement due à la conversion des milieux naturels et semi-naturels à des fins agricoles ou urbaines, et à la fragmentation des habitats terrestres. Alors que le département de l’Essonne ne représente que 15 % de la superficie de la région Ile-de-France, il a fait l’objet d’un nombre important de projets d’aménagement et représente environ 20 % des espaces naturels perdus dans la région au cours de la dernière décennie (2008-2017, données Institut d’Ile-de-France).



### 3.2. Impacts des transformations futures de l'occupation du sol

L'approche prospective est décomposée en deux axes. Le premier se focalise sur les changements planifiés de l'occupation du sol en particulier les zones classées « à urbaniser » issues des plans locaux d'urbanisme (<https://www.geoportail-urbanisme.gouv.fr/>), le second se focalise sur les changements potentiels liés au changement climatique qui pourrait conduire à rendre une partie des mares non fonctionnelles (eutrophisation, température excessive de l'eau, assèchement précoce, etc.).

Contrairement aux changements passés de l'occupation du sol, l'impact des 277 ha d'urbanisation planifiée sur la connectivité de la trame turquoise est proche de zéro. Cette quasi-absence d'impact s'explique par la localisation de ces zones sur les plateaux en périphérie des villes (Fig.5b) dans des secteurs déjà peu favorables aux amphibiens. Les vallées sont relativement épargnées, soit parce qu'elles sont déjà urbanisées, soit parce qu'elles sont protégées.

Si la trame turquoise ne serait a priori pas impactée par cette future urbanisation, les autres continuités terrestres seraient en revanche largement concernées. Seuls 27 % des futures zones prévues pour l'urbanisation se situent sur des terrains déjà artificialisés, 22 % correspondent à des terres actuellement cultivées, 23 % à des zones arbustives, 15 % à des forêts et 13 % à des prairies, entraînant ainsi une perte de plus de 140 ha de milieux naturels et semi-naturels.

Concernant les transformations potentielles liées au changement climatique, nous avons élaboré trois scénarios dans lesquels 10 %, 25 % et 50 % des mares ne sont plus fonctionnelles. Comme l'intensité de l'impact peut varier fortement en fonction de l'emplacement des mares concernées, nous avons tiré aléatoirement cinq ensembles de mares pour chaque scénario et avons calculé la moyenne des impacts. En moyenne, les pertes de connectivité multi-habitat sont de -1,9 %, -9,3 % et -17,6 % pour les scénarios de 10 %, 25 % et 50 % de mares disparues, respectivement. Les impacts sont particulièrement forts à l'échelle de la dispersion puisqu'ils atteignent un maximum de -41,6 % pour le groupe 1 et de -19,2 % pour le groupe 2 pour les scénarios les plus pessimistes (50 %).

### 3.3. Fragmentation de la trame turquoise par les réseaux routiers

Ce volet a fait l'objet d'un mémoire de master dédié à l'analyse de la distribution spatiale des observations d'amphibiens et de reptiles écrasés le long des routes de l'Essonne. Une première tâche a consisté à trier les bases de données INPN, GEONAT'IDF, LPO qui regroupent des observations de toutes les espèces, d'organismes vivants ou morts, sur les 10 dernières années. Pour cela, une sélection attributaire a été réalisée pour ne garder que les amphibiens et les reptiles, et la section « commentaire » a été utilisée pour rechercher les mots clé « route », « écrasé » ou encore « bitume ». Le nombre de données retenues a été de 15 points issus de la base de la LPO, 97 de l'INPN et 167 de GEONAT'IDF, soit un total de 279 points d'observation sur les 19 964 points d'observations que contenaient ces trois bases sur les espèces de la trame turquoise. Chaque point peut correspondre à l'observation de 1 ou plusieurs individus écrasés à un endroit et une date donnée. Nous avons cherché à compléter sans succès ces données auprès de 4 structures différentes (APRR, Direction des routes d'Île de France, NaturEssonne, SNCF Réseau).

L'analyse des données montre un pic du nombre d'individu écrasé au mois de mars avec 2100 individus sur les 10 dernières années. Les mois de février et avril présentent également de grands effectifs (entre 500 et 1000 puis mai et novembre également dans une moindre mesure (entre 200 et 500 individus). Les autres mois ne dépassent pas 30 individus. Le crapaud commun (*Bufo bufo*) est l'espèce que l'on retrouve très majoritairement dans ces

données toute l'année, excepté en août et septembre. On observe d'autres espèces à des niveaux d'abondance très inférieur (parfois un seul individu) et sur certaines périodes de l'année : l'orvet (*Anguis fragilis*) à la fin du printemps et en été, la Couleuvre helvétique (*Natrix helvetica*) au printemps, été et début d'automne, la Grenouille agile (*Rana dalmatina*) et la Coronelle lisse (*Coronella austriaca*) au printemps et en automne. Trois espèces n'ont été observées qu'en juin, mois où on observe la plus grande diversité en espèce : le Lézard vert occidental (*Lacerta bilineata*), le Lézard des murailles (*Podarcis muralis*) et la Salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*) observée 1 fois chacune.

On observe une forte prévalence de février à mai, en particulier au mois de mars qui présente le plus grand nombre de données avec trois secteurs cumulant plus de 200 individus (D17, D116 et D21, Fig.6) et deux secteurs entre 100 et 200 individus (D448, D82). Le mois de novembre présente également une grande concentration d'individus écrasés sur les deux secteurs de la D17. Le tronçon de la D17 au sud et au nord d'Etrechy concentre une grande partie des observations d'écrasements sur l'ensemble de l'année. Ce secteur traverse des massifs forestiers et est à proximité de la Juine et de nombreuses zones humides sur le côté ouest de la route.

Sur les deux secteurs de la D17, deux dispositifs de traversées temporaires (crapaudromes) ont été installés à partir de 2017-2018 (<https://amphibiens.arb-idf.fr/?q=crapauducs>). Compte tenu de la récurrence des écrasements une grande partie de l'année, une installation permanente sous la forme d'un crapauduc pourrait être recommandée. Sur les autres secteurs, excepté au Val-Saint-Germain sur la D27 équipé d'un crapaudrome, aucun dispositif de franchissement n'est situé à proximité, alors même que le nombre d'écrasement dépasse parfois les 100 individus par point d'observation.

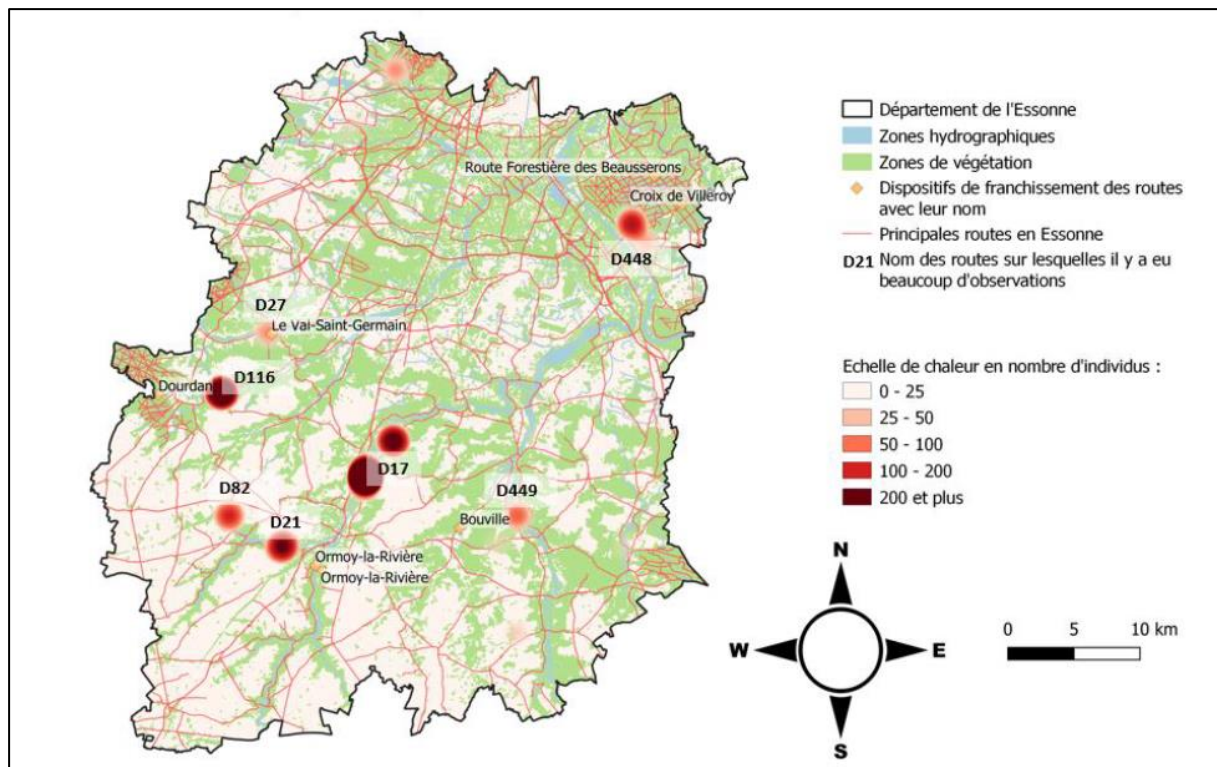


Fig.6 : Carte de chaleur pondérée par le nombre total d'individus d'amphibiens et de reptiles observés sur les routes en Essonne tous mois confondus. (Source : Léo Kizirian)

## Volet 4 – Préconisations d'action pour la connectivité de la trame turquoise

En collaboration avec le SIARJA, nous avons mené une analyse sur un sous-secteur de 155 km<sup>2</sup> au sud-ouest de l'Essonne. Le graphe (Fig.7) révèle une trame turquoise extrêmement fragmentée. Les connexions fonctionnelles entre habitats aquatiques et habitats terrestres sont peu nombreuses et majoritairement concentrées dans les vallées : celle de la Juine au nord et au sud d'Étampes et autour de ses affluents (la Louette, la Chalouette et la Murette) à l'ouest. Quelques micro-réseaux sont également présents en dehors des vallées dans des paysages agricoles (Boissy-le Sec par exemple) ou proche des zones urbanisées, mais leur isolement est tel que la connectivité y est quasi nulle. La trame turquoise présente ainsi une faible densité de connexions en raison de l'absence de mares dans certains secteurs pourtant occupés par des habitats terrestres (au sud d'Étampes ou dans les massifs boisés situés en dehors des vallées), et inversement de la présence de mares dans des secteurs sans habitat terrestre (sud de Boissy-le-Sec).

Le SIARJA mène depuis 2021 un programme de restauration de mares sur la zone. Nous avons saisi cette opportunité pour tester l'apport des réseaux multi-habitats pour identifier les secteurs qui amélioreraient le plus la connectivité fonctionnelle à l'échelle du paysage pour de futures restaurations de mares (habitat aquatique) et/ou de zones humides ou arbustives (habitat terrestre). À partir du graphe, une grille régulière de 100 m a été appliquée. La fonction « ajout de taches » du logiciel Graphab a permis de simuler l'ajout d'un habitat aquatique et/ou terrestre dans chaque cellule et de les hiérarchiser en fonction du gain de connectivité que procurerait son ajout.

Les résultats montrent que les plus forts gains de connectivité (en rouge sur la Fig.7) sont localisés en bordure des vallées. Selon la configuration initiale du réseau, certains secteurs apparaissent importants pour la restauration d'habitat aquatique seulement ou d'habitat terrestre, ou les deux cumulés. Les emplacements identifiés par le modèle ont ensuite fait l'objet d'une description précise de terrain (contexte paysager, type de sol, pente, présence de barrières ou de perturbations potentielles). Certains emplacements présentent un paysage très favorable pour la création d'une mare : localisés dans des zones humides, souvent proches des cours d'eau et d'autres mares, ou dans des sous-bois avec des mares temporaires. D'autres emplacements présentent des contraintes comme la proximité avec des routes ou le statut privé des parcelles. Enfin, certains emplacements identifiés par le modèle n'apparaissent finalement pas favorables comme les zones de forte pente qui rendent impossible le creusement d'une mare.

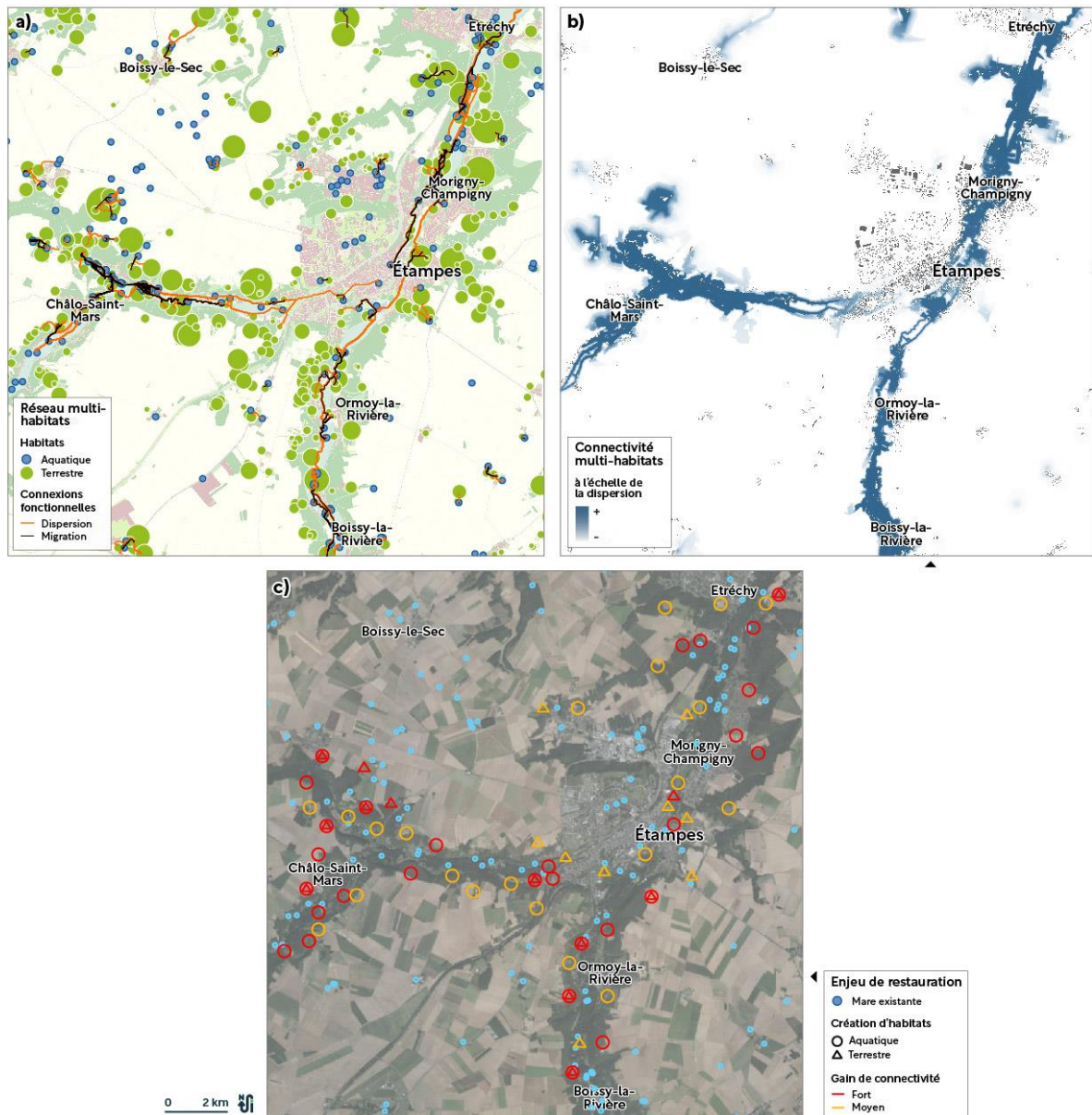


Fig.7. Apports des réseaux multi-habitat pour le diagnostic (a), la cartographie (b) et la restauration (c) de la trame turquoise (Source : S.Tarabon)

L'approche multi-habitat développée montre que certaines configurations paysagères sont favorables à la connectivité au sein de la trame turquoise. Les configurations les plus efficaces sont celles qui présentent une forte densité d'habitats aquatiques et terrestres connectés. Elles se retrouvent principalement dans les vallées mais aussi dans les zones forestières comportant un grand nombre de mares et où le paysage favorable offre une faible résistance aux mouvements.

## Valorisation du projet

Céline Clauzel, Christophe Eggert, Simon Tarabon, Lili Pasquet, Gilles Vuidel, Marion Bailleul, Claude Miaud, Claire Godet. Analyser la connectivité de la trame turquoise : définition, caractérisation et enjeux opérationnels. *Science, eaux et territoires* 43 <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2023.43.7642>

Céline Clauzel, Claire Godet, Simon Tarabon, Christophe Eggert, Gilles Vuidel, Marion Bailleul, Claude Miaud. From single to multiple habitat connectivity: the key role of composite ecological networks for amphibian conservation and habitat restoration. *Biological Conservation* (en révision)

Simon Tarabon, Claire Godet, Gilles Vuidel, Christophe Eggert, Marion Bailleul, Claude Miaud, Céline Clauzel. Turquoise infrastructure: assessing the impacts of global change on multi-habitat connectivity from a landscape management perspective. *Landscape and Urban Planning* (en révision).

### **Mémoires de master**

Lili Pasquet (2023). Trame turquoise et restauration/création de mares pour la conservation des amphibiens grâce à la modélisation et à l'analyse du terrain. M1 Géographie, Université Paris Cité.

Christelle Fleury (2022). Caractérisation de la biodiversité végétale en Essonne. M1 Biologie, Université Paris Cité.

Léo Kizirian (2022). Analyse des collisions faune/véhicule en Essonne. M1 Biologie, Université Paris Cité.

Sabrina Ferdjoukh (2022). Caractérisation de la biodiversité animale autour des mares en Essonne. M1 Biologie, Université Paris Cité.