

ALEXANDRE AUVRAY, FABIENNE FICAMOS, KARINE GREMION  
NILS LE BOT, PASCAL MARTY, ELODIE MARTIN-HACKETT  
MAYA RIVERA, YOHAN SAHRAOUI, SABINE THOMAS

# FRUGACITÉ, FORMES URBAINES DES QUARTIERS DE GARE OU À FORTES CONTRAINTES ET BIODIVERSITÉ



# **FRUGACITÉ**

---

**FORMES URBAINES DES QUARTIERS DE GARE  
OU À FORTES CONTRAINTES ET BIODIVERSITÉ**

**ALEXANDRE AUVRAY**

**FABIENNE FIGAMOS**

**KARINE GREMION**

**NILS LE BOT**

**PASCAL MARTY**

**ELODIE MARTIN-HACKETT**

**MAYA RIVERA**

**YOHAN SAHRAOUI**

**SABINE THOMAS**

Plan Urbanisme Construction Architecture  
Ministères Aménagement du Territoire, Transition écologique  
Arche Sud - 92055 La Défense cedex  
[www.urbanisme-puca.gouv.fr](http://www.urbanisme-puca.gouv.fr)

**Directeur de la publication**

François Ménard, secrétaire permanent par intérim du PUCA

**Responsable de l'action**

Sophie Carré, chargée de projets de recherche

**Coordination éditoriale et mise en page**

Bénédicte Bercovici, chargée de valorisation

ISBN : 978-2-11-139348-6

Photos : couverture : Parvis de la gare de la Verrière (78) @Yann Audic

p. 110 : © Bénédicte Bercovici, PUCA

Septembre 2025

# SOMMAIRE

---

<b>AVANT-PROPOS DU PLAN URBANISME CONSTRUCTION ARCHITECTURE</b>	04
<b>INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET</b>	08
<b>QUARTIERS DE GARE, ACTEURS ET PAYSAGES</b>	12
<b>La nouvelle nature des gares</b>	13
Gare et environnement	13
Le tournant écologique dans la planification des quartiers de gares	14
<b>Frugacité : étudier les relations entre formes urbaines des quartiers de gare et biodiversité</b>	16
Une entrée par la modélisation des réseaux écologiques à différentes échelles	16
Une approche qualitative pour étudier les pratiques professionnelles	19
Terrains d'étude (Ile-de-France et Transilien N)	28
<b>LA CONNECTIVITÉ PAYSAGÈRE DES QUARTIERS DE GARE : UNE APPROCHE MULTI-ESPÈCES ET MULTI-ÉCHELLES</b>	32
<b>Préparation des données et caractérisation des terrains d'étude</b>	33
Des stratégies de modélisations variées	33
Constitution des espèces virtuelles	34
<b>Quelle influence des quartiers de gare dans la connectivité à l'échelle régionale ?</b>	40
<b>Quel effet local des formes urbaines et des contraintes techniques ?</b>	48
<b>FAIRE LE LIEN AVEC L'OPÉRATIONNEL : APPROCHE PAR L'ANT/MODES D'EXISTENCE</b>	64
<b>Un projet co-élaboré</b>	65
<b>Des différences de posture des professionnels conduisant à différentes postures de recherche</b>	68
<b>Le choix d'une approche perspectiviste</b>	69
<b>Modèles et références mis à l'épreuve des acteurs</b>	71
<b>Le dernier atelier participatif</b>	74
<b>Décrire les manifestations conjointes de la biodiversité et du quartier de gare</b>	76
<b>PERSPECTIVES DEPUIS L'ENTREPRISE</b>	84
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	90
<b>TABLE DES FIGURES</b>	98
<b>BIOGRAPHIES DES AUTEUR(E)S</b>	102
<b>CONSEIL SCIENTIFIQUE DU PROGRAMME BAUM</b>	106

# AVANT-PROPOS

---

## Plan Urbanisme Construction Architecture

Dans son programme partenarial pluri-annuel 2018-2022, le PUCA a ouvert un chapitre « résilience », et dessiné ainsi, pour les années à venir, les perspectives de partenariats avec les représentants des sciences du vivant, dans la recherche de réponses aux questions pressantes que posent à nos sociétés, l'adaptation au changement climatique, la préservation de la biodiversité, l'usage mesuré des ressources planétaires.

Le programme BAUM est né en 2018 dans le sillage du programme de recherche « Vers des politiques publiques de densification et d'intensification douces ? Intérêts, limites et opportunités », lancé en 2013 par le PUCA ; ce programme s'inscrivait lui-même dans la continuité de travaux de recherche précédents, autour des thèmes de la densification, la ville dense, ou encore la densité dans le périurbain.

BAUM est apparu alors qu'on ne pouvait plus ignorer le vivant, dans nos villes et dans nos politiques publiques de densification. La loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, adoptée en 2016, nous obligeait ; mais surtout, elle se faisait le reflet d'une prise de conscience collective des voies alternatives à rechercher, dans les projets de densification urbaine, avec l'aide des écologues, si mal connus des acteurs de l'aménagement.

Que soit ici remerciée en particulier Hélène Peskine, secrétaire permanente du PUCA de mai 2017 à septembre 2024, à l'initiative du programme BAUM, pour sa clairvoyance et son soutien dans la réalisation et la valorisation de celui-ci.

Des partenaires enthousiastes très vite rejoignent le PUCA. Le Muséum national d'histoire naturelle, (MNHN), avec en particulier Philippe Clergeau, écologue, professeur émérite, directeur scientifique du programme BAUM, et l'un des premiers en France à avoir interrogé la place de la biodiversité en milieu urbain ; le MNHN accueillera chaque année jusqu'en 2023 une rencontre BAUM acteurs-chercheurs, dans le Grand amphithéâtre du Muséum, qui nous permettra de partager les avancées des recherches avec un public élargi. La Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB), accueille spontanément, dès 2019, dans le cadre d'un

post-doctorat de 10 mois, Morgane Flégeau, docteure en géographie et aménagement, pour la réalisation d'une revue de la littérature scientifique consacrée aux liens entre formes urbaines et biodiversité, à l'échelle du quartier, dans les villes occidentales. Des résultats de celle-ci, objet d'une publication du PUCA<sup>1</sup>, nous tirerons des enseignements indispensables à la poursuite du programme, et le premier d'entre eux : les chercheurs, écologues et urbanistes, géographes, architectes ou sociologues, sont très peu nombreux à collaborer, et se comprennent mal car ils utilisent des outils de recherche différents. Ainsi, les acteurs de l'aménagement parviennent-ils difficilement à s'emparer des résultats de la recherche en écologie. La Direction générale de l'aménagement du logement et de la nature (DGALN), en charge de la conception des politiques publiques d'aménagement, notre partenaire de tous les instants au Ministère de la transition écologique (MTE), et l'Office français de la biodiversité, agence sous tutelle du MTE, qui voient une opportunité d'encourager la coopération entre les champs disciplinaires de l'écologie et de l'aménagement du territoire, soutiendront le programme BAUM, initié par le PUCA. Enfin, un comité scientifique du programme réunit 18 représentants de la recherche, ou d'institutions en charge de l'animation des politiques publiques, dans les champs disciplinaires de l'écologie et de l'aménagement du territoire, sous la présidence de Philippe Clergeau.

À l'appel à projets de recherche lancé en février 2020 par le PUCA, répondent quarante-cinq équipes, associant chercheurs et acteurs de l'aménagement, dans les champs disciplinaires de l'écologie et de l'aménagement du territoire. Le territoire national entier est représenté.

Six recherches sont sélectionnées pour être soutenues par le PUCA et ses partenaires, l'OFB et la DGALN, et débutent à l'automne 2020 :

- **MORPHBIOT** (Formes urbaines et MORPHologie végétales en ville pour la BIOdiversité : le cas de la ville de Toulouse) : pilotée par l'École nationale supérieure d'architecture de Toulouse
- **BIOREV'AIX** (Biodiversité et réseau viaire à Aix-en-Provence) : pilotée par l'Université d'Aix-Marseille
- **REAUMUR** (Réponses Ecologiques Aux Morphologies Urbaines) : pilotée par l'Université de Franche-Comté
- **EVOLVILLE** (L'évolution s'invite en ville) : pilotée par le Centre national de la recherche scientifique et l'Université de Strasbourg

---

1 *Formes urbaines et biodiversité - Un état des connaissances*, Réflexions en partage, PUCA, 2020, <https://www.urbanisme-puca.gouv.fr/formes-urbaines-et-biodiversite-un-etat-des-a2156.html>

- **FRUGACITÉ** (FoRmes Urbaines des quartiers de GARE ou à fortes contraintes et biodiversITÉ) : pilotée par la société AREP, filiale de SNCF Gares & Connexions

- **TRAM'BIOSOL** (Intégration de la Trame brune et de la biodiversité lombricienne des sols dans les programmes d'aménagement urbain) : pilotée par le bureau d'études Sol Paysage (SA).

A l'automne 2023, après que les équipes ont pu confronter leurs premiers résultats, et soumettre ceux-ci à l'appréciation de leurs pairs et du public dans le cadre des rencontres BAUM acteurs-chercheurs, à l'issue d'un appel à candidatures, François-Marie Martin, géographe, docteur en écologie, est missionné par le PUCA pour réaliser, au sein du laboratoire THEMA de l'Université de Franche-Comté, une synthèse des outils descripteurs de la forme urbaine déployés dans les six recherches du programme et proposer un référentiel à destination des acteurs de l'aménagement.

Aujourd'hui, les sept recherches du programme BAUM sont achevées. Les rapports de recherche font l'objet d'une publication par le PUCA dans une collection destinée à favoriser la diffusion des enseignements de ce programme auprès d'un public averti. Nous avons le plaisir de vous présenter ici le cinquième cahier.

Le PUCA remercie chaleureusement tous les partenaires du programme, institutionnels, chercheurs, partenaires du conseil scientifique et du comité de pilotage, intervenants invités des rencontres acteurs-chercheurs, et aussi le public fidèle du programme BAUM, tous compagnons de route durant les six ans de cette aventure.

Sophie Carré,  
Chargée de programmes de recherche,  
responsable du programme BAUM

# INTRODUCTION

---

## Contexte et objectifs du projet

L'érosion de la biodiversité constitue le principal impact écologique de l'urbanisation (Balfors et al., 2016). Elle est supposée s'accélérer dans les prochaines décennies avec une dynamique d'expansion sans précédent des agglomérations urbaines (Seto et al., 2012). Cette érosion de la biodiversité est principalement causée par la perte et la fragmentation des habitats naturels (Solé et Bascompte, 2006). Liée à un effet barrière combiné du développement urbain et des infrastructures de transport terrestre (Antrop 2004), elle concerne l'ensemble des agglomérations urbaines. Si les impacts du développement urbain sur la biodiversité sont depuis longtemps étudiés, ceux qui concernent les réseaux de transport sont plus récents et se focalisent en très grande majorité sur les réseaux routiers comparativement aux réseaux ferrés (Popp et Boyle, 2017). La naissance d'une *railway ecology* (Borda-de-Água et al., 2017) intervient bien après la *road ecology* (Forman et al., 2003). Dans ce contexte de fragmentation des habitats naturels, le maintien de la connectivité paysagère, soit la manière dont le paysage favorise ou contraint le déplacement des espèces animales et végétales (Taylor et al., 1993), est devenu un enjeu majeur pour la conservation de la biodiversité et l'aménagement du territoire (Gonzalez et al., 2017). Mais bien qu'il soit admis que le développement des villes et de leurs réseaux de transport associés augmente la fragmentation des milieux naturels (Forman 2019), les impacts sur la connectivité paysagère peuvent varier selon les espèces considérées mais également selon la morphologie urbaine (Alberti, 2005 ; Tannier et al., 2016 ; Huang et al., 2018), avec des effets différenciés sur la biodiversité.

Points d'articulation entre l'aréolaire urbain et le réticulaire ferroviaire (Dupuy, 1991 ; Sander 1995), les gares et leurs emprises urbaines connexes, qui forment ce que nous caractérisons comme des quartiers à fortes contraintes techniques<sup>1</sup>, constituent de véritables systèmes urbains aux propriétés autonomes, et dont le processus d'expansion/intégration est continuellement réinterrogé par l'hypermobilité des métropoles (Le Bot, 2019). La dynamique morphologique de ces systèmes présente ainsi des enjeux particuliers dans le cadre de ce qui pourrait constituer une écologie urbaine des transports (Amar, 1993). Le dialogue entre les systèmes-gares et leurs tissus urbains se réalise autour d'organes communs (voies, quais, bâtiments voyageurs, espaces d'intermodalités et quartiers de gare) aux morphologies variées. Le long d'une même ligne de chemin

---

<sup>1</sup> Parmi ces quartiers, on peut inclure les quartiers construits autour des ports, des aéroports, des espaces logistiques, etc.

de fer et sur un gradient urbain-rural, les ensembles « gares-morphologies urbaines » présentent une grande variabilité (dépendant de l'échelle, de l'intensité, de l'agencement, des fonctions, du contexte paysager plus ou moins immédiat, etc.) susceptible d'entraîner des effets différenciés sur la biodiversité. Face à cette hypothèse, nous posons un double constat. D'abord, les travaux scientifiques sur les interactions entre morphologie urbaine et biodiversité à l'échelle des quartiers à fortes contraintes techniques tels que les quartiers de gares sont encore trop peu nombreux. Ensuite, les acteurs opérationnels sont face à un réel besoin d'éléments de compréhension de ces enjeux pour promouvoir des conceptions de gares et aménagements de leurs quartiers favorables à la biodiversité et adaptés à chaque contexte urbain. En effet, malgré les volontés politiques et l'arsenal réglementaire mis en place pour prendre en compte la biodiversité dans le cadre de projets d'aménagement (voir Rode, 2023), il reste difficile dans les faits de concilier les enjeux fonciers, économiques et de développement urbain avec ceux de la préservation d'une biodiversité fonctionnelle.

Dans ce contexte, le projet FRUGACITÉ propose d'interroger l'articulation entre morphologie urbaine et biodiversité à l'échelle du paysage et selon une typologie de quartiers de gare, représentatifs des quartiers urbains à fortes contraintes techniques. Il vise à explorer et développer des méthodes et outils permettant d'enclencher un changement de paradigme dans la prise en compte des enjeux de biodiversité dans les projets d'aménagement liés aux quartiers urbains connexes aux gares. Ces quartiers constituent en effet un terreau concrètement mobilisable et extrêmement visible pour étudier et enclencher ce changement de paradigme. Plutôt que de chercher à faire entrer la biodiversité dans l'aménagement *a posteriori*, nous pensons que la biodiversité pourrait, dès les premiers stades du projet, être un élément dynamique à considérer dans la fabrique de ses formes urbaines. En suivant cette conviction, ce travail cherchera *in fine* à donner des recommandations pour la programmation et la conception architecturale et urbaine visant à rendre les quartiers à fortes contraintes technique plus favorables à la biodiversité.



# **QUARTIERS DE GARE. ACTEURS ET PAYSAGES**

---

## LA NOUVELLE NATURE DES GARES

Depuis la création des chemins de fer, la gare est abordée (par ses concepteurs, détracteurs, financeurs, usagers, etc.) comme une expression, plus ou moins fascinante, plus ou moins acceptée, de la modernité urbaine liée à la révolution industrielle. Étudiée en tant que système, la gare s'est construite comme un artefact à l'urbanité multidimensionnelle. Elle est à la fois topographie anthropique, nœud infrastructurel, architecture fonctionnelle, emprise foncière artificialisée, arène sociotechnique (Moroni 2022), porte d'entrée symbolique des villes et moteur privilégié des politiques urbaines (Baron et Roseau 2016) ; ses logiques sociotechniques et son influence typo-morphologique se déploient depuis les quais voyageurs jusqu'aux bâtiments pôles d'échanges ; mais aussi en transversal du faisceau de voies, auquel elle donne accès par ses franchissements, jusque dans les urbanités qui l'entourent et qu'elle façonne pour partie à sa convenance (Le Bot, 2019). Le paysage ferroviaire qui en découle, objet de spéculation des milieux financiers depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, est une manifestation visible du Capitalocène (Malm, 2016).

### Gare et environnement

Si le train et la gare sont, depuis les années 1980 (et à la suite du choc pétrolier de 1973), très communément associés à des enjeux dits « environnementaux » ; force est de constater que jusqu'à la fin des années 2000, la géographie des transports s'est presque uniquement préoccupée de la croissance des flux voyageurs et des perspectives (énergétiques et en termes d'émissions carbone) des reports modaux de la route et de l'aviation vers le rail. Chercheurs, opérateurs et acteurs publics ayant pris conscience des limites du modèle du tout automobile, ont concentré leurs efforts sur l'analyse et l'accompagnement de la montée en puissance des transports publics.

Le déploiement du TGV, concurrent terrestre de l'avion, va inscrire les projets de gares dans des dynamiques de modernisation, de renouvellement urbain, et de métropolisation à plus grande échelle. En 2009, le très emblématique rapport sénatorial Keller (Keller, 2009) sur la gare contemporaine confirme cette lecture en réponse aux engagements de la France lors de la signature du protocole de Kyoto. Il prône notamment une montée en puissance des transports ferrés (multiplication par quatre du recours aux transports ferrés, notamment régionaux). La logique sous-jacente est clairement revendiquée : densifier les quartiers de gares en « cœur de métropole », pour y concentrer activités et opportunités d'emploi, services et logements, dans le double espoir de (1) limiter le déplacement

des métropolitains et (2) concurrencer le modèle extensif pavillonnaire en périphérie et ses conséquences sur les mobilités carbonées. Les modèles conceptuels qui vont porter ces politiques d'aménagement sont ceux du développement durable et du *Transit Oriented Development* (TOD), plus spécifiquement adapté aux logiques foncières et économiques des quartiers de gare.

En gare, la dimension environnementale était alors appréciée dans une double dimensionnalité : de manière directe, tout aménagement permettant de maximiser l'attractivité de la gare (accessibilité, offre, intermodalité, confort, etc.) était implicitement perçu comme environnementalement vertueux ; et dans un second temps, de manière indirecte, tout dispositif innovant (récupération des eaux pluviales, gestion des déchets, habillage bois, végétalisation des toitures, etc.) permettant une mitigation, souvent à la marge, des impacts de ces infrastructures nouvelles, était présenté comme « durable » ou « vert ».

Les problématiques liées au vivant non-humain n'étaient la plupart du temps pas ou peu évoquées, et les indicateurs biodiversitaires pour ainsi dire absents. A titre d'exemple, en 2018, le Guide des bonnes pratiques pour les pôles d'échanges multimodaux, produit par l'Agence Française de Développement (AFD, 2018), ne contenait ni le terme de vivant, ni celui de biodiversité, et seulement trois mentions étaient faites à propos du « végétal », apprécié dans sa seule dimension esthétique et censée « accompagner l'usager jusqu'à la gare routière et affirmer un ancrage à la ville ». De même, on pourrait citer la construction de gares dites « betteraves » (construite sur des emprises rurales), comme symptomatique de la prévalence, dans les arbitrages environnementaux de l'époque, de la dimension mobilière, plutôt que paysagère ou biodiversitaire.

### **Le tournant écologique dans la planification des quartiers de gares**

Depuis une dizaine d'années maintenant un certain nombre d'initiatives (Loi Climat et Résilience, Stratégie Nationale Biodiversité 2030, PLU bioclimatique parisien, etc.) ont émergé pour répondre à une double préoccupation environnementale : la préservation du vivant par la mitigation de l'impact des activités humaines, et l'adaptation des urbanités aux conséquences d'un dérèglement climatique déjà amorcé. Dans ce contexte, les emprises ferroviaires en milieu urbain, qui représentent de larges surfaces minéralisées sans végétation, font l'objet de toute les attentions (cf. Atlas bioclimatique des gares parisiennes, AREP 2023). D'une part, elles contribuent à la formation d'îlots-de-chaaleur tout autant qu'elles participent de la fragmentation des continuités écologiques ; d'autre part, les quartiers de

gares restent un levier privilégié des politiques de développement urbain. Dans le même temps, le modèle du TOD, qui structurait en Europe la plupart des démarches de planification de quartiers de gares, commence à montrer ses limites socio-écologiques. En effet, la concentration d'activités et de logements à l'abord des nœuds de transit a conduit le plus souvent à des phénomènes de bétonisation, de congestion et de gentrification, sans parvenir à enrayer le mitage urbain en périphérie des villes.

Le débat sur la loi Climat et résilience (votée en 2021), qui définit un objectif de zéro artificialisation nette (ZAN) pour 2050, est venu lui aussi interroger le devenir des stratégies urbaines autour des gares, notamment dans la perspective du déploiement des futurs Services Express Régionaux Métropolitains (SERM) lancés courant 2023. Des mouvements sociaux tels que celui des Gilets jaunes (2018) ont aussi mis en lumière les inégalités territoriales dans l'accès à des mobilités alternatives décarbonées. Ces événements ont alors déplacé une part du débat sur le développement des quartiers de gares, depuis le cœur des métropoles vers les territoires de plus faible urbanité (espaces péri-urbains et ruraux notamment ; voir Programme de recherche TOD is RUR [Vanoutrive et al. 2022]), où les enjeux de biodiversité sont encore plus prégnants.

Dans la sphère scientifique, l'application des cadres analytiques de l'écologie du paysage aux linéaires d'infrastructures ferroviaires (Pénone, 2012 ; Borda-de-Água et al., 2017) révèle un paradoxe. Ces dernières peuvent à la fois fragmenter et potentiellement connecter des habitats favorables à la faune. Tout au long de ces linéaires, les situations spécifiques que forment les points de réseaux complexifient encore cette dialectique : les gares sont potentiellement bloquantes pour le déplacement des espèces le long des corridors d'infrastructures, mais peuvent tout autant jouer un rôle de pivot dans la connexion du linéaire de voies aux espaces végétalisés des quartiers de gares. Avec le projet Frugacité, il s'agit d'appliquer des méthodes de l'écologie du paysage aux systèmes ferroviaires en étudiant, cette fois, les effets de fragmentation ou de connexion de la gare et de son quartier, considérés comme une unité du paysage urbain. Il s'agit de ne plus considérer la gare comme un espace *a priori* hostile à la biodiversité, mais de porter attention aux propriétés spatiales du quartier (types de couverts végétaux et d'occupation du sol, formes du bâti) et d'analyser leurs effets sur la circulation des espèces à l'échelle du paysage. On peut ainsi suggérer des leviers permettant d'aménager le quartier de gare pour qu'il contribue à la biodiversité de son espace environnant. Cette hypothèse, très peu étudiée jusqu'alors, sert de socle au projet Frugacité. Ce travail participe ainsi d'un changement de paradigme dans la prise en considération de la biodiversité au sein des gares et quartiers de gare depuis les années 2010.

## FRUGACITÉ : ÉTUDIER LES RELATIONS ENTRE FORMES URBAINES DES QUARTIERS DE GARE ET BIODIVERSITÉ

### Une entrée par la modélisation des réseaux écologiques à différentes échelles

Dans le cadre de ce projet, la biodiversité est appréhendée par le prisme de l'écologie du paysage, en cherchant à comprendre les interactions entre les processus écologiques et motifs (ou *patterns*) de biodiversité d'une part, et l'hétérogénéité des structures paysagères d'autre part. L'un des postulats de l'écologie du paysage est que la distribution spatiale des éléments du paysage joue un rôle crucial sur les processus écologiques, et notamment sur les déplacements des animaux et végétaux. Ces déplacements des individus au cours de leur cycle de vie résultent de l'accomplissement de besoins écologiques et constituent des processus majeurs dépendant des structures paysagères. Trois grands types de déplacements se produisent à des échelles spatio-temporelles emboîtées : les déplacements réguliers entre les différentes taches de ressources nécessaires au cycle de vie quotidien de l'individu, les déplacements migratoires correspondant à des mouvements de masse et concernant l'ensemble des individus d'une population, et enfin les déplacements liés au processus de dispersion concernant une partie des individus d'une population quittant leur lieu de vie pour se rendre dans un autre lieu au sein duquel ils se reproduiront.

La connectivité paysagère est un concept clé lorsqu'il s'agit d'étudier ces déplacements dans les paysages hétérogènes, permettant d'évaluer la manière dont le paysage facilite ou contraint les déplacements entre des taches d'habitat (Taylor et al., 1993). Elle est souvent appréhendée à travers la notion de réseaux écologiques ou réseaux d'habitats (Verboom et al., 2001), entendus comme des infrastructures écologiques fonctionnelles permettant aux espèces d'accomplir leur cycle de vie à l'abri des perturbations (Mougenot et Melin, 2000). Dans une définition simplifiée, un réseau écologique est constitué des taches d'habitat et des corridors permettant le mouvement des individus entre ces taches. Il est donc défini à partir de l'ensemble des éléments paysagers d'intérêt pour cette espèce et de ses besoins écologiques.

La modélisation des réseaux écologiques et l'estimation de la connectivité paysagère reposent sur différentes méthodes, parmi lesquelles la modélisation spatiale de la connectivité fonctionnelle potentielle, qui combine des données sur le paysage et des informations sur le comportement des espèces étudiées (habitat préférentiel, domaine vital, capacité de déplace-

ment, etc.). Parmi ces approches par modélisation spatiale, certaines sont considérées comme un compromis intéressant en raison de leur bonne capacité à représenter les flux biologiques tout en ayant une exigence modeste en données d'entrée (Calabrese et Fagan, 2004). Il s'agit plus particulièrement des graphes paysagers, une méthode reposant sur la théorie des graphes pour modéliser les réseaux écologiques. Les graphes paysagers ont été formalisés par Urban et Keitt (2001) comme des modèles comprenant des nœuds représentant les taches d'habitat d'une espèce, et des liens représentant les déplacements possibles pour celles-ci. Ces graphes représentent donc le réseau écologique potentiel d'une espèce et sont toujours définis en fonction d'un processus écologique influençant l'un des types de déplacements mentionnés ci-dessus.

Les graphes paysagers sont des modèles spatialement explicites construits en couplant données spatiales et données écologiques (informations sur les traits de vie des espèces étudiées a minima, complétées éventuellement par des données d'observation) (Figure 1). Un graphe est construit à partir d'une carte d'occupation du sol regroupant différentes catégories en fonction de leur aspect plus ou moins favorable pour l'espèce étudiée (1) : de l'habitat préférentiel (le plus favorable) aux barrières et autres éléments répulsifs. À partir de cette carte, les taches d'habitat et les chemins de moindre coût sont identifiés (2 et 3). A partir de là, le graphe est ainsi construit (4), pouvant constituer un support pour le calcul de métriques de connectivité afin de hiérarchiser les nœuds et les liens en fonction de leur importance. Ces métriques peuvent également être généralisées dans l'ensemble de l'espace pour représenter l'accessibilité potentielle au réseau écologique pour les espèces (Sahraoui et al., 2017).

Figure 1 : Etapes de construction d'un graphe paysager.



1. Etablissement d'une carte d'occupation du sol



2. Identification des taches d'habitats écologiques pour l'espèce



3. Identification des chemins potentiels empruntés par l'espèce



4. Création du graphe paysager

Au-delà de donner à voir la structure du réseau écologique, les graphes paysagers peuvent donc également servir de support au calcul de métriques de connectivité afin de qualifier l'importance des nœuds et des liens au sein du réseau. Les déplacements potentiels des espèces peuvent également être représentés au moyen de chemins de déplacements potentiels, ou de corridors représentant de manière moins restrictive l'ensemble de l'espace pouvant être traversé (Sahraoui et al., 2021).

Les graphes paysagers sont de plus en plus utilisés en appui aux décisions des acteurs institutionnels pour l'aménagement du territoire ou la gestion environ-

nementale (Foltête et al., 2014 ; Clauzel, 2021 ; Sahraoui et al., 2021 ; Bourgeois, 2024). Néanmoins, la production de connaissances partagées sur les réseaux écologiques entre les scientifiques et d'autres sources d'expertise reste complexe (Vimal et al., 2012). En effet, comme dans de nombreux domaines en conservation de la biodiversité, le niveau de compréhension des problèmes de connectivité est très différent entre les scientifiques, les associations naturalistes, les aménageurs et les décideurs politiques, et la manière d'améliorer les relations entre ces acteurs reste un enjeu majeur (Berger et Cain, 2014).

Dans le cadre du projet Frugacité, la modélisation des réseaux écologiques par les graphes paysagers nous a permis d'estimer la contribution des habitats naturels présents au sein des quartiers de gare à la connectivité écologique à différentes échelles. Les contributions des habitats au sein et hors des quartiers de gare de la ligne N du Transilien (ouest de l'Île-de-France) ont été comparées à l'échelle régionale). Ensuite, à l'échelle locale d'une sélection de quartiers de gare, nous avons cherché à représenter la connectivité paysagère au sein des tissus urbains pour envisager des manières de l'améliorer en recréant des connexions possibles entre des taches d'habitats.

### **Une approche qualitative pour étudier les pratiques professionnelles**

En parallèle de cette approche par la modélisation des réseaux écologiques, un travail d'analyses qualitatives a été mis en place au moyen de quatre ateliers participatifs. L'analyse des réseaux écologiques s'est ainsi appuyée sur un travail de co-élaboration avec plusieurs partenaires opérationnels gestionnaires des gares et quartiers de gares pour s'assurer d'une pertinence opérationnelle de la démarche de recherche autant dans sa dimension écologique qu'urbanistique. Parallèlement, le sujet de recherche a été appréhendé sous l'angle du problème environnemental (Mermet et al. 2005 ; Ollagnon 1986), par lequel il s'agit d'analyser la gouvernance de la biodiversité, c'est-à-dire d'évaluer en quoi les actions de prise en charge des acteurs du quartier de gare parviennent ou non à lui conférer un état satisfaisant en termes de fonctionnalité ou de résilience. La mise en place d'approches qualitatives a permis dans ce cadre d'aborder plus largement les composantes sociotechniques propres à l'ensemble des dimensions que revêt le vivant dans les espaces ferroviaires.

### ***Une approche participative impliquant des ateliers pour l'évaluation de la connectivité***

L'analyse des réseaux écologiques par la modélisation peut bénéficier de l'implication de non-experts à différentes étapes, notamment le paramé-

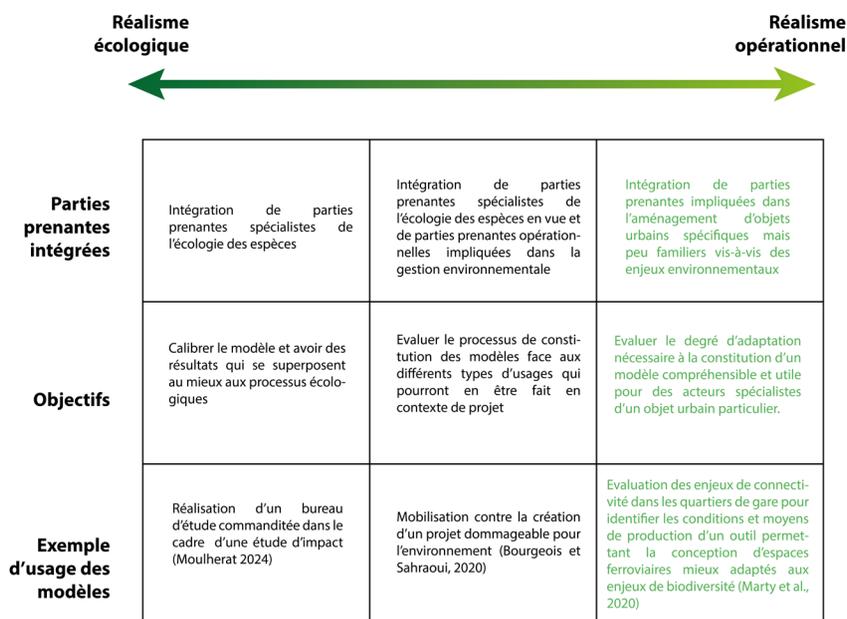
trage ou le calibrage, c'est-à-dire l'amélioration de l'ajustement du modèle (Bourgeois 2024). Ces modélisations d'accompagnement permettent de répondre à deux écueils. D'une part, le territoire n'est pas réductible à la connectivité (Boileau 2022). Chaque acteur perçoit le territoire à travers un prisme qui lui est propre, qui repose sur un réseau de concepts et d'outils hétérogènes formant un ensemble plus ou moins cohérent et surtout difficile à faire évoluer. Par exemple, l'écologisation des pratiques des acteurs de l'aménagement se heurte aux logiques de projet (Rode 2023) ou aux bilans d'aménagement (Florentin, Bastin, et Castex 2024). Les ateliers participatifs ont permis d'esquisser les contours des différents mondes professionnels relatifs à l'aménagement des espaces ferroviaires. Ils ont offert l'opportunité de distinguer les éléments qu'il faut faire évoluer pour permettre la pleine intégration des résultats issus des modélisations, de ceux avec lesquels il est nécessaire de composer, obligeant l'adaptation du processus de production des résultats scientifiques. Ce dernier doit cependant rester cohérent avec le réalisme écologique, dont se portent généralement garants les acteurs de terrain comme les naturalistes et écologues, qui disposent de connaissances fines sur les spécificités propres aux espèces dont les réseaux écologiques sont modélisés.

D'autre part, le concept de connectivité est multiple (Hodgetts 2018), il peut faire l'objet d'interprétations ambiguës selon que celui qui l'emploie est un acteur opérationnel ou un écologue du paysage (Sahraoui et al. 2021). La séparation de la production des faits scientifiques avec leur usage opérationnel induit un renforcement de ces ambiguïtés puisque le processus de traduction d'une sphère à l'autre n'est pas pris en charge explicitement. Les ateliers permettent une co-élaboration qui réduit les risques de divergence, un souci au cœur du projet de recherche déjà conçu comme mixte, car porté par une agence pluridisciplinaire (AREP) et des acteurs universitaires.

### *Une élaboration participative des modélisations*

Les stratégies de modélisation d'accompagnement varient selon les objectifs (Figure 2). Ils peuvent se concentrer sur la vérification de la cohérence du modèle avec la réalité écologique lors de missions réalisées dans des cadres règlementaires (Moulherat 2024) ou dans l'optique d'améliorer le modèle lui-même (Bourgeois 2024). L'implication de parties prenantes issues de collectivités territoriales responsables de la gestion environnementale permet de légitimer les approches scientifiques proposées tout en rationalisant l'action publique (Tarabon et al. 2022).

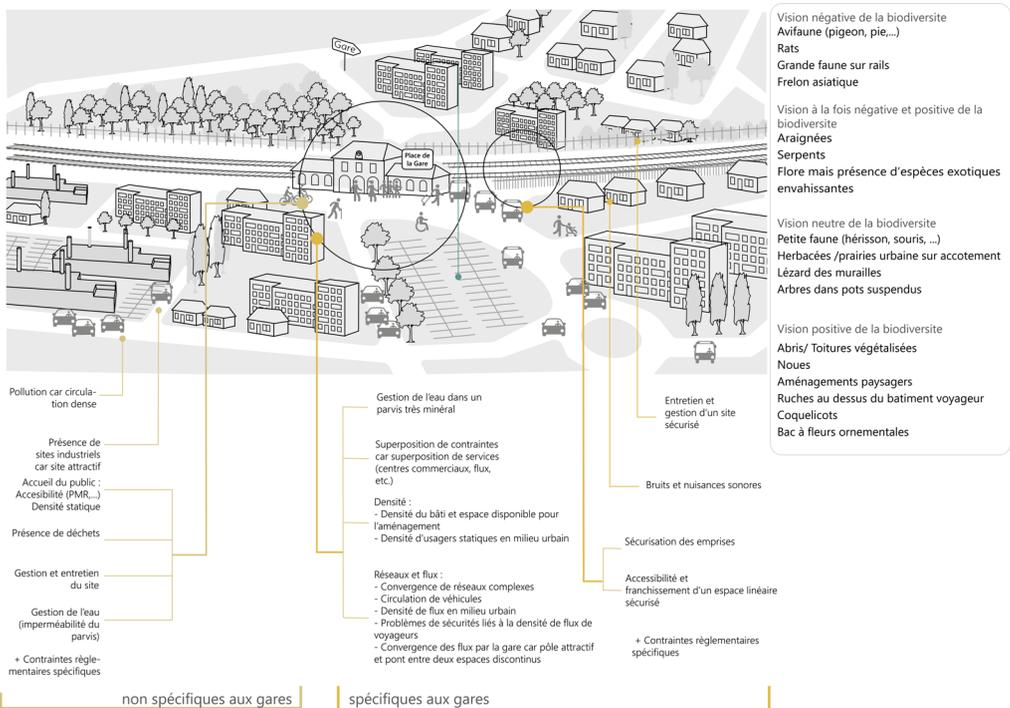
Figure 2 : Enjeux d'intégration des parties prenantes dans les modélisations d'accompagnement (Frugacité en vert).



Les quatre ateliers participatifs qui ont ponctué le projet Frugacité ont rassemblé non seulement des naturalistes et des acteurs publics de l'environnement, mais aussi une large galaxie d'acteurs concernés davantage par les enjeux ferroviaires (membres du groupe SNCF, aménageurs publics et privés, ...) et pour lesquels l'environnement s'applique généralement comme une contrainte parmi d'autres. Le premier atelier a ainsi permis de mettre en évidence la diversité des facettes par lesquelles la biodiversité recroise le ferroviaire (Auvray et al. 2024). Parmi elles, on retrouve des contraintes sécuritaires (heurts avec le matériel roulant, nécessité de désherbage du linéaire), des facteurs impactant la qualité de service (végétation spontanée en gare ou avifaune causant de potentielles dégradations) ou encore des politiques volontaristes favorables à la biodiversité (stratégie pour réduire l'effet barrière induit par le linéaire ou intégration d'habitats d'origine anthropique pour la faune). Certains liens directs existent entre morphologie de l'espace et biodiversité et peuvent être appréhendés par une approche qui se focaliserait sur la connectivité. Ainsi,

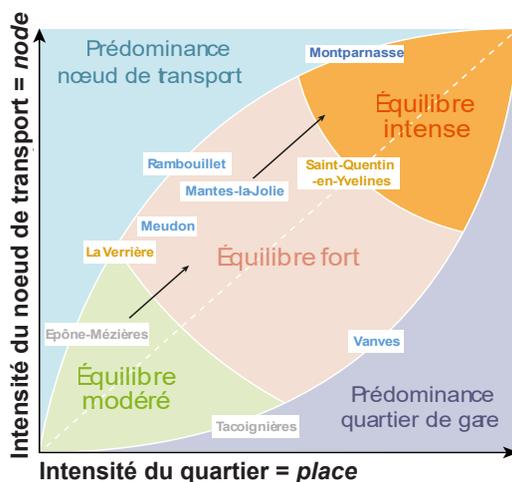
la configuration des espaces végétalisés détermine en partie leur richesse écologique : les délaissés et les talus, de par leur localisation, sont inaccessibles pour l'homme mais peuvent être colonisés par certaines espèces. D'autres dynamiques ne sont pas forcément synthétisables dans une telle approche, notamment celles relatives aux contraintes techniques dans ces quartiers (Figure 3). L'étude des enjeux de biodiversité dans les quartiers de gare doit donc investiguer, en plus de la connectivité écologique, la structure des organisations du ferroviaire et de la biodiversité, ainsi que les stratégies que ces dernières développent.

Figure 3 : Contraintes techniques spécifiques ou non aux quartiers de gare avec lesquels les enjeux de biodiversité se croisent en partie.



Le choix des terrains d'étude a été au cœur du deuxième atelier participatif. Celui-ci a de nouveau fait intervenir une méthodologie composite intégrant des approches analytiques des formes de développement propres aux gares, comme le *node-place* (Figure 4) (Bertolini 2008) et des informations tirées de diagnostics écologiques réalisés in situ. Quatre terrains d'études ont été sélectionnés comme représentatifs de la diversité des contextes urbains des quartiers de gare du transilien N : les quartiers de gare de Montparnasse, La Verrière, Epône-Mézières et Rambouillet.

Figure 4 : Position de neuf gares de la ligne N sur le modèle *node-place*. Les flèches représentent la place potentielle des deux gares de Mantes-la-Jolie et Epône-Mézières après les projets de développement urbain qui se tiendront en lien avec le projet EOLE.



D'après Bertolini 1999, 2008, IAU Ile-de-France, 2018

Le troisième atelier a été consacré au paramétrage du modèle, c'est-à-dire à l'évaluation des espèces dont le réseau écologique allait être modélisé. Une approche multi-espèces (Sahraoui, Foltête, et Clauzel 2017) a été envisagée pour éviter la production de résultats difficilement généralisables car trop spécifiques. Par ailleurs, la focalisation sur des espèces uniques augmente les chances que certains espaces soient identifiés comme dépourvus d'enjeux, et que ces résultats soient repris de manière biaisée pour artificialiser lesdits espaces (Bourgeois 2024). Dans ce cadre, notre approche s'est orientée vers le regroupement en espèces virtuelles d'espèces qui avaient été présélectionnées à partir d'une base de données d'occurrence. Ces regroupements se sont basés sur la similarité des traits écologiques, **plus particulièrement** relatifs aux comportements de **dispersion**. L'analyse de la pertinence des espèces choisies et la cohérence des espèces virtuelles formées a pu bénéficier des retours critiques des experts naturalistes impliqués. L'atelier avait également pour objectif d'amener les participants à interroger les relations qu'ils entretiennent avec les différentes espèces animales dans le cadre professionnel. Parmi la diversité des interdépendances socio-écologiques évoquées, trois régimes de relations ont pu être distingués. D'une part, les espèces ont été abordées à partir des traits qui permettent leur identification et les relations qu'elles entretiennent avec les autres composants des écosystèmes. Ces éléments ont majoritairement été apportés par les naturalistes et écologues invités, et éventuellement par les acteurs du ferroviaire qui disposaient de telles compétences. Le deuxième régime renvoie à des relations davantage liées au vécu personnel voire à l'intime (empathie, peur, esthétique), qui se rapportent par ailleurs davantage à des groupes taxonomiques qu'à des espèces précises. Le troisième régime regroupe les médiations opérées par les dispositifs, outils et cadres conceptuels mobilisés dans les pratiques professionnelles des acteurs du ferroviaire.

C'est ce dernier régime qui a majoritairement été mobilisé lorsqu'il a été demandé aux participants de procéder aux rassemblements des espèces proposées par les animateurs en espèces virtuelles. Il s'agit de similarités d'un point de vue gestionnaire : espèces invasives, espèces susceptibles d'être impliquées dans les heurts, espèces protégées nécessitant une attention particulière, espèces générant des troubles de voisinage lorsqu'elles sont présentes sur un site, espèces dangereuses, etc. L'évaluation statistique de ces regroupements a pointé la nécessité de procéder à des retouches pour satisfaire les contraintes liées à la modélisation. La reformation post-atelier des espèces virtuelles a été un marqueur de la difficulté de parvenir à concilier réalisme écologique et opérationnel.

Le dernier atelier participatif avait pour but d'évaluer le degré de traduction nécessaire pour que les enjeux de connectivité formalisés par le logiciel de modélisation puissent être intégrés par les différents acteurs opérationnels. À cette fin, plusieurs types de représentations cartographiques illustrant les résultats obtenus ont été présentées aux participants.

### *Retracer les réseaux croisés de la gare et de la biodiversité*

Si les ateliers ont développé les enjeux relatifs au réseau écologique, une seconde démarche qualitative a permis d'investiguer la prise en compte de ces derniers par le système d'acteurs présents dans les quartiers de gare, et participant éventuellement à leur aménagement. Des méthodologies quantitatives liant explicitement connectivité écologique et système de gouvernance existent pourtant et avaient préalablement été considérées (Örjan Bodin 2017; Ö. Bodin et al. 2019; Kininmonth, Bergsten, et Bodin 2015). L'analyse se concentre sur l'ajustement spatial des périmètres d'intervention des institutions de gouvernance vis-à-vis des processus écologiques pris en charge. Néanmoins, il a été nécessaire d'adapter la méthodologie devant la mise en évidence d'éléments qui n'étaient pas réductibles à ce dualisme connectivité-gouvernance lorsque biodiversité et ferroviaire étaient abordés ensemble. Dès le premier atelier participatif (Figure 3 plus haut), les participants ont souligné les différences de considération des espèces en fonction des contraintes qu'elles faisaient peser sur l'exploitation ferroviaire, des aménités ou des désagréments pour les usagers dont les espèces étaient à l'origine, etc. La désirabilité du vivant fait de plus l'objet de constantes renégociations, comme en témoignent les controverses entourant l'intégration de ruches en ville - certaines ont été implantées sur le toit des gares - ou plus spécifiquement la hauteur de végétation acceptable sur les quais qui a augmenté ces dernières années.

La théorie de l'acteur-réseau (Latour 2005) et la sociologie de la traduction (Akrich et al. 2013) ont alors été mobilisées. En insistant sur l'agentivité des non-humains autant que des humains, cette sociologie permet de prendre la mesure du rôle social que jouent les espèces, la gare elle-même et l'ensemble des dispositifs techniques et organisationnels qui rythment la vie de son quartier. Le terme non-humain renvoie donc dans ce cadre aux entités qui "font faire" les autres, que celles-ci soient vivantes ou non-vivantes. La réalisation de plus de cinquante entretiens individuels auprès d'acteurs issus de l'aménagement, de collectivités territoriales ou de la protection de l'environnement a permis de retracer les enjeux de nature hétérogène qui apparaissent dès lors que se croisent biodiversité, urbain et ferroviaire. Un échantillonnage « boule de neige » a été réalisé, c'est-à-dire par élargissement du panel suite aux suggestions des interviewés eux-mêmes. Ces derniers ont été appréhendés selon les rapports qu'ils entretenaient avec le quartier de gare et la biodiversité (Figure 5).

Figure 5 : Nombre d'acteurs interviewés par typologie.

Typologie d'acteur	Nombre d'enquêtés
Aménagement ferroviaire	12
Aménagement urbain général	7
Porte-parole de l'environnement	3
Environnement au sein de l'aménagement	19
Relations institutionnelles	7
Entretien, travaux et maintenance	4
Total	52

Tout d'abord, le quartier de gare est soumis à une gouvernance complexe, marquée par une superposition d'acteurs, un découpage millimétré du foncier et des processus de délégation de gestion. Cette situation découle en premier lieu de la présence d'un système industriel complexe (le système gare, connecté au système ferroviaire) au sein de tissus urbains eux-mêmes soumis à de nombreux enjeux techniques et sociaux. Ensuite, cette situation est impactée par l'historique de réformes de la SNCF (Bruckert-Strzelczyk 2018), et des montages financiers qui impliquent aujourd'hui beaucoup des acteurs de la ville (Maulat 2014) et par l'éclatement des compétences au sein des équipes projet (Bruyas 2015). L'aménagement et la gestion des potentiels habitats écologiques in situ s'inscrivent eux aussi dans une gouvernance enchevêtrée. Cela accentue la difficulté de mise en place de stratégies globales et sectorielles en faveur de la biodiversité, dans la mesure où il est nécessaire de composer avec les contraintes et les prérogatives de tous les membres internes ou externes à la SNCF.

Par ailleurs, la désirabilité de la biodiversité dans ces quartiers ne fait pas l'objet de consensus. Les différentes filiales de la SNCF disposent d'outils ou de doctrines plus ou moins souples qui catégorisent différemment la biodiversité en fonction de leur cœur d'activité. Des stratégies RSE (Responsabilité Sociétale et environnementale des Entreprises) coexistent avec des dispositifs de gestion du risque. Les premières ont tendance à valoriser l'introduction et la conservation de la biodiversité dans les projets là où les secondes peuvent inciter à des destructions faunistiques ou des « mises à blanc » sur les talus.

La ponctualisation du groupe SNCF sur la thématique biodiversité, c'est-à-dire sa capacité à fonctionner de manière cohérente sans mettre à jour des injonctions contradictoires (Amblard 2005), est donc un enjeu majeur pour l'organisation. Les initiatives en faveur de la biodiversité portées par des acteurs déjà convaincus au sein du groupe peuvent être disruptives et initier un réel chemin de changement par l'exemple, en procédant à des renégociations locales éventuellement généralisées ultérieurement. Parallèlement, les partenariats externes avec des associations environnementales peuvent initier des changements de paradigmes à l'aide de campagnes de sensibilisation ou de missions de conseils stratégiques.

Les entretiens se sont ancrés dans une perspective qui lie sociologie orientée objet et approche stratégique pour faire le décompte des opportunités, des atouts ou des leviers que laissent entrevoir les non-humains composant le système sociotechnique. Parmi ceux-ci, on retrouve les Schémas directeurs produits par la Région qui imposent une modulation de l'intensité de densification autour des gares en fonction de la présence de milieux naturels, la fresque de la biodiversité réalisée dans différentes filiales du groupe SNCF, les expérimentations de gestion différenciées sur les talus ferroviaires menées en collaboration avec la Ligue pour la Protection des Oiseaux, la condamnation de SNCF pour destruction d'habitats et spécimens d'espèces protégées en Val-de-Loire, etc. Une série supplémentaire d'entretiens a aussi été menée au sein d'AREP pour évaluer plus précisément la déclinaison d'une stratégie biodiversité à l'échelle d'une organisation unique.

À ces enjeux d'adéquation spatiale, de compatibilité des réseaux techniques et organisationnels s'ajoutent des questions de maintien de l'intégrité fonctionnelle de la biodiversité lors du projet, et plus largement de la cohérence de la notion entre les parties prenantes pour garantir la durabilité de sa prise en charge. En effet, le projet fait intervenir des acteurs dont les responsabilités portent sur un objet particulier, comme les ingénieurs Voirie-Réseau-Divers ou les spécialistes des flux. À l'inverse, il existe aussi des rôles impliquant cette fois l'encadrement des manières de « parler de »

ces objets lors de la négociation, comme les paysagistes ou les responsables du bon fonctionnement du projet. Les entretiens mettent à jour la place particulière que doivent occuper les écologues de projet, tour à tour porte-parole des espèces, puis chargés de vérifier que ce qui est important pour la biodiversité ne soit pas perdu lors des traductions ultérieures. Au global, les ateliers et entretiens permettent de collecter les diagnostics et propositions formulés par les acteurs impliqués dans le problème de la biodiversité des quartiers de gare. Le travail du chercheur n'aboutit pas à un méta-diagnostic qui subsume les perspectives des acteurs. Il s'agit d'un diagnostic supplémentaire, au caractère certes particulier puisque scientifique, mais qui ne peut gagner une prévalence directe au sein du débat général qui agite les acteurs.

### **Terrains d'étude (Ile-de-France et Transilien N)**

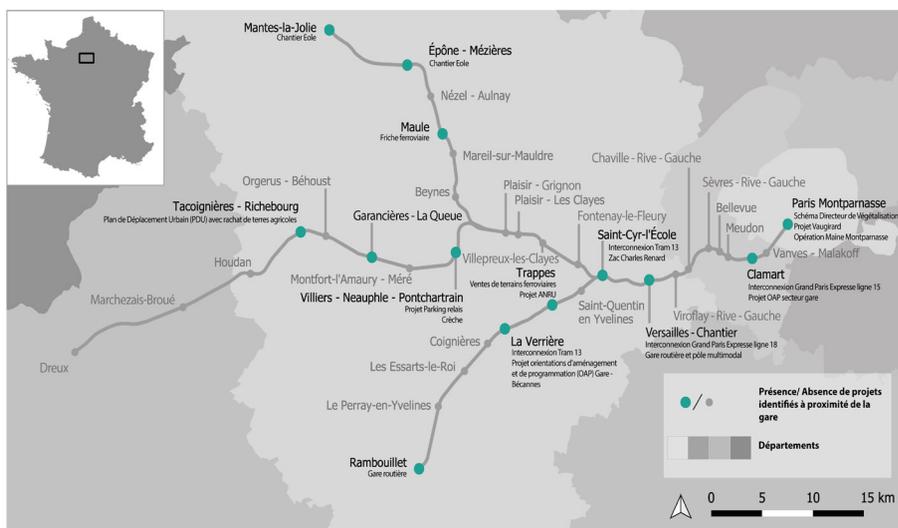
La ligne N du Transilien est un réseau ferré parcourant l'ouest de l'Île-de-France depuis Paris jusqu'à Dreux, Rambouillet et Mantes-La-Jolie. Ce choix est la résultante des synergies partenariales entre l'équipe de recherche et le groupe SNCF qui ont permis la mise en œuvre du projet, ainsi que d'exigences relatives aux dynamiques urbaines dans les quartiers que la ligne dessert.

Transilien est le nom de la branche de SNCF Voyageurs qui gère un réseau de trains de banlieue desservant 35 stations sur plus de 117 kilomètres de linéaire. La ligne prend pour origine la gare de Paris-Montparnasse, située dans le XV<sup>e</sup> arrondissement de Paris. Les trains qui la parcourent transportent en moyenne 130 000 usagers par semaine, ce qui en fait la troisième ligne la plus fréquentée de l'Ouest francilien (230 gares au total) derrière les lignes L et J. La présence de projets au sein des gares qu'elle dessert est particulièrement intéressante, dans la mesure où ces situations donnent à voir les entrailles des projets, et ainsi les manières par lesquelles l'enjeu biodiversité a pu être intégré.

Les projets d'aménagement qui touchent les gares sont notamment liés à la mise en place d'un nouveau matériel roulant, dont la mise en service fin 2020 sur la ligne N a pu déclencher des travaux de rehaussement ou d'allongement de quais dans certaines gares. D'autres travaux peuvent profiter de ce temps d'arrêt de l'exploitation pour s'intercaler, et se « mettre à l'ombre » de ces chantiers. Enfin, des projets de renouvellement urbain sont aussi prévus dans certaines des villes traversées (Figure 6). Le quartier autour de la gare de Montparnasse, extrémité est de la ligne, est reconfiguré sous l'action du projet de rénovation urbaine Maine-Montparnasse. Le projet Éole doit permettre l'arrivée du RER E dans la gare d'Épône-Mézière, située à l'extrémité nord-ouest de la ligne N. Des travaux sont donc

prévus sur les quais et le bâtiment voyageurs pour accueillir les nouveaux flux. Ces modifications peuvent impacter les espaces urbains alentour, du fait de modifications liées à l'intermodalité comme l'installation de parkings en vue d'un taux d'affluence supérieur. Les travaux de ce type peuvent aussi provoquer de nouvelles dynamiques urbaines à plus grande échelle, à l'origine d'opportunités potentielles pour intégrer de nouveaux espaces végétalisés dans la trame paysagère.

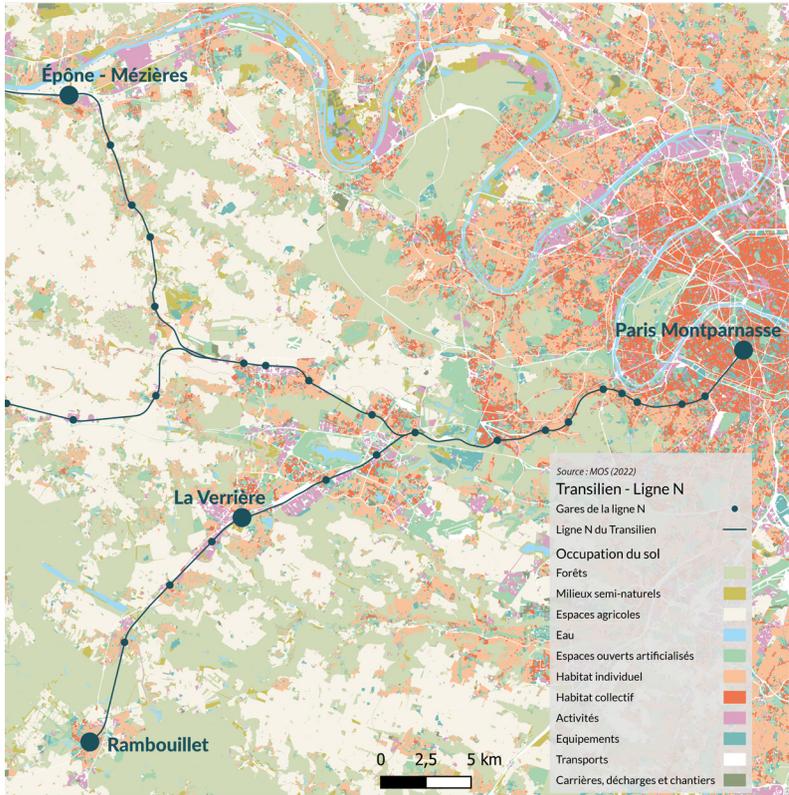
Figure 6 : Tracé de la ligne N et liste non exhaustive de projets touchant les différentes gares.



L'exploitation de la ligne N en tant que tronçon géré de bout en bout par SNCF Voyageurs débute en 2004, 140 ans après que la dernière portion de voie qui la compose ait été posée. Aujourd'hui, la ligne s'étend sur trois départements franciliens : Paris (75), le département des Hauts-de-Seine (92) et le département des Yvelines (78) (Figure 7). Si le territoire est marqué par une forte artificialisation, d'importantes disparités démographiques, socio-économiques et écologiques existent entre ces départements. Le quartier de gare de Paris Montparnasse est ainsi un centre urbain dont la densité s'élève jusqu'à 20 000 habitants par kilomètre carré. A l'autre bout, la ligne dessert la gare de Mareil-sur-Mauldre, qui accueille 70 000 usagers par an dans une ville de densité de 395 habitants par kilomètre carré. Une

grande vallée urbaine polarisée par la Ville de Paris traverse la zone d'est en ouest. Le massif de Rambouillet au Sud-Ouest, qui s'étend sur plus de 22 000 ha, en est séparé par un plateau boisé et trois vallées rurales. La ligne N traverse majoritairement les plaines et plateaux cultivés. L'identité du territoire est marquée par l'hétérogénéité des tissus résidentiels. Face aux objectifs de densification, la remobilisation des friches industrielles et productives a permis la sauvegarde du tissu pavillonnaire, ce qui offre une certaine respirabilité au tissu urbain (Cormier et al. 2020). L'Ouest francilien est ainsi un espace où des taux de densité particulièrement élevés contrastent avec des territoires où le bâti est bien moins concentré ; les trames boisées et herbacées ont alors parfois du mal à pénétrer la petite couronne au vu de la faible disponibilité du foncier non aménagé. Enfin, du fait de la disposition radiale de l'ensemble des infrastructures de transport qui convergent vers la capitale, le territoire s'organise en faisceaux (Awada et Barreiro 2008). Les projets d'aménagements ferroviaires comme l'extension de la ligne RER E avec le projet Éole ou le grand Paris Express renforcent cette lecture.

Figure 7 : Mode d'occupation du sol du terrain d'étude.



**LA CONNECTIVITÉ  
PAYSAGÈRE DES QUARTIERS  
DE GARE : UNE APPROCHE  
MULTI-ESPÈCES ET  
MULTI-ÉCHELLES**

---

## PRÉPARATION DES DONNÉES ET CARACTÉRISATION DES TERRAINS D'ÉTUDE

### Des stratégies de modélisations variées

Il existe différentes stratégies lorsqu'il s'agit de sélectionner les espèces dont les réseaux de connectivité seront modélisés. En effet, d'une part, les inventaires écologiques réalisés, nécessaires pour paramétrer finement des approches très réalistes, ont livré des résultats difficilement exploitables. D'autre part, il existe aujourd'hui un socle bibliographique assez fourni qui permet tout de même d'estimer de manière informative lesdits paramètres, et dont le degré relatif de précision s'accorde bien avec les regroupements entre espèces ultérieurs qui seront effectués.

La formation des espèces virtuelles s'appuie sur des informations qui se rapportent à la carte d'occupation du sol qui sera utilisée lors de la modélisation. Les différents types d'occupation du sol qui composent le paysage jouent en effet des rôles différents : certains servent d'habitats écologiques (forêts de feuillus, haies ou prairies selon les espèces), d'autres contraignent les déplacements des espèces ou ont un effet barrière.

La carte d'occupation du sol utilisée ici est réalisée à une résolution de 5 mètres par 5 mètres et composée de 24 postes. Cinq bases de données d'occupation du sol ont été agrégées à l'aide de QGIS 3.18 pour la constituer (Figure 8). Le mode d'occupation du sol (MOS) est basé sur des photos aériennes et classe les zones agricoles, naturelles, forestières et urbaines, permettant ainsi de suivre leur évolution. La BD\_TOPO<sup>®</sup> est une modélisation 3D du territoire et de ses infrastructures de précision métrique. Elle permet de représenter de manière cohérente l'ensemble des entités géographiques et administratives des territoires couverts, qui sont regroupées en différents thèmes. La BD Forêt<sup>®</sup> V2.0 sert de référentiel géographique pour décrire les essences et les formations forestières. Le Registre Parcellaire Graphique (RPG) renseigne sur le type de culture et la localisation des parcelles agricoles à partir des déclarations des agriculteurs. Enfin, COPERNICUS-Urban Atlas — Street Tree Layers fournit une couche représentant les alignements continus d'arbres au sein de modes d'occupation du sol artificialisés, qui couvrent plus de 500 m<sup>2</sup> et sont d'une largeur supérieure à 10 mètres.

Figure 8 : Bases de données utilisées pour constituer la carte d'occupation du sol à l'échelle de la zone d'étude (les couleurs correspondent aux bases de données mobilisées pour former le poste).

### 5 Bases de données



Mode d'occupation du sol (2022)

81 postes pour analyser les dynamiques d'urbanisation et de mutations des grandes composantes des territoires à long terme



BD\_TOPO® (2023)  
Modélisation 3D du territoire et de ses infrastructures de précision métrique



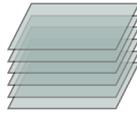
BD Forêt® V2.0 (2014)  
Sert de référentiel géographique pour décrire les essences et les formations forestières pour les zones de plus de 5 000 m<sup>2</sup>.



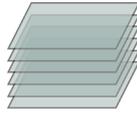
Registre Parcellaire Graphique (2023)  
Généré par l'Agence de Service et de Paiement, cette base de données renseigne sur le type de culture et la localisation des parcelles agricoles



COPERNICUS-Urban Atlas — Street Tree Layers (2018)  
Représente les alignements continus d'arbres au sein de modes d'occupation du sol artificialisés, qui couvrent plus de 500 m<sup>2</sup> et de largeur supérieure à 10 mètres.



24 postes  
d'occupation du  
sol constitués



Berge	Espace ouvert à végétation arbustive ou herbacée	Voies de plus de 25 mètres d'emprise
Équipement	Autres	Activité
Forêt de feuillus	Surface herbacée artificielle	Habitat
Forêt Mixte	Plan d'eau	Prairie
Cours d'eau	Emprise de transport ferré	Surface cultivée
Haies	LGV	Landes ligneuses
Autoroutes et bretelles	Batiments	Autres routes
Forêt de conifères	Forêt sans couvert arboré	Alignement d'arbres urbains

### Constitution des espèces virtuelles

Trois facteurs conditionnent la sélection des espèces ultérieurement regroupées en espèces virtuelles. Les contraintes techniques imposées par le modèle lui-même agissent comme un premier filtre : les espèces dont l'habitat n'est pas caractérisable à partir de l'occupation du sol ne se prêtent pas très bien à la modélisation par la théorie des graphes. Par exemple, sont ainsi exclus les chiroptères qui nichent exclusivement dans les milieux cavernicoles ou équivalents (bâti abandonné) ou les poissons dont l'habitat aquatique nécessite des modélisations spécifiques (Sahraoui 2016). L'échelle et la résolution du modèle ont aussi un impact : les modélisations ne seront pas très informatives pour des espèces pou-

vant se déplacer sur plusieurs centaines de kilomètres tandis que la zone d'étude n'en fait qu'une quarantaine au plus large. La prise en compte d'espèces requérant des micro-habitats (arbres morts par exemple) nécessite elle de construire des cartes d'occupation du sol à la résolution métrique, augmentant alors largement les temps de calcul.

Le second facteur est relatif aux usages futurs de la modélisation et à sa traduction opérationnelle lors de l'aménagement du territoire. La mobilisation d'espèces indicatrices permet par exemple de s'appuyer sur leur sensibilité aux perturbations pour rendre compte des variations affectant les milieux où elles évoluent et dont elles sont spécifiques. L'identification d'espèces dites parapluies repose sur la même logique : leur protection entraîne la protection d'autres espèces, du fait d'un domaine vital vaste et d'exigences en termes d'habitat contraignantes (Heywood 1995). En milieu urbanisé, comme c'est le cas pour une grande partie de notre zone d'étude, les enjeux de la sélection se cristallisent surtout sur la nécessité de ne pas être trop restrictif vis-à-vis des espèces choisies et d'inclure des espèces qui sont peu ou pas observées sur site à l'heure actuelle (Apfelbeck et al. 2019). L'exclusion *a priori* des espèces peu présentes aujourd'hui risque ainsi de conduire à leur omission dans les futurs aménagements.

Le dernier critère de sélection, le plus contraignant, concerne la disponibilité des données relatives aux traits physiologiques impliqués dans la dispersion. Les informations relatives à la taille d'habitat minimale sont relativement bien identifiables, mais elles peuvent parfois désigner le domaine vital (*home range*), qui correspond à la surface parcourue en moyenne par un individu sur une période donnée (Powell et Mitchell 2012) sans véritablement l'explicitier. Les informations relatives à la distance de dispersion explicitent elles aussi rarement s'il s'agit de distance moyenne ou maximale, pour des individus juvéniles ou adultes. L'attribution de valeurs de résistance nominatives pour les classes d'occupation du sol, qui composent la future carte d'occupation du sol, constitue aussi un filtre important.

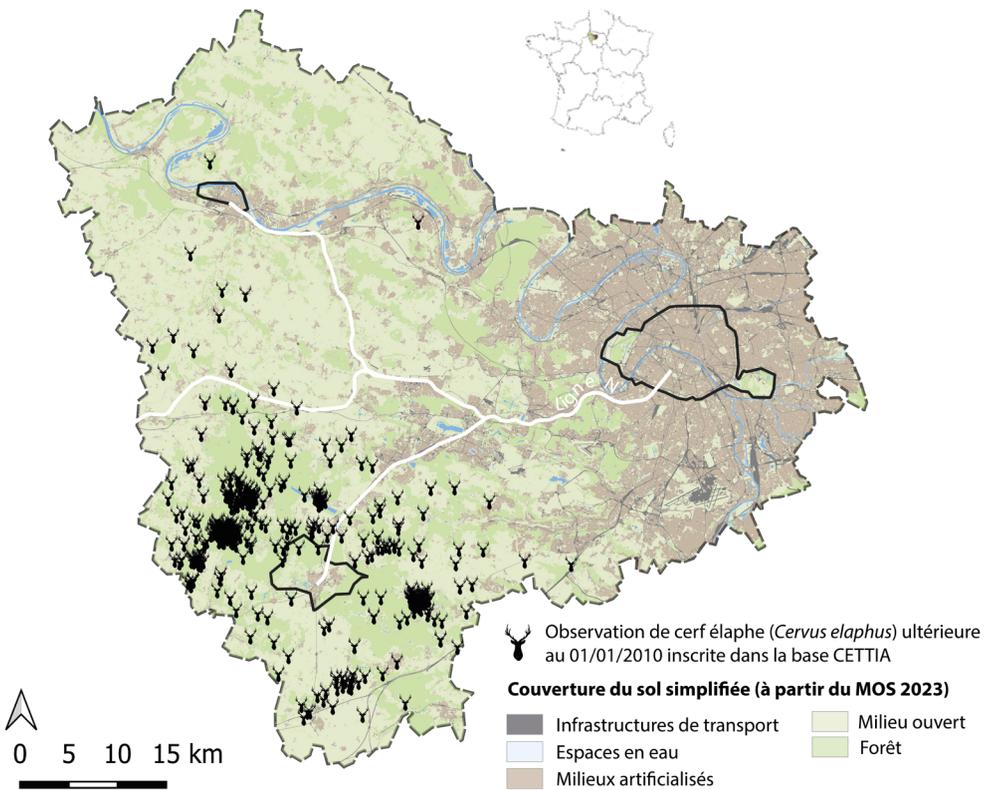
Le panel d'espèces sélectionnées est issu de données d'occurrences recensées dans la base CETTIA. Aujourd'hui nommée Géonature<sup>2</sup> et administrée par l'Agence Régionale pour la Biodiversité, cette base répertorie la taxonomie et la localisation des observations d'individus de faune et de flore réalisées par les structures impliquées dans des dispositifs de sciences participatives ou des naturalistes indépendants. Une présélection a été effectuée à partir des espèces les plus observées au sein de différents ordres (amphibiens, mammifères, reptiles, oiseaux et insectes)

---

2 <https://geonature.arb-idf.fr/geonature/#/>

observées depuis 2010 dans un rayon de 15km autour de la ligne N. Il a été décidé d'inclure aussi des espèces peu (< 30 occurrences), voire très peu (<10 occurrences) observées, privilégiant ainsi le risque de faux positifs plutôt que celui de faux négatifs. Pour couvrir la diversité morphologique qui existe entre ordres d'insectes – la morphologie impactant les caractéristiques de dispersion, des espèces de lépidoptères, d'odonates et d'hémiptères ont été spécifiquement choisies. Soixante-douze espèces ont été retenues et classées selon le type de milieu dans lequel elles vivent : 10 espèces d'insectes, 16 espèces de mammifères, 11 espèces de reptiles, 24 espèces d'oiseaux et 11 espèces d'amphibiens. Un exemple des observations au sein de la zone d'étude pour le cerf élaphe est fourni en figure 9.

Figure 9 : Observations au sein de la zone d'étude pour le Cerf élaphe (*Cervus elaphus*).



Les liens entretenus entre chaque espèce et les différents éléments du paysage traduits dans les types d'occupation du sol peuvent alors être formalisés par les valeurs de résistance. Une valeur élevée attribuée à un poste traduit une difficulté pour les organismes de l'espèce considérée à traverser ce milieu et/ou un comportement d'évitement ; l'habitat se voit ainsi attribuer une valeur égale à 1. Les différentes formes d'artificialisation sont rarement distinguées dans la littérature ; les habitats, équipements ou activités se voient souvent attribuer des valeurs de résistance similaires. En ce qui concerne les bâtiments eux-mêmes, ceux-ci sont considérés comme infranchissables, avec une valeur de résistance fixée à 10 000. Les infrastructures de transport ont également des valeurs de résistance élevées, mais qui varient en fonction du trafic, qui est ici approximé à partir du diamètre de l'infrastructure. Les lignes à grande vitesse (LGV) et les autoroutes, en raison de leur nature et des clôtures ou murs adjacents qui empêchent le passage des espèces, ont des valeurs de résistance généralement proches de celles des bâtiments. Les valeurs ont été identifiées à partir de la littérature, puis rééchelonnées selon une échelle de 1 à 10 000 en accord avec les recommandations de Churko, Kienast, et Bolliger (2020). Chaque espèce dispose alors de sa "carte d'identité" (Figure 10).

Figure 10 : Carte d'identité de l'écureuil roux (*Sciurus vulgaris*).



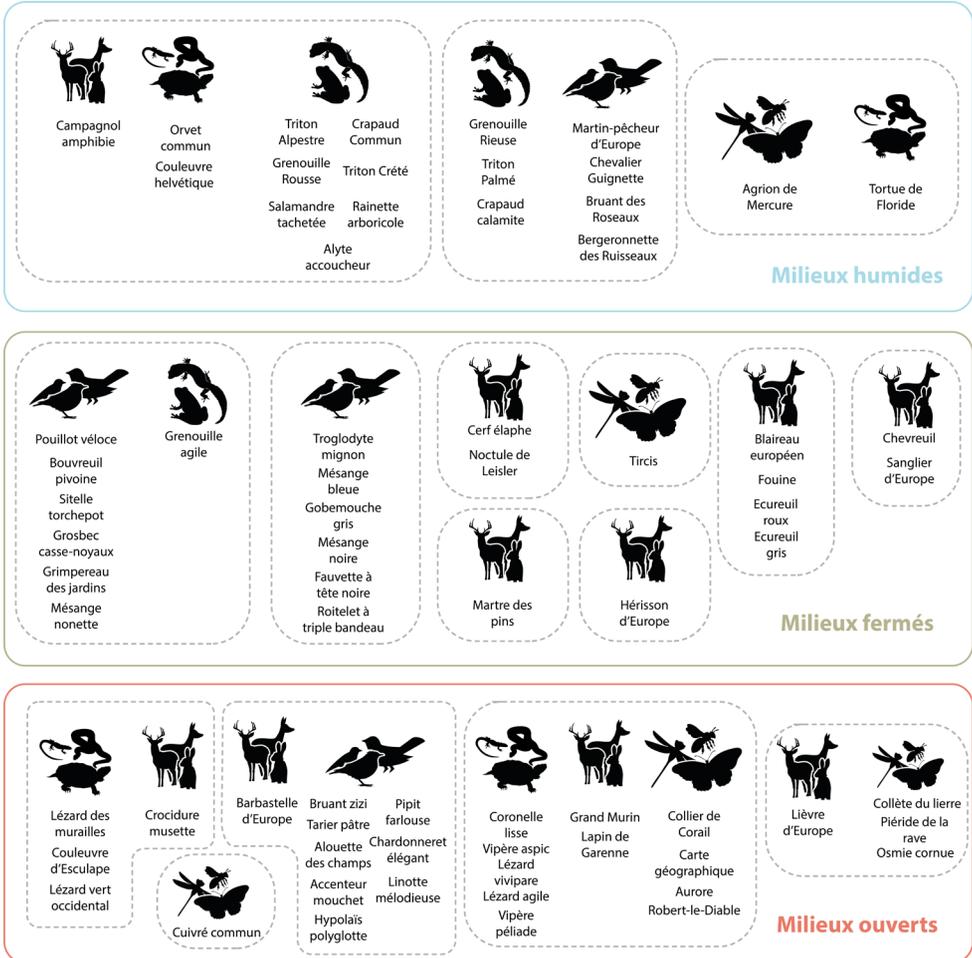
### Ecureuil roux

Classe	Nom scientifique	Habitat	Habitat secondaire	Disp (en km)
Mammifère	<i>Sciurus vulgaris</i>	Forêts mixtes		2,01

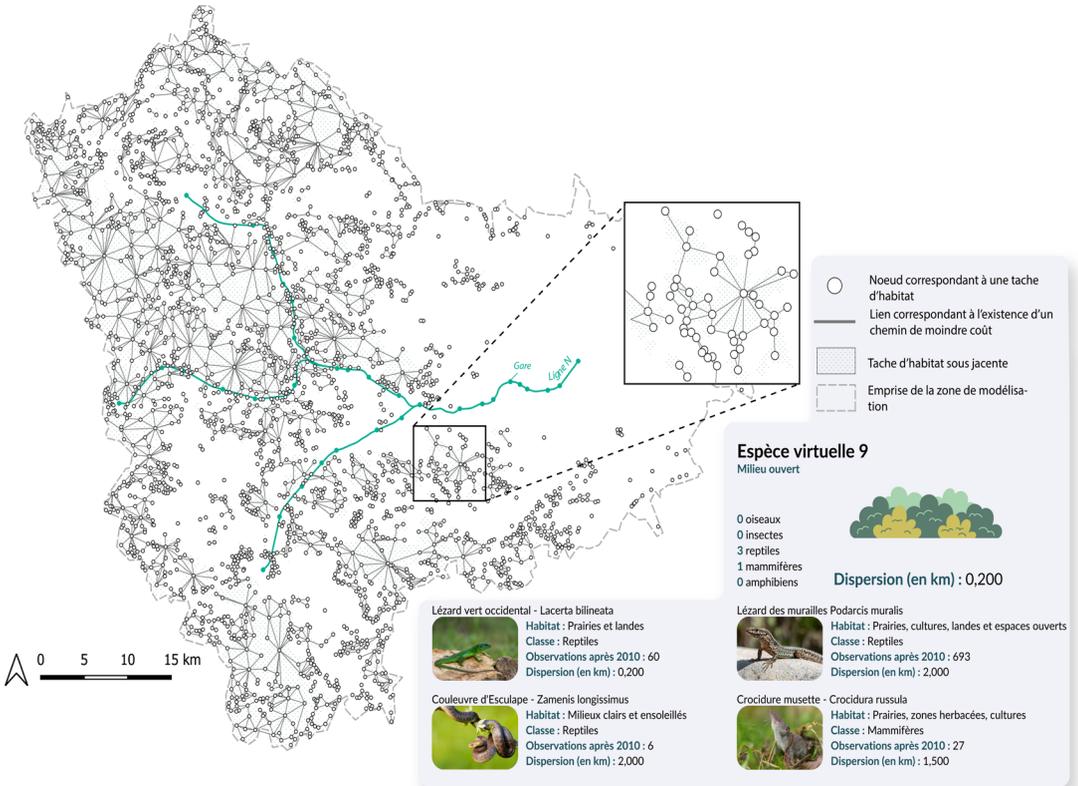
Résistances paysagères							
Forêt Mixte	Forêt de feuillus	Forêt de conifères	Espace Ouvert végétalisé arboré	Landes Ligneuses	Prairie	Haie	Forêt sans couvert arboré
1	1	1	100	100	10	1	100
Cultures	Surface herbacée artificielle	Berge	Plan d'eau	Cours d'eau	Artif habitat	Bâtiment	Artif activité
100	1000	10000	10000	10000	1000	10000	1000
Artif équipement	Autres artificialisé	Voie ferrées	LGV	Routes niv1	Routes niv2	Autoroute	
1000	1000	1000	10000	1000	1000	10000	

Figure 11 : Espèces virtuelles retenues.



Crédit des illustrations : [www.freeepik.com](http://www.freeepik.com)

Figure 12 : Exemple de cartographie du réseau écologique pour l'espèce virtuelle 9 de milieu ouvert.



Les 72 espèces ont ensuite été regroupées en classes nommées espèces virtuelles lors d'un atelier participatif. Ce dernier a regroupé des professionnels du ferroviaire, de l'environnement et des collectivités publiques. Les participants se sont appuyés sur les cartes d'identité, mais ont aussi tenu à rassembler des espèces selon les similarités qu'elles présentaient vis à vis d'autres caractéristiques. Leur caractère exotique, accidentogène ou emblématique a été utilisé comme base de recoupement. Ces éléments, informatifs dans l'absolu, ne correspondent pas forcément à des traits écologiques relatifs à la dispersion, ce qui est prioritaire du point de vue du modèle. Les classes formées ont alors été corrigées statistiquement. L'arbitrage final conduit à 16 espèces virtuelles (figure 11), ce nombre traduisant le degré de synthèse acceptable par les opérationnels. Un exemple de résultat pour une espèce virtuelle de milieu ouvert est présenté en figure 12.

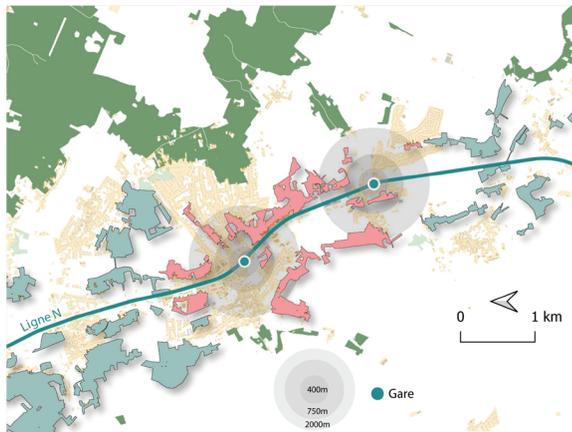
## QUELLE INFLUENCE DES QUARTIERS DE GARE DANS LA CONNECTIVITÉ À L'ÉCHELLE RÉGIONALE ?

Plusieurs analyses ont été mises en place pour connaître le rôle des habitats écologiques du quartier de gare au sein du réseau écologique régional. Pour cela il a fallu effectuer une comparaison - à l'aide de métriques de connectivité - selon la localisation des habitats au sein des quartiers de gare. Dans un second temps, l'influence de différents facteurs locaux relatifs aux contraintes techniques et urbanistiques sur ces contributions a été analysée statistiquement (Figure 13).

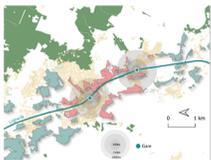
Figure 13 : Question de recherche et méthodologie.

**Hypothèse 1 :** Les habitats écologiques présents au sein du quartier de gare participent moins à la connectivité paysagère régionale que les habitats écologiques en dehors, à situations urbaines équivalentes, du fait de l'effet fragmentant des infrastructures de transport

**Hypothèse 2 :** Les habitats écologiques présents au sein du quartier de gare participent moins à la connectivité paysagère régionale que les habitats écologiques jouxtant la ligne ferroviaire mais en dehors du quartier de gare, à situation urbaine égale, du fait de l'effet fragmentant des infrastructures propres aux gares.



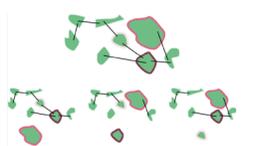
Détail de la ligne N autour des gares de Maule et Mareil-sur-Mauldre



**Modélisation du réseau écologique et caractérisation des propriétés des taches**



**définition de zones de contrôle pour H1 et H2**



**Comparaison des propriétés des taches des quartiers de gares et des zones de contrôle**



**Evaluation des propriétés spatiales locales pouvant expliquer ces différences**

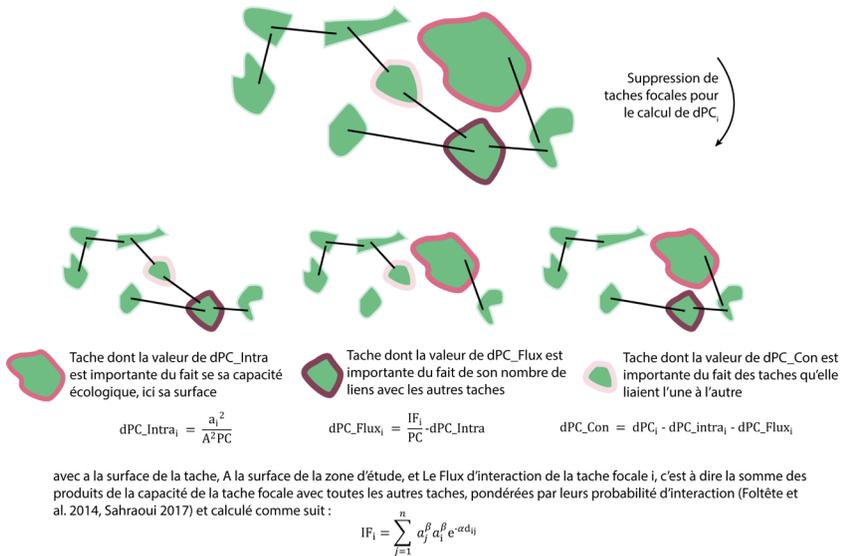
La première analyse repose sur la validation de l'hypothèse d'un rôle spécifique des habitats écologiques selon leur proximité avec la gare. Sont ainsi comparées les contributions au réseau des habitats qui jouxtent la ligne, des habitats qui se situent dans le quartier de gare et ceux qui sont éloignés des infrastructures de transport ferroviaire.

Pour effectuer cette comparaison, la métrique différence de Probabilité de Connectivité (dPC) (Serret et al. 2013) est utilisée. Elle peut être appréhendée comme l'influence de la tache sur la probabilité que deux individus tirés au hasard dans la zone d'étude parviennent à entrer en contact. Elle se calcule à partir de la métrique PC :

$dPC_i = (PC - PC_i)$ . PC se calcule à partir de la capacité écologique de chaque tache, qui correspond à leur potentiel d'accueil des populations et est ici approximée à partir de leur surface ; de la probabilité de lien entre chaque tache deux à deux, qui dépend de la distance-coût entre les taches et est obtenue après conversion de la distance de dispersion en valeur métrique ; ainsi que de l'aire de la zone d'étude.  $PC_i$  se calcule avec la même formule et s'applique au même réseau écologique, à ceci près que la tache d'habitat écologique  $i$  y a été effacée virtuellement. La métrique dPC peut elle-même être décomposée, chaque composante mesurant une propriété expliquant la participation de la tache au réseau écologique dans son ensemble (Figure 14) :

- du fait de la perte de la surface d'habitat,
- du fait de la perte d'interactions, c'est-à-dire de liens entre le patch focal et les patches avec lesquels il était interconnecté,
- du fait de la disparition de chemins uniques au sein du réseau qui étaient auparavant assurés par le patch. Il s'agit en d'autres termes de la contribution d'un patch par son rôle de point relais ou d'élément permettant le maintien de la connectivité entre taches d'habitat. Le nombre de chemins uniques est une information permettant généralement de statuer sur le caractère stratégique des espaces. En effet, il invite à considérer les taches d'habitat comme des éléments potentiellement importants, même si elles sont rares, faiblement étendues ou peu connectées.

Figure 14 : Représentation des différentes sous composantes de dPC. Les valeurs de dPC\_Intra, dPC\_Flux et dPC\_Con sont calculées pour chaque tache ; ne sont précisées que les taches pour lesquelles ces métriques sont respectivement élevées.

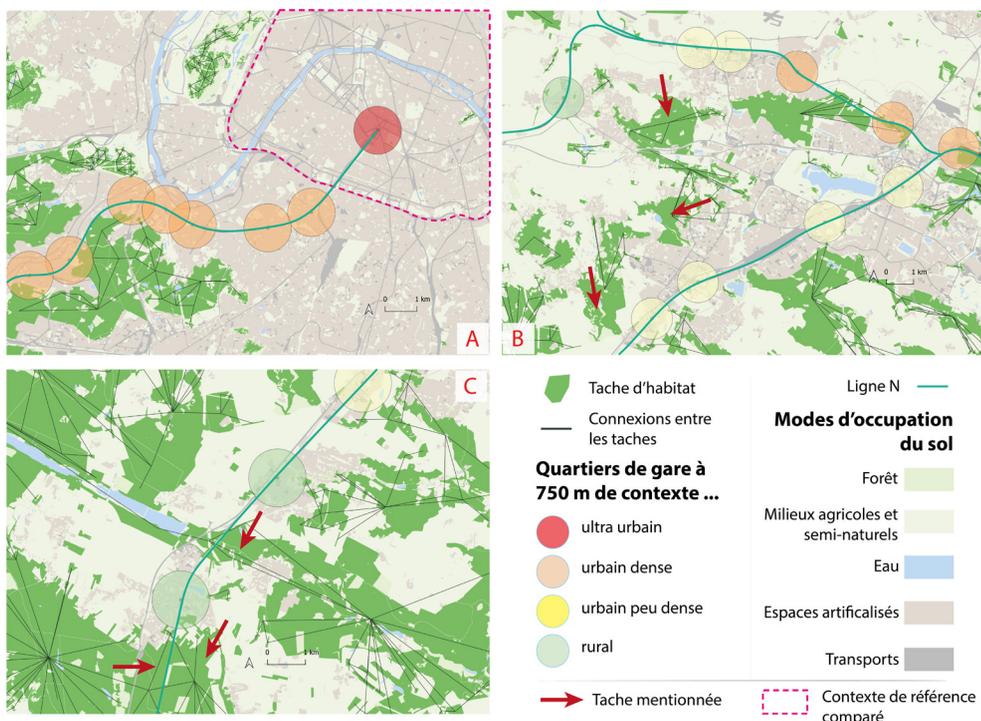


Les composantes de dPC ont été comparées pour les taches d'habitat de chaque type : dans les quartiers de gare, en dehors, et le long du réseau ferré. Pour isoler l'effet des infrastructures ferroviaires vis-à-vis de la fragmentation liée à l'urbanisation, les habitats écologiques sont catégorisés au sein d'un gradient d'urbanité et les comparaisons sont réalisées par catégories : Ultra-urbain, Urbain de forte densité, Urbain de faible densité, Rural. Ces catégories ont été structurées en procédant à une classification statistique à partir de plus de 100 métriques liées à l'occupation du sol, à la typomorphologie des tissus urbains dans plusieurs voisinages des gares, et de la morphologie d'exploitation de la gare.

Les résultats obtenus concernant les espèces virtuelles des milieux forestiers mettent en évidence plusieurs éléments d'intérêt.

Loin de tout espace ferroviaire, le milieu ultra urbain ne participe quasiment pas à la connectivité contrairement aux taches situées dans un contexte un peu moins dense. Cette observation concerne également les quartiers de gare (Figure 15.A).

Figure 15 : Illustrations des résultats à partir de l'espèce virtuelle n°1 (milieux forestiers).



Dans la ville même de Paris, les habitats forestiers sont effectivement très rares, de petite taille et isolés par un tissu urbain extrêmement dense, sauf au niveau du Bois de Boulogne. Le milieu peu dense dans le tissu urbain sans pôle de transport est marqué par une absence ou une fragmentation particulièrement élevée de ses forêts (Fig 15.B).

En ce qui concerne les taches d'habitat situées le long de la ligne ferroviaire, les résultats suggèrent une transition plus graduelle de la performance écologique des taches, où l'environnement urbain dans son ensemble agit comme un facteur limitant la connectivité le long de la ligne. Les forêts sont des habitats plutôt rares et de faible surface dans les quartiers de gare ruraux, mais jouent tout de même un rôle important au sein du réseau de forêts de ces espaces.

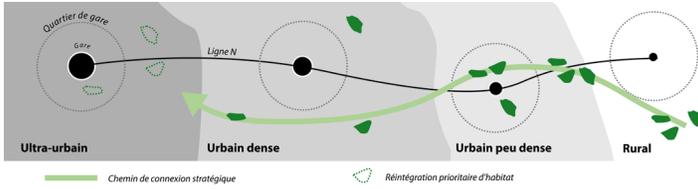
Ces conclusions permettent de discerner des opportunités stratégiques pour remédier aux faiblesses locales ou capitaliser sur la persistance d'un réseau encore présent localement dans certains contextes appauvris.

Tout d'abord, les taches des quartiers de gare en milieu urbain dense sont connectées à un nombre plus important d'habitats (valeurs de dPC\_Flux élevée) que les habitats éloignés des gares. Le nombre de connexions locales des taches peut fonctionner comme une première approximation de l'intégration de la tache dans les trames régionales. Le résultat suggère donc un potentiel d'intégration dans les trames forestières des habitats des quartiers de gare plus efficace que les habitats loin des gares. Les analyses permettent d'identifier un second résultat. En milieu peu dense, la participation des habitats forestiers décroît avec le gradient d'urbanité. Pour autant, cette dégradation n'est pas de même intensité selon la proximité à la gare : elle est plus rapide dans le tissu urbain non desservi par une gare. Les raisons expliquant ces variations demeurent incertaines, mais pourraient être liées au contexte historique de préservation des domaines forestiers royaux en Île-de-France — comme c'est le cas de la forêt de Bois d'Arcy —, lesquels ont été conservés dans des zones qui, aujourd'hui, se trouvent à proximité immédiate des gares desservies par la ligne N. Ces différences relatives font néanmoins de ces quartiers de gare des espaces stratégiques. Les forêts des quartiers de gare peu dense doivent donc être préservées. En milieu rural, les habitats autour des gares sont plus petits, mais pas moins importants que dans le reste des villes rurales. En revanche, c'est le long de la ligne que les habitats seront les plus performants écologiquement. (Fig 15.C)

Dans l'optique de penser conjointement la trame radiale qui connecte l'Île-de-France rurale au cœur parisien et les réseaux de connectivité qui parcourent respectivement la petite ou la grande ceinture, il est possible de formuler des propositions d'organisation des trames à l'échelle régionale qui partirait d'un postulat d'une robustesse du réseau écologique global acquise par la mise en lien de taches les plus performantes localement. En d'autres termes, il s'agit d'identifier les habitats aux valeurs locales de dPC\_Flux ou dPC\_Con plus élevées au sein de chaque contexte (Figure 16), puis de les relier entre eux.

La création de trames forestières en milieu rural reliant les taches éloignées des infrastructures (H1) aux taches le long de la ligne (H2) pourrait rejoindre les habitats écologiques présents dans les quartiers de gare des contextes périurbains denses. À l'échelle de la ligne, il n'est pas forcément prioritaire de reconnecter les habitats des quartiers de gare ruraux qui sont moins intégrés que leurs homologues du tissu urbain non desservi ou le long du linéaire ferroviaire. Il serait cependant essentiel d'intégrer dans cette trame les habitats des quartiers de gare dans les contextes périurbains peu denses, car le reste du tissu urbain hors quartiers de gare semble marqué par un déficit en habitats et une pauvreté de connexion de

Figure 16 : Proposition de stratégie pour la trame forestière.



ces derniers. Il conviendrait ensuite, lors de la transition vers le contexte urbain à forte densité, de relier les taches du quartier de gare aux habitats en dehors, qui sont cette fois plus performants. Enfin, en s'approchant du cœur de la métropole et en atteignant le contexte ultra-urbain, il reste encore beaucoup à faire ; il est donc essentiel de saisir les opportunités pour reconnecter ces espaces qui souffrent d'un manque d'habitats fonctionnels pour le réseau.

Les conclusions ne diffèrent pas grandement pour les espèces de milieux ouverts. Le long de la ligne, il est possible d'observer des taches particulièrement étendues et particulièrement connectées en zones urbaines denses, même si elles n'assurent pas forcément plus de chemins uniques (Fig 17. A).

En milieu urbain de faible densité, le réseau évolue et se présente plutôt sous forme de grappes. Dans ces espaces, les massifs forestiers historiques préservés, présents de manière contingente, présentent des surfaces exceptionnellement élevées qui contrastent avec les forêts des milieux ruraux, ces dernières ayant subi les mitages urbains et agricoles. L'analyse comparative par contexte révèle que, dans l'urbain peu dense, les taches situées dans les quartiers de gare sont stratégiquement plus intéressantes que celles en dehors de ces quartiers (Fig 17. B).

Dans le milieu rural, les taches le long de la ligne sont plus étendues, tandis que, dans l'urbain de forte densité, les taches dans le tissu urbain non desservi assurent un plus grand nombre de chemins uniques (Fig 17. C).

En conséquence, il est possible de proposer un schéma d'aménagement basé sur la reconnexion en milieu rural des taches éloignées des infrastructures ferroviaires avec celles qui jouxtent la ligne, tout en évitant une nouvelle fois les quartiers de gare (Figure 18). Ces espaces seraient néanmoins au cœur des trames de milieux ouverts en contexte urbain peu dense. Dans les contextes urbains denses et ultra-urbains, il ne semble pas y avoir de priorité stratégique clairement établie du point de vue de la connectivité. L'ensemble du réseau écologique reste à reconstruire, et il convient de nouveau de tirer parti de chaque opportunité disponible.

Figure 17 : Illustrations des résultats à partir de l'espèce virtuelle n°9 (milieux ouverts).

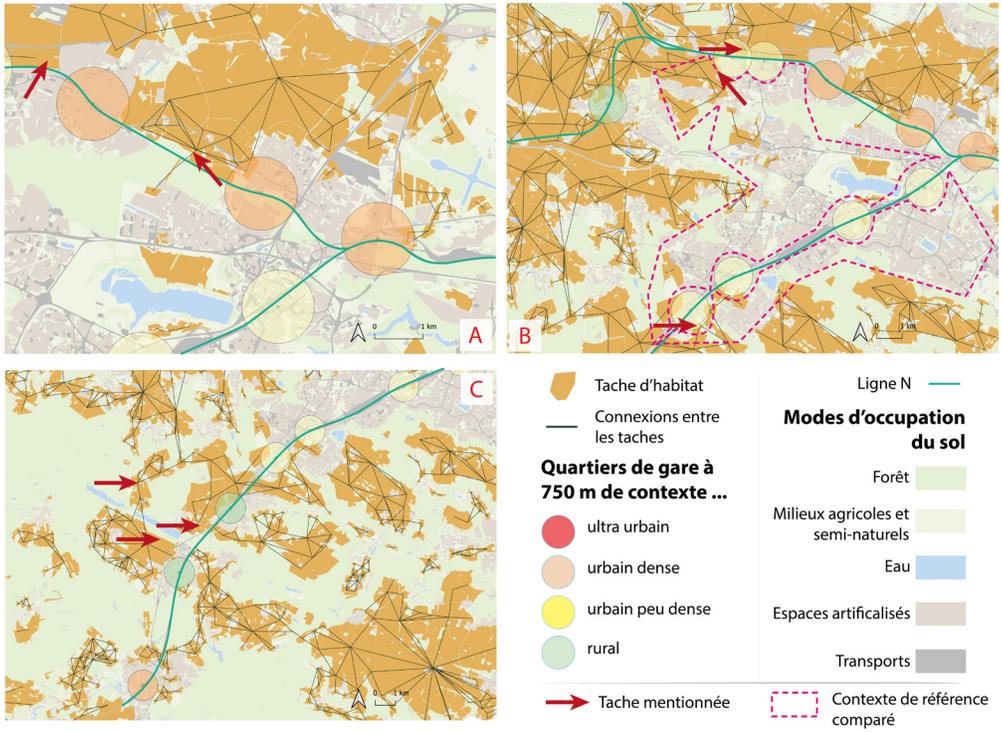
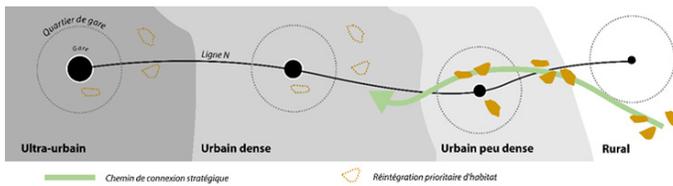


Figure 18 : Proposition de stratégie pour les milieux ouverts.



Enfin, pour les milieux humides, il est difficile d'obtenir des résultats significatifs en raison du faible nombre d'habitats disponibles. L'urbain, proche des infrastructures ferroviaires ou non, est marqué par une rareté des zones humides et des espaces en eau connectés. Les performances évoluent positivement avec la diminution de la densité, sauf pour le tissu urbain non desservi, qui reste marqué même à faible densité par des habitats écologiques très peu connectés.

Afin de renforcer la fonctionnalité du réseau écologique, il est essentiel de concentrer les efforts sur l'articulation entre les zones urbaines à faible et à forte densité, en particulier autour des infrastructures de transport ferroviaire. La diminution progressive de la performance des taches avec l'intensité urbaine suggère deux stratégies potentielles. La première consiste à établir des trames globales de milieux humides, créant un réseau diffus qui, bien que prometteur, reste largement à construire. La seconde privilégie une approche fondée sur l'organisation de patchs en chaînes, où les taches, bien que ni particulièrement étendues ni fortement connectées, assurent un chemin unique jusqu'au cœur urbain. Cependant, cette approche rendrait le réseau écologique beaucoup moins résilient, en le rendant dépendant de chaque maillon de la chaîne. Ces chaînes devraient exploiter, une fois encore, la performance supérieure (de manière relative et absolue) des quartiers de gare et des taches jouxtant la ligne de chemin de fer dans les contextes à faible densité.

Deux conclusions transversales peuvent être tirées des analyses par milieux proposées. D'une part, il convient de souligner que les quartiers de gare ne sont pas des zones sans enjeux pour la biodiversité en comparaison avec d'autres espaces. Bien que dans les contextes ruraux, la taille des taches soit en moyenne plus importante en dehors des quartiers de gare, cela ne se traduit que très rarement par un nombre supérieur de liens ou de chemins uniques assurés. En revanche, une performance plus élevée est parfois observée pour les taches situées dans les quartiers de gare, notamment dans les zones à faible densité. L'intensification de la densité urbaine n'a ainsi pas systématiquement un effet linéaire sur la performance des taches. D'autre part, les forêts et les milieux ouverts à proximité des infrastructures ferroviaires doivent être absolument préservés, car il n'existe pas d'équivalents dans le tissu urbain hors périmètre infrastructures ferroviaires. Le développement du réseau écologique par l'intégration de nouvelles taches, à travers des aménagements ou des restaurations écologiques visant à rendre fonctionnels des habitats dégradés, serait particulièrement pertinent dans ce contexte.

## QUEL EFFET LOCAL DES FORMES URBAINES ET DES CONTRAINTES TECHNIQUES ?

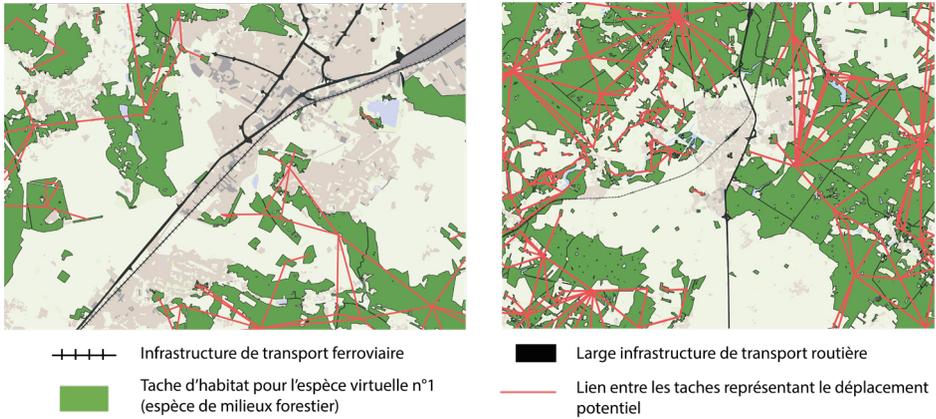
Dans un second temps, les influences sur la connectivité de facteurs paysagers à l'échelle des patches ou de leur environnement immédiat ont été investiguées. La première analyse a remobilisé les modélisations précédentes et été menée à l'échelle régionale. Trois types d'effets significatifs ont été évalués de nouveau grâce aux composantes de dPC.

Tout d'abord, la présence de zones de même nature que l'habitat, mais de surface trop réduite pour accueillir des populations réduit l'effet barrière. Ainsi, même dans les quartiers de gare, de petits espaces peuvent servir de pas japonais et permettre la colonisation de ces espaces.

Ensuite, dans les simulations, les prairies ont globalement le même effet dans les tissus urbains et les quartiers de gare. Le long des corridors linéaires, l'implantation de prairies semble au contraire accroître l'effet barrière, probablement en raison de la rupture qu'elles créent pour les espèces forestières historiquement présentes dans ces zones. De plus, dans les quartiers de gare, les situations semblent être caractérisées par la présence de zones d'équilibre liées à la répartition forêts/prairies. Soit la surface couverte par les prairies est d'un ordre de grandeur suffisant pour favoriser largement les espèces des milieux ouverts, soit celle-ci est limitée à des niveaux restreints pour permettre simplement une diversité des milieux dans des espaces dominés par des forêts. Lorsque le milieu ne semble pas dominé par un type d'habitat particulier, la configuration paysagère semble ne profiter à aucun type d'espèce et la connectivité générale (pour toutes les espèces indépendamment de leurs milieux de vie) diminue. En plus de l'avantage comparatif (un milieu profite aux autres moins qu'il ne profite à l'espèce correspondante), il est possible d'identifier un effet antagoniste (le milieu nuit à certaines espèces), notamment pour certaines espèces virtuelles de milieux fermés. Il apparaît donc essentiel de composer des paysages dont les équilibres entre milieux ouverts, forestiers et humides ne soient pas laissés au hasard.

Enfin, la compaction des infrastructures linéaires de transport semble avoir un effet bénéfique dans les quartiers de gare. Plus ces infrastructures sont parallèles et rapprochées, en faisceau, moins elles fragmentent l'espace dans toutes les directions. Cela a pour effet de réduire l'effet barrière transversal tout en maintenant une meilleure connectivité à l'échelle globale. En d'autres termes, le réseau est coupé en 2 et non plus en 3, 4, etc. (Figure 19). Les modèles de pôles d'échanges multimodaux qui croisent de manière orthogonale les flux pour permettre une meilleure couverture du territoire et une meilleure intermodalité ne sont donc peut-être

Figure 19 : Effet de la compaction des infrastructures de transport sur la fragmentation au niveau des quartiers de gare.



*Une forte compaction des infrastructures de transport (à gauche, autour de la gare de La Verrière) engendre un découpage du réseau en deux portions, tandis qu'une faible compaction génère une segmentation en plus de deux sous composantes (à droite, Rambouillet)*

pas les plus adaptés aux exigences liées à la connectivité écologique. Des dispositifs pour remédier à ces multiples fractures doivent en tout cas être prioritaires.

Ce travail a été suivi de la mise en place d'une méthodologie destinée à évaluer plus précisément l'influence de la prise en compte fine des tissus urbains sur les résultats obtenus par la modélisation. Dès les années 2000, les chercheurs pointent l'intérêt de déployer une « écologie du paysage urbanisé » (Clergeau 2007). En effet, les écosystèmes urbains sont complexes, et ils manifestent un niveau d'hétérogénéité spatiale élevé du fait d'habitats écologiques petits et isolés dans la matrice bâtie (Alberti 2008; Flégeau 2021). L'un des enjeux de l'écologie du paysage est d'arriver à caractériser des propriétés de la matrice urbaine qui affectent les déplacements au sein de celle-ci (Breuste, Niemelä, et Snep 2008). La densité urbaine sert généralement de première approximation et a permis de formuler plusieurs constats (Kim et al. 2020 ; Flégeau 2021). Les espaces de forte densité sont ainsi marqués par une faible performance écologique et une dépendance à des espaces stratégiques assurant la connectivité fonctionnelle (parcs urbains inscrits dans la continuité les uns des autres, rues végétalisées qui en permettent le prolongement, etc.). D'autres méthodes visent à traduire la diversité des formes urbaines pour les intégrer dans les

modèles, comme des approches par la distance au centre du pôle urbain (Moll et al. 2019) ou la catégorisation de la proportion de surface imperméabilisée.

Dans les faits, peu d'articles étudient explicitement l'effet écologique de l'organisation des éléments bâtis, et il n'existe pas de boîte à outils commune (Flégeau 2021). Les écologues du paysage vont majoritairement se fonder sur l'occupation du sol, dont les modalités font l'objet de classifications dans des bases de données. Ces sources ont destiné la discipline, qui s'est dès lors plus orientée vers l'étude des effets de différents patterns de développement urbains qu'elle n'a discriminé les formes à l'échelle de l'ilot (Tannier, Foltête, et Girardet 2012 ; Penteado 2021 ; Savary et al. 2024). La détermination de l'échelle d'analyse adaptée reste aussi au cœur de la réflexion. Clergeau (2007) propose de recroiser plusieurs échelles d'analyse : la métropole, la ville, le site, et la station. Chacune de ces échelles est adaptée à l'étude de processus ou d'objets particuliers, tels que les relations ville/campagne ; les connexions entre les sites, les tailles et formes des habitats ou l'hétérogénéité des strates végétales. Enfin, dans une optique de remobilisation des résultats produits pour guider l'aménagement urbain, les paramètres employés comme descripteurs doivent être appropriables pour les acteurs opérationnels. Or, aujourd'hui, les travaux d'écologie urbaine se concentrent majoritairement sur l'impact de paramètres sur lesquels la planification urbaine n'a que peu de prise, ou qu'elle influence indirectement, comme la température ou les taux de nutriments (Martin 2023). Les méthodologies bénéficieraient donc avantageusement d'un croisement avec les approches des formes urbaines classiques développées par les experts de la forme urbaine, à savoir les typomorphologues.

Pour concilier précision et usage opérationnel ultérieur, l'influence de la matrice sur les populations animales et végétales doit être appréhendée à partir des éléments constitutifs des formes urbaines. Il s'agit notamment des produits historiques et culturels des schèmes de l'aménagement urbain : bâti, trame viaire et alternance de pleins et de vides sur le parcellaire. À l'échelle du quartier, les configurations de ces éléments peuvent être mesurées par différentes métriques (retrait par rapport à la rue, largeur des voies, compacité des bâtiments), ce qui permet dans un second temps leur intégration dans des modèles explicatifs de la fonctionnalité des écosystèmes. L'attribution des résistances paysagères aux occupations du sol non artificialisées (forêts, milieux ouverts, etc.) est déjà une gageure ; en milieu urbain, le degré de précision nécessaire et le désintérêt relatif des experts naturalistes pour la ville rendent quasiment impossible une telle méthodologie d'évaluation.

Les auteurs qui ne se fondent pas sur des méthodes de tracking (Pullinger et Johnson 2010) - ni ne remobilisent la littérature qui en est issue - ont ainsi généralement recours à des imputations exploratoires de **résistances**. Celles-ci se fondent soit sur des gradations relatives estimées à partir de métriques calculées localement (Farinha-Marques et Fernandes 2018 ; Kwon, Kim, et Ra 2021), soient sur des tests de sensibilité qui font varier les échelles de résistances attribuées en fonction d'un ou deux paramètres (Louis-Lucas et al., 2022). L'analyse présentée ci-dessous s'inscrit dans la continuité de ces approches.

La méthodologie emploie la base de données des Tissus Urbains Franciliens (Watkin, Delaville, et Dugué 2019) en plus des données d'occupation du sol déjà mobilisées. Cette base vise à saisir finement l'évolution du développement urbain, en détaillant les caractéristiques des tissus les plus représentatifs ou spécifiques existants en Île-de-France et intégrant les typologies locales utilisées par les acteurs de l'aménagement. Constituée procéduralement, elle dispose d'une nomenclature en 21 postes, à vocation urbaine (Figure 20).

De nouvelles modélisations de résolutions plus fines (1\*1m) et d'échelle plus large (5km autour de la gare) ont été réalisées pour 4 gares : Montparnasse, La Verrière, Rambouillet et Épône-Mézières, chacune étant inscrite dans un contexte urbain différent. Cinq espèces ont été choisies parmi les 72 espèces précédemment retenues sur le critère de points d'occurrence dans la base CETTIA aux alentours de ces quatre quartiers de gare : le tircis (*Pararge aegeria*), le chevreuil (*Capreolus capreolus*), la grenouille agile (*Rana dalmatina*), le lézard des murailles (*Podarcis muralis*) et la mésange charbonnière (*Cyanistes caeruleus*) (Figure 21).

Afin de caractériser lesdits postes du point de vue de la résistance éventuelle qu'ils opposent au mouvement de différentes espèces, 7 métriques ont été relevées pour chaque poste du TUF (Figure 22). La continuité du bâti peut impacter le mouvement (Tarabon et al. 2019) en rendant impénétrable le cœur d'îlot. De manière similaire, l'usage de clôtures, de murs, de haies ou de fossés pour séparer les parcelles a un effet différencié sur la résistance du tissu urbain, allant de l'effet barrière des murs pour les espèces rampantes au corridor pour les haies (Jakes et al. 2018; Lecq et al. 2018). Le pourcentage de végétation haute et basse influence la fourniture de microhabitats ou de points relais pour les espèces correspondantes et peut être intégré dans l'évaluation des résistances (Kwon, Kim, et Ra 2021 ; Blair 1996 ; Watts et al. 2010). L'intérêt de la prise en compte de la position du bâtiment au sein de la parcelle a été mis en évidence dans le cadre du programme BAUM, notamment au regard de la conservation de zones non perturbées pour certaines espèces aviaires. L'emprise au sol

Figure 20 : Postes de la base de données du TUF (Watkin et al. 2019) et détail de deux postes.

### Habitat collectif discontinu

Ensemble des opérations d'habitat collectif avec un cadre majoritairement en retrait par rapport à l'alignement sur la rue, discontinu, de hauteur inférieure à 19m, composé d'immeubles collectifs sous forme de tours, barres, plots ou formes hétérogènes



Libellé du poste
Habitat villageois
Habitat individuel hétérogène
Espaces ouverts
Immeuble très hétérogène
Habitat collectif discontinu
Activités économiques et commerciales discontinues
Habitat individuel isolé
lotissements et opérations groupées continus
lotissements et opérations groupées discontinus
Equipements
Grandes propriétés
Immeuble bas hétérogène
Immeuble ancien bas (type bourg)
Immeuble ancien moyen (type centre-ville et faubourg)
Immeuble de grande hauteur
Chantiers
Immeuble haut hétérogène
Immeuble moyen hétérogène
Immeuble ancien haut (type Haussmanien et assimilé)
Immeuble urbain récent
Immeuble urbain haut récent
Aéroports

	Nombre 5km	Surface moyenne 5km	Ecart type 5km
Montparnasse	385	6471	4971
La Verrière	191	4404	10899
Rambouillet	123	6477	6803
Epone-Mézières	105	2386	3695
total	804	3552	7001

### Lotissements et opérations groupées continus

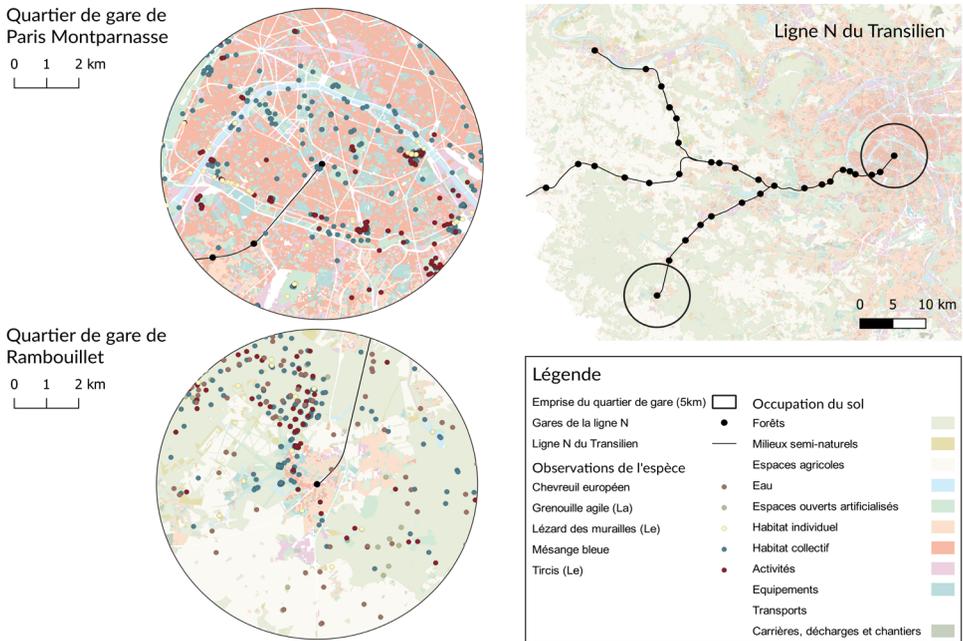
Opérations d'ensemble d'habitat individuel conçues de manières concertées privilégiant la contiguïté bâtie. Cadre bâti avec forte homogénéité, mitoyenneté partielle ou entière.

	Nombre 5km	Surface Moyenne 5km	Ecart type 5km
Montparnasse	30	1320	1044
La Verrière	475	3079	3236
Rambouillet	190	2992	1866
Epone-Mézières	77	4221	4091
total	772	3103	3044



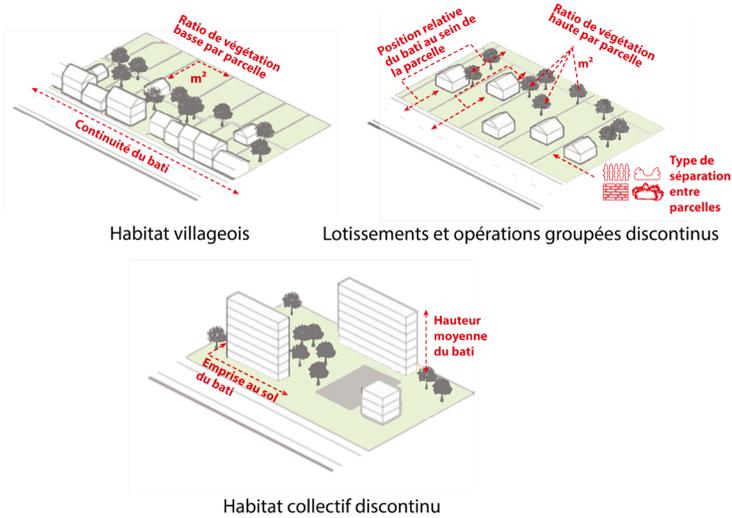
@Google Earth

Figure 21 : Espèces sélectionnées et leur distribution spatiale autour des sites d'étude.



	Nom	Milieu	Habitat	Distance de dispersion	Habitat minimum
	<b>Grenouille agile</b>	Milieu forestier	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forêt mixte</li> <li>Forêt de conifères</li> <li>Forêt de feuillus</li> <li>Prairie</li> <li>Haie</li> </ul> Sahraoui et al. (2021)	0,194 km (Maximum) Sahraoui et al. (2021)	500 m2 Legros (2015)
	<b>Chevrouille européen</b>	Milieu forestier	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forêt mixte</li> <li>Forêt de conifères</li> <li>Forêt de feuillus</li> </ul> Sordello et al. (2013)	1,890 km (Moyenne) Debeffe (2013)	<20 ha Sordello et al. (2013)
	<b>Lézard des murailles</b>	Milieu ouvert	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espace ouvert</li> <li>Surface cultivée</li> <li>Prairie</li> <li>Lande ligneuse</li> </ul> Sahraoui et al. (2021)	2,000 km (Maximum) Sahraoui et al. (2021) Edgard et Bird (2006)	25 m2 Brown et al. (1995)
	<b>Tircis</b>	Milieu forestier	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forêt de feuillus</li> <li>Prairie</li> </ul> Essayan et al. (2013)	0,300 km (Maximum) Chardon et al. (2003)	2 ha Chardon et al. (2003)
	<b>Mésange bleue</b>	Milieu forestier	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forêt de feuillus</li> </ul> Issa et Muller (2015)	6,975 km (Moyenne) Sahraoui et al. (2021)	0,5 ha Sahraoui et al. (2021)

Figure 22 : Présentation des indicateurs relevés à partir des exemples de 3 postes du TUF (Adapté de Watkin et al. 2019).



et la hauteur du bâti ont aussi été mesurées pour chaque poste, dans la mesure où ils influencent l'ombrage, la disponibilité des espaces vers et augmentent éventuellement le risque de collision pour les oiseaux (Braaker et al. 2014 ; Amaya-Espinel et al. 2019). En vue de réduire le nombre de nouveaux postes à introduire dans la carte d'occupation du sol, les valeurs moyennes par poste de chaque métrique ont été à la base du regroupement des 21 postes en 6 nouvelles classes le plus homogène possible (Analyse en Composante Principale puis clustering par k-means). Chaque regroupement est propre à une espèce donnée puisque chaque métrique a été pondérée lors du clustering en fonction de l'impact hypothétique qu'elle avait pour ladite espèce (Figure 23a). Néanmoins, la méthodologie a produit des regroupements identiques pour la grenouille et le tircis d'une part, et le lézard et la mésange d'autre part (Figure 23b).

Cette problématique est résolue dans la modélisation par l'ajout une seconde fois des milieux ouverts dans la carte finale d'occupation du sol, superposés au-dessus des couches du TUF.

L'approche fine des tissus urbains présents au sein des quartiers de gare a été complétée par une analyse détaillée des formes architecturales à l'échelle de la gare. L'effet de ces formes sur le mouvement potentiel des archétypes de taxons (rampant de taille 1-2 cm, rampant de taille 10-

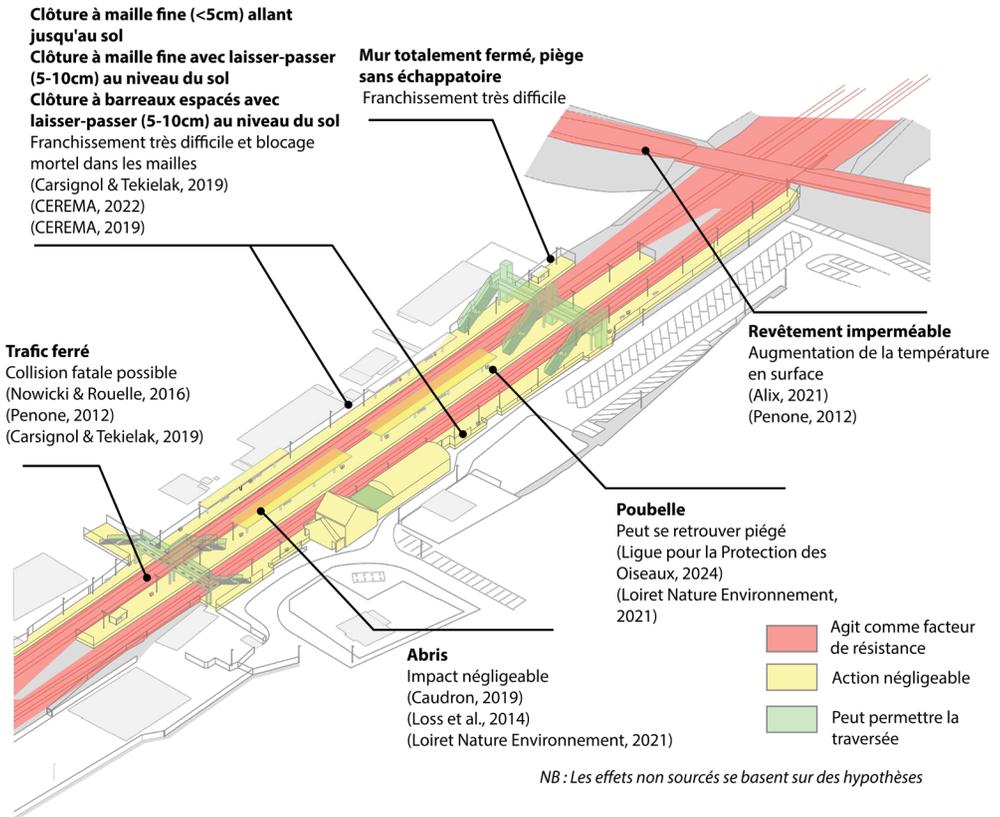
Figure 23a : Pondération des métriques lors du regroupement. Un poids plus élevé correspond à une sensibilité plus forte de l'espèce à la caractéristique concernée. Ces sensibilités ont été attribuées à partir d'une revue succincte de la littérature, complétée par des hypothèses dans les cas où celle-ci faisait défaut.

Espèce	Continuité du bâti	% de végétation basse	% de végétation haute	Position du bâti au sein de la parcelle	Emprise au sol du bâti	Hauteur moyenne du bâti	Délimitation de la parcelle par fossé	Délimitation de la parcelle par haie	Délimitation de la parcelle par clôture	Délimitation de la parcelle par mur
<b>Grenouille agile</b>	3	2	1	2	1	1	3	1	2	3
<b>Chevreuil</b>	3	2	3	2	1	1	3	2	1	1
<b>Lézard agile</b>	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1
<b>Tircis</b>	1	3	2	1	1	2	2	1	1	1
<b>Mésange bleue</b>	1	1	3	3	1	2	1	1	1	1

Figure 23b. Classes obtenues après regroupement pour chaque espèce. Le poste "Espaces ouverts" est présent dans la base du TUF. Les indicateurs peinent à décrire correctement les propriétés de cette couche sans bâti, et le poste n'a pas toujours été regroupé avec les autres postes les plus perméables.

		Classes		
		Grenouille / Tircis	Chevreuil	Lézard / Mésange
Augmentation théorique de la résistance	■	Espaces ouverts	Grandes propriétés	
	■	Habitat individuel isolé	Habitat individuel hétérogène	Habitat individuel hétérogène
		Grandes propriétés	Lotissements et opérations groupées continus	Lotissements et opérations groupées continus
	■	Habitat individuel hétérogène	Lotissements et opérations groupées discontinus	Lotissements et opérations groupées discontinus
		Lotissements et opérations groupées continus	Habitat villageois	
	■	Lotissements et opérations groupées discontinus	Immeuble très hétérogène	Immeuble très hétérogène
		Habitat villageois	Habitat collectif discontinu	Habitat collectif discontinu
	■	Immeuble très hétérogène	Immeuble bas hétérogène	Activités économiques et Equipements
		Habitat collectif discontinu	Immeuble ancien bas (type bourg)	Immeuble bas hétérogène
	■	Immeuble bas hétérogène	Espaces ouverts	Immeuble ancien bas (type bourg)
		Immeuble ancien bas (type bourg)	Habitat individuel isolé	
	■	Activités économiques et commerciales discontinues	Aéroports	Chantiers
		Equipements	Activités économiques et commerciales	Espaces ouverts
	■	Chantiers	Equipements	Habitat individuel isolé
		Aéroports	Immeuble de grande hauteur	Aéroports
■	Immeuble de grande hauteur	Chantiers	Immeuble de grande hauteur	
	Immeuble urbain récent	Immeuble ancien moyen (type centre-ville et faubourg)	Immeuble urbain récent	
■	Immeuble urbain haut récent	Immeuble haut hétérogène	Immeuble urbain haut récent	
	Immeuble ancien moyen (type centre-ville et faubourg)	Immeuble moyen hétérogène	Immeuble ancien moyen (type centre-ville et faubourg)	
■	Immeuble haut hétérogène	Immeuble ancien haut (type Haussmanien et assimilé)	Immeuble haut hétérogène	
	Immeuble moyen hétérogène		Immeuble moyen hétérogène	
■	Immeuble ancien haut (type Haussmanien et assimilé)		Immeuble ancien haut (type Haussmanien et assimilé)	
		Immeuble urbain haut récent		

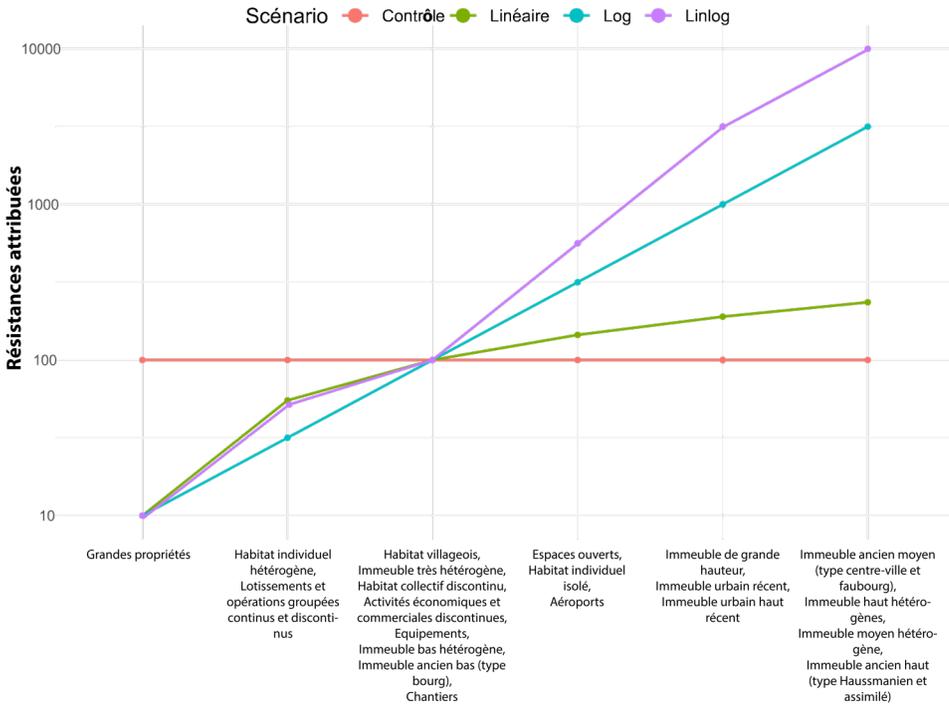
Figure 24 : Évaluation des effets des formes architecturales de la gare d'Épône-Mézières sur le Lézard des murailles.



15cm, volant) a été identifié à partir de la littérature lorsque cela était possible, ou évalué hypothétiquement dans le cas contraire à partir de la morphologie des espèces (Figure 24). Des résistances ont été dérivées de ces évaluations pour chaque espèce. De manière annexe, un guide technique des solutions disponibles pour la connectivité a été produit, questionnant la portabilité potentielle desdits dispositifs (écoponts, clôtures adaptées, etc.) dans un contexte urbain.

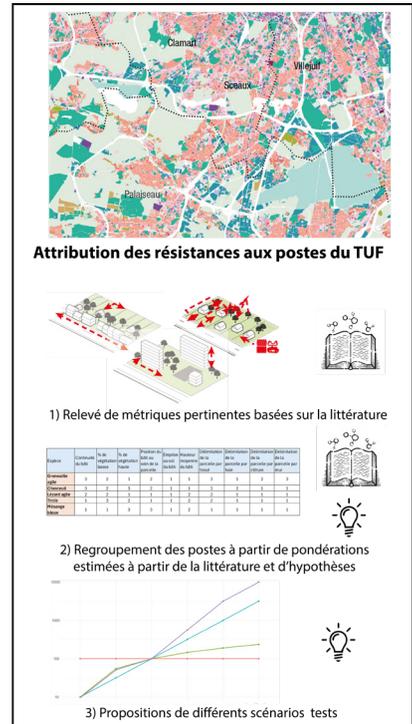
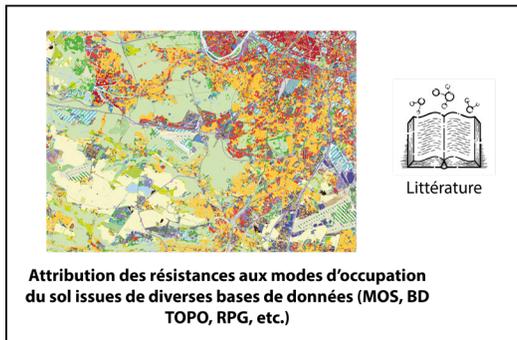
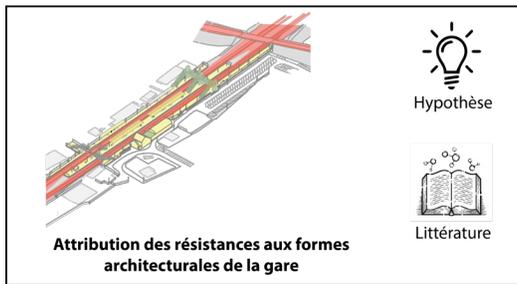
Le TUF, sous la forme des 6 classes obtenues à l'issue du regroupement des 21 postes, a été intégré à la carte d'occupation du sol. Pour déterminer la valeur de la résistance de ces nouveaux postes issus du TUF, il a été nécessaire d'adopter une approche exploratoire. Quatre scénarios ont été distingués selon qu'ils proposent une gradation nulle, linéaire, logarithmique, ou comme combinaison de variations linéaire et logarithmique. Nous définissons également un scénario de contrôle qui est basé sur les valeurs de résistances attribuées aux formes urbaines de manière indifférenciée (Figure 25a). L'utilisation de différents scénarios de résistance permet d'évaluer l'effet des ordres de grandeur relatifs entre les composantes du paysage sur les résultats du modèle, tout en respectant les préférences relatives exprimées pour chaque espèce. Cette approche vise à compenser l'absence de données empiriques et à analyser la sensibilité des résultats à la structuration des gradients de résistance (Churko et al., 2020). Elle permet notamment de tester dans quelle mesure la formulation des hypothèses sur les formes urbaines influence les métriques de connectivité. Par exemple, si deux hypothèses de résistance faisant intervenir un facteur 10 ne modifient les résultats que de manière négligeable (variation inférieure à 0,1 %), alors la précision dans la caractérisation des formes urbaines pourrait apparaître comme peu déterminante. À l'inverse, si de légers ajustements dans certains postes — ou des différences de faible ampleur — entraînent des changements importants dans les résultats, cela justifie une prise en compte fine et rigoureuse des formes urbaines dans la modélisation. La méthodologie globale d'attribution des résistances est présentée en Figure 25b.

Figure 25a : Scénarios de coûts pour le lézard des Murailles appliqués aux postes du TUF regroupés. Le scénario de contrôle est basé sur les valeurs de résistances attribuées aux formes urbaines de manière indifférenciée dans les modélisations précédentes à l'échelle régionale.



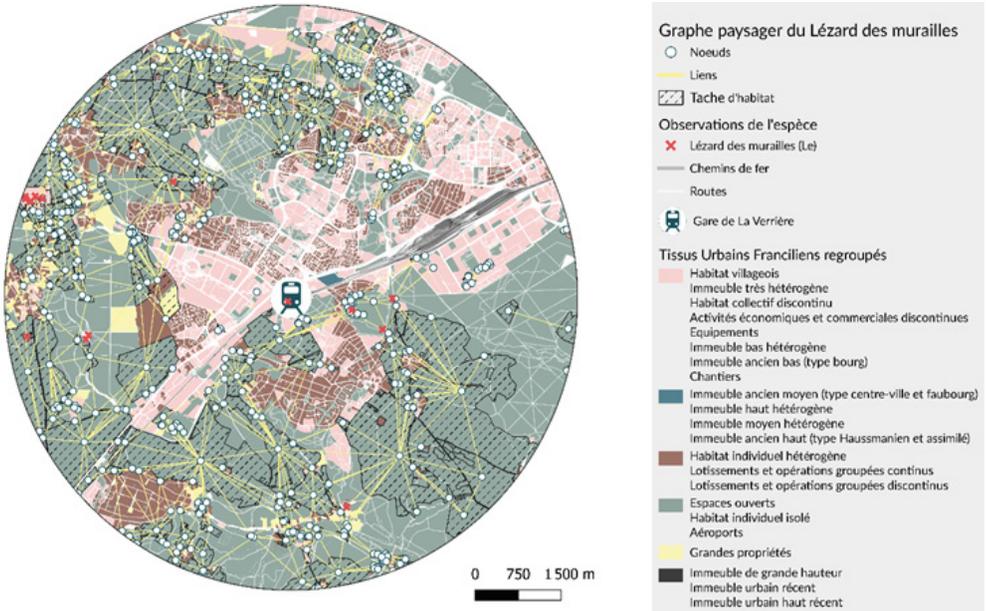
Postes du TUF regroupés pour le lézard des Murailles

Figure 25b. Méthodologie d'attribution de résistance selon les formes urbaines considérées.



Les graphes paysagers ont alors été modélisés pour chaque espèce, chaque scénario de coût et chaque quartier de gare (Figure 26). Seuls ont été exclus les quartiers où aucun habitat compatible en termes de nature et de taille n'a pu être identifié (Chevreuil et lézard à Montparnasse).

Figure 26 : Graphe paysager pour le Lézard des murailles autour de la gare de La Verrière, pour le scénario de contrôle.



La Connectivité Equivalente (EC)[1] a alors été calculée pour chaque graphe. Il s'agit d'une métrique globale à l'échelle de l'ensemble du graphe, caractérisant la connectivité potentielle à travers l'ensemble du réseau écologique modélisé. La métrique tient compte à la fois de la superficie de l'habitat et des probabilités d'interaction entre les taches. La métrique se calcule comme suit :

$$EC = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j e^{-\alpha d_{ij}}}$$

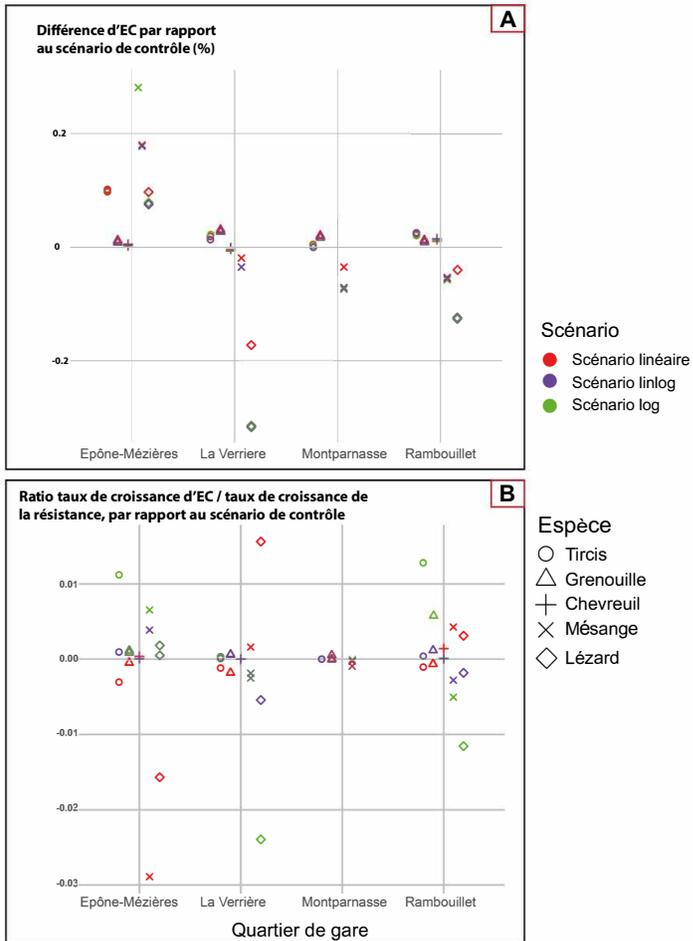
avec  $a_i$  et  $a_j$  les capacités des taches  $i$  et  $j$ , et  $d$  la distance-coût minimale entre les deux taches. L'évolution de EC pour chaque scénario par rapport au scénario de contrôle a alors été calculée pour chaque modélisation et scénario de coûts attribué aux postes du TUF. Des métriques ont été calculées localement sur les nœuds (Betweenness Connectivity [Bodin et

Saura 2010] et Flux [Urban et Keitt 2001 ; Foltête et al. 2012]) afin d'évaluer l'impact des scénarios de coût à l'échelle des habitats écologiques eux-mêmes. Les tests de Mann-Whitney-Wilcoxon n'ont pas permis de mettre en évidence des différences significatives dans la distribution de ces métriques, inclinant à évaluer les scénarios de coût à l'échelle du paysage.

Entre les différents scénarios, la métrique EC varie de moins de 0,3% (Figure 27 A). Pour plus de la moitié des modélisations, on note des taux non nuls et différents pour chaque scénario, témoignant d'un intérêt à affiner les formes urbaines dans les modèles dès lors que celles-ci présenteraient effectivement des différences en termes de résistances. L'intensité est variable selon les contextes et les espèces et rend nécessaire *a minima* de se poser la question de l'intégration des formes urbaines à l'échelle architecturale lorsque la zone d'étude comprend des tissus urbains de natures différentes. Les variations sont quasiment nulles pour Montparnasse, du fait d'un quartier très homogène du point de vue des formes urbaines donc d'influence des scénarios de coût. A Epône-Mézières, les valeurs de EC sont quasiment toutes supérieures au scénario de contrôle, à l'inverse de La Verrière. La mésange est l'espèce de notre panel qui tire le plus parti de la réduction des résistances attribuées aux formes urbaines considérées favorables. On observe en effet une variation supérieure à 0,2% à Epône-Mézières, le quartier de gare le plus rural et présentant ainsi le plus de grandes propriétés. À l'inverse, pour le lézard, EC diminue de 0,2 % pour les scénarios log et linlog par rapport au scénario de contrôle à la Verrière. Dans le scénario de contrôle, les tissus urbains se sont vu affecter une valeur de résistance assez moyenne (100), le lézard pouvant éventuellement traverser des petits patchs artificialisés. L'accentuation des résistances pour les formes urbaines peu favorables impacte la connectivité des paysages composés de formes urbaines très variées (Rambouillet et La Verrière), suggérant que l'augmentation et la réduction des résistances défavorables et favorables respectivement ne se compensent pas.

Pour évaluer ce type d'effets d'amortissements ou d'équilibres liés aux scénarios de coûts, la figure 27 B. présente le ratio du taux d'accroissement de EC sur le taux d'accroissement des résistances, chaque fois par rapport au scénario de contrôle. L'ensemble des valeurs est compris entre 0.02 et -0.03 montrant une évolution de la résistance totale environ 50 à 100 fois plus rapide que la métrique. La comparaison avec la figure 27 A) permet d'identifier les inversions de signes, traduisant ainsi un taux négatif de la différence. Par exemple, la valeur sur B) d'EC pour le lézard à La Verrière est positive pour le scénario linéaire ( $1.56e-2$ ) alors qu'elle est négative sur la Figure 27 A) (-0.17 %). Pour cette espèce et ce quartier de gare, la résistance de la carte d'occupation du sol décroît donc tout comme EC,

Figure 27 : Taux de croissance de EC par rapport au scénario de contrôle divisé (B) ou non (A) par le taux de croissance de la résistance totale attribué à la carte de paysage.



avec un ratio d'environ 10 pour 1. On retrouve une décroissance similaire de la résistance de la carte d'occupation du sol pour quasiment toutes les modélisations sous scénario linéaire, à l'exception de Montparnasse. Pour cette dernière, il n'y a pas d'équilibrage car le paysage n'est composé que de formes urbaines denses. Avec le scénario de coût log, on observe cette fois une croissance d'environ 10% de la résistance du paysage (les valeurs sur B sont environ égales aux dixièmes des valeurs sur A), et avec linlog une croissance de plus de 20%.

La relation entre EC et la résistance de la carte d'occupation du sol n'évolue donc pas de manière linéaire hors contexte ultra urbain. Pour modéliser la connectivité paysagère en zone urbaine, il semble donc nécessaire *a minima* de proposer de distinguer les formes urbaines dans les contextes paysagers susceptibles de faire intervenir une variété de typomorphologies. Dans ces contextes qui vont de l'urbain de forte densité au rural, l'usage de méthodologies expérimentales de terrain permettrait de déterminer l'existence réelle d'une préférence relative des espèces par rapport aux tissus urbains. La méthodologie présentée ici pourrait être remobilisée afin de déterminer le scénario de coût idoine (par exemple les SDM [Zeller et al. 2017]), ou *a minima* de choisir entre les scénarios linéaire et logarithmique qui présentent ici des tendances inverses.

**FAIRE LE LIEN AVEC  
L'OPÉRATIONNEL :  
APPROCHE PAR  
L'ANT/MODES D'EXISTENCE**

---

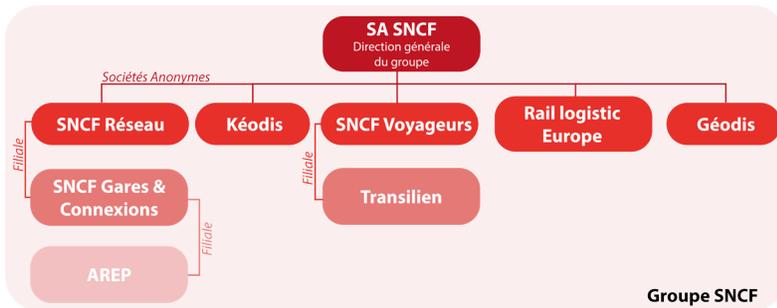
Les dynamiques de recherche, notamment l'établissement de la problématique et les choix méthodologiques qui en ont découlé, sont les résultantes d'approches analytiques autant que de considérations pratiques relatives à la structuration du projet. Ces dernières n'ont néanmoins pas agi uniquement comme des contraintes réduisant le périmètre de la réflexion, mais elles ont aussi été source de remises en question théoriques radicales et bienvenues. Il ne s'agit pas d'opposer une problématique « pure » à une question de recherche dévoyée par les besoins pratiques suggérés par les acteurs opérationnels, mais de retracer le chemin de pensée parcouru pour éclairer les pistes qui restent à explorer. La tenue des ateliers participatifs a par exemple été décidée avant l'identification du rôle heuristique qui allait leur être confié. L'articulation entre démarche globale et problématique soulevée lors des ateliers a donc été proposée ultérieurement à leur réalisation, induisant parfois des décalages quant à leur portée explicative. À l'inverse, ces ateliers ont été très utiles pour préciser la problématique grâce aux thématiques nouvelles qu'ils faisaient apparaître. Souligner cette caractéristique du projet permet de rendre compte de la particularité d'une recherche menée en collaboration étroite avec les acteurs opérationnels, les limites, mais aussi les apports de ces allers-retours permanents entre le cadrage académique et les situations qui se présentaient dans la pratique. Cette partie du rapport propose donc d'éclairer les résultats de Frugacité à la lumière de ce contexte.

## UN PROJET CO-ÉLABORÉ

L'identification de la contribution des gares au réseau écologique présentée dans la partie précédente a contribué à mettre en évidence l'utilité des graphes paysagers du point de vue scientifique. La seconde partie du constat formulé à l'origine par les acteurs de l'aménagement ferroviaire reste en suspens, à savoir la nécessité d'évaluer l'intérêt et le degré d'articulation de ces outils dans ce cadre opérationnel particulier. La fabrique des quartiers de gare donne en effet à voir des régimes d'action et de production de connaissances particulières, ces régimes étant marqués à la fois par les mécanismes liés à la production urbaine et par les contraintes propres au monde ferroviaire. Les enjeux posés par l'articulation entre la production de résultats par la science écologique et leur remobilisation comme guide d'aménagement ont servi eux-mêmes d'amorce pour le projet de recherche. Ce fil conducteur s'est traduit pratiquement dans les modalités d'organisation de l'équipe. Une thèse structurée en CIFRE (Convention industrielle de formation par la recherche) a permis au doctorant recruté de rester au contact des acteurs opérationnels *a minima* trois jours par semaine durant les trois années de thèse. Six stagiaires

ont eux aussi été accueillis au sein des directions Management de projet – Assistance à Maitrise d’Ouvrage et Architecture d’AREP. Cet ancrage au sein de l’entreprise a facilité l’accès aux différents terrains, permettant par exemple la mobilisation d’acteurs locaux lors des visites des quartiers de gare. L’invitation de différentes parties prenantes du groupe SNCF a elle aussi bénéficié du rôle d’AREP dans ce projet, cette dernière étant une filiale de SNCF Gares & Connexions, elle-même filiale de SNCF Réseau (Figure 28). D’autres bénéfices ont pu être retirés de cette collaboration entre opérationnels et universitaires. Les résultats ont ainsi été valorisés à partir de vecteurs de communication adaptés à chaque public (présentation dans l’entreprise ou capitalisation dans le cadre d’une exposition en gare destinée au grand public). Un travail de développement d’outils s’appuyant sur les graphes paysagers et adaptés aux particularités et aux expertises de chaque métier, de la conception au suivi de projet, a été amorcé au sein d’AREP.

Figure 28 : Organigramme non exhaustif du groupe SNCF.



Ce contexte a aussi participé à infléchir les pistes de recherche en direction d’une opérationnalisation future des résultats obtenus. La nature des livrables finaux du projet a par exemple fait l’objet de tractations. Le cahier des charges du projet faisait initialement mention de rendus sous forme de pages web sans être particulièrement spécifique, ce qui a occasionné certaines différences d’interprétation. Certaines parties prenantes souhaitaient s’en tenir à la présentation de la démarche et des résultats de la recherche, là où d’autres voyaient l’opportunité de proposer déjà un outil autonome qui déclinerait lesdits résultats sous forme de conseils pratiques à destination des concepteurs, nécessitant ainsi un travail supplémentaire d’articulation.

L'intégration du chercheur doctorant dans l'agence pluridisciplinaire a influencé la problématique de recherche proposée dans la thèse, du fait notamment des différences de posture professionnelles vis-à-vis de la biodiversité qui s'y côtoyaient. Les enjeux relatifs aux différences d'approches entre praticiens n'étaient pas apparus comme premiers lors de la consultation de la littérature nécessaire à la rédaction du projet. Il était néanmoins impossible désormais de considérer les acteurs de l'aménagement comme un bloc uniforme lorsqu'il était question d'étudier ses relations à la biodiversité. Plusieurs postures ont pu être observées sans alors être précisément distinguées ; elles n'ont pas servi de concepts opérants au cours de la recherche. Les définitions proposées ainsi a posteriori s'appuient sur les rôles que se donnent eux-mêmes ces différents groupes. La première catégorie regroupe des acteurs qui ont explicitement pour rôle de conceptualiser et de traduire opérationnellement les questions de biodiversité. Il est possible de citer les professionnels qui réalisent ou supervisent les diagnostics environnementaux prévus par la loi, les garants de la Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE) ou les directeurs stratégiques lorsque ceux-ci fixent des objectifs concernant la biodiversité.

Par opposition, le deuxième groupe correspond aux acteurs dont la biodiversité n'entre pas explicitement dans la conception de leurs pratiques, concerné par un objet autre comme une phase du projet spécifique, une composante architecturale ou un outil particulier. Une telle catégorie regroupe les acteurs de la conception et de la gestion de projet : architectes, programmistes, conducteurs d'opérations assurant l'assistance à maîtrise d'ouvrage, etc. Ces acteurs exercent néanmoins des impacts sur la biodiversité puisqu'ils effectuent des choix concernant le végétal ou la faune dans leurs projets (par exemple la découpe d'un arbre ou le zonage des espaces imperméabilisés futurs). L'adaptation des pratiques de ces professionnels en faveur de la biodiversité est majoritairement dépendante du travail des acteurs de la première catégorie. Elle n'est *a priori* pas systématique et peut engendrer un degré de résistance qui dépend à la fois de la sensibilité personnelle, mais aussi de la nature même de la tâche qui est assurée. Un dernier groupe avait enfin été identifié, regroupant les professionnels dont le rôle est disputé. La controverse était par exemple présente pour les paysagistes : certains de ces professionnels voyaient la préservation de la biodiversité comme un élément indissociable de leurs pratiques, là où d'autres paysagistes refusaient de s'accorder ce rôle, rejoints en cela par différents défenseurs de la biodiversité. L'identification de ce dernier type d'acteur, qui brouille les frontières, a mis en évidence la complexité de la situation et la trop grande simplicité de cette typologie abandonnée avant d'être adoptée.

## DES DIFFÉRENCES DE POSTURE DES PROFESSIONNELS CONDUISANT À DIFFÉRENTES POSTURES DE RECHERCHE

Les différences de posture évoquées précédemment ont été confirmées lors de la première étape de la thèse, au cours de l'atelier participatif n°1. Cet atelier a rassemblé d'une part des acteurs en charge spécifiquement de la biodiversité et d'autre part des professionnels pour lesquels cela n'est pas au cœur de la pratique. Recouvrant ainsi les catégories évoquées précédemment, les invités étaient issus d'AREP, d'autres filiales ou d'entreprises hors du groupe. Certains professionnels invités assuraient ainsi une activité non représentée au sein de la filiale : aménageurs, responsable immobilier, responsable technique du linéaire, etc. Cet atelier a alors été centré sur les trois concepts au centre de la recherche : le quartier de gare, ses contraintes techniques, et la biodiversité qui y prenait place. En esquissant conceptuellement et littéralement ces trois notions à l'aide d'un schéma (Figure 3 présentée précédemment), il s'agissait d'évaluer les concepts qui étaient partagés entre tous ces acteurs et ce qui était plus ambivalent. Les trois notions étaient par ailleurs appréhendées à travers le prisme de la morphologie urbaine, puisque cet angle d'attaque était au cœur de l'appel à projets BAUM. Le travail réflexif s'est alors attaché à évaluer la matérialité urbaine des contraintes techniques, distinguer celles qui étaient propres aux gares et souligner les relations structure-fonction que la biodiversité pouvait influencer.

La formalisation lors de l'atelier des relations entre morphologie et contraintes techniques a bénéficié des apports des spécialistes qui se chargent d'inscrire ces dernières dans l'architecture de la gare et dans la distribution des infrastructures à l'échelle du pôle d'échanges. Ils ont pu sans trop de contradictions dépeindre les relations de cause à effet entre l'infrastructure technique ferroviaire et ses exigences concernant la distribution des réseaux, des flux, des normes règlementaires et sécuritaires par exemple. À l'inverse, tous les acteurs ont pris part aux discussions autour des liens que la biodiversité entretenait respectivement avec la morphologie ou les contraintes techniques. L'expertise restant justement à construire sur ces points précis, chaque acteur tenait à développer les enjeux qu'il observait à travers son propre prisme. Il ne s'est pas dégagé de considération uniforme et institutionnalisée de la biodiversité parmi tous les participants. La diversité de ces échanges a reflété la multiplicité des relations qui étaient entretenues, faisant intervenir par ailleurs des considérations qui relevaient de sensibilités personnelles (attrait pour certaines fleurs ou espèces animales présentes en gare) autant que des concepts opérationnels institutionnalisés pour la planification ou la conception (Trames vertes et Bleues ou services rendus par l'environnement).

Cette diversité d'appréciations par les professionnels a fait ainsi écho aux conflits d'usage. Les participants ont par exemple mentionné les mésusages, à savoir des dégradations ou des dépôts sauvages sur les espaces végétalisés, impactant leur valeur esthétique. Ensuite, en élargissant la notion d'usager, le vivant peut lui aussi engendrer un cas d'usage vis à vis de l'infrastructure technique : faune et flore peuvent poser un problème du point de vue de la gestion des flux, de l'entretien, de la sécurité ou de l'exploitation ferroviaires. Enfin, en retour, les flux ou les éléments architecturaux jouent un rôle de partition de l'espace pour les espèces animales, restreignant ou autorisant l'accès, comme le font les objets techniques du point de vue de leurs usagers humains (Akrich 2010).

Les différences d'attitudes des acteurs face à la question de la biodiversité furent manifestes lors de l'atelier. Or, ces divergences impliquaient des positionnements différents pour le chercheur quant à la signification et à la traduction de ce que signifiait « intégrer les enjeux de biodiversité », titre initial de la thèse. Selon le type d'acteur considéré, l'outil opérationnel obtenu à partir des résultats de la recherche aurait varié. En amont, la question de recherche se trouvait donc impactée par les usagers finaux du produit de sortie post-recherche. Concevoir un outil à destination des acteurs qui promeuvent la désirabilité de la biodiversité incline par exemple à réfléchir au prisme de l'efficacité. Mettre au cœur de l'étude la diversité et la spécificité de chaque pratique métier présentait ces arbitrages de manière bien moins évidente, et rendait nécessaire l'usage d'outils conceptuels différents pour leur étude. Par la suite, la recherche a alors adopté un angle à la limite de ces deux points de vue, essayant de donner des outils pour réaffirmer la place de la biodiversité tout en respectant l'esprit des différentes professions. À l'issue du premier atelier, il a donc été choisi de considérer le vivant non humain comme potentiel usager de ces espaces - habitants ou de passage (Auvray et al. 2024). Cela a permis d'ouvrir des pistes, notamment en identifiant des acteurs aux rôles clés pour l'aménagement de la gare, qui par ce renouvellement se trouvaient en charge de la biodiversité dans leur cœur de métier. C'est par exemple le rôle des aménageurs que de concilier les usages, de leur donner une matérialité et une spatialité. Étendre la notion d'usager permet de trouver plus qu'un relais chez ces spécialistes, de leur ajouter la responsabilité de ces nouveaux usagers.

## LE CHOIX D'UNE APPROCHE PERSPECTIVISTE

Cette nouvelle perspective a conduit à se questionner sur la manière dont les non-humains se comportent au sein du quartier de gare. Il s'agit

d'appréhender le milieu à leur manière, c'est-à-dire à travers les possibilités d'action ou affordances (Gibson 1979) que le paysage leur offre. Il est donc nécessaire de proposer un outillage qui formalise ces perspectives, tout en les articulant avec les outils de l'aménageur. L'approche par le réseau écologique permet de rendre compte du paysage vécu dans les quartiers de gare lors des phénomènes de dispersion qui interviennent dans les cycles de vie des espèces animales. Elle s'articule de plus assez bien à l'action opérationnelle à travers les modèles d'aménagement et de planification du territoire (Mougenot et Melin 2000). L'évaluation de la connectivité écologique permet de plus d'orienter l'action stratégique, en évaluant l'impact d'infrastructures futures et l'efficacité de différentes actions d'évitement ou de réduction de ces impacts. Dans le cas des quartiers de gare, un rapport du MNHN pointe l'intérêt de mobiliser ce type de concepts pour décliner les priorités d'action en fonction du contraste observé entre le contexte local des gares et le paysage environnant (MNHN, SNCF Gares & Connexions, et SNCF Transilien 2012).

Cette d'approche permet d'orienter l'action opérationnelle, sous contrainte par nature, sans forcément questionner les limites du cadre d'action. Le premier atelier participatif a mis au jour des acteurs volontaires pour transposer leur sensibilité personnelle à un contexte professionnel, mais résolu à ne pas abandonner des outils qui empêchent pourtant l'adoption de pratiques plus favorables à la biodiversité. Les acteurs tiennent non seulement aux objets (gare, flux, sécurité), mais aussi aux approches spécifiques qu'ils mobilisent et pour lesquelles leurs outils sont conçus. Pour prendre au sérieux ces attachements sans les considérer comme des représentations arbitraires qui pourraient être jugées depuis un point de vue rationnel extérieur, il a été choisi de rejoindre la conception perspectiviste. En d'autres termes, le positionnement adopté rejoint les approches relationnalistes (Latour 1993), considérant qu'il n'y a pas de réalité immanente qu'il soit possible d'atteindre sans construire un intermédiaire de sens. L'espace végétalisé, par exemple, est multiple (Mol 2003). Il se présente comme composante paysagère pour le paysagiste, comme dispositif de rafraîchissement pour l'ingénieur climat, n'existe même pas pour l'usager un peu trop pressé. La modélisation du réseau à l'aide des graphes, réalisée plus haut, ne distingue pas la réalité écologique des représentations sociales, elle ajoute au monde et participe à sa composition. Au-delà d'une simple nuance discursive, ce positionnement a entraîné des conséquences sur les cadres d'analyse choisis. Les approches par les systèmes socio-écologiques en réseaux multiniveaux (Kininmonth, Bergsten, et Bodin 2015 ; Bodin et al. 2019), un temps envisagées car elles proposent d'articuler explicitement la connectivité écologique à la gouvernance de la biodiversité, n'ont par exemple pas été retenues. Les systèmes socio-écolo-

giques proposent en effet une approche par la théorie des réseaux sociaux qui accordait trop peu de place au rôle social qu'auraient les non-humains vivants (faune) ou non (gare), les traitant simplement comme un enjeu de représentations donc confinant le rôle social aux humains. À l'inverse, la méthode choisie a souligné l'importance des non-humains, vivants ou non, dans le social. Elle a proposé d'évaluer le rôle de freins ou de leviers que jouaient les dispositifs comme la gare, le planning, le projet, ainsi que les outils, concepts et méthodes dont disposent les professionnels.

## MODÈLES ET RÉFÉRENCES MIS À L'ÉPREUVE DES ACTEURS

À l'instar des apports du premier atelier, le second atelier a servi à re-questionner et compléter la méthodologie proposée pour le choix des terrains, à partir des savoirs non académiques. Le concept de gradient urbain rural avait été mobilisé dans le premier atelier pour expliquer la distribution spatiale des processus environnementaux. Il était pressenti qu'il parvienne aussi à rendre compte de la spatialité des contraintes techniques affectant le quartier de gare. Or, les participants lui avaient préféré la notion d'importance fonctionnelle de la gare, plus en lien avec sa zone d'achalandage, ses flux d'entrée, sa desserte, etc. Lors du second atelier, des outils plus neutres, qui parvenaient à servir d'objet frontière ont été utilisés, comme la théorie du *node-place* (Bertolini 2008) compréhensible par les aménageurs et articulable avec les enjeux écologiques. Les deux premiers ateliers ont ainsi permis d'identifier le besoin de rester au contact des réalismes écologiques et opérationnels, à défaut de trouver les manières pour y répondre tout à fait. Il s'agissait de trouver le langage commun qui permette de formuler une problématique qui était vécue de manière différente par l'ensemble des parties prenantes.

Dans cette même optique, le troisième atelier a poursuivi deux objectifs simultanément. D'une part, il a été structuré autour du paramétrage des modèles de connectivité. Cette phase du travail de modélisation représentait l'opportunité d'afficher un objectif clair qui se prête au format de l'atelier, sans forcément requérir d'expertise spécifique de la part des invités et permettant de vulgariser la méthodologie. D'autre part, l'atelier cherchait à obtenir les retours réflexifs des participants vis-à-vis de ce qui leur était proposé, à savoir des espèces qu'ils avaient pour consigne de regrouper selon leur similarité en espèces virtuelles (Auvray et al. 2024). Était pré-supposée la possibilité de déterminer les modalités d'application du modèle des réseaux écologiques afin que ce dernier s'impose comme langage commun pour parler de biodiversité entre tous les acteurs.

Ces modalités pouvaient se rapporter au contexte, à travers le dessin des problématiques spécifiques auxquelles le modèle pouvait répondre, ou l'identification de l'acteur le plus pertinent pour prendre la main sur la réalisation des modèles - la légitimité d'AREP avait par exemple été interrogée à l'aide d'un formulaire. Elles pouvaient aussi avoir trait à la méthodologie, en identifiant les espèces qui auraient éventuellement synthétisé la totalité des enjeux soulevés au cours des échanges. Il s'avère qu'à l'issue des ateliers, ce type de résultat n'a pas été obtenu. Au-delà de facteurs pratiques - enregistrements défectueux, consignes doubles donc ambivalentes, ce décalage a surtout résulté de la remise en cause par les participants des choix pré-opérés par l'équipe de recherche. Ce dernier type de résultat, imprévu, a alors été placé au cœur de l'analyse.

L'emploi de la théorie des graphes a été remis en question par certains participants. Pourtant Graphab (Foltête et al. 2021), l'outil de modélisation du réseau écologique choisi, présente l'avantage d'être résolument tourné vers un usage opérationnel, comme le montre son utilisation par des associations de protection de l'environnement (par exemple France Nature Environnement 2024). Des guides et notices vulgarisés sont par ailleurs régulièrement produits (Clauzel, Gaber, et Godet 2020), des sessions de formation sont assurées annuellement par les développeurs au sein du laboratoire Théma et la convivialité de son usage bénéficie de *plugins* d'interface avec les logiciels de SIG (Chailloux et al. 2024). Les remarques des acteurs ne portaient en fait pas tant sur l'outil en lui-même, mais témoignaient plutôt d'une réticence vis-à-vis des échelles de l'écologie du paysage au profit d'approches à l'échelle populationnelle. Ces réflexions renvoient aux controverses ayant traversé la sphère académique au début des années 2000, notamment autour de l'usage du terme connectivité, employé tant en écologie du paysage qu'en écologie des métapopulations. Les chercheurs issus de ces deux disciplines mobilisaient cette notion selon des échelles et des objectifs distincts, générant des tensions. Par exemple, les spécialistes des métapopulations reprochaient parfois aux écologues du paysage de privilégier la facilité d'acquisition des données au détriment de la rigueur théorique (Moilanen et Hanski 2001; Tischendorf et Fahrig 2001). Certains outils ont été depuis proposés pour faire le lien plus explicitement entre les analyses à l'échelle paysagère et populationnelles (Soret et al. 2024). Le haut niveau d'expertise qu'ils exigent réduit la possibilité de paramétrer ces modèles avec des parties prenantes non expertes, bien que l'interprétation des résultats qu'ils produisent puisse parfois être plus parlante pour ce type d'acteurs.

Les espèces virtuelles formées à l'issue de l'atelier 3 ont elles aussi été remises en question lors du quatrième atelier. D'une part, certains acteurs

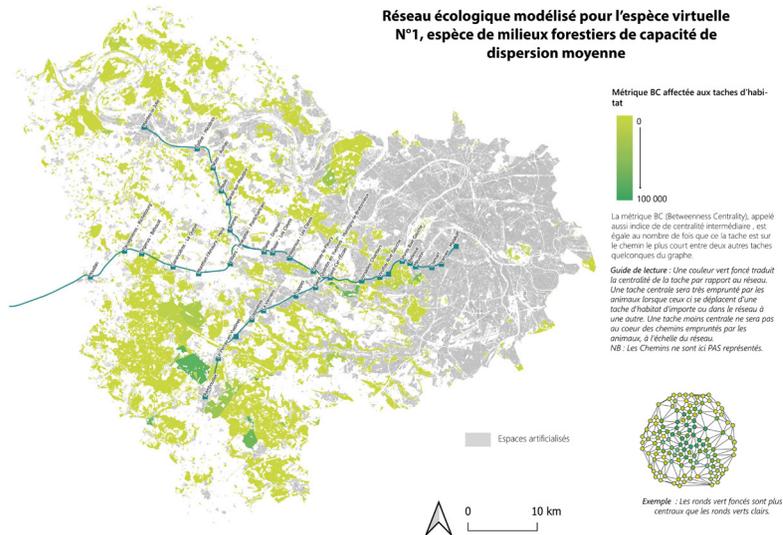
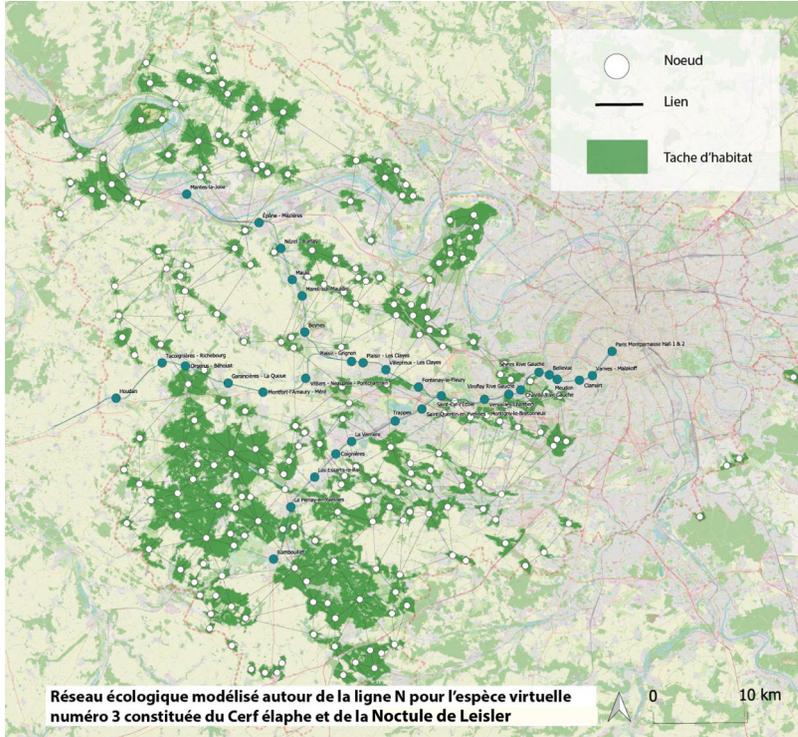
de la protection de l'environnement auraient préféré utiliser des espèces indicatrices plutôt que des espèces virtuelles. Les espèces indicatrices sont en effet, de par leur sensibilité particulière aux variations de l'environnement, très utiles pour guider les stratégies de conservation de la nature. Ensuite, nous avons reconfiguré unilatéralement les groupes proposés par les participants lors du troisième atelier à la suite de celui-ci, en privilégiant un objectif de cohérence statistique à la préservation des logiques ou intentions initiales des participants. Pour rappel, les responsables impliqués dans la maintenance ferroviaire ou la gestion des talus avaient regroupé les espèces selon les contraintes de gestion qu'elles posaient, à savoir le risque accidentogène ou le caractère envahissant, alors que le modèle exigeait que l'on reprenne les classes pour les rendre le plus homogène possible, du point de vue des traits physiologiques impliqués dans la dispersion. Malgré cela, certains participants ont émis des retours positifs concernant les espèces virtuelles, soulignant l'intérêt synthétique de leur emploi.

Les modélisations ont *in fine* été produites et analysées à partir des espèces virtuelles statistiquement corrigées, mais la divergence de sensibilité des acteurs vis à vis de cette approche a été particulièrement intéressante. L'utilisation des espèces virtuelles s'est déjà révélée bénéfique pour les acteurs de la protection de l'environnement, comme l'ont démontré Sahraoui et al. (2021). Toutefois, cette approche pourrait exacerber les tensions potentielles entre les associations environnementales et les aménageurs, particulièrement si ces derniers étaient à l'origine des modèles exploitant ces espèces. La proposition de former les espèces virtuelles de manière participative avait elle-même fait débat au cours des ateliers. Certains participants ont regretté la supposée variabilité induite par des acteurs non-experts, et reproché une approche selon eux trop sensible vis-à-vis des espèces au dépend de la rationalité nécessaire. D'autres acteurs au contraire ont tenu à souligner les conséquences de l'étape de choix des modalités de modélisation, étape qui aurait déjà bien des conséquences sur le réel hors de la seule sphère scientifique. La modélisation du réseau écologique d'amphibiens dans les quartiers de gare serait par exemple selon eux contreproductive. Si les résultats venaient à guider l'aménageur et que les espèces finissaient par coloniser les gares, ces dernières agiraient comme un puits du fait de la mortalité induite par le trafic alentour. Il existe donc bel et bien un intérêt à rendre ces ateliers participatifs, malgré la variabilité statistique qui peut être induite : défier les choix du scientifique qui n'ont pas de préséance et qui restent des construits. Les modélisations, avant même d'être réalisées, engagent donc déjà les espèces et le quartier de gare dans des trajectoires particulières. Une fois formalisées, la puissance d'agir des espèces est décuplée : celles-ci sont présentes, identifiables sur les cartes, et elles agissent socialement, comme cela a été le cas lors de l'atelier 4.

## LE DERNIER ATELIER PARTICIPATIF

L'atelier conclusif de la démarche participative a permis de préciser les points de divergence entre les différents acteurs, en se concentrant spécifiquement sur les résultats issus du processus de modélisation. Cette analyse visait à évaluer dans quelle mesure ces productions - les représentations du réseau écologique par la théorie des graphes - pourraient servir de support d'un consensus sur les usages, ou si, au contraire, des controverses se joueraient de nouveau. Différentes formalisations cartographiques composées à partir des graphes étaient soumises aux participants, chacune associée à un type d'analyse propre : corridors, caractérisation des taches par les valeurs de métriques, usage d'indicateur de rang, etc. (Figure 29). La question de l'échelle adaptée à la modélisation s'est inscrite dans le prolongement des oppositions précédentes. D'une part, certains naturalistes défendaient l'usage d'une échelle fine permettant de distinguer les niches écologiques précises de chaque espèce et de les articuler aux dynamiques populationnelles. D'autre part, des acteurs impliqués dans la planification souhaitaient articuler enjeux écologiques et schémas directeurs à l'échelle régionale, d'où un besoin de synthèse et la préconisation d'une échelle très large. Entre les deux se trouvaient des concepteurs ou gestionnaires des bâtiments ferroviaires qui soulignaient leurs besoins d'une mise en relation des processus qui s'expriment à l'échelle régionale avec leurs périmètres restreints d'action. En résumé, la question de l'échelle se pose bien comme un facteur d'optimisation de l'analyse scientifique, en même temps qu'elle se présente comme un enjeu d'intégration dans les pratiques de chaque acteur qui varient selon les positionnements professionnels respectifs.

Figure 29 : Cartes présentées en introduction (en haut) et en deuxième temps (en bas) lors de l'atelier 4, parmi les 6 types de formalisations présentées.



Au-delà des effets imputables à ces positionnements, les débats ont été marqués par l'influence des propositions cartographiques en tant qu'éléments manifestant une puissance d'agir. Par exemple, les représentations proposées ont mis en jeu des animaux, des individus, sans jamais représenter autre chose que leurs habitats ou les chemins qu'ils empruntent, d'où une confusion courante des participants entre présence d'habitat et présence d'individus. Autre exemple, certaines représentations proposaient une traduction sous forme de coloration des taches selon leur contribution au réseau écologique, cette contribution étant estimée à partir de métriques. Ce formalisme a incité les participants à se focaliser sur les propriétés des taches de végétation au détriment des espaces bâtis et imperméabilisés qui les entouraient. Or, ces derniers ont en milieu urbain un impact généralement bien plus important sur la connectivité, à travers la résistance paysagère qu'ils engendrent, que la forme ou la taille de la tache de végétation. L'usage de métriques a par ailleurs eu des effets antagonistes : leur caractère quantitatif a incité les acteurs à penser en termes de hiérarchisation et de traduction stratégique opérationnelle, mais la complexité de leur interprétation a freiné leur appropriation par les participants. Leur transformation en indicateurs a pu représenter une porte de sortie, mais il a aussi été source de questionnements. Le recours à un classement par rang des quartiers de gare selon leur contribution a par exemple été désapprouvé, considéré comme une stigmatisation de certaines gares et des professionnels y travaillant. Enfin, la terminologie employée a engendré des effets similaires. La locution « connectivité potentielle » a enfin été source d'ambiguïté : si elle désigne la connectivité évaluée par la modélisation pour les écologues du paysage (Porter 2002 ; Turnbull et al. 2018), elle fait plutôt écho pour les non-initiés à la représentation du projet, espace fictif qui pourrait advenir sous certaines conditions d'aménagement.

L'atelier a donc proposé de retenir deux sources d'agentivité : les non-humains en présence et les postures professionnelles des différents acteurs impliqués dans les quartiers de gare. La suite de la recherche s'est proposée de croiser ces deux sources : identifier les non-humains qui participent à la construction des postures professionnelles pour chaque typologie d'acteur.

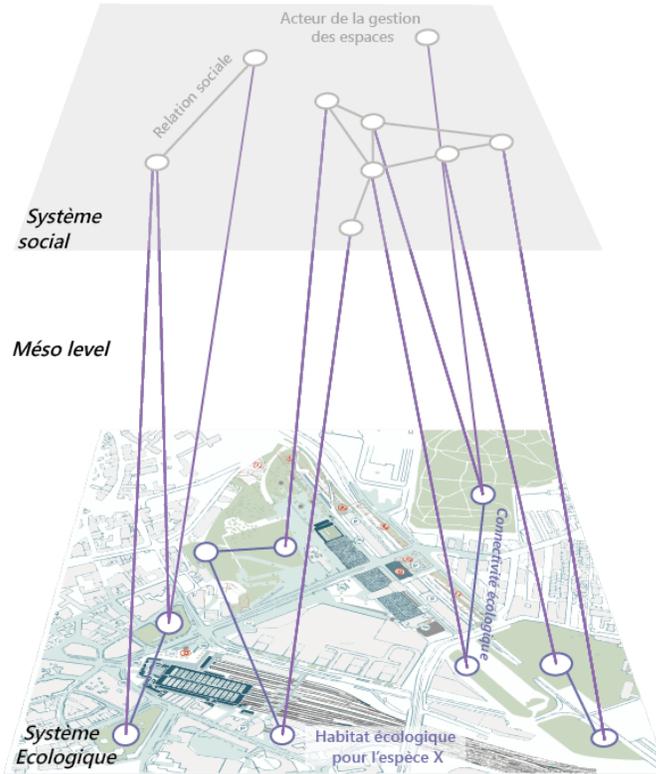
## **DÉCRIRE LES MANIFESTATIONS CONJOINTES DE LA BIODIVERSITÉ ET DU QUARTIER DE GARE**

Mobiliser la théorie de l'acteur-réseau (Latour 2005), ou *Actor-Network Theory* (ANT) dans le dernier moment de la recherche a permis de satis-

faire la double exigence induite par l'objectif initial : ne pas attribuer exclusivement aux humains toute la capacité d'agir, et ne pas réduire les discours des acteurs à de simples représentations détachées de la réalité. En effet, l'ANT constitue avant tout une méthode descriptive visant à retracer exhaustivement l'ensemble des éléments impliqués dans une situation, sans établir a priori de hiérarchie ou de discrimination entre les acteurs en fonction de leur appartenance supposée à la Nature ou à la Culture. Par ailleurs, les auteurs ayant théorisé et appliqué cette approche ont fortement insisté sur la nécessité d'une « dé-sociologisation » des individus enquêtés, autrement dit de les considérer en dehors des catégories sociologiques préconstruites. Cette ligne directrice s'oppose à la réduction de la puissance d'agir des acteurs face au déterminisme de schèmes sociaux qu'il faudrait dévoiler (classes, structures, etc.), lesquels étant selon l'ANT produits par l'action sociale bien plus qu'ils ne la produisent ou conditionnent. Dans ce cadre, l'action ne naît qu'à partir des éléments en présence, et les explications ne peuvent avoir d'origine exogène : les agencements humains/non-humains fonctionnent jusqu'à ce qu'ils ne tiennent plus.

Les chercheurs qui mobilisent l'ANT soulignent aussi l'existence d'un décalage entre les pratiques des acteurs et les comptes rendus qu'ils en font (Farias, Roberts, et Blok 2020), insistant alors sur la nécessité d'approches ethnométhodologiques qui permettent de rendre aux non-humains la juste place qu'ils jouent socialement (comme cela a été fait lors du dernier entretien par exemple). Les pratiques de recherche ont dû être adaptées aux limites imposées par la méthode d'enquête choisie, la réalisation d'entretiens ex situ (adaptation du guide d'entretien, croisement de plusieurs blocs théoriques, etc.). Cette contrainte a toutefois offert une opportunité pour se défaire de la fascination pour la solidité des objets dont peuvent parfois se rendre coupables les praticiens de l'ANT, de tenter d'aller au-delà de l'évaluation de la solidité des associations humains/non-humains en s'intéressant aussi à ceux qui gravitent autour de ces assemblages sociaux composites, qui en bénéficient, en souffrent ou en sont responsables (Durand 2024). Enfin, l'ANT se conçoit comme une technique de description, qui à l'instar d'autres techniques similaires, s'use et doit être continuellement réinventée pour être efficace (Dumez, 2011). Pour y remédier, le cadre des systèmes socio-écologiques en réseaux multiniveaux, qui propose de formaliser des réseaux sociaux et naturels interconnectés plus ou moins bien ajustés l'un à l'autre, a été repris comme un patron de description. Les résultats se décomposent ainsi en trois parties : la description des relations entre vivants non-humains ; entre humains et leurs institutions ; et les interdépendances socio-écologiques entre ces deux pôles (Figure 30).

Figure 30 : Formalisme proposé par le cadre des systèmes socio-écologiques en réseaux multinationaux qui a servi de patron à la description de l'ANT. Le schématisation repris de la littérature distingue systèmes sociaux et naturels, mais la description produite dans la recherche traite bien l'ensemble de ces composantes comme des acteurs sociaux.



La description des entités vivantes et de leurs relations a déjà été au cœur des approches de modélisation dans Frugacité. Ces dernières ont été complétées par les résultats de rapports ou d'inventaires menés par des naturalistes dans le cadre de commandes par les différentes filiales de la SNCF. Tous ces éléments ont permis de caractériser les traces - ou les absences - du vivant dans les quartiers de gare. Si les gares sont généralement marquées par leur forte minéralité au niveau des interfaces urbaines (parvis, parking), elles peuvent pourtant accueillir des espèces rares en contexte plus rural. Leur face arrière, tournée vers le ferroviaire, abrite des espaces à la fois préservés et perturbés, dont le potentiel demeure souvent

sous-exploité. Il s'agit des délaissés ferroviaires, parfois valorisés par des initiatives locales de renaturation, et des talus qui, bien que constituant des frontières avec les domaines publics et privés, peuvent offrir des aménités aux habitants et au vivant urbain lorsque leur intégration paysagère le permet.

La description des interdépendances socio-écologiques a consisté à relever dans le même temps les manières de parler de la biodiversité ainsi que les pratiques concrètes en termes d'aménagement ou de gestion. Sémantiquement, la biodiversité peine à faire l'objet d'une compréhension partagée et le terme est ainsi parfois évité. Son usage peut conduire à une politisation rapide de la question, dans la mesure où les spécialistes soulignent son caractère technico-scientifique tout en déplorant son usage communicationnel, tandis que les non experts l'investissent de rapports plus intimes en mobilisant des expériences personnelles avec le vivant ou la nature. Par ailleurs, plus que le quartier de gare en lui-même, la biodiversité se voit reconfigurée par la ville dans son ensemble comme l'a pointé la littérature (Salomon et Granjou 2021). Les naturalistes et scientifiques se voient confrontés à des questions épistémiques concernant les paradigmes applicables à ces écosystèmes difficilement identifiables. Des tris entre les espèces sont opérés conceptuellement et opérationnellement. Les espèces urbaines sont par exemple considérées a priori moins vulnérables aux perturbations induites par le changement climatique, car déjà thermophiles ; le pigeon ou le rat sont considérés comme des hybrides et séparés du reste du vivant dans les discours des acteurs ; ou encore les espaces végétalisés concentrent souvent les enjeux lors de l'aménagement du fait de bénéficier plus facilement identifiables et quantifiables (solutions fondées sur la nature, monétarisation des services écosystémiques).

Les pratiques d'aménagement et de gestion témoignent aussi de l'influence des non-humains qui encadrent les actions. Les périmètres d'actions de chaque filiale sont contraints spatialement par le périmètre du foncier dont ces derniers sont propriétaires, créant quasiment systématiquement un décalage avec la spatialité des processus écologiques qui y prennent place. La conception et la mise en œuvre des aménagements sont conditionnées par le découpage des projets en grandes phases successives (Étude de Faisabilité, Avant-Projet, PRO/DCE, etc.). La gouvernance, déjà fragmentée entre de multiples parties prenantes, mobilise les praticiens de manière souvent cloisonnée entre les différentes étapes du projet. Cette fragmentation limite la capacité d'un acteur intervenant à une phase spécifique à appréhender la biodiversité de manière systémique et peut engendrer des discontinuités dans sa prise en compte. En effet, chaque transition entre phases s'accompagne de renégocia-

tions potentielles, susceptibles d'aboutir à des ajustements défavorables, comme la suppression d'un arbre sous contrainte temporelle ou en raison d'un déficit de communication lors de l'exécution des travaux. Dans ce contexte, le rôle des acteurs en charge de la coordination, tels que l'Assistant(e) à Maîtrise d'Ouvrage (AMO), apparaît essentiel, bien que leur action demeure conditionnée par les orientations et les décisions de la maîtrise d'ouvrage qu'ils représentent. Les cadres stratégiques mis en place au sein de chaque filiale jouent aussi un rôle essentiel pour garantir la continuité de cette intégration entre les parties prenantes. Toutefois, un décalage subsiste dans les stratégies des différentes sociétés filiales, en raison de niveaux de maturité hétérogènes sur cette thématique. Par ailleurs, les documents de planification territoriaux, qui pourraient servir à définir des objectifs robustes et partagés, intègrent rarement une articulation explicite entre biodiversité et quartiers de gare, qu'elle soit spatiale, morphologique ou fonctionnelle. Si le Schéma Directeur de la Région Île-de-France (SDRIF) constitue un levier potentiel pour structurer cette relation, il ne met pas en évidence d'enjeux spécifiques à leur croisement et s'inscrit dans une échelle d'analyse particulièrement large.

Enfin, l'enquête a dépeint la gouvernance complexe qui encadre la biodiversité, et qui repose sur des dynamiques internes et externes au groupe. Il existe par exemple un grand nombre de processus de délégation de gestion entre les filiales, cette dernière incombant souvent à l'organisme exploitant la gare – majoritairement Transilien sur la ligne N. Si cela favorise l'émergence d'initiatives intéressantes dans le cas où ces acteurs sont moteurs, la pérennité et la généralisation de ces initiatives restent incertaines, car elles ne s'appuient pas forcément sur des politiques stratégiques établies. À l'inverse, cette situation accentue le potentiel blocage d'autres acteurs moins investis ou trop peu formés, qui parfois peuvent penser bien faire tout en éludant des enjeux clefs. La gestion de la biodiversité fait aussi l'objet de collaborations externes, comme l'illustre l'exemple de la contractualisation de Transilien avec les associations de réinsertion et d'accompagnement de publics éloignés de l'emploi (ESPACE, Halage, APAGE). Si la composante sociale a semblé être la première raison de ces partenariats, ces associations portent aussi des valeurs écologiques fortes et se limitent généralement volontairement à la mise en place de pratiques de gestion différenciée. Elles proposent par ailleurs un compte rendu des actions menées, qui permet à la fois de sensibiliser la SNCF à la biodiversité et de faire un retour sur les trajectoires de réinsertion des bénéficiaires. Les associations sont en revanche plus chères que les prestataires classiques et les partenariats développés demeurent limités à des contextes spécifiques, sans pouvoir être généralisés à plus grande échelle.

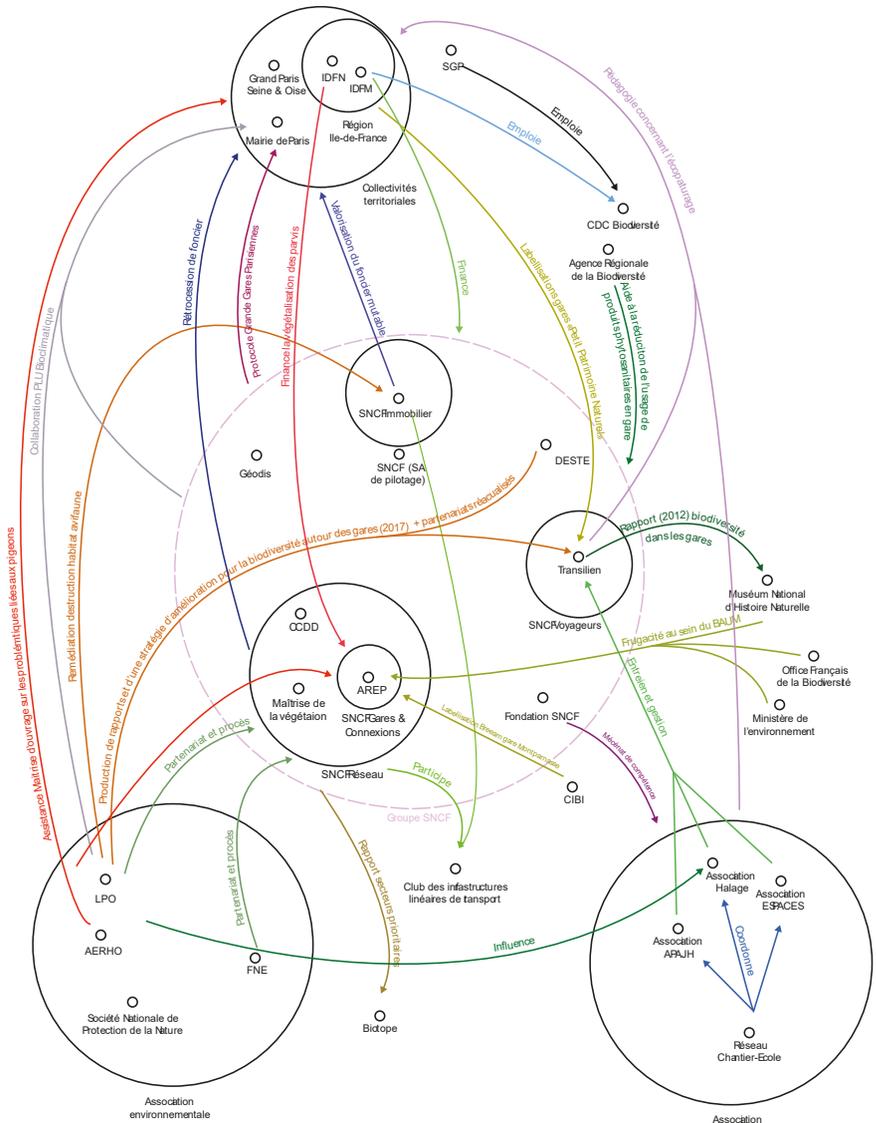
D'autres exemples de dispositifs de collaborations sont proposés en Figure 31. Parmi ceux-ci, la concertation lors de l'élaboration du Plan Local d'Urbanisme Bioclimatique a donné à voir les différences de perspectives entre le groupe SNCF et la ville de Paris, qui a adopté en Novembre 2024 ce document qui « marche sur les deux jambes de l'écologie et du social » (Aménagement général — Conseiller en urbanisme). Les négociations ont notamment porté sur le statut à donner aux espaces mutables car actuellement inutilisés pour l'activité ferroviaire. SNCF Immobilier applique la stratégie du compte à rebours sur ces espaces, c'est-à-dire fixe le prix de vente de son foncier à partir du prix de vente final par mètre carré du bien construit par l'aménageur. En orientant la construction autour des gares vers des logements (éventuellement logements sociaux) ou en imposant des formes moins denses privilégiant la présence d'espaces verts, le PLU occasionne un manque à gagner pour la SNCF qui privilégie des formes plus rentables comme les bureaux. La négociation a donc porté sur les responsabilités qui incombent à la SNCF, et contribuent à l'affirmation de son identité non seulement comme acteur de l'écologisation des mobilités, mais aussi de l'écologisation des territoires dans lequel il est ancré. La valorisation du foncier disponible répond aux contraintes budgétaires fortes qui pèsent sur l'acteur ferroviaire, qui le forcent à prioriser certaines actions et à capitaliser sur les sources de rémunération dont il dispose. La consultation publique donne aussi à voir des débats quant à la compatibilité des enjeux de biodiversité soulevés dans le PLU avec la mission de service public, le fonctionnement, la maintenance et l'entretien des infrastructures ferroviaires ainsi que l'équilibre financier des projets de la SNCF. Dans l'ensemble, les avis exprimés par la SNCF sont considérés audibles par les services instructeurs lorsqu'ils concernent des conséquences du PLU sur le cœur même de l'activité ferroviaire (Liné et al. 2024a ; 2024b ; 2024c). Les demandes de dérogation ou d'exclusion de certaines emprises ferroviaires du zonage « secteurs de renforcement végétal » pour les talus ferroviaires ont été acceptées au nom des surfaces disponibles ou des exigences ferroviaires.

Enfin, la thèse d'Alexandre Auvray (2024) a prolongé l'analyse par un travail que l'on se contentera de mentionner seulement brièvement ici, à savoir la mobilisation de l'approche par les modes d'existence (Latour 2012). Ces derniers désignent à la fois une forme d'être propre et un type particulier de conditions de véridictions. Les modes d'existence permettent de recomposer ce que l'ANT avait cherché à désassembler lorsque celle-ci se focalisait sur la description du caractère composite du social et du rôle des non-humains ; ils proposent de discerner la spécificité de chaque type d'associations entre humains et non-humains. Cette approche a notamment permis d'éclairer les différences de posture soulignées en introduc-

tion de la partie, entre acteurs reconnaissant la portée structurante de la biodiversité dans leurs pratiques, d'autres ne s'en réclamant pas, et la posture équivoque des paysagistes. En l'occurrence, il existe dans le quartier de gare autant de manières de parler de la biodiversité et du vivant qu'il existe de modes d'existence, chacun étant irréductible dans le langage des autres.

Dès lors, la constitution d'un paysage répond à des exigences qui lui sont propres, qui concernent certes le vivant mais qui restent différentes de la prise en compte de la biodiversité comme un concept scientifique. Le vivant devient pour les paysagistes un élément parmi d'autres (contraintes de flux, contexte historique et patrimonial) avec lequel négocier, pour parvenir à constituer un paysage qui doit avant tout être lisible pour l'usager : « [La biodiversité] est à la fois un élément de diagnostic qu'on regarde sans le hiérarchiser, c'est-à-dire que c'est un élément avec d'autres qui prend une échelle ou qui prend de l'importance en fonction des sujets, en fonction des endroits. » (Environnement au sein de l'aménagement-Paysagiste). Le passage de la biodiversité du scientifique à la biodiversité du paysage à aménager nécessite une traduction non triviale, et ne peut être le produit d'une simple translation : certains concepts seront perdus, d'autres ajoutés, et les deux notions manifestent une richesse qui leur est propre. L'enjeu n'est donc plus de se demander comment agréger les postures en une unique manière de considérer le vivant ; mais de se demander si ce qui est important pour ce dernier est bien conservé lors de la traduction dans chacun des modes.

Figure 31 : Schéma non exhaustif des collaborations entre les acteurs internes au groupe SNCF et les acteurs qui lui sont externes.



NB Les couleurs sont destinées à faciliter la lecture

# **PERSPECTIVES DEPUIS L'ENTREPRISE**

---

En 2020, lorsqu'AREP a été à l'initiative de la proposition de recherche Frugacité, un point s'est avéré incontournable pour achever avec succès le montage partenarial et financier du projet et le présenter en réponse à l'appel du PUCA : assurer des perspectives de débouchés opérationnels à AREP et aux partenaires techniques et financiers du projet. Ces derniers, internes et externes au groupe SNCF, ont en effet accepté de participer activement au projet Frugacité dans la perspective d'accéder *in fine* à des méthodes et outils innovants et utiles pour mieux prendre en charge la biodiversité dans leurs projets. La proposition de recherche prévoyait donc dès le dépôt de candidature la création d'une méthodologie web en ligne pour retracer le déroulement de la recherche, sa méthodologie et les résultats obtenus, autant que pour partager des « briques méthodologiques opérationnelles » utiles aux partenaires issus du monde de l'aménagement et de la construction.

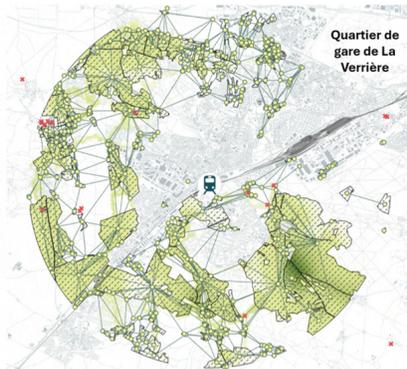
Le livrable produit sous la forme d'un site internet<sup>3</sup> constitue dans ce cadre un dispositif de communication cherchant à répondre à ce double objectif (figure 32). Il a été structuré à partir de deux onglets principaux nommés "Recherche" et "Action opérationnelle", de façon à répondre aux intérêts de chaque famille d'acteurs. Les équipes opérationnelles d'AREP engagées dans le projet ont pu s'appuyer à la fois sur l'expertise de l'entreprise en matière de pilotage de projets de recherche multi-partenariaux et sur l'accompagnement du PUCA, qui apportait également son expérience. L'écart entre les résultats bruts de la recherche, qui avaient certes nourris la réflexion opérationnelle, et leur mise en œuvre pratique avait été anticipé mais a tout de même représenté un défi. La création du site a ainsi constitué une étape clé et stimulante, dont la réussite a reposé sur l'engagement de l'ensemble des acteurs pour assurer la transition du cadre expérimental à l'application concrète sur le terrain. Finalement, l'équilibre atteint permet de partager des données de manière satisfaisante pour l'ensemble des parties prenantes : commanditaires du projet BAUM, chercheurs, partenaires opérationnels, bureaux d'étude, paysagistes, écologues, voire société civile et grand public.

---

3 <https://frugacite.arep.fr>

Figure 32 : Extrait du site internet Frugacité.

Accueil	Equipe	Recherche	Action opérationnelle	Ressources
<h3>QUARTIERS DE GARE, ACTEUR</h3> <p>Un projet de recherche pour concilier aménagement urbain</p> <p>Le projet FRUGACITÉ (ForMes Urbaines des quartiers de Gare) par la soutenance de la thèse d'Alexandre Auwray. Le projet explore l'exemple des quartiers de gare. Pour cela, il étudie les interactions entre une équipe pluridisciplinaire et des acteurs opérationnels. FRUGACITÉ vise à développer une méthodologie pour améliorer la prise en charge de la connectivité écologique dans les aménagements urbains.</p> <p>Ce site vous présente le projet, ses objectifs, les résultats de la recherche et les déclinaisons opérationnelles possibles à différentes échelles de projet.</p> <p>En partant du territoire dans lequel prend place un projet d'aménagement, il est possible de modéliser l'occupation du sol et la connectivité écologique à différentes échelles et pour différentes espèces. Le projet FRUGACITÉ prend pour terrain la ligne N du Transilien et en particulier 4 gares : Paris Montparnasse, La Verrière, Epône - Mézières et Rambouillet.</p>		<p>Intégrer la biodiversité dans les projets d'aménagement</p> <p>Conseils méthodologiques</p> <p>Leviers par phases de travail</p> <p>Leviers par type d'acteurs</p> <p>Leviers par échelle de projet</p> <p>20 et achevé en décembre 2024 is contraintes techniques, à partir et la biodiversité. En mobilisant</p>		



Sous l'angle des débouchés opérationnels, le site internet Frugacité transmet avec pédagogie les principales notions à connaître pour aborder l'aménagement des projets à fortes contraintes techniques en prenant en compte la biodiversité dès l'amont, par le prisme de la connectivité paysagère. Connectivité paysagère, espèces virtuelles, mode d'occupation des sols, habitats écologiques, théorie des graphes, corridors de moindre coût, etc., sont autant de notions nouvelles à acquérir pour un public de maîtres d'ouvrages, concepteurs, aménageurs et constructeurs.

La recherche Frugacité, qui travaille à trois échelles (grand territoire, quartier, bâti/mobilier urbain), s'appuie également sur un jeu de cartes essentiel pour représenter les enjeux de biodiversité. Bien que le travail cartographique (SIG) ne soit pas nouveau dans les projets d'aménagement et de construction, son usage en vue de l'intégration d'une nouvelle thématique stratégique (en l'occurrence la biodiversité abordée à l'échelle du paysage) pose des défis. La représentation de la connectivité paysagère à travers la théorie des graphes présente des liens existants, rompus, ou à restaurer,

entre les habitats écologiques présents sur le territoire et potentiellement impactés par un projet. Si le jeu de cartes numériques se présente comme une perspective nouvelle en termes d'outils d'aide à la décision, ces cartes et les indicateurs qui les sous-tendent se prêtent à poursuivre la recherche, l'étude et l'expérimentation. En effet, pour être pleinement considérées par ces acteurs comme un outil stratégique, elles devront faire l'objet d'un travail d'amélioration pédagogique de la représentation des indicateurs, et d'amélioration des rendus graphiques, jusqu'à devenir des supports de communication efficaces dans un contexte opérationnel. Poursuivre la recherche sur ces cartes constitue donc une perspective intéressante pour leur donner toute leur puissance comme outil de médiation au sein de la sphère des acteurs concernés par un projet d'aménagement.

En complément du travail cartographique, le projet Frugacité a assemblé d'autres éléments qui donnent matière à réfléchir, à la fois pour poursuivre la recherche et pour travailler à satisfaire les attentes opérationnelles des acteurs. L'un des stages encadrés par le projet a permis d'esquisser un catalogue de solutions techniques de différentes échelles favorables à la biodiversité dans les projets à fortes contraintes techniques (accessible sur le site). Ce type d'outil est apprécié par les maîtres d'ouvrages et maîtres d'œuvre des projets, car il présente un panel de références existantes potentiellement prêtes à l'emploi (même si elles ne dispensent pas ces acteurs de réaliser les études pour adapter les dispositifs proposés à leurs projets). L'amélioration de ce catalogue, et l'articulation avec d'autres catalogues développés par AREP sur d'autres thématiques environnementales (carbone, matière, climat, etc.) fait partie des chantiers de travail à venir pour opérationnaliser plus pleinement le projet Frugacité, et enrichir la palette d'outils d'aide à la décision utiles aux acteurs.

Un autre axe de la recherche étudié dans le cadre d'un stage Frugacité a consisté à synthétiser, après plusieurs entretiens, la manière dont différents métiers issus du monde de l'aménagement et de la conception s'approprient la biodiversité dans leurs méthodes, et quelles sont leurs attentes en termes d'outils. Ces fiches métiers esquissent elles aussi des perspectives de développement, telles que l'adaptation d'outils métiers existants (par exemple ceux du programmeur), ou la création de nouveaux outils ou interfaces, par exemple en lien avec les métiers du SIG à l'échelle des territoires et du *building information modeling* (BIM) à l'échelle des bâtiments. Cette adaptation vise à mieux prendre en charge les résultats du projet Frugacité et les enjeux de biodiversité sous l'angle de la connectivité paysagère. Avant cela, un préalable s'impose : valoriser les résultats de la recherche et les premières briques opérationnelles obtenues, en mettant l'accent sur la diffusion pédagogique, sans laquelle les

notions qui ont constitué le cœur de la recherche n'atteindront ni les opérationnels, ni les maîtres d'ouvrages tant publics que privés, ni la société civile pour laquelle sont réalisés ces projets.

Enfin, s'est présentée l'opportunité de présenter le projet Frugacité à la Biennale d'Architecture et du Paysage de Versailles mise en œuvre par la Région Île-de-France et la Ville de Versailles de mai à juillet 2025. Une exposition hors les murs au sein de l'espace public, en partenariat avec la SNCF, dans plusieurs gares du Transilien desservant Versailles, permettra de présenter l'essentiel des résultats du projet dans un format adapté à tout public. Une conférence au format table-ronde en présence d'une diversité d'acteurs institutionnels permettra d'évoquer les nombreux enjeux abordés par le projet.

L'équipe projet Frugacité remercie tous les partenaires qui l'ont soutenue, à commencer par le PUCA, pour leur confiance. Elle vous donne rendez-vous à l'onglet Contact du site <https://frugacite.arep.fr> pour continuer à partager les réflexions.



# BIBLIOGRAPHIE

---

Alberti, M.J. 2008. *Advances in urban ecology: integrating humans and ecological processes in urban ecosystems*. New York, NY: Springer.

Alix, Guillaume. 2021. « Relation entre l'homme et la biodiversité urbaine : Pourquoi et comment la biodiversité urbaine s'intègre-t-elle dans l'évolution des villes ? Cas d'étude sur la ville de Lorient ». Rennes, France: Agro-campus Ouest. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03516092>.

Amaya-Espinel, J.D., Hostetler, M., Henríquez, C., et Bonacic, C. 2019. « The influence of building density on Neotropical bird communities found in small urban parks ». *Landscape and Urban Planning* 190: 103578. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.05.009>.

Apfelbeck, B., Jakoby, C., Hanusch, M., Steffani, E.B., Hauck, T.E., et Weisser, W.W. 2019. « A Conceptual Framework for Choosing Target Species for Wildlife-Inclusive Urban Design ». *Sustainability* 11(24): 6972. <https://doi.org/10.3390/su11246972>.

Auvray, Alexandre. 2024. « Intégrer les enjeux de biodiversité dans l'aménagement des quartiers à fortes contraintes techniques ? Quartiers de gare, acteurs et paysages ». Thèse, Paris 1 Panthéon Sorbonne. <https://theses.fr/s311191>.

Auvray, A., Sahraoui, Y., Le Bot, N., et Marty, P. 2024. « La biodiversité des quartiers de gare : systèmes socio-écologiques et réseaux multiniveaux ». In *La nouvelle nature des gares*, éd. N. Baron, N. Le Bot et P. Detavernier, 19–32. Presses Universitaires de Vincennes.

Bertolini, L. 2008. « Station Areas as Nodes and Places in Urban Networks: An Analytical Tool and Alternative Development Strategies ». In *Railway Development*, éd. F. Bruinsma et al., 35–57. Heidelberg: Physica-Verlag.

Blair, R.B. 1996. « Land Use and Avian Species Diversity Along an Urban Gradient ». *Ecological Applications* 6(2): 506–519. <https://doi.org/10.2307/2269387>.

Bodin, Ö., Alexander, S.M., Baggio, J., Barnes, M.L., Berardo, R., Cumming, G.S., et Dee, L.E. 2019. « Improving Network Approaches to the Study of Complex Social–Ecological Interdependencies ». *Nature Sustainability* 2(7): 551–559. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0308-0>.

Bourgeois, M. 2024. *Territorialiser les réseaux écologiques. Coupler approches théoriques et participatives dans une perspective de recherche appliquée*. Habilitation à diriger des recherches, Université Jean Moulin Lyon 3.

Braaker, S., Moretti, M., Boesch, R., Ghazoul, J., Obrist, M.K., et Bontadina, F. 2014. « Assessing Habitat Connectivity for Ground-Dwelling Animals in an Urban Environment ». *Ecological Applications* 24(7): 1583–1595. <https://doi.org/10.1890/13-1088.1>.

Breuste, J., Niemelä, J., et Snep, R.P.H. 2008. « Applying Landscape Ecological Principles in Urban Environments ». *Landscape Ecology* 23(10): 1139–1142. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9273-0>.

Calabrese, J.M., et Fagan, W.F. 2004. « A comparison-shopper's guide to connectivity metrics ». *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(10): 529–536.

Carsignol, J., et G. Tekielak. 2019. *Clôtures routières et ferroviaires & faune sauvage : Critères de choix et recommandations d'implantation*. Bron, France: Cerema.

Caudron, Elsa. 2019. *La collision de l'avifaune avec le bâti : Constat et solutions*. In Continuités écologiques et collisions avec la faune : des données aux solutions. Journée d'échanges techniques. Paris, Grande Arche de la Défense. France : LPO.

Cerema. 2022. *État des connaissances et retour d'expérience sur les dispositifs de sortie des clôtures pour les ongulés sauvages*. Bron, France: Cerema.

Chailloux, M., Tarabon, S., Papet, G., Amsallem, J., et Vanpeene, S. 2024. « MitiConnect: une extension QGIS pour intégrer les continuités écologiques dans la séquence Éviter, Réduire, Compenser (ERC) ».

Churko, G., Kienast, F., et Bolliger, J. 2020. « A Multispecies Assessment to Identify the Functional Connectivity of Amphibians in a Human-Dominated Landscape ». *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9(4): 287. <https://doi.org/10.3390/ijgi9050287>.

Clauzel, C. 2021. *Réseaux écologiques et connectivité du paysage. De la modélisation spatiale à la gestion de la biodiversité*. Habilitation à diriger des recherches, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.

Clauzel, C., Gaber, C., et Godet, C. 2020. *Fiches méthodologiques pour la prise en main de Graphab*. LADYSS-SNPN.

Clergeau, P. 2007. *Écologie du paysage urbain*. Éditions Apogée.

Durand, E. 2024. « Outiller la pensée du devenir incertain des matériaux ». *Revue d'anthropologie des connaissances* 18(4). <https://doi.org/10.4000/12swu>.

Farias, Ignacio, Celia Roberts, et Anders Blok, éd. 2020. *The Routledge Companion to Actor-Network Theory*. London ; New York: Routledge, Taylor & Francis Group.

- Farinha-Marques, P., et Fernandes, C. 2018. « Finding a Way: Green Space Connectivity Through The Dense Urban Fabric of Porto, Portugal ».
- Flégeau, M. 2021. « Formes urbaines et biodiversité, un état des connaissances ». Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité.
- Foltête, J.-C., Girardet, X., et Clauzel, C. 2014. « A methodological framework for the use of landscape graphs in land-use planning ». *Landscape and Urban Planning* 124: 140–150.
- Foltête, J.-C., Vuidel, G., Savary, P., Clauzel, C., Sahraoui, Y., Girardet, X., et Bourgeois, M. 2021. « Graphab: An application for modeling and managing ecological habitat networks ». *Software Impacts* 8: 100065. <https://doi.org/10.1016/j.simpa.2021.100065>.
- France Nature Environnement. 2024. « Cartovégétation : protéger les continuités écologiques dans les territoires ».
- Gibson, J.J. 1979. *The Ecological Approach to Visual Perception: Classic Edition*. Psychology Press.
- Girardet, X., et Clauzel, C. 2018. *Graphab. 14 réalisations à découvrir*. Actes de la journée « Retour d'expérience sur Graphab » du 27 juin 2017. HAL.
- Jakes, A.F., Jones, P.F., Paige, L.C., Seidler, R.G., et Huijser, M.P. 2018. « A Fence Runs through It: A Call for Greater Attention to the Influence of Fences on Wildlife and Ecosystems ». *Biological Conservation* 227: 310–318. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.09.026>.
- Keller, F. 2009. *La gare contemporaine – Rapport au Premier ministre*. La Documentation Française. <https://www.vie-publique.fr/files/rapport/pdf/094000109.pdf>.
- Kim, D., Shin, W., Choi, H., Kim, J., et Song, Y. 2020. « Estimation of Ecological Connectivity in a City Based on Land Cover and Urban Habitat Maps ». *Sustainability* 12(22): 9529. <https://doi.org/10.3390/su12229529>.
- Kininmonth, S., Bergsten, A., et Bodin, Ö. 2015. « Closing the Collaborative Gap: Aligning Social and Ecological Connectivity for Better Management of Interconnected Wetlands ». *AMBIO* 44(S1): 138–148. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0605-9>.
- Kwon, O.-S., Kim, J.-H., et Ra, J.-H. 2021. « Landscape Ecological Analysis of Green Network in Urban Area Using Circuit Theory and Least-Cost Path ». *Land* 10(8): 847. <https://doi.org/10.3390/land10080847>.
- Latour, B. 1993. *Nous n'avons jamais été modernes: essai d'anthropologie symétrique*. La Découverte.

Latour, B. 2005. *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory*. Oxford University Press.

Latour, B. 2012. *Enquête sur les modes d'existence: une anthropologie des modernes*. La Découverte.

Lecq, S., Loisel, A., Mullin, S.J., et Bonnet, X. 2018. « Manipulating hedgerow quality: Embankment size influences animal biodiversity in a peri-urban context ». *Urban Forestry & Urban Greening* 35: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.08.002>.

Levins, R. 1966. « The Strategy of Model Building in Population Biology ». *American Scientist* 54(4): 421-431.

Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO). 2024. *Rénovation du bâti et biodiversité : le guide technique*. France: LPO.

Linét, M., et al. 2024a. *Révision du Plan Local d'Urbanisme Bioclimatique de Paris: Tome 2/6 Avis et Observations Recueillies MRAe et PPA*. Mairie de Paris.

Linét, M., et al. 2024b. *Révision du Plan Local d'Urbanisme Bioclimatique de Paris: Tome 3/6 Examen des Observations du Public - Thèmes Généraux*. Mairie de Paris.

Linét, M., et al. 2024c. *Révision du Plan Local d'Urbanisme Bioclimatique de Paris: Tome 4/6 Examen des Observations du Public - Thèmes Localisés*. Mairie de Paris.

Loiret Nature Environnement. 2021. *Nature et bâti : Cohabiter avec la faune sauvage*. Orléans, France: Loiret Nature Environnement. <https://www.loiret-nature-environnement.org/nos-actions/biodiversite/nature-et-bati>.

Louis-Lucas, T., Clauzel, C., Mayrand, F., Clergeau, P., et Machon, N. 2022. « Role of Green Roofs in Urban Connectivity, an Exploratory Approach Using Landscape Graphs in the City of Paris, France ». *Urban Forestry & Urban Greening* 78: 127765. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127765>.

Martin, F.-M. 2023. « Analyse des enjeux liés à la description des formes urbaines pour l'étude de la biodiversité ».

MNHN, SNCF Gares & Connexions, et SNCF Transilien. 2012. *Espaces verts des gares transiliennes. Etat des lieux et stratégie pour une prise en compte de la biodiversité*. Muséum National d'Histoire Naturelle.

Moilanen, Atte, et Ilkka Hanski. 2001. « On the use of connectivity measures in spatial ecology ». *Oikos* 95 (1): 147-51. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.950116.x>.

Moll, R.J., Cepek, J.D., Lorch, P.D., Dennis, P.M., Tans, E., Robison, T., Millspaugh, J.J., et Montgomery, R.A. 2019. « What Does Urbanization Actually Mean? A Framework for Urban Metrics in Wildlife Research ». *Journal of Applied Ecology* 56(5): 1289–1300. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13358>.

Mougenot, C., et Melin, É. 2000. « Entre science et action : le concept de réseau écologique ». *Nature Sciences Sociétés* 8(3): 20–30.

Nowicki, F., et K. Rouelle. 2016. Chiroptères et infrastructures de transport. Bron, France: Cerema.

Pénone, Caterina. 2012. *Fonctionnement de la biodiversité en ville : contribution des dépendances vertes ferroviaires*. Paris, France: Muséum national d'Histoire naturelle. <https://www.theses.fr/2012MNHN0010>.

Penteado, H.M. 2021. « Urban Open Spaces from a Dispersal Perspective: Lessons from an Individual-Based Model Approach to Assess the Effects of Landscape Patterns on the Viability of Wildlife Populations ». *Urban Ecosystems* 24(4): 753–766. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-01074-3>.

Powell, R.A., et Mitchell, M.S. 2012. « What Is a Home Range? ». *Journal of Mammalogy* 93(4): 948–958. <https://doi.org/10.1644/11-MAMM-S-177.1>.

Pullinger, M.G., et Johnson, C.J. 2010. « Maintaining or Restoring Connectivity of Modified Landscapes: Evaluating the Least-Cost Path Model with Multiple Sources of Ecological Information ». *Landscape Ecology* 25(10): 1547–1560. <https://doi.org/10.1007/s10980-010-9526-6>.

Sahraoui, Y. 2016. *Le paysage, entre esthétique & écologie*. Thèse, Université de Franche-Comté.

Sahraoui, Y., Foltête, J.-C., et Clauzel, C. 2017. « A multi-species approach for assessing the impact of land-cover changes on landscape connectivity ». *Landscape Ecology* 32(9): 1819–1835.

Sahraoui, Y., De Goody, L.C., Benot, M.-L., Revers, F., Salles, D., Van-Halder, I., Barneix, M., et Carassou, L. 2021. « Integrating ecological networks modelling in a participatory approach for assessing impacts of planning scenarios on landscape connectivity ». *Landscape and Urban Planning* 209: 104039.

Salomon, J., et Granjou, C. 2021. *Quand l'écologie s'urbanise*.

Saura, S., et Pascual-Hortal, L. 2007. « A New Habitat Availability Index to Integrate Connectivity in Landscape Conservation Planning: Comparison with Existing Indices and Application to a Case Study ». *Landscape and Urban Planning* 83(2–3): 91–103. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.03.005>.

- Savary, P., Tannier, C., Foltête, J.-C., Bourgeois, M., Vuidel, G., Khimoun, A., Moal, H., et Garnier, S. 2024. « How Does Dispersal Shape the Genetic Patterns of Animal Populations in European Cities? A Simulation Approach ». *Peer Community Journal* 4: e40. <https://doi.org/10.24072/pcjournal.407>.
- Soret, M., Moulherat, S., Lenormand, M., et Luque, S. 2024. « Implication of modelling choices on connectivity estimation: A comparative analysis ». arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2407.09564>.
- Tannier, C., Foltête, J.-C., et Girardet, X. 2012. « Assessing the Capacity of Different Urban Forms to Preserve the Connectivity of Ecological Habitats ». *Landscape and Urban Planning* 105(1-2): 128-139. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.12.008>.
- Tarabon, S., Bergès, L., Dutoit, T., et Isselin-Nondedeu, F. 2019. « Environmental impact assessment of development projects improved by merging species distribution and habitat connectivity modelling ». *Journal of Environmental Management* 241: 439-449. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.031>.
- Taylor, P.D., Fahrig, L., Henein, L., et Merriam, G. 1993. « Connectivity Is a Vital Element of Landscape Structure ». *Oikos* 68(3): 571-573.
- Tischendorf, L., et Fahrig, L. 2001. « On the Use of Connectivity Measures in Spatial Ecology. A Reply ».
- Turnbull, L., Hütt, M.-T., Ioannides, A.A., Kininmonth, S., Poepl, R., Tockner, K., Bracken, L.J., et al. 2018. « Connectivity and Complex Systems: Learning from a Multi-Disciplinary Perspective ». *Applied Network Science* 3(1): 11. <https://doi.org/10.1007/s41109-018-0067-2>.
- Urban, D.L., et Keitt, T. 2001. « Landscape Connectivity: A Graph-Theoretic Perspective ». *Ecology* 82(5): 1205-1218.
- Vanoutrive, T., Klaassen, A., La Rota, Janko, K., et De Block, G. 2022. *TOD-IS-RUR framework paper*. Université d'Anvers.
- Vimal, R., Mathevet, R., et Thompson, J.D. 2012. « The changing landscape of ecological networks ». *Journal for Nature Conservation* 20(1): 49-55.
- Watkin, Y., Delaville, D., et Dugué, R. 2019. « Les tissus urbains franciliens (TUF) Note méthodologie ». Institut Paris Region.
- Watts, K., Eycott, A.E., Handley, P., Ray, D., Humphrey, J.W., et Quine, C.P. 2010. « Targeting and Evaluating Biodiversity Conservation Action within Fragmented Landscapes: An Approach Based on Generic Focal Species and Least-Cost Networks ». *Landscape Ecology* 25(9): 1305-1318. <https://doi.org/10.1007/s10980-010-9507-9>.

Zeller, K.A., Vickers, T.W., Ernest, H.B., et Boyce, W.M. 2017. « Multi-Level, Multi-Scale Resource Selection Functions and Resistance Surfaces for Conservation Planning: Pumas as a Case Study ». *PLOS ONE* 12(6): e0179570. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179570>.

# TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Etapes de construction d'un graphe paysager.

Figure 2 : Enjeux d'intégration des parties prenantes dans les modélisations d'accompagnement.

Figure 3 : Contraintes techniques spécifiques ou non aux quartiers de gare avec lesquels les enjeux de biodiversité se recroisent en partie.

Figure 4 : Place de neuf gares de la ligne N sur le modèle *node-place*.

Figure 5 : Nombre d'acteurs interviewés par typologie.

Figure 6 : Tracé de la ligne N et liste non exhaustive de projets touchant les différentes gares.

Figure 7 : Mode d'occupation du sol du terrain d'étude.

Figure 8 : Bases de données utilisées pour constituer la carte d'occupation du sol à l'échelle de la zone d'étude.

Figure 9 : Observations au sein de la zone d'étude pour le Cerf élaphe (*Cervus elaphus*).

Figure 10 : Carte d'identité de l'écureuil roux (*Scirius vulgaris*).

Figure 11 : Espèces virtuelles retenues.

Figure 12 : Exemple de cartographie du réseau écologique pour l'espèce virtuelle 9 de milieu ouvert.

Figure 13 : Question de recherche et méthodologie.

Figure 14 : Représentation des différentes sous composantes de dPC.

Figure 15 : Illustrations des résultats à partir de l'espèce virtuelle n°1 (milieu forestiers).

Figure 16 : Proposition de stratégie pour la trame forestière.

Figure 17 : Illustrations des résultats à partir de l'espèce virtuelle n°9 (milieu ouverts).

Figure 18 : Proposition de stratégie pour les milieux ouverts.

Figure 19 : Effet de la compaction des infrastructures de transport sur la fragmentation au niveau des quartiers de gare.

Figure 20 : Postes de la base de données du TUF et détail de deux postes.

Figure 21 : Espèces sélectionnées et leur distribution spatiale autour des sites d'étude.

Figure 22 : Présentation des indicateurs relevés à partir des exemples de 3 postes du TUF.

Figure 23a : Pondération des métriques lors du regroupement.

Figure 23b : Classes obtenues après regroupement pour chaque espèce.

Figure 24 : Évaluation des effets des formes architecturales de la gare d'Épône-Mézières sur le Lézard des murailles.

Figure 25a : Scénarios de coûts pour le lézard des Murailles appliqués aux postes du TUF regroupés.

Figure 25b : Méthodologie d'attribution de résistance selon les formes urbaines considérées.

Figure 26 : Graphe paysager pour le Lézard des murailles autour de la gare de La Verrière, pour le scénario de contrôle.

Figure 27 : Taux de croissance de EC par rapport au scénario de contrôle divisé (B) ou non (A) par le taux de croissance de la résistance totale attribué à la carte de paysage.

Figure 28 : Organigramme non exhaustif du groupe SNCF.

Figure 29 : Cartes présentées en introduction et en deuxième temps lors de l'atelier 4, parmi les 6 types de formalisations présentées.

Figure 30 : Formalisme proposé par le cadre des systèmes socio-écologiques en réseaux multiniveaux qui a servi de patron à la description de l'ANT.

Figure 31 : Schéma non exhaustif des collaborations entre les acteurs internes au groupe SNCF et les acteurs qui lui sont externes.

Figure 32 : Extrait du site internet Frugacité.



# **BIOGRAPHIES DES AUTEUR(E)S**

**Alexandre Auvray** est ingénieur en sciences de l'environnement et docteur CIFRE en aménagement, rattaché aux laboratoires Ladyss (Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne) et ThéMa (Université de Franche-Comté). Il est aussi chargé de mission au sein de l'équipe Management de Projet - Assistance à Maitrise d'Ouvrage à AREP, cabinet pluridisciplinaire et filiale de SNCF Gares & Connexions. Sa thèse explore les enjeux de biodiversité dans les quartiers de gare, considérés comme des espaces soumis à de fortes contraintes techniques. Pour mener ses recherches, il mobilise des approches interdisciplinaires, associant écologie du paysage, sciences participatives et sociologie de la traduction.

**Fabienne Ficamos** est designer de formation et a participé à l'aménagement des gares, notamment au développement de l'information voyageurs pour SNCF. En 2018 elle enrichit ses compétences en écologie urbaine auprès d'AgroParisTech. Elle a alors intégré la Direction Management de Projet AREP où elle réalise des missions de suivi environnemental des chantiers et développe l'innovation et la recherche appliquées aux métiers d'AREP. Pour Frugacité, elle contribue à la coordination et l'animation du projet de recherche, plus largement elle travaille sur les pratiques innovantes en biodiversité et métabolisme urbain.

**Karine Gremion** est urbaniste de formation. Après un parcours d'opérationnelle pour des bailleurs de logements sociaux, elle intègre AREP en 2016, en tant que manager d'une équipe de conducteurs d'opérations. Dans la Direction Management de Projet AMO, elle a contribué au développement de nouvelles expertises, dont l'AMO Conseil environnement et l'AMO EMC2B, et pilote les équipes qui les pratiquent. Au sein de Frugacité, elle a activement pris part au pilotage du projet tout au long de son déroulement.

**Nils Le Bot** est architecte et docteur en urbanisme. Enseignant associé à l'École d'Architecture de Paris Val-de-Seine, il est également chercheur à l'Université Technologique de Delft et Responsable de Coordination de la Recherche du Groupe Pluridisciplinaire AREP (filiale de la SNCF), qui développe des solutions créatives et robustes pour l'urbanisme résilient, les architectures bas carbone et le design écologique. Ses recherches portent sur les approches transverses et multiscalaires des mobilité métropolitaines, la cohabitation urbaine, ainsi que les démarches prospectives low-tech et l'urbanisme de discernement.

**Pascal Marty** a été chercheur au CNRS (Centre national de la recherche scientifique) au sein de l'unité de recherche « Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive », à Montpellier, puis au Centre français de recherche en sciences sociales à Prague de 1998 à 2010. Depuis 2010, il est professeur des universités en géographie de l'environnement, et a enseigné à l'Université de La Rochelle, à l'École Normale Supérieure de Lyon et à l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. Depuis septembre 2020 il est détaché au CNRS et dirige l'UMIFRE « Maison Française d'Oxford. Ses recherches portent sur les liens entre les sociétés et leurs environnements naturels. Il étudie en particulier les relations entre les transformations du paysage et la biodiversité.

**Elodie Martin-Hackett** est architecte Diplômée d'Etat, chargée d'études au sein de la Direction de la conception et de la réalisation de l'AREP. En plus de sa formation d'architecte, elle a validé un cursus en Ingénierie des Espaces Végétalisés Urbains au sein de l'école AgroParisTech, intégrant ainsi des compétences supplémentaires pour répondre aux problématiques liées à l'écologie et à l'agriculture urbaine. Depuis 2019, en plus de ses missions de Maitrise d'œuvre sur des projets gares divers (schémas directeurs d'accessibilité, projets de valorisation commerciales, projets de réhabilitation de bâtiments voyageurs, etc.), Elodie participe à des travaux de recherche qui visent à favoriser la protection de la biodiversité dans les projets d'aménagements, en prenant en compte les tissus urbains et les formes architecturales en place et futures.

**Maya Rivera** est ingénieure de l'Ecole Centrale de Nantes ainsi qu'urbaniste. Entrée chez AREP en 2014, elle a contribué à plusieurs grands projets de restructuration au sein des grandes gares parisiennes en tant qu'opérationnelle et manager. Responsable de l'équipe Recherche & Innovation au sein de la Direction Management de Projet AMO d'AREP, elle encadre aujourd'hui une équipe composée d'opérationnels et de chercheurs. Au sein de l'équipe Frugacité, elle a contribué au pilotage et à l'animation du projet à partir de 2023.

**Yohan Sahraoui** est géographe, enseignant-chercheur à l'Université de Franche-Comté et membre du laboratoire ThéMA. Il conduit des recherches sur les enjeux écologiques et socio-politiques des projets d'aménagement, notamment des projets urbains ou de construction d'infrastructures en milieu rural. Ses approches combinent la modélisation spatiale du paysage dans ses dimensions à la fois écologiques et esthétiques, et une analyse politique des jeux d'acteurs et de leurs relations avec l'environnement.

**Sabine Thomas** est ingénieure de l'Ecole Centrale de Nantes, spécialisée en génie civil et environnement. Entrée chez AREP en 2003, elle a contribué à plusieurs grands projets de restructuration au sein des grandes gares parisiennes à toutes phases. Responsable du Pôle Environnement Recherche & Innovation au sein de la Direction Management de Projet AMO d'AREP, elle encadre aujourd'hui une équipe composée d'opérationnels, d'experts en AMO Environnement, et de chercheurs. Au sein de l'équipe Frugacité, elle s'est occupée du montage du projet et des relations avec les partenaires.

# **CONSEIL SCIENTIFIQUE DU PROGRAMME BAUM**

**Hélène Peskine**, secrétaire permanente du PUCA (2017-2024), co-présidente du Conseil scientifique

**Philippe Clergeau**, professeur émérite au Muséum national d'histoire naturelle (MNHM), directeur scientifique du programme BAUM, co-président du Conseil scientifique

**Xavier Lagurue**, architecte DPLG associé XLGD architectures, professeur à l'Ecole nationale supérieure d'architecture Paris-La-Villette (ENSAPLV), chercheur GERPHAU EA 7486, associé CESCO, UMR 7204

**Sébastien Barot**, directeur de recherche à l'Institut de la recherche et du développement (IRD), à l'Institut d'écologie et des sciences de l'environnement-Paris (IEES-Paris)

**Corinne Tiry-Ono**, architecte, professeure à l'Ecole nationale supérieure d'architecture Paris-Val de Seine (ENSAPVS), laboratoire CRH - UMR LAVUE, associée au CRCAO

**Stéphane Garnaud-Corbel**, chef de service adjoint, Service « Anthropisation et fonctionnement des écosystèmes terrestres », Office français de la biodiversité (OFB), Direction de la recherche et de l'appui scientifique

**Elodie Briche**, PhD / coordinatrice R&D Urbanisme Durable, Ademe, Pôle Aménagement des villes et territoires (PAVT)

**Cécile Vo Van**, directrice de projet Nature en ville et Solutions fondées sur la nature (SFN), Cerema Territoires et ville

**Eduardo Blanco**, docteur en aménagement de l'espace, urbanisme, chef de projets chez Energy Cities

**Valérie Charollais**, directrice de la Fédération nationale des Conseils d'architecture, d'urbanisme et de l'environnement (FNCAUE)

**Morgane Flégeau**, urbaniste géographe, maîtresse de conférences en géographie et aménagement, Université de Lorraine, Laboratoire LOTERR (EA 7304)

**Sabine Bognon**, urbaniste géographe, maîtresse de conférences à l'École d'Urbanisme de Paris, laboratoire Lab'urba

**Sandrine Larramendy**, chargée de mission "Approches intégrées Végétal-Paysage-Urbanisme", Plante et Cité

**Marc Bourgeois**, maître de conférences en géographie et aménagement, HDR, Faculté des lettres et civilisations, Université Jean Moulin Lyon 3, UMR Environnement, Ville, Société - 5600 CNRS

**Thomas Redoulez**, délégué général, Union professionnelle du génie écologique (UPGE) (jusqu'en juillet 2023)

**Anaïs Leger-Smith**, ingénieure paysagiste, enseignante-chercheuse à l'École nationale supérieure d'architecture de Toulouse (ENSAT), laboratoire de recherche en architecture (LRA)

**Simon Trauet**, chef de projet Trame verte et bleue et Nature en ville, Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN), Direction de l'eau et de la biodiversité (DEB), Sous-direction de la protection et de la restauration des écosystèmes terrestres, Bureau de la politique de la biodiversité

**Yannick Autret**, expert transport, énergie et environnement, Commissariat général au développement durable (CGDD), Service recherche et innovation

**Florence Drouy**, cheffe du Bureau des villes et territoires durables, Direction Générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN), Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages (DHUP), Sous-direction de l'aménagement durable



POUR ALLER PLUS LOIN



Les quartiers de gare sont aujourd’hui face à un double défi. D’une part, ils doivent s’engager dans une démarche visant à réduire l’impact sur la biodiversité de l’artificialisation des sols et des effets de fragmentation écologique des structures ferroviaires. D’autre part, il leur revient de maintenir leur rôle stratégique en matière de décarbonation, en renforçant la densité, la mixité des usages et l’intensité fonctionnelle de ces pôles. Dans ce contexte, la recherche Frugacités a analysé les interactions entre les formes urbaines et la connectivité paysagère autour des gares, pour mieux intégrer les enjeux écologiques dans les pratiques des différents acteurs de la production urbaine et ferroviaire. Cette démarche s’attache à développer des outils d’analyse spécifiquement adaptés à ces contextes, dans le but d’élaborer un cadre d’échange facilitant le dialogue entre professionnels en charge respectivement de l’urbanisme, de la biodiversité et du secteur ferroviaire.

*Organisme national de recherche et d’expérimentation sur l’urbanisme, la construction et l’architecture, le Plan Urbanisme Construction Architecture, PUCA, développe à la fois des programmes de recherche incitative, et des actions d’expérimentations. Il apporte son soutien à l’innovation et à la valorisation scientifique et technique dans les domaines de l’aménagement des territoires, de l’habitat, de la construction et de la conception architecturale et urbaine.*

