



Université Claude Bernard



## Désimperméabilisation et renaturation des sols en milieux urbains : une estimation du potentiel en Île-de-France



*Le Jardin Joyeux : une initiative artistique de transformation d'un ancien parking en « jardin de rocaille » végétalisé de 1600m<sup>2</sup> à Aubervilliers (93). @Wagon Landscaping*

DEBOEUF DE LOS RIOS SERRANO Gaëtane

M2 Bioévaluation des Écosystèmes et Expertise de la Biodiversité

Année 2020-2021

Stage encadré par l'Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement de Paris et par l'Agence Régionale de la Biodiversité en Île-de-France (Institut Paris Region)

**Encadrant.es** : Luc ABBADIE (IEES Paris) ; Marc BARRA (ARB ÎdF) ; Gwendoline GRANDIN (ARB ÎdF)

**Tuteur universitaire** : Bernard KAUFFMAN

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Gwendoline Grandin, Marc Barra et Luc Abbadie de m'avoir encadrée et encouragée tout au long de ce stage, malgré les difficultés qui ont pu être rencontrées du fait de la situation sanitaire. Merci pour vos nombreux conseils, votre disponibilité, vos relectures et votre bienveillance tout au long du stage. Ce travail n'aurait pas pu aboutir sans votre aide.

Un grand merci également à toute l'équipe de l'ARB et aux personnes de l'Institut Paris Region que j'ai pu rencontrer, pour leur aide, les échanges que nous avons pu avoir et les questionnements qu'ils ont su amener : Hemminki Johan ; Lucile Dewulf ; Rudy Bueno ; Gabrielle Huart ; Myriam Boulouar ; Olivier Renault ; Klaire Houeix ; Mustapha Taqarort ; Erwan Cordeau ; Eric Huybrechts ; Simon Carrage ; Manuel Pruvost-Bouvattier.

Je remercie tout particulièrement Cécile Mauclair, pour son aide précieuse en cartographie et pour la pédagogie dont elle a fait preuve tout au long de ce stage et face à mes nombreuses questions.

Merci également à l'IEES Paris d'avoir accepté d'accueillir ce stage, bien que la situation sanitaire ne m'aie malheureusement pas permis d'en rencontrer les chercheurs et chercheuses, à l'exception de Luc Abbadie.

## Table des matières

<b>Remerciements.....</b>	<b>2</b>
<b>Table des matières.....</b>	<b>3</b>
<b>Table des figures.....</b>	<b>6</b>
<b>Table des annexes.....</b>	<b>8</b>
<b>1 - Introduction.....</b>	<b>11</b>
<b>2 - Matériels et méthodes.....</b>	<b>15</b>
<u>2.1 - Le périmètre d'étude : la commune d'Aulnay-sous-Bois.....</u>	15
<u>2.2 - Enjeux et critères sélectionnés.....</u>	15
<u>2.3 - Description de la méthodologie utilisée.....</u>	17
<u>2.4 - Jeux de données et logiciels utilisés.....</u>	18
<u>2.5 - Construction des scénarios.....</u>	18
<u>2.6 - Localisation des sites à renaturer.....</u>	34
<b>3 - Résultats.....</b>	<b>34</b>
<u>3.1 - Une méthodologie répliquable et un outil d'aide à la décision pour les collectivités</u> .....	34
<u>3.2 - Résultats du scénario « Reconquête de la biodiversité ».....</u>	34
<u>3.3 - Résultats du scénario « Adaptation au changement climatique ».....</u>	39
<u>3.4 - Résultats du scénario « Santé et cadre de vie ».....</u>	41
<u>3.5 - Localisation des sites à renaturer.....</u>	45
<b>4 - Discussion.....</b>	<b>47</b>
<u>4.1 - Productions et perspectives d'applications.....</u>	47
<u>4.2 - Biais, limites, et perspective d'améliorations.....</u>	52
<b>5 - Conclusion.....</b>	<b>55</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>56</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>60</b>

## Table des figures

<b>Figure 1</b> : Schéma simplifié de la méthode utilisée pour attribuer les scores aux mailles depuis les données d'origines.....	14
<b>Tableau 1</b> : tableau récapitulatif, pour chaque critère du scénario « Reconquête de la biodiversité », les données utilisées et leur provenance.....	20
<b>Tableau 2</b> : tableau récapitulatif, pour chaque critère du scénario « Reconquête de la biodiversité », les seuils utilisés avec la / les études ayant conduit à leur choix, ainsi que le score associé à chacun.....	20
<b>Tableau 3</b> : tableau récapitulatif, pour chaque critère du scénario « Adaptation au changement climatique », les données utilisées et leur provenance.....	24
<b>Tableau 4</b> : tableau récapitulatif, pour chaque critère du scénario « Adaptation au changement climatique », les seuils utilisés avec la / les études ayant conduit à leur choix, ainsi que le score associé à chacun.....	24
<b>Tableau 5</b> : tableau récapitulatif, pour chaque critère du scénario « Santé et cadre de vie », les données utilisées et leur provenance.....	30
<b>Tableau 6</b> : tableau récapitulatif, pour chaque critère du scénario « Santé et cadre de vie », les seuils utilisés avec la / les études ayant conduit à leur choix, ainsi que le score associé à chacun.....	30
<b>Figure 2</b> : cartographie du territoire d'Aulnay-Sous-Bois suite à l'étude de la taille des espaces verts présents (0 = aucun ; 1 = présence de micro patch ; 2 = présence de patch ; 3 = présence de niche locale ; 4 = présence de niche régionale.....	34
<b>Figure 3</b> : cartographie du territoire d'Aulnay-Sous-Bois suite à l'étude du pourcentage de couvert végétal global (0 = < 10 % ; 1 = ≥ 10 % et < 30 % ; 2 = ≥ 30 %).....	34
<b>Figure 4</b> : cartographie du territoire d'Aulnay-Sous-Bois suite à l'étude de la présence d'habitats rares (1 = arbres remarquables ; 2 = zones humides ; 3 = arbres remarquables et zones humides).....	34
<b>Figure 5</b> : cartographie globale du territoire d'Aulnay-Sous-Bois suite au cumul des différents scores.....	34
<b>Figure 6</b> : cartographie du territoire d'Aulnay-sous-bois suite à l'étude de l'imperméabilisation (échelle 1 / 35 000).....	36
<b>Figure 7</b> : cartographie du territoire d'Aulnay-sous-bois suite à l'étude de l'aléa face à l'effet d'ICU (échelle 1 / 35 000).....	36

<b>Figure 8</b> : cartographie du territoire d’Aulnay-sous-bois suite à l’étude de la vulnérabilité globale face au changement climatique (échelle 1 / 35 000).....	36
<b>Figure 9</b> : cartographie du territoire d’Aulnay-Sous-Bois suite à l’étude de la sensibilité à l’effet d’ICU (échelle 1/35000).....	38
<b>Figure 10</b> : cartographie du territoire d’Aulnay-Sous-Bois suite à l’étude de la difficulté à faire face à l’effet d’ICU (échelle 1/35000).....	38
<b>Figure 11</b> : cartographie du territoire d’Aulnay-Sous-Bois suite à l’étude de la pollution de l’air par les PM2,5 (échelle 1/35000). 0 = >14 µg/m³/an ; 1 = <12 et >14 µg/m³/an ; 2 = > 12 µg/m³/an.....	38
<b>Figure 12</b> : cartographie du territoire d’Aulnay-Sous-Bois suite à l’étude des nuisances sonores (échelle 1/35000).....	38
<b>Figure 13</b> : cartographie du territoire d’Aulnay-Sous-Bois suite à l’étude de la carence en espaces verts (échelle 1/35000).....	40
<b>Figure 14</b> : cartographie de la vulnérabilité globale du territoire d’Aulnay-Sous-Bois suite au cumul des différents score du scénario « Santé et cadre de vie » (échelle 1 / 35 000).....	40
<b>Figure 15</b> : cartographie des zones potentiellement renaturables du territoire d’Aulnay-Sous-Bois dans le cadre du scénario «Reconquête de la biodiversité » (échelle 1 / 35 000).....	42
<b>Figure 16</b> : cartographie des zones potentiellement renaturables du territoire d’Aulnay-Sous-Bois dans le cadre du scénario «Adaptation au changement climatique » (échelle 1 / 35 000).....	42
<b>Figure 17</b> : cartographie des zones potentiellement renaturables du territoire d’Aulnay-Sous-Bois dans le cadre du scénario «Santé et cadre de vie» (échelle 1 / 35 000).....	42
<b>Figure 18</b> : cartographie des zones potentiellement renaturables du territoire selon le nombre d’enjeux présent sur chaque site (échelle 1 / 35 000).....	42

## Table des annexes

<b>Annexe 1</b> : Chercheurs et chercheuses interrogées au cours du stage afin de définir les différents critères à étudier et les seuils à utiliser dans le cadre de l'étude.....	58
<b>Annexe 2</b> : Typologie des espaces désimperméabilisables (par degré de précision).....	59
<b>Annexe 3</b> : Note sur la constitution de l'indice de ruissellement.....	62
<b>Annexe 4</b> : Tableau de correspondance entre taux d'imperméabilisation et catégories du MOS .....	63
<b>Annexe 5</b> : Cartographie de la pollution de l'air par les PM <sub>2,5</sub> à Aulnay-sous-bois (échelle 1/35 000) selon la classification établie depuis les recommandations gouvernementales.....	64
<b>Annexe 6</b> : cartographie de la pollution de l'air par les PM <sub>2,5</sub> à Aulnay-sous-bois (échelle 1 / 38 000) selon la nouvelle classification.....	64
<b>Annexe 7</b> : Cartographie du pourcentage de recouvrement des différentes strates de végétation.....	65
<b>Annexe 8</b> : Exemple de zones renaturables localisées lors d'une sortie à Aulnay-Sous-Bois le 18/08/2021, non repérées à l'aide de la méthodologie.....	66
<b>Annexe 9</b> : Indicateur de faisabilité des projets de désimperméabilisation, adapté des travaux menés par la ville de Berlin.....	69





## 1 - Introduction

Le phénomène d'urbanisation, qui correspond à la concentration croissante de la population autour des agglomérations urbaines existantes, soulève un grand nombre d'enjeux et de questions relatifs à notre façon d'occuper le territoire. En effet, l'urbanisation s'accompagne de manière quasi-systématique d'une artificialisation des sols, et bien souvent de leur imperméabilisation totale ou partielle (recouvrement permanent d'un sol par un matériau artificiel imperméable tel que l'asphalte ou le béton), entraînant une disparition des fonctions écologiques du sol au profit d'usages urbains ou de transports (*Portail de l'artificialisation des sols*)<sup>1</sup>. Il faut néanmoins différencier deux définitions de l'artificialisation, celle-ci pouvant varier d'une référence à l'autre. Au sens de l'INSEE, elle est considérée comme la conversion de surfaces naturelles, agricoles ou forestières (NAF) en espaces à usage urbain. Selon les scientifiques en revanche, l'artificialisation des sols est un phénomène d'origine anthropique qui s'apprécie par le degré d'atteinte aux fonctions hydrologiques et biologiques du sol (comme la régulation hydraulique, la préservation de sa biodiversité ou sa fertilité agronomique) qui l'éloigne des caractéristiques d'un sol naturel. Ainsi, selon cette définition, l'agriculture et sylviculture sont aussi des formes d'artificialisation. En France, selon la définition de l'INSEE, 9,3 % du territoire métropolitain est aujourd'hui artificialisé (*Kraszewski, 2019*), les chiffres indiquent par ailleurs que le phénomène d'artificialisation augmente 4 fois plus vite que la population (*Fosse, 2019*).

Or, l'urbanisation n'est pas sans conséquence : elle altère les sols sur les plans chimiques et physiques (compaction, imperméabilisation, modifications des horizons du sol, pollution) et biologique (perte de biodiversité et d'activité biologique). Leur fonctionnement écologique s'en trouve altéré et les services écosystémiques qui en découlent affaiblis (infiltration de l'eau, fertilité et support pour la flore, cycles biogéochimiques). Si l'on prend en compte l'artificialisation au sens large, elle est considérée comme l'un des premiers facteurs de l'érosion de la biodiversité et du changement climatique (*Béchet et al, 2017*). Aux problématiques environnementales s'ajoutent des conséquences sociales et sanitaires du fait de la densification rapide des villes, entraînant une augmentation des pollutions et des

<sup>1</sup> Portail de l'artificialisation des sols: <https://artificialisation.biodiversitetousvivants.fr/les-donnees-au-1er-janvier-2019>

nuisances, avec des impacts sur la santé (physique comme mentale) de la population (*Ulrich et al, 1991 ; Jaén .et al, 2021*)

La question de l'artificialisation des sols fait actuellement l'objet d'intenses débats à la suite de l'adoption de l'objectif Zéro Artificialisation Nette (ZAN) en 2018 dans le Plan Biodiversité du gouvernement français. L'objectif ZAN renvoie à la lutte contre l'étalement urbain, en privilégiant une densification maîtrisée, mais aussi au besoin de renaturation, autrement dit « restituer à la nature » l'équivalent des superficies consommées par l'urbanisation (*Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2018*). Le terme « nette » souligne la possibilité de « compenser » l'artificialisation d'espaces naturels, agricoles et forestiers par des stratégies de renaturation, ce qui n'est pas sans poser de nombreuses questions, compte tenu de l'incertitude à trouver des terrains artificialisés à renaturer (*Barra & Clergeau, P. 2020*). A cela s'ajoute le coût prohibitif du procédé : 100 à 400 euros du mètre carré, hors démolition (*Fosse, 2019*). Cet objectif est actuellement discuté et traduit dans le cadre de la loi Climat & résilience à l'Assemblée nationale et au Sénat. L'article 49 relatif à l'artificialisation des sols prévoit un objectif de réduction de 50% de l'artificialisation d'ici 2050 et s'intégrera au niveau des documents de planification régionale, en particulier les Sradet (Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires), avant d'être ensuite décliné, aux niveaux intercommunal et communal, dans les documents infrarégionaux (Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT), Plan Locaux d'Urbanisme (PLU)). La commission du Sénat prévoit par ailleurs des **Orientations d'Aménagement et de Programmation (OAP) à des fins de renaturation**. Elles pourraient traduire au niveau local les « *zones de renaturation préférentielle* ». L'Article 49 de la loi Climat & résilience fait évoluer la définition de l'artificialisation vers sa version scientifique, à savoir « *un sol est regardé comme artificialisé si l'occupation ou l'usage qui en est fait affectent durablement tout ou partie de ses fonctions écologiques, en particulier ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques ainsi que son potentiel agronomique. Les surfaces de pleine terre ne sont pas considérées comme artificialisées.* » Cette nouvelle définition confirme l'impératif de réduire l'extension urbaine et invite également à mieux protéger la pleine terre (sols libres de toutes constructions) dans les milieux urbains ainsi qu'à renaturer les espaces imperméabilisés pour augmenter l'offre de nature en ville.

Ainsi, que ce soit dans le cadre de la nécessaire adaptation des villes au changement climatique, ou du besoin de renaturation à venir dans le cadre du ZAN, **il paraît aujourd’hui nécessaire de disposer d’outils pour localiser les secteurs à renaturer dans les territoires et recenser les sites fortement imperméabilisés** au sein des villes, à l’instar des parkings surdimensionnés, des cours d’école ou d’immeuble, des résidus d’espaces publics inutilement asphaltés et non utilisés. Ces espaces, dont la surface et le gisement est aujourd’hui très mal identifiés, représentent un réel potentiel pour des stratégies de renaturation à travers le développement des Solutions fondées sur la nature (SFN). Ces dernières consistent en des actions de préservation, de restauration des écosystèmes pour contribuer à la fois à l’atténuation (captage et stockage du carbone) et à l’adaptation (protection contre les inondations, diminution des îlots de chaleur...) au changement climatique. Loin de simples opérations de verdissements, les SFN s’appuient sur des connaissances scientifiques et des savoir-faire techniques en grande partie issus de l’ingénierie écologique. La reconquête de la biodiversité est à la fois un moyen et une finalité de leur mise en œuvre. Elles sont multifonctionnelles, apportant des bénéfices à la biodiversité et au climat, et des avantages en termes de cadre de vie et de santé. Les SFN s’appliquent à tous les milieux, agricoles, forestiers, aquatiques et urbains, et à toutes les échelles, pour garantir la résilience des territoires face aux changements globaux.

Le projet européen REGREEN (voir encadré ci-dessous), dans lequel s’inscrit cette étude, vise à déployer les SFN en milieu urbain.

#### **Le projet REGREEN**

REGREEN est un projet européen H2020 qui a pour thème principal les SFN en milieux urbains. Il associe une vingtaine de partenaires à travers l’Europe et la Chine, venant de structures variées : laboratoires de recherche, entreprises, associations, collectivités... Le projet s’articule autour de 4 axes : l’amélioration des connaissances sur les solutions fondées sur la nature ; le développement d’outils cartographiques et de modélisations ; le déploiement de marchés et d’emplois liés aux solutions fondées sur la nature ; l’étude des liens entre bien-être, santé et nature en ville. La région Île-de-France est l’un des 4 laboratoires urbains du projet

Le rapport « Drivers and pressures leading to urban challenges » (*Fletcher et al, 2020*), rédigé par les chercheurs et chercheuses du projet REGREEN, établit les facteurs et pressions suivantes, auxquelles il est possible de remédier à l'aide des SFN :

- La **pollution de l'air** par les PM<sub>2,5</sub> (Particulate Matter), particules fines de taille inférieure à 2,5µm

- Le **phénomène d'Îlot de Chaleur Urbain (ICU)** qui se caractérise par des températures plus chaudes au centre des zones urbaines qu'à leur périphérie

- La **carence en espaces verts**, la plupart des villes ne répondant pas aux objectifs de quantités d'espaces verts fixés par la circulaire ministérielle du 8 février 1973 (aujourd'hui repris comme norme par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)), qui sont de 10m<sup>2</sup> par habitants en zone centrale et 25m<sup>2</sup> par habitants en zone péri-urbaine

- Les **nuisances sonores**, dont les sources peuvent être variées (bruit routier, aérien, ferroviaire...)

- Le **ruissellement**, auquel est souvent associé un risque d'inondations et de dégradation de la qualité de l'eau

Le concept des SFN est proche de celui de la renaturation, qui vise un retour à l'état naturel ou semi-naturel des écosystèmes qui ont été dégradés par l'activité humaine. Elle a pour objectif de retrouver une fonctionnalité écologique du système et sa capacité à s'auto-entretenir. Il s'agit donc d'une démarche proche de celle de réhabilitation, qui vise la réparation et la récupération des processus naturellement présents dans un écosystème. Elle peut viser tous types de milieux artificialisés, allant des espaces verts aux dalles de béton, mais supposera toujours un retour à la pleine terre (excluant donc les toitures végétalisées, plantations en bac), permettant de raccorder la surface du sol à la nappe phréatique au moyen d'un sol vivant et continu<sup>2</sup>

C'est dans cette double optique de cartographie du gisement de renaturation et du déploiement des SFN que s'inscrit l'étude menée ici. La méthode proposée a été conçue sur la base d'informations cartographiques, traitées via des analyses spatiales sous Système d'Information Géographique (SIG). Elles permettent de faire ressortir dans un premier temps les zones à enjeux du territoire à l'aide d'analyses multicritères (par exemple l'exposition à la

<sup>2</sup> Projet collectif de l'École Urbaine de Sciences Po, Master Stratégies Territoriales et Urbaines « Le retour à la pleine terre en ville : la faisabilité de la réintroduction de la pleine terre en milieu urbain dense », juin 2020, non accessible au public

chaleur, au ruissellement, à la pollution atmosphérique, aux nuisances sonores, etc.) et, dans un second temps, de cartographier les sites imperméabilisés pouvant faire l'objet d'une renaturation au sein de ces zones. Cette approche est conçue afin de permettre aux municipalités de mettre en œuvre des projets de renaturation à partir d'un diagnostic de leur territoire. Ce travail vient compléter les réflexions de plusieurs acteurs sur la désimperméabilisation, à l'instar du CEREMA qui a accompagné la Communauté d'agglomération du Grand Narbonne sur une stratégie de désimperméabilisation. L'ADEME pilote également le projet de recherche « DésiVille », en vue d'élaborer un outil d'aide à la Désimperméabilisation des sols artificialisés<sup>3</sup>. A Rennes, un travail en cours par l'AUDIAR vise à produire une cartographie des espaces à désimperméabiliser, en lien avec le mouvement DEPAVE initié aux États-Unis et au Canada<sup>4</sup> (Sous les Pavés) qui invite les habitant.es à débétonner des espaces pour les végétaliser.

## **2 - Matériels et méthodes**

### 2.1 - Le périmètre d'étude : la commune d'Aulnay-sous-Bois

La commune d'Aulnay-sous-bois a été sélectionnée par l'ARB îdF comme territoire pilote du projet REGREEN pour élaborer et tester la méthodologie de cette étude et pour aiguiller la collectivité dans ses actions de lutte contre l'artificialisation des sols et de reconquête de la nature en ville. Il s'inscrit dans la continuité du Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD) qui prévoit notamment de limiter l'imperméabilisation, de modérer la consommation de l'espace et de lutter contre l'étalement urbain (*PLU d'Aulnay-sous-Bois, 2015*).

Située dans le département de la Seine-Saint-Denis (93), en région Île-de-France, elle compte 83 584 habitant.es pour une superficie totale de 1616,75 ha. La commune présente de nombreuses typologies urbaines - zones industrielles, parcs, habitats collectifs, habitats individuels, etc – ce qui présentait un avantage dans le cadre de la mise en œuvre de la méthodologie.

### 2.2 - Enjeux et critères sélectionnés

<sup>3</sup> Voir : [https://presse.ademe.fr/wp-content/uploads/2019/04/Laur%C3%A9ats\\_APR-MODEVAL-URBA-2019\\_vf.pdf](https://presse.ademe.fr/wp-content/uploads/2019/04/Laur%C3%A9ats_APR-MODEVAL-URBA-2019_vf.pdf)

<sup>4</sup> Voir : <http://depaveparadise.ca/>

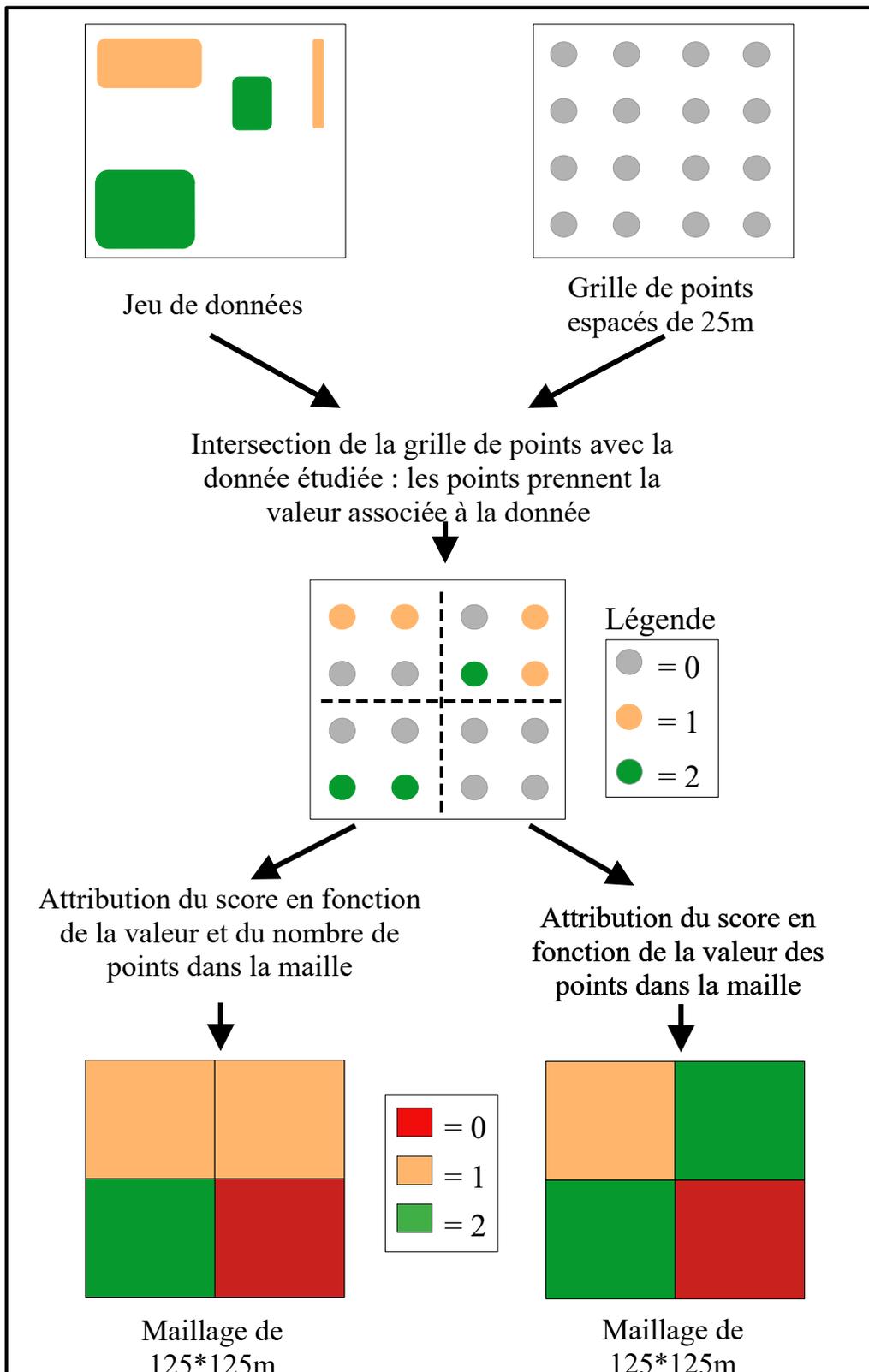


Figure 1 : Schéma simplifié de la méthode utilisée pour attribuer les scores aux mailles depuis les données d'origines

Pour conduire cette étude, trois enjeux ont été identifiés, et constitueront les trois scénarios de référence pour évaluer le besoin de renaturation. Chaque enjeu est défini à l'aide de plusieurs critères, eux-mêmes traduits sous forme de score :

- **Reconquête de la biodiversité** (critères : présence et surface des espaces verts ; qualité de la matrice ; habitats rares)

- **Adaptation au changement climatique** (critères: inondations par crues ; ruissellement ; ICU)

- **Santé et cadre de vie** (critères: carence en espaces verts ; pollution de l'air ; nuisances sonores ; ICU)

Le choix des critères pris en compte pour les différents scénarios émane de recherches bibliographiques (*Spotswood et al, 2019 ; Fletcher et al, 2020*), ainsi que d'échanges directs avec des chercheurs et expert.es rencontré.es au cours du stage (annexe 1).

### 2.3 - Description de la méthodologie utilisée

La première étape a consisté à découper le territoire selon un maillage de 125m\*125m, et à l'étudier selon les trois scénarios de référence (correspondant aux grands enjeux identifiés). Pour chaque enjeu, plusieurs critères ont été pris en compte, puis, l'état des mailles face à chaque critère a été traduit sous forme de score (par exemple : maille exposée fortement, moyennement ou faiblement à la pollution de l'air, etc). L'étude des critères est conduite à l'aide d'une grille des points espacés de 25m, qui est intersectée avec chaque couche de données, prenant ainsi leur valeur (hormis celles des arbres remarquables, la donnée prenant déjà la forme d'une couche de points). Le nombre et / ou la valeur des points permettra d'attribuer un score à chaque maille (figure 1). Ceci permet d'aboutir à un score pour chaque critère, puis à un score global pour chaque scénario (correspondant au simple cumul de ces scores individuels, aucune pondération n'est opérée entre les différents critères).

Des seuils ont donc été fixés pour chaque critères afin de permettre leur classement : ceux-ci, selon s'ils sont remplis / dépassés ou non, donnent une information sur l'état ou la vulnérabilité du territoire (exemple : seuil de surface pour les espaces verts, de concentration pour la pollution atmosphérique, etc). Le choix des seuils permettant d'étudier la situation du territoire par rapport à chaque critère (résumé dans les tableaux 1, 3 et 5) est basé sur différentes études et synthèses bibliographiques ainsi que sur des entretiens avec des experts (annexe 1).

Une fois les différents critères établis et le score global attribué, les mailles pour lesquelles l'enjeu étudié est le plus fort sont identifiées. Celles-ci sont choisies d'une part en fonction de leur score (un score bas reflétant un enjeu fort), mais aussi de leur nombre (la sélection étant réalisée de façon à mettre en évidence des objectifs, en vue d'un passage à l'action). **Cette première étape permet d'identifier des secteurs à enjeux sur le territoire communal**, mais ne nous permet pas d'isoler précisément les sites à renaturer. C'est pourquoi l'étude est affinée à l'aide d'un repérage des sites, s'appuyant sur une typologie des espaces désimperméabilisables réalisée préalablement (voir annexe 2). Pour ce faire, les catégories du Mode d'Occupation du Sol (MOS) de l'Institut Paris Region<sup>5</sup> correspondant à cette typologie (qui inclus les parkings, les cours d'écoles, etc) sont isolées, puis les zones désimperméabilisables à prioriser pour des projets de renaturation sont délimités à la main sous SIG.

La méthodologie a été testée sur la commune pilote d'Aulnay-sous-Bois et son application peut actuellement s'étendre à d'autres communes et à d'autres échelles en Île-de-France (par exemple à l'échelle des départements). Pour l'heure, **la méthodologie ne concerne que les milieux urbains**, les milieux forestiers et agricoles n'étant pas adaptés au modèle proposé.

## 2.4 - Jeux de données et logiciels utilisés

Les analyses cartographiques ont été conduites à l'aide du logiciel QGIS (version 3.16.12) sous le format de projection Lambert 93, et les statistiques descriptives ont été produites à l'aide des logiciels R (version 4.0.3) et LibreOffice Calc. Les données cartographiques utilisées pour les différents scénarios (résumés dans les tableaux 2, 4 et 6) sont issues de sources diverses, telles que la plateforme ouverte des données publiques françaises (data.gouv.fr), l'Institut Paris Region, ou encore directement issues de la commune d'Aulnay-Sous-Bois.

## 2.5 - Construction des scénarios

### 2.5.1 Scénario « Reconquête de la biodiversité »

Le déclin de la biodiversité est particulièrement marqué en zones urbaines : en l'espace d'une décennie, les effectifs des oiseaux communs spécialistes des milieux urbains

<sup>5</sup> Disponible à : <https://www.institutparisregion.fr/referentiels-geographiques/mode-doccupation-du-sol-mos/>

ont diminué de 30% (Muratet, 2016). Les autres cortèges sont également affectés, à l'instar des insectes et des chauves-souris. Les villes agissent comme un filtre sur la biodiversité (fragmentation, surfaces d'espaces verts trop réduites, pollutions et dérangements), entraînant une homogénéisation du vivant (Muratet et al. 2020).

Lier l'objectif de désimperméabilisation et de renaturation des sols à un scénario de reconquête de la biodiversité en zone urbaine demande d'établir les conditions qui permettent au vivant de prospérer en ville, et ainsi de situer les sites dont l'amélioration permettrait un gain écologique fort. Les critères choisis pour cet enjeu ont été adaptés de la méthode d'étude proposée dans « Making Nature City » (Spotswood et al, 2019) qui synthétise les différents facteurs impactant la biodiversité, parmi lesquels : surface des espaces de nature, qualité de la matrice, rareté des habitats. D'autres facteurs intéressants pourraient être ajoutés à l'avenir selon de la disponibilité des données (connectivité ; mode de gestion des espaces, etc).

### **Critère 1 : Surface des espaces verts présent sur le territoire**

La taille des espaces verts présents sur un territoire est l'un des principaux éléments structurant la biodiversité présente en ville (Beninde et al, 2015). Il a été démontré à plusieurs reprises, et pour différents taxons, que plus un espace vert est grand, plus il abrite une biodiversité riche et donc potentiellement résiliente (Strohbach et al, 2013). La méthode d'étude du document Making Nature's City suggère que pour être considéré comme un patch (ici entendu comme une zone d'habitat continue permettant à plusieurs espèces d'accomplir tout ou partie de leur cycle de vie), un espace vert doit faire au moins 1 ha, tandis qu'une surface continue de 4,4 ha est le minimum nécessaire au fonctionnement d'une nature dite « ordinaire » adaptée au milieu urbain. En ce qui concerne les espèces moins urbaines, présentant une forte sensibilité à la taille de l'habitat, une surface continue de 53,3 ha minimum est nécessaire pour prévenir leur perte (Beninde et al, 2015). Aussi, les espaces de cette taille ou supérieurs peuvent être considérés comme niche régionale, donc des sites d'importance au sein des villes. Enfin, les espaces verts d'une surface inférieure à 1 ha, bien que n'étant pas pris en compte dans la méthode d'étude du document Making Nature's City, peuvent également présenter un intérêt pour la biodiversité (Vega & Küffer, 2021 ; Omar et al, 2018), leur présence est donc également prise en compte. Sur la base de ces informations, il a donc été choisi de distinguer :

- Les **micro patch** : espaces verts de taille **inférieure à 1 ha**



- Les **patch** : espaces verts de taille allant de **1Ha à 4,4 ha**
- Les **niche locales** : espaces vert de taille allant de **4,4 à 53,3 ha**
- Les **niches régionales** : espaces verts de taille **supérieure à 53,3 ha**

Les données utilisées afin d'analyser ces critères proviennent à la fois de l'Institut Paris Region et de la plateforme ouverte des données publiques françaises, qui renseignent les espaces verts publics, ainsi que celles de la commune d'Aulnay-sous-Bois, permettant de prendre en compte un certain nombre d'espaces verts supplémentaires (végétation en bord de routes, cœur d'îlot d'habitat collectif, etc.). Ces différentes couches de données ont été fusionnées en une couche unique dont les espaces ont été distingués en fonction de leur taille, puis intersecté avec la grille de points. Pour l'analyse spatiale, le score a été appliqué de la façon suivante : la présence d'un micro patch dans une maille lui attribue un score de 1, celle d'un patch un score de 2, celle d'une niche locale un score de 3, et celle d'une niche régionale un score de 4. En l'absence d'espaces verts, le score est de 0. Dans le cas où deux types d'espaces verts sont présents dans une même maille, seul le plus favorable est pris en compte. La méthodologie ne permet pas à ce stade d'apprécier individuellement la qualité écologique des espaces verts urbains (diversité en espèces, stratification, part de bois mort, type de gestion, etc), faute d'information disponible.

### **Critère 2 : Qualité de la matrice**

La configuration de l'habitat urbain conditionne la biodiversité qu'on y trouve, mais influence également le potentiel des espaces verts à proximité vis-à-vis de la biodiversité. Plus la matrice (ici considérée comme étant la somme des espaces verts et de l'habitat urbain adjacent) présente de bonnes capacités d'accueil pour la biodiversité (au moyen d'un couvert végétal développé notamment), plus les espaces verts seront à même d'agir comme support de biodiversité (*Threlfall et al, 2017*). Les données utilisées proviennent de l'Institut Paris Region et consistent en 3 raster (grille de pixels dont la valeur reflète une information) : la valeur de 1 correspondait à la présence de la strate végétale, la valeur de 0 à son absence. Chaque raster retranscrivait cette information pour une strate de végétation (herbacée, arbustive et arborée), le tout avec une résolution de 1m\*1m. La qualité de la matrice a été étudiée au travers du couvert végétal global selon les seuils suivant (*Beninde et al, 2015*): les mailles avec un couvert végétal global inférieur à 10 % ont un score de 0 ; celles avec un

**Tableau 1** : tableau récapitulatif, pour chaque critère du scénario « Reconquête de la biodiversité », les données utilisées et leur provenance

Scénario / Enjeu	Critères	Données utilisées	Source
Reconquête de la biodiversité	Surface des espaces verts	Espaces verts public	Institut Paris Region ; <a href="http://Data.gouv.fr">Data.gouv.fr</a>
		Végétation à protéger (inscrite au PADD ; cœur d'îlot ; protection au titre du L123-1-7 ; végétation en bord de routes ; etc.)	Aulnay-Sous-Bois
	Qualité de la matrice (couvert végétal en %)	Raster des strates de végétation herbacée, arbustive et arborée (résolution : 1m)	Institut Paris Region
	Habitats rares	Arbres remarquables	Aulnay-Sous-Bois
		Hydrographie surfacique	<a href="http://Data.gouv.fr">Data.gouv.fr</a>

**Tableau 2** : tableau récapitulatif, pour chaque critère du scénario « Reconquête de la biodiversité », les seuils utilisés avec la / les études ayant conduit à leur choix, ainsi que le score associé à chacun

Scénario / Enjeu	Critères	Seuils	Score	Source
Reconquête de la biodiversité	Surface des espaces verts	Absence	0	<i>Vega &amp; Küffer, 2021</i>
		Surface < 1 ha	1	
		1 ha ≤ Surface < 4.4 ha	2	<i>Spotswood et al, 2019 ; Beninde et al, 2015</i>
		4.4 ha ≤ Surface < 53.3 ha	3	
		Surface ≥ 53.3 ha	4	
	Qualité de la matrice (couvert végétal en %)	Couvert végétal < 10%	0	<i>Spotswood et al, 2019 ; Threlfall et al, 2017 ; Beninde et al, 2015</i>
		10% ≤ Couvert végétal < 30%	1	
		Couvert végétal ≥ 30%	2	
	Habitats rares	Aucun	0	
		Arbres remarquables	1	<i>Spotswood et al, 2019 ; Stagoll et al, 2012 ; Le Roux et al, 2015</i>
		Zones humides	2	<i>Spotswood et al, 2019 ; Convention de Ramsar sur les zones humides, 2018</i>
		Arbres remarquables + Zone humide	3	

couvert végétal supérieur ou égal à 10 % et inférieur à 30 % un score de 1 ; celles avec un couvert végétal global supérieur ou égal à 30 % un score de 2. Ce critère pourrait être complété et amélioré par des données sur la connectivité écologique en milieu urbain.

### **Critère 3 : Habitats rares en milieu urbain**

Pour affiner l'étude de l'enjeu biodiversité, un indicateur « habitats rares » a été ajouté. La rareté est entendue ici pour des habitats plutôt rares en milieu urbain. Certains milieux comme les zones humides ou encore les grands / vieux arbres agissent comme supports pour de nombreuses espèces déjà plus ou moins présentes en zones urbaines, créant ainsi des niches localisées favorable à la biodiversité (*Stagoll et al, 2012, Hill et al, 2017*). Mais ces habitats permettent également d'offrir un refuge à des espèces plus spécialisées (*Devictor et al, 2008*). Les grands arbres remplissent par exemple un rôle essentiel pour la conservation de la biodiversité (*Stagoll et al, 2012*). Ils accueillent davantage d'espèces que les arbres de taille réduite, et offrent des habitats plus diversifiés du fait de leur âge (cavités, bois mort). Concernant les zones humides, elles ont un rôle prépondérant du fait des nombreux services écosystémiques qu'elles rendent, ainsi que par leur rôle vis-à-vis de la biodiversité (*Convention de Ramsar sur les zones humides, 2018 ; IPBES, 2019*). Les données utilisées pour identifier la présence d'arbres remarquables proviennent de la commune d'Aulnay-Sous-Bois. Pour localiser les zones humides, l'étude a été conduite depuis la couche d'hydrographie surfacique disponible sur la plateforme ouverte des données publiques françaises, qui a été intersecté avec la grille de points. L'analyse spatiale a été conduite de la façon suivante : un score de 1 pour les mailles sur lesquelles se trouvent un ou des arbres remarquables (indépendamment du nombre d'arbres remarquable dans la maille) ; un score de 2 pour les mailles sur lesquelles se trouve une zone humide. Ces deux scores sont cumulables.

### **Cumul des scores et enjeux globaux**

Les scores des différents critères sont ensuite additionnés, permettant d'obtenir une cartographie globale du territoire. L'évaluation de l'enjeu biodiversité à travers ces 3 critères constitue une première approche simplifiée de la biodiversité en milieu urbain. Choisis dans cette étude par rapport à la disponibilité des données, ils pourraient être complétés par d'autres analyses dans une démarche évolutive de la méthodologie (voir partie 4.2 « Biais, limites et perspectives d'amélioration »).



### **2.5.2 Scénario « Adaptation au changement climatiques »**

Il est documenté que le changement climatique a pour effet d'augmenter les phénomènes météorologiques extrêmes, tels que les inondations ou les vagues de chaleur. Ces dernières sont amenées à augmenter tant au niveau de leur fréquence qu'au niveau de leur durée (Soubeyroux *et al*, 2016). L'adaptation au changement climatique en zone urbaine n'implique pas les mêmes défis que dans les zones rurales, le cumul des effets du changement climatique et de ceux liés à l'imperméabilisation des sols venant s'accumuler. L'utilisation des SFN pour contre-carrer les différents effets du changement climatique a été démontrée à plusieurs reprises (Bayulken *et al*, 2020). Aussi, couplée à la renaturation, la désimperméabilisation peut voir ses effets décuplés, par exemple en permettant non seulement de diminuer le ruissellement, mais aussi de créer des îlots de fraîcheurs, etc. Afin de localiser les secteurs à risque vis-à-vis du changement climatique et maximiser l'efficacité des actions de renaturation, notre étude s'est appuyée sur les deux critères suivants : l'exposition à l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU) et au ruissellement.

#### **Critère 1 : Exposition à l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU)**

L'effet d'ICU provient de la combinaison des effets du changement climatique et de la densité des villes. Ce phénomène a de nombreux effets délétères : impacts sur la santé et le bien-être de la population ; surconsommation énergétique (climatisation) et nuisances sur la biodiversité (stress hydrique, augmentation de la mortalité)<sup>6</sup>.

L'étude l'exposition à l'effet d'ICU a été effectuée depuis l'indicateur « Aléa jour » produit dans le cadre du projet « Adapter l'Île-de-France à la chaleur urbaine ». Celui-ci établit la probabilité d'aggravation locale à un effet du changement climatique, ici l'effet d'ICU (Cordeau, 2017). Cette probabilité est caractérisée à l'aide d'indicateurs d'exposition (ventilation de l'îlot ; propriétés thermiques des matériaux ; chaleur anthropique ; ombrage lié aux arbres ; etc). Ceci permet d'obtenir une cartographie prenant comme unité de base l'Îlot Morphologique Urbain (IMU), définit comme «*échelle intermédiaire entre le bâtiment et la ville ou la commune, celle de l'îlot ou « pâte de maisons »*». Cette entité [...] dont les contours sont délimités par les rues, les routes, les voies ferroviaires ou les rivières – est l'unité de référence [...] afin de définir les indicateurs d'effet d'ICU, de sensibilité, de difficulté à faire

<sup>6</sup> CEREMA – îlots de chaleur : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/ilots-chaleur-agir-territoires-adapter-villes-au-changement>

**Tableau 3 :** tableau récapitulant, pour chaque critère du scénario « Adaptation au changement climatique », les données utilisées et leur provenance

Scénario / Enjeu	Critères	Données	Source
Adaptation au changement climatique	Exposition au ruissellement	Mode d'Occupation du Sol (MOS) à 47 postes ; Base de données topographique (BD TOPO, IGN)	Institut Paris Region
	Exposition à l'effet d'ICU	Indicateur « aléa » de l'étude « Adapter l'île de France à la chaleur urbaine » ( <i>Cordeau, 2017</i> )	Institut Paris Region

**Tableau 4 :** tableau récapitulant, pour chaque critère du scénario « Adaptation au changement climatique », les seuils utilisés avec la / les études ayant conduit à leur choix, ainsi que le score associé à chacun

Scénario / Enjeu	Critères	Seuils	Score	Source
Adaptation au changement climatique	Exposition au ruissellement	Forte	0	<i>Note sur la constitution de l'indice de ruissellement (annexe 3)</i>
		Moyenne	1	
		Faible	2	
	Exposition à l'effet d'ICU	Forte	0	<i>Cordeau, 2017</i>
		Moyenne	1	
		Faible	2	
		Effet rafraîchissant	3	

*face et de solutions d'adaptation associées* » (Cordeau, 2017). C'est depuis cette couche de données que l'aléa a été étudié. Suite à l'intersection de la donnée avec la couche de points espacés de 25m, les mailles prennent le score du nombre de points majoritaires les occupant (cf figure 1). Un potentiel d'aggravation fort attribue un score de 0, un potentiel d'aggravation moyen attribue un score de 1, un potentiel d'aggravation faible attribue un score de 2, et un potentiel de rafraîchissement de la zone attribue un score de 3.

### **Critère 2 : Exposition au ruissellement**

Les épisodes de ruissellement en milieu urbain sont amenés à être plus récurrents du fait du changement climatique, mais ce phénomène est également amplifié par l'excès d'artificialisation des sols. En plus du risque d'inondation qui lui est associé, il peut entraîner une surcharge des réseaux d'égouts unitaires, et donc de la dégradation de la qualité des cours d'eau auxquels ces derniers sont liés (Salerno et al, 2018).

La vulnérabilité au ruissellement a été étudiée en prenant pour base l'indice de ruissellement, fourni par l'Institut Paris Region (voir annexe 3). L'imperméabilisation est déduite depuis la couche du Mode d'Occupation du Sol à 47 postes (voir annexe 4). Par ailleurs, bien que l'indice de ruissellement implique en théorie de prendre en compte différentes classes de pentes, le territoire d'étude n'en présentait aucune, c'est donc l'imperméabilisation seule qui a été étudié comme proxy de l'exposition au ruissellement. Suite à l'intersection de cette donnée avec la couche de points espacés de 25m, les mailles prennent le score associé au type de point majoritaire les occupant (cf figure 1). Une imperméabilisation forte attribue un score de 0, une imperméabilisation moyenne un score de 1, et une imperméabilisation faible un score de 2. Dans le cas où deux types d'imperméabilisation sont présents dans les mêmes proportions, c'est l'imperméabilisation la plus forte qui attribue le score. A l'imperméabilisation déduite du MOS est également ajoutée une information déduite de la voirie : les routes, autoroutes et bretelles d'autoroutes ont été isolées depuis la couche BD TOPO, intersecté avec la grille de points espacés de 25m, puis ces points ont été considérés comme indiquant un degré d'imperméabilisation fort.

### **Cumul des scores et enjeux globaux**

Les scores des différents critères ont ensuite été additionnés, permettant d'obtenir une cartographie de l'exposition globale du territoire aux aléas issus du changement climatique.

### **2.5.3 Scénario « Santé et cadre de vie »**

#### **Critère 1 : Sensibilité et difficulté à faire face à l'effet d'ICU**

L'effet d'ICU peut être étudié en fonction de son impact sur la santé des populations, les vagues de chaleurs entraînant notamment une augmentation de la mortalité (*Pascal et al, 2021 ; Basagaña et al, 2011*). Pour l'étudier, il est nécessaire d'évaluer non seulement la sensibilité (qui correspond à la présence de personnes ou de biens sensibles à une aggravation locale), mais aussi la difficulté potentielle à faire face à ces épisodes (qui exprime un déficit potentiel de ressources pour faire face aux risques, que ce soit en matière de d'anticipation ou de réaction). Il est nécessaire de rappeler que ce sont très souvent les personnes les plus démunies et les quartiers les plus pauvres qui subissent le plus les effets des vagues de chaleur (*Urban green spaces and health, 2016*).

De la même façon que la composante aléa, l'étude de l'exposition de la population à l'effet d'ICU peut se faire à l'aide des deux autres indicateurs produits lors de l'étude « Adapter l'Île-de-France à la chaleur urbaine » (*Cordeau, 2017*) : indicateurs « sensibilité » (présence de maison de retraite ; part de la population sensible par l'âge ; densité d'occupation des logements ; etc.) et « difficultés à faire face » (carence en espaces verts publics ; proximité aux urgences hospitalières ; etc.). Il a été décidé de prendre en compte la sensibilité au cours de la nuit, et la difficulté à faire face en journée. Suite à l'intersection de ces données avec la couche de points espacés de 25m, l'étude a été faite de la façon suivante : pour la sensibilité comme pour la difficulté, les mailles prennent le score associé aux nombres de points majoritaires qui les occupent (cf figure 1). Une sensibilité / difficulté forte attribue un score de 0, une sensibilité / difficulté moyenne un score de 1, une sensibilité / difficulté faible un score de 2. Dans le cas où deux types de points occupent la maille dans les mêmes proportions, c'est ceux traduisant la plus grande sensibilité / difficulté qui attribue le score à la maille.

#### **Critère 2 : Pollution de l'air**

L'étude de la pollution de l'air a été faite à partir de la concentration en PM<sub>2,5</sub> (particules fines d'une taille de 2,5µm). Ce choix provient non seulement du risque de mortalité lié à ces particules (celles-ci étant responsable de 9 % de la mortalité totale en France (*Pascal et al, 2016*), mais aussi du fait que les recherches effectuées sur la dépollution de l'air par les plantes sont pour la plupart conduites sur les particules fines et la capacité des

arbres à les filtrer (*Prigioniero et al, 2021 ; Selmi, 2014*). Les données utilisées proviennent de l'association Airparif et correspondent au bilan annuel pour l'année 2018 (*Airparif, 2018*). Il s'agit des concentrations spatialisées<sup>7</sup> (modélisées depuis les concentrations relevées aux différentes stations de mesures présentes en Île-de-France)

Les critères nationaux de qualités de l'air, dont notamment les PM10 et PM2,5, sont définis dans les articles R221-1 à R 221-3 du Code de l'Environnement. S'il n'existe pas de restrictions à proprement parler concernant les PM2,5, différents objectifs de qualité existent. L'objectif fixé par l'Union Européenne est de 20µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle, tandis que l'objectif défini lors du Grenelle de l'environnement en 2007 est de 15µg/m<sup>3</sup>. Enfin, les recommandations de l'OMS suggèrent quant à elles un objectif de 10µg/m<sup>3</sup> (*World Health Organization, 2006*). Sur la base de ces objectifs, la pollution de l'air devait initialement être étudiée comme suit : un score de 0 pour les zones dont la concentration est supérieure ou égale à 15µg/m<sup>3</sup>/an, un score de 1 pour les zones dont la concentration est inférieure à 15µg/m<sup>3</sup>/an mais supérieure à 10µg/m<sup>3</sup>/an, et un score de 2 pour les zones dont la concentration est inférieure à 10µg/m<sup>3</sup>/an.

Cependant, ces critères ne convenaient pas pour Aulnay-Sous-Bois, dont la plage de variation des concentrations était trop réduite pour être correctement représentée par ces classes de pollution (les valeurs étant comprises entre 10µg/m<sup>3</sup> et 15µg/m<sup>3</sup> sur ce territoire, en dehors des portions d'autoroutes le traversant à l'Est et qui présentent des valeurs plus élevées) (annexe 5). Une classification différente a donc été opérée (annexe 6) : un score de 0 pour les zones dont la concentration est supérieure à 14µg/m<sup>3</sup>/an ; un score de 1 pour les zones dont la concentration est inférieure à 14µg/m<sup>3</sup>/an mais supérieure à 12µg/m<sup>3</sup>/an ; un score de 2 pour les zones dont la concentration est inférieure à 12µg/m<sup>3</sup>/an. De la même façon que précédemment, le score est attribué suite à une intersection des données avec une couche de points espacés de 25m. C'est la classe du nombre de points majoritaire qui attribue le score à la maille, et dans le cas où deux classes sont représentées en même quantité, c'est celle qui traduit le plus haut degré de pollution qui l'attribue.

### **Critère 3 : Nuisances sonores**

Les directives relatives au bruit ambiant de l'OMS renseignent sur les nombreux effets délétères des nuisances sonores sur la santé humaine (*World Health Organization, 2018*).

<sup>7</sup> Airparif – La modélisation : <https://www.airparif.asso.fr/la-modelisation>



Qu'il s'agisse des recommandations de l'OMS ou des valeurs limites réglementaires prises par la France, les valeurs limites sont variables selon la provenance du bruit (routiers, ferroviaire, éolien, aérien, loisirs). Aussi, n'ont été retenue que deux classes lors de l'étude du territoire, basée sur les seuils recommandés par l'OMS pour l'exposition moyenne au bruit du trafic routier et ferroviaire en journée ces nuisances sonores étant généralement les plus représentées, et faisant l'objet de recommandations fortes.

Les données, obtenues auprès de Bruitparif et correspondant au bruit journalier moyen sur l'année 2019, toutes sources confondues<sup>8</sup>, ont été prises en compte comme suit, après intersection des données avec la grille de points espacés de 25m : un score de 0 pour les mailles exposées majoritairement à un bruit journalier supérieur à 55dB (Lden) ; un score de 2 pour les mailles exposées majoritairement à un bruit journalier inférieure ou égal à 55dB. Dans le cas où les deux classes de nuisance sonore sont relevées dans une même maille, c'est la classe qui reflète la nuisance la plus forte qui attribue le score.

#### **Critère 4 : Carence en espaces verts**

Que ce soit via des interactions directes ou indirectes, la présence d'espaces verts accessibles dans un quartier permet d'améliorer le bien-être des habitant.es, et de diminuer les niveaux de dépressions, de stress ou d'anxiété, etc (*Ulrich et al, 1991 ; Maas et al, 2009 ; White et al, 2013*). D'autres études ont permis de préciser ce lien en mettant en évidence l'importance des composants biologiques de ces espaces, à savoir les oiseaux et la végétation (*Cox et al, 2017*). L'étude de la carence en espaces verts a été conduite selon l'approche traditionnelle de l'Institut Paris Region, qui consiste à mêler les informations sur l'accessibilité de proximité aux espaces verts ; le ratio d'espaces verts par personnes ; et un indice de végétation (susceptible d'atténuer la carence d'une zone en cas de présence significative de végétation dans celle-ci). La carence en termes d'accessibilité et de ratio a été étudiée à partir de l'indicateur de carence développé et fourni par l'Institut Paris Region. Initialement calculé sur une maille de 250\*250m, celui-ci a été rapporté à une maille de 125m pour les besoins de l'étude et a été traduit en score de la façon suivante : un score de 0 pour les zones carencées en ratio et en accessibilité ; un score de 1 pour les zones carencées en ratio ou en accessibilité ; un score de 2 pour les zones non carencées.

<sup>8</sup> Disponible sur : <https://carto.bruitparif.fr/>

**Tableau 5 :** tableau récapitulatif, pour chaque critère du scénario « Santé et cadre de vie », les données utilisées et leur provenance

Scénario / Enjeu	Critères	Données utilisées	Source	
Santé et cadre de vie	Sensibilité à l'effet d'ICU	Indicateur « sensibilité nuit » de l'étude « Adapter l'île de France à la chaleur urbaine » (Cordeau, 2017)	Institut Paris Region	
	Difficulté à faire face à l'effet d'ICU	Indicateur « Difficulté à faire face jour » de l'étude « Adapter l'île de France à la chaleur urbaine » (Cordeau, 2017)	Institut Paris Region	
	Exposition à la pollution de l'air (PM2.5 en µg/m³/an)	Couche vecteur des relevés relatif à la pollution de l'air par les PM2,5	Airparif	
	Nuisances sonores	Couche vecteur des relevés relatif au niveau sonore (indicateur Lden)	Bruitparif	
	Carence en espaces verts		Indicateur carence en espaces verts	Institut Paris Region
			Raster de recouvrement des 3 strates de végétation	

**Tableau 6 :** tableau récapitulatif, pour chaque critère du scénario « Santé et cadre de vie », les seuils utilisés avec la / les études ayant conduit à leur choix, ainsi que le score associé à chacun

Scénario / Enjeu	Critères	Seuils	Score	Source
Santé et cadre de vie	Sensibilité à l'effet d'ICU	Forte	0	<i>Cordeau, 2017 ; Pascal et al, 2021 ; Basagaña et al, 2011</i>
		Moyenne	1	
		Faible	2	
	Difficulté à faire face à l'effet d'ICU	Forte	0	<i>Cordeau, 2017 ; Urban green spaces and health, 2016</i>
		Moyenne	1	
		Faible	2	
	Exposition à la pollution de l'air (PM2.5 en µg/m³/an)	> 14	0	<i>Articles R221-1 à R 221-3 du Code de l'Environnement ; World Health Organization, 2006</i>
		< 12 et ≤ 14	1	
		> 12 et ≤ 10	2	
	Nuisances sonores	> 55 dB	0	<i>World Health Organization, 2018</i>
		≤ 55 dB	2	
	Carence en espaces verts	Forte	0	<i>Cox et al, 2017 ; Szulczewska et al, 2014</i>
		Moyenne	1	
		Faible	2	

Concernant la constitution d'un indice de végétation, de nombreux travaux de recherche montrent des liens positifs entre santé, bien être et présence de nature en ville. À titre d'exemple, Cox, D. T et al. montrent que les cas de stress et d'anxiété pourrait être réduit de 17 % à 25 % si le couvert végétal dépassait 20 % et 30 % respectivement (Cox et al, 2017). Une autre étude a été menée en Pologne sur le ratio de surface vitale biologique (Ratio of Biologically Vital Area ; RBVA) (Szulczewska et al, 2014). Ce ratio consiste à prendre la quantité d'espaces couverts par de la végétation ou de l'eau (de surface) par rapport à la taille totale de la zone étudiée. L'étude recommande un RBVA de 45 % pour avoir un quartier avec de bonnes performances environnementales (biodiversité, résilience, rafraîchissement de l'air ambiant).

Au vu de ces études, le score lié à l'indice de végétation a été calculé de la façon suivante, depuis les mêmes raster de végétation que ceux utilisés pour le critère « Qualité de la matrice » : un score de 0 pour les zones dont le couvert végétal est inférieur à 20 % ; un score de 1 pour les zones dont le couvert végétal est compris entre 20 % et 30 % ; un score de 2 pour les zones dont le couvert végétal est compris entre 30 et 45 % ; un score de 3 pour les zones dont le couvert végétal est supérieur à 45 %.

Ces deux indices, une fois cumulés, amènent à un score compris entre 0 et 5. Pour ne pas donner un poids trop élevé à ce critère par rapport aux autres, il a été reclassé de la façon suivante : un score de 0 pour les zones très carencée (score de 0 ou 1) ; un score de 1 pour les zones moyennement carencée (score de 2 ou 3) ; un score de 2 pour les zones peu carencée (score de 4 ou 5).

### **Cumul des scores et enjeux globaux**

Les scores des différents critères ont ensuite été additionnés, permettant d'obtenir une cartographie globale du territoire pour l'enjeu que représente le cadre de vie et la santé de la population.

## 2.6 - Localisation des sites à renaturer

A ce stade, la méthodologie nous permet de cartographier les secteurs urbains fortement concernés par les 3 enjeux ciblés ci-dessus. En vue de proposer des scénarios de renaturation crédibles, seules les mailles présentant les enjeux les plus forts sont conservées. Par la suite, les sites potentiellement désimperméabilisables et renaturables ont été recherchés au sein de ces mailles, en s'appuyant sur la typologie établie et sur la couche cartographique du MOS de l'Institut Paris Region (cf paragraphe 2.3). Ces sites potentiellement désimperméabilisables et renaturables sont délimités géographiquement et trois informations leur sont attribuées : type de site (parking, lieu d'enseignement, etc.), enjeux associés (biodiversité, santé et cadre de vie, changement climatique) et surface totale. **Les informations concernant les enjeux associés aux différents sites ainsi délimités permettent désormais d'envisager une priorisation dans les opérations de renaturation.** Parce qu'ils se situent dans des secteurs à enjeux, les sites identifiés sont considérés comme prioritaires pour faire l'objet d'une renaturation par la commune. Enfin, pour localiser un maximum de sites, une dernière opération de localisation a été menée depuis le MOS seul, indépendamment du score des mailles. Cette opération a été menée la même façon que pour les autres sites (voir ci-dessus) à la différence près que ceux délimités de cette façon ne sont alors pas considérés comme présentant un enjeu. Il est à noter que la notion des usages associés aux sites (fréquentation par exemple) n'a pas pu être prise en compte à ce stade. Ce travail pourra être effectué dans un second temps par la collectivité concernée.

## 3 - Résultats

### 3.1 - Une méthodologie répliquable et un outil d'aide à la décision pour les collectivités

La méthodologie d'analyse spatiale développée lors de cette étude permet d'aboutir à une méthode répliquable à l'échelle de l'Île-de-France, du fait des bases de données utilisées qui sont originellement produites à l'échelle régionale. Elle permet également de fournir un outil d'aide à la décision aux collectivités afin de visualiser facilement les différents enjeux d'un territoire et ainsi identifier les zones d'actions prioritaire en terme de renaturation.

### 3.2 - Résultats du scénario « Reconquête de la biodiversité »

### **Critère 1 : Taille des espaces verts**

Le parc du Sausset est le plus grand espace vert de la commune d'Aulnay-sous-Bois, par ailleurs considéré comme un réservoir de biodiversité dans le Schéma Régional de Cohérence Écologique (SRCE). Bien que la surface présente sur le territoire communal soit inférieure à 53,3 ha, elle ne reflétait pas l'intérêt réel de cette zone pour la biodiversité, qui s'étend au-delà des frontières administratives. Le découpage a donc été modifié à la main pour qu'il soit considéré comme un espace de type niche régionale. Le résultat cartographique (figure 2) révèle que la majorité des espaces verts présents sur la commune sont des espaces verts de taille inférieure à 1 ha (173 espaces, pour un total 36,34 ha). On trouve également quelques espaces de taille supérieure, qu'il s'agisse de patchs (8 espaces, pour un total de 12,14 ha), de niches locales (2 espaces, pour un total de 36,606 ha) ou encore de niches régionales (3 espaces, pour un total de 135,9 Ha). **Au total, 221,24 ha du territoire est occupé par des espaces verts, soit 13,68 % du territoire.**

### **Critère 2 : Qualité de la matrice**

L'étude du couvert végétal (figure 3) par les différentes strates de végétation dans chaque maille met en avant une forte variabilité en termes de présence et de pourcentage de recouvrement pour chacune des strates (voir annexe 7). Suite à l'application du score au maillage du territoire, il ressort que **la majorité du territoire présente un pourcentage de recouvrement supérieur à 30 %** (879 mailles), seule une faible proportion du territoire présente un recouvrement compris entre 10 % et 30 % (172 mailles), ou inférieur à 10 % (94 mailles).

### **Critère 3 : Habitats rares en milieu urbain**

La cartographie des habitats rares (figure 4) fait ressortir 133 mailles disposant d'arbres remarquables et 22 mailles présentant des zones humides. **Seules 5 mailles contiendraient à la fois des zones humides et des arbres remarquables.** Enfin, 999 mailles ne présentent aucun des deux habitats rares étudiés. Lors de l'étude du territoire, le canal de l'Ourcq a été considéré comme zone humide car les berges de cette portion du canal ne sont pas imperméabilisées. En revanche, le bassin de rétention présent au Nord de la commune ne présentant pas une conception favorable à la biodiversité, il a été manuellement retiré de l'étude.

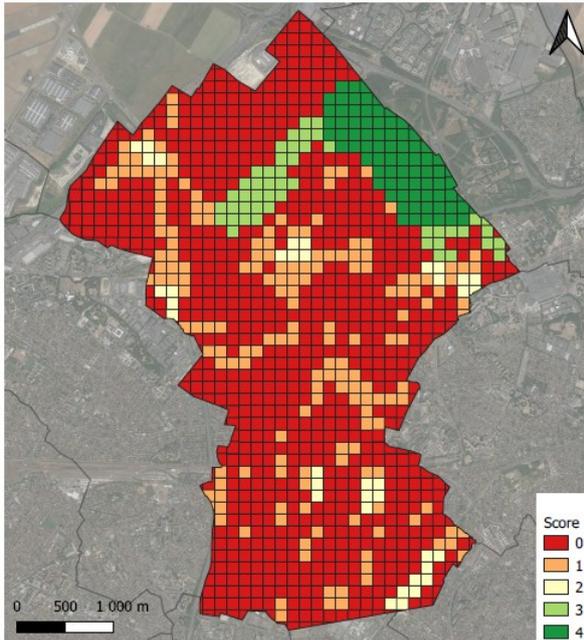


Figure 3 : cartographie du territoire d' Aulnay-Sous-Bois suite à l'étude du pourcentage de couvert végétal global (0 = < 10 % ; 1 = ≥ 10 % et < 30 % ; 2 = ≥ 30 %)

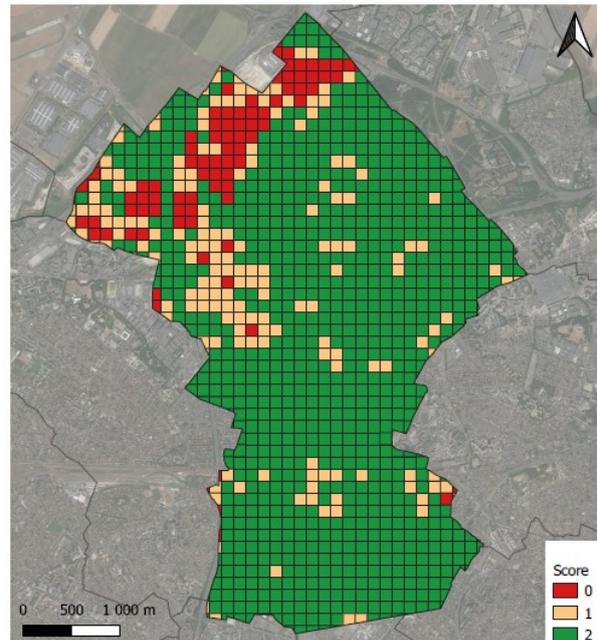


Figure 2 : cartographie du territoire d' Aulnay-Sous-Bois suite à l'étude de la taille des espaces verts présents (0 = aucun ; 1 = présence de micro patch ; 2 = présence de patch ; 3 = présence de niche locale ; 4 = présence de niche régionale)

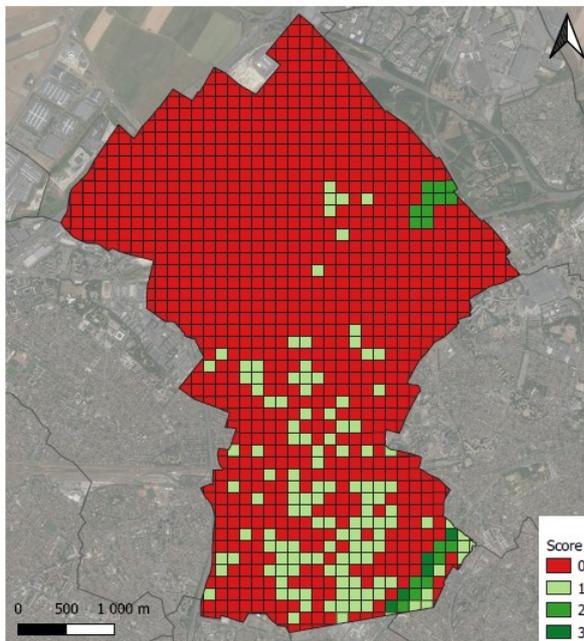


Figure 4 : cartographie du territoire d' Aulnay-Sous-Bois suite à l'étude de la présence d'habitats rares (1 = arbres remarquables ; 2 = zones humides ; 3 = arbres remarquables et zones humides).

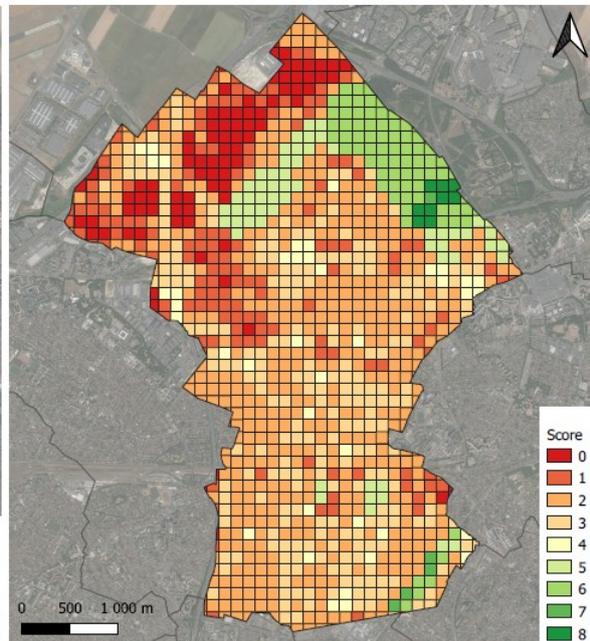


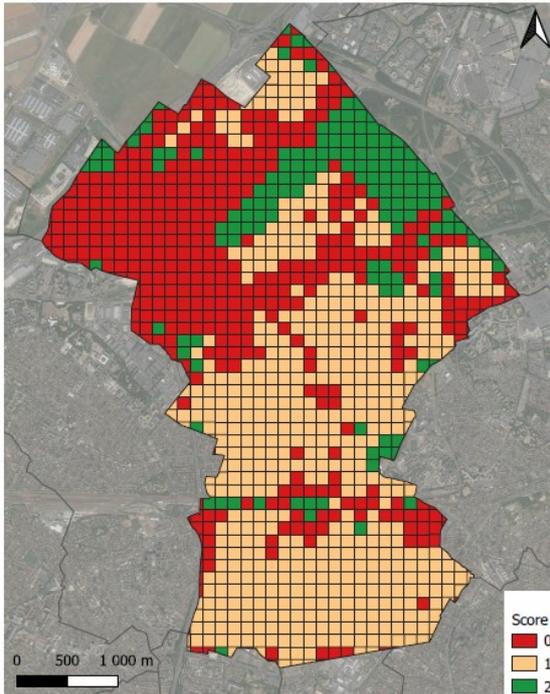
Figure 5 : cartographie globale du territoire d' Aulnay-Sous-Bois suite au cumul des différents scores

### *Cumul des scores et enjeux globaux*

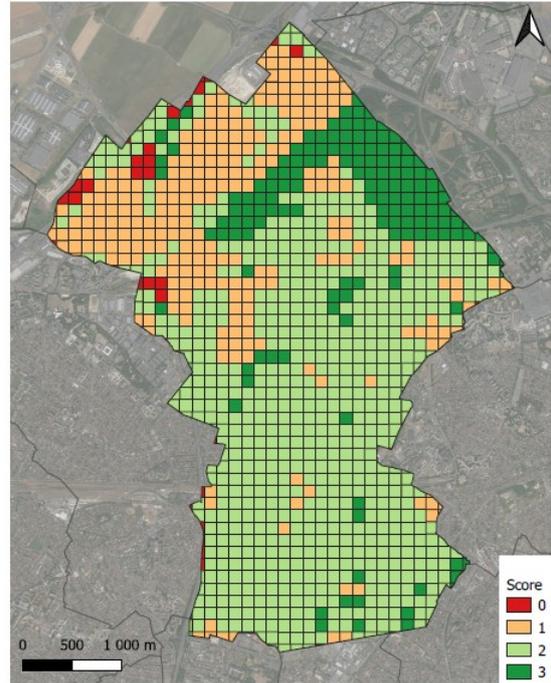
Le score final, qui correspond au cumul des scores des critères «Taille des espaces verts », « Qualité de la matrice » et « Habitats rares en milieu urbain », est compris entre 0 et 9. L'analyse globale de l'enjeu sur le territoire (figure 5) révèle que :

- 240 mailles sont considérées comme défavorables à la biodiversité (score de 0 ou 1).
- 149 mailles présentent un score laissant supposer une bonne qualité globale vis à vis de la biodiversité (score de 5, 6, 7 ou 8).
- 751 mailles présentent un score compris entre 2 et 5, qui n'est pas interprétable comme reflétant une « bonne » qualité, mais qui ne reflète pas non plus un enjeu fort.

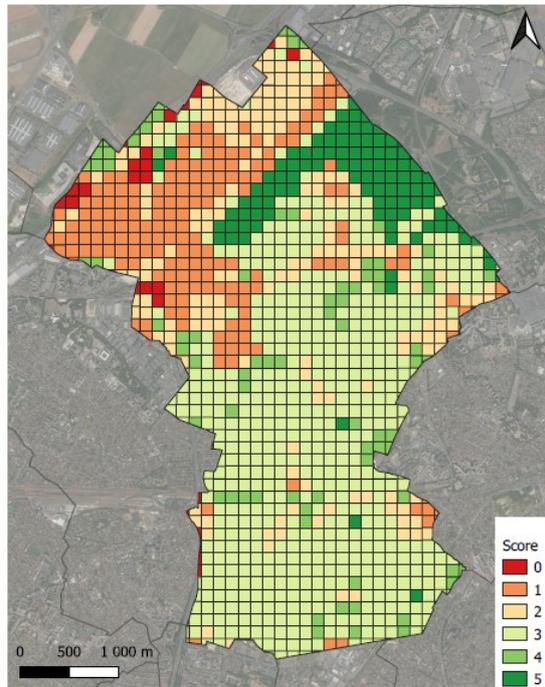
L'analyse cartographique indique que la commune d'Aulnay présente des conditions urbaines globalement défavorable à la biodiversité, hormis le secteur Nord-Est, correspondant au Parc du Sausset, et la partie Sud-Est correspondant aux berges du canal de l'Ourcq. **Les besoins de renaturation se concentrent sur les zones industrielles et d'habitats collectifs au Nord, et sur une zone commerciale située au Sud-Est.**



**Figure 6 :** cartographie du territoire d'Aulnay-sous-bois suite à l'étude de l'imperméabilisation (échelle 1 / 35 000)  
0 = forte ; 1 = moyenne ; 2 = faible



**Figure 7 :** cartographie du territoire d'Aulnay-sous-bois suite à l'étude de l'aléa face à l'effet d'ICU (échelle 1 / 35 000)  
0 = fort ; 1 = moyen ; 2 = faible ; 3 = rafraîchissant



**Figure 8 :** cartographie du territoire d'Aulnay-sous-bois suite à l'étude de la vulnérabilité globale face au changement climatique (échelle 1 / 35 000)

### 3.3 - Résultats du scénario « Adaptation au changement climatique »

#### *Critère 1 : Exposition à l'effet d'ICU*

L'étude de ce critère (figure 6) révèle que la majorité du territoire aurait tendance à voir sa température augmenter faiblement en cas de vague de chaleur (674 mailles). Le reste aurait tendance à voir sa température augmenter soit moyennement soit fortement (267 mailles et 52 mailles respectivement). Enfin, une faible partie du territoire (156 mailles) aurait un effet rafraîchissant.

#### *Critère 2 : Exposition au ruissellement*

La cartographie des zones à enjeux de ruissellement (figure 7) révèle que la majorité du territoire est soit moyennement soit fortement exposées au ruissellement (534 mailles et 455 mailles concernées respectivement). Les 160 mailles restantes y sont faiblement exposées.

#### *Cumul des scores et enjeux globaux*

Le score final (cumul des scores ci-dessus) est compris entre 0 et 5 (figure 8). Celui-ci révèle que :

- 255 mailles sont potentiellement très exposées aux effets du changement climatique étudiés ici (score de 0 ou 1).
- 719 mailles présentent un score laissant supposer une exposition moyenne (score de 2 ou 3)
- 175 mailles laissent supposer une exposition faible (score de 4 ou 5)

L'analyse cartographique indique que la partie Nord de la commune est globalement la plus exposée aux aléas du changement climatique pris en compte dans cette étude, hormis le secteur Nord-Est, correspondant au parc du Sausset. **Les enjeux se concentrent ici aussi sur les zones industrielles et d'habitats collectifs au Nord, et sur une zone commerciale située au Sud-Est.**

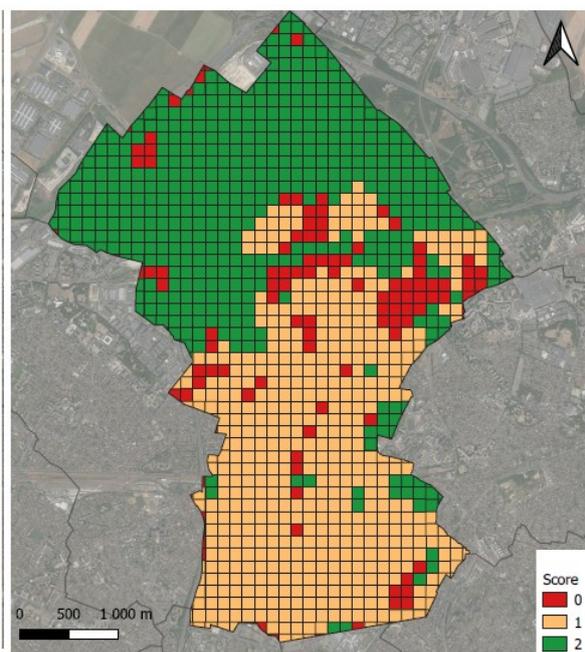


Figure 9 : cartographie du territoire d' Aulnay-Sous-Bois suite à l'étude de la sensibilité à l'effet d'ICU (échelle 1/35000)

0 = forte ; 1 = moyenne ; 2 = faible

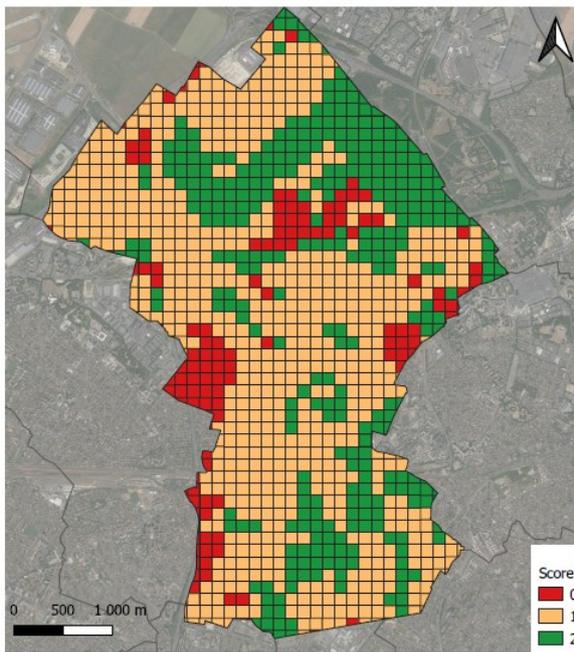


Figure 10 : cartographie du territoire d' Aulnay-Sous-Bois suite à l'étude de la difficulté à faire face à l'effet d'ICU (échelle 1/35000)

0 = forte ; 1 = moyenne ; 2 = faible

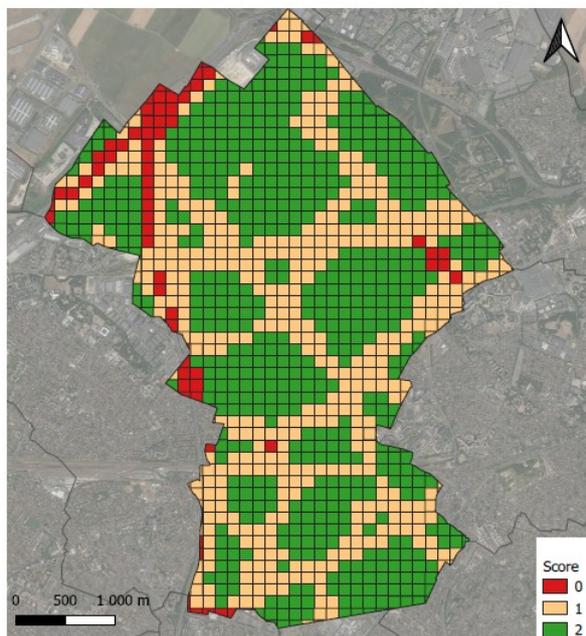


Figure 11 : cartographie du territoire d' Aulnay-Sous-Bois suite à l'étude de la pollution de l'air par les PM2,5 (échelle 1/35000)

0 =  $>14 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$  ; 1 =  $<12$  et  $>14 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$  ; 2 =  $\leq 12 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$

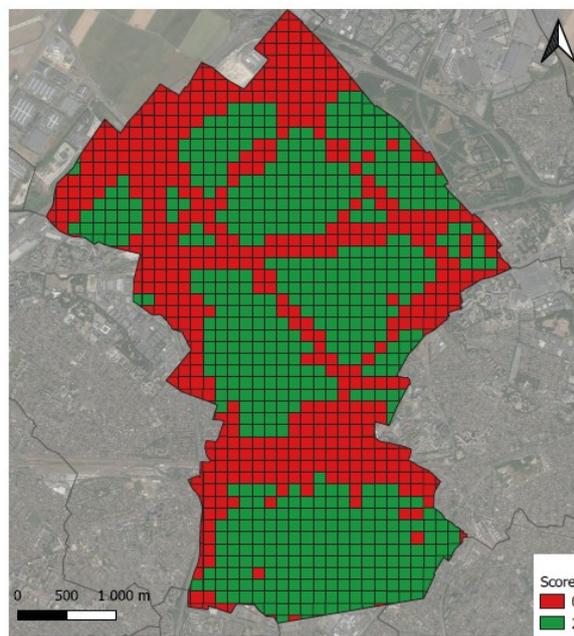


Figure 12 : cartographie du territoire d' Aulnay-Sous-Bois suite à l'étude des nuisances sonores (échelle 1/35000)

0 =  $>55\text{dB}$  ; 2 =  $\leq 55\text{dB}$

### 3.4 - Résultats du scénario « Santé et cadre de vie »

#### **Critère 1 : Sensibilité et difficulté à faire face à l'effet d'ICU**

L'étude de l'indicateur de sensibilité (figure 9) indique qu'une faible proportion du territoire (132 mailles) présente une forte vulnérabilité aux vagues de chaleurs, le reste présente une sensibilité moyenne (497 mailles) ou faible (516 mailles). Concernant la difficulté à faire face à l'effet d'ICU (figure 10), l'étude révèle que la majorité du territoire est moyennement vulnérable (660 mailles), le reste est soit faiblement vulnérable (340 mailles), soit très vulnérable (149 mailles).

#### **Critère 2 : Pollution de l'air**

L'étude de la pollution de l'air par les PM<sub>2,5</sub> (figure 11) révèle que pratiquement tout le territoire répond aux normes européennes (exposition inférieure à 20µg/m<sup>3</sup>/an). En revanche, aucune zone ne répond aux normes recommandées par l'OMS (exposition inférieure à 10µg/m<sup>3</sup>/an). Les valeurs sont comprises entre 10 et 16µg/m<sup>3</sup>/an sur tout le territoire de la commune. Ainsi, la majorité du territoire est exposé à des valeurs comprises entre 10 et 12µg/m<sup>3</sup>/an (618 mailles) ou entre 12 et 14µg/m<sup>3</sup>/an (439 mailles). 88 mailles sont très exposées, avec des valeurs comprises entre 14 et 16µg/m<sup>3</sup>/an.

#### **Critère 3 : Nuisance sonore**

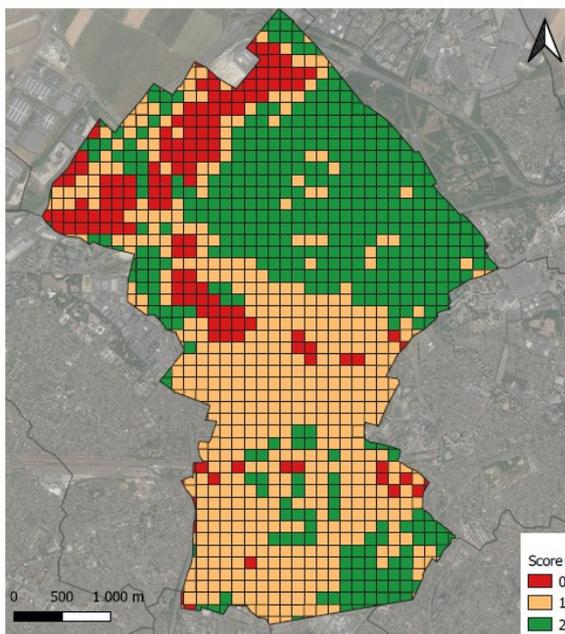
L'étude (figure 12) révèle que près de la moitié du territoire (546 mailles) est soumise à un niveau de bruit journalier supérieur aux valeurs recommandées par l'OMS (55dB)

#### **Critère 4 : Carence en espaces verts**

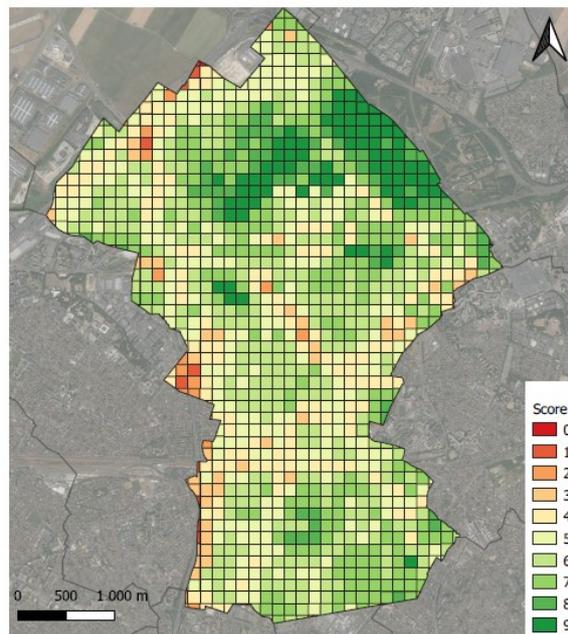
L'étude de la carence en espaces verts (figure 13) indique ainsi que 148 mailles sont très carencées, 534 le sont moyennement et 463 le sont faiblement.

#### **Vulnérabilité globale**

Le score final est compris entre 0 et 9. 232 mailles présentent un score compris entre 0 et 1 ; 540 présentent un score de 5 ou 6 ; 168 présentent un score de 8 ou 9. **Les zones les plus vulnérables se situent le long des axes routiers principaux, et les zones les moins vulnérables correspondent à celles qui sont à proximité d'espaces verts (Parc du Sausset, etc.).**



**Figure 13 :** cartographie du territoire d' Aulnay-Sous-Bois suite à l'étude de la carence en espaces verts (échelle 1/35000)  
0 = forte ; 1 = moyenne ; 2 = faible



**Figure 14 :** cartographie de la vulnérabilité globale du territoire d' Aulnay-Sous-Bois suite au cumul des différents score du scénario « Santé et cadre de vie » (échelle 1 / 35 000)



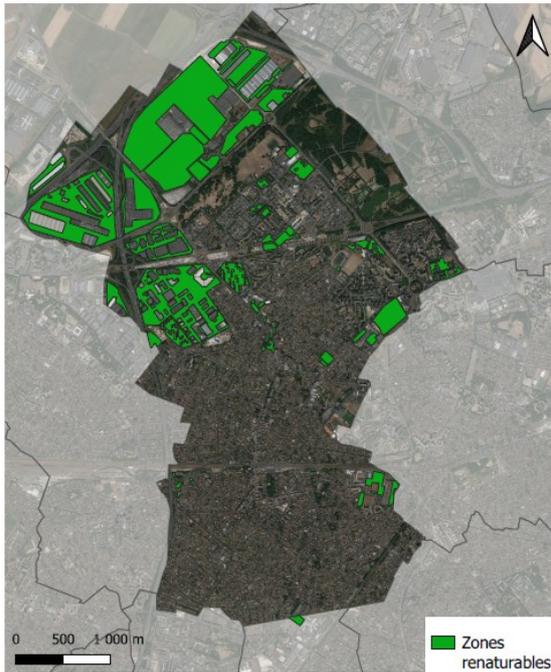


Figure 15 : cartographie des zones potentiellement renaturables du territoire d'Aulnay-Sous-Bois dans le cadre du scénario «Reconquête de la biodiversité » (échelle 1 / 35 000)

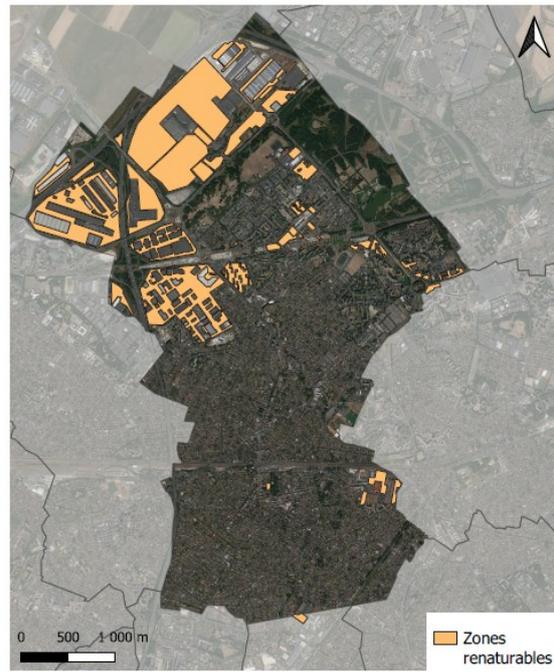


Figure 16 : cartographie des zones potentiellement renaturables du territoire d'Aulnay-Sous-Bois dans le cadre du scénario «Adaptation au changement climatique » (échelle 1 / 35 000)

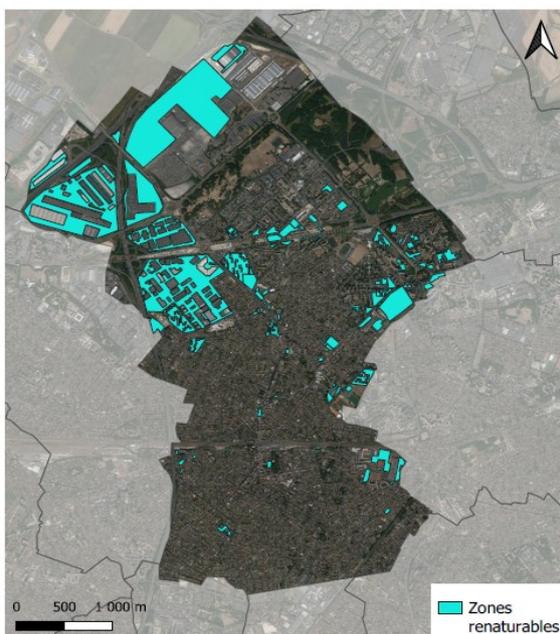


Figure 17 : cartographie des zones potentiellement renaturables du territoire d'Aulnay-Sous-Bois dans le cadre du scénario «Santé et cadre de vie» (échelle 1 / 35 000)

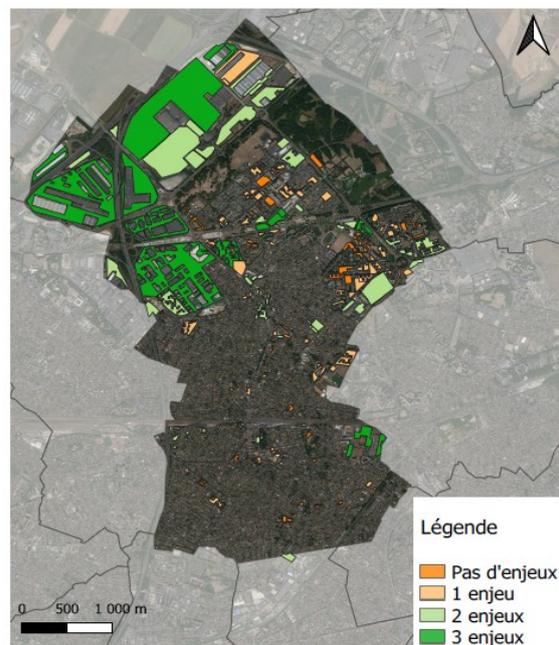


Figure 18 : cartographie des zones potentiellement renaturables du territoire selon le nombre d'enjeux présent sur chaque site (échelle 1 / 35 000)

### 3.5 - Localisation des sites à renaturer

Les secteurs à enjeux ont été étudiés plus en détails afin de localiser précisément les sites pouvant faire l'objet d'une désimperméabilisation suivie d'une renaturation. Pour les scénarios « Reconquête de la biodiversité » et « Adaptation au changement climatique », seules les mailles ayant un score final de 0 ou 1 (ce qui correspond à 240 et 255 mailles au total, respectivement) ont été conservées, et pour le scénario « Santé et cadre de vie » il s'agit des mailles ayant un score de 0 à 4 (ce qui correspond à 232 mailles).

Selon la méthode détaillée en partie 2.6, on estime en première approche que la commune dispose de **283,37 ha d'espaces potentiellement désimperméabilisables** (soit un total de 200 sites) sur le territoire d'Aulnay-sous-Bois (figure 18), dont 270,09 ha présentant un ou plusieurs enjeux (biodiversité, santé & cadre de vie, adaptation au changement climatique). Plus précisément, on estime que 78 sites (pour un total de 241,72 ha) pourraient faire l'objet d'une renaturation avec un gain écologique fort compte tenu de leur état actuel, les sites imperméabilisés étant particulièrement défavorables à la biodiversité (figure 15). La renaturation de 104 sites (pour un total de 203,97 ha) permettrait d'améliorer le cadre de vie des habitant.es à différents niveaux (figure 16), et celle de 53 sites (pour un total de 217,61 ha) serait prioritaire en vue d'une adaptation au changement climatique (figure 17). Parmi tous ces sites, **on en distingue 18, représentant une surface totale de 157,62 ha, dont la renaturation permettrait de remplir des objectifs pour les 3 scénarios**. Enfin, on retrouve 55 sites (pour un total de 13,28 ha) dont la renaturation ne présente pas d'enjeu fort parmi ceux étudiés dans l'immédiat.

Concernant la typologie des sites imperméabilisés identifiés, 163,73 ha correspondent à des zones industrielles (comprenant les parkings, les routes, les zones d'entreposage à l'air libre qui se trouvent sur ces dernières. Les bâtiments ne sont en revanche pas pris en compte dans le calcul de la surface) ; 21,63 ha correspondent à des cours ou terrain de sport bitumé appartenant à des établissements d'enseignement ; 84,46 ha correspondent à des parkings ; 0,89 ha correspondent à des cimetières. Les sites restants correspondent à des terrains vacants, des chantiers, autodromes, ronds points ou terrains de sport.



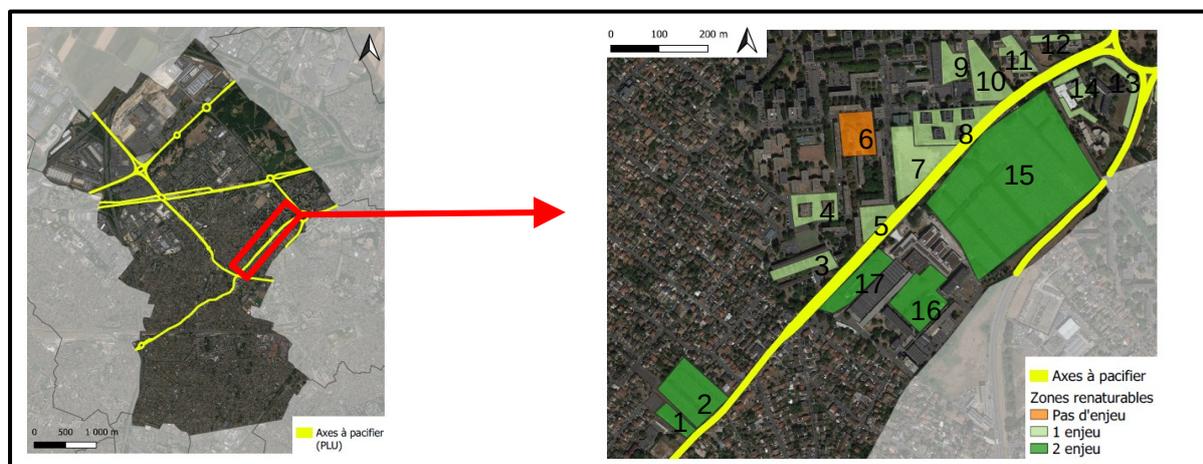
## 4 – Discussion

### 4.1 - Productions et perspectives d'applications

**La méthode développée ici a permis de cibler un total de 270,09 ha de zones potentiellement désimperméabilisables et renaturables.** Seuls 13,28 ha ne sont pas localisés sur des zones caractérisées comme présentant des enjeux forts. Ceci semble cohérent avec les différentes études scientifiques qui démontrent depuis longtemps des problèmes environnementaux augmentant avec le degré d'urbanisation / d'imperméabilisation de la zone, qu'il s'agisse d'un contexte défavorable à la biodiversité (*Souza et al, 2019 ; Yan et al, 2019 ; Kurylo et al, 2020*), d'impacts sociaux et sanitaire (*White et al, 2013 ; Pascal et al, 2016*), ou d'exposition aux effets du changement climatique (*Pascal et al, 2021 ; Salerno et al, 2018*). Il n'est donc pas étonnant de réussir à cibler les espaces imperméabilisés depuis ce type de d'analyse, et inversement de ne pas retrouver parmi les mailles exposées des sites correspondant à des grands espaces verts, des cours d'eau, etc.

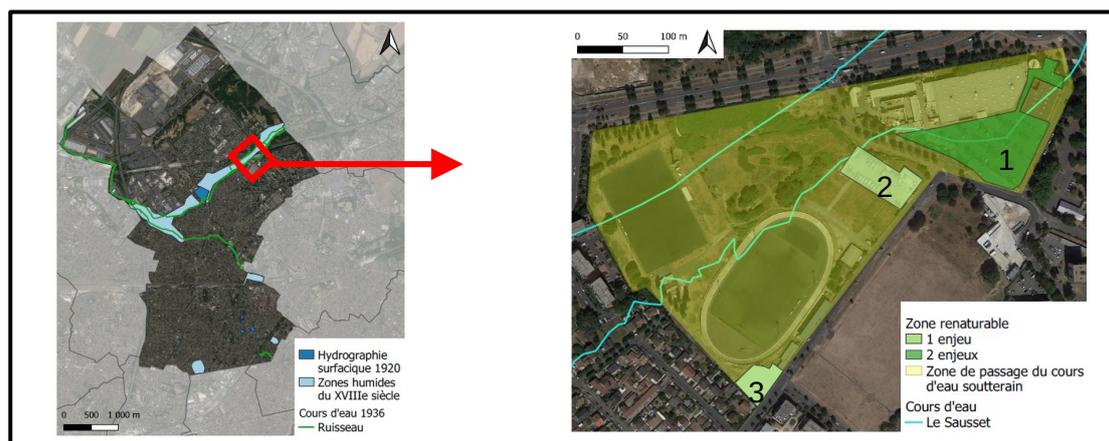
Parmi les sites présentant des enjeux, **on trouve plusieurs zones cumulant des enjeux envers la biodiversité et pour l'adaptation au changement climatique.** Ceci provient vraisemblablement du fait qu'une zone fortement imperméabilisée sera non seulement exposée aux aléas issus du changement climatique, mais sera également défavorable à la biodiversité. Cela confirme l'intérêt d'y développer des solutions fondées sur la nature, qui sur un même lieu permettent à la fois de répondre à l'enjeu climatique et à celui de la biodiversité. **Concernant les zones présentant des enjeux pour le cadre de vie de la population, elles se situent pour beaucoup au Nord de la commune.** Ceci provient en partie du fait que c'est au Nord de la commune que se trouvent les habitats collectifs, le Sud étant davantage pavillonnaire. La population y est donc moins concentrée, les nombreux jardins atténuent la carence en espaces verts via l'indice de végétation. Enfin, les grands axes routiers sont à l'origine de la majorité des nuisances sonores, mais aussi en grande partie de la pollution atmosphérique, comme on peut le voir sur les figure 11 et 12 (le score faible le long des grands axes traduisant des nuisances). Ceux-ci se trouvant également au Nord de la commune, cela explique également qu'on y trouve davantage de zones à enjeux. Mais il faut également noter que les habitats pavillonnaires ne font pas partie de la typologie des espaces

Figure 19 : Exemple de possibilité de renaturation dans le cadre d'objectif du PLU (maîtrise des nuisances sonores et de la pollution de l'air). (échelle 1/5000)



Numéro	Type de site	Enjeu(x)	Numéro	Type de site	Enjeu(x)
1	Parking	Santé et cadre de vie (SCV)/ Biodiversité	4 à 14	Parking	SCV
2	Cimetière	SCV / Biodiversité	15	Cimetière	SCV / Biodiversité
3	Lieu d'enseignement	SCV	16	Lieu d'enseignement	SCV / Biodiversité
			17	Parking	SCV / Biodiversité

Figure 20 : Exemple de possibilité de renaturation dans le cadre d'un objectif de ré-ouverture de zones humides



Numéro	Type de site	Enjeu(x)
1	Parking	Changement climatique / Biodiversité
2	Entreposage à l'air libre	Changement climatique / Biodiversité
3	Parking	Biodiversité

considérés comme désimperméabilisables. Aussi, si le Nord de la commune présente clairement davantage d'enjeux fort, l'absence de sites à enjeux sur la partie Sud ne vient pas uniquement de l'absence d'enjeux, mais en partie de l'absence de sites que l'on considère comme désimperméabilisables.

La démarche adoptée ici permet par ailleurs d'apporter plusieurs informations quant aux enjeux associés aux zones imperméabilisées et aux apports potentiels liés à leur renaturation. Les diagnostics mis en place peuvent donc être utilisés comme outils d'aide à la décision pour élaborer des stratégies de reconquête de la biodiversité ou d'adaptation aux changements climatiques à différentes échelles d'un territoire : projets locaux (objectifs inscrits dans le PLU), départementaux (Plan canopée de la Seine-Saint-Denis) voire régionaux (SRCE, SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux)). **A titre d'exemple, différents scénarios de renaturation ont été imaginés pour la commune d'Aulnay-sous-Bois à la suite de cette étude.** Premièrement, un scénario mettant en évidence les zones désimperméabilisables et renaturables dans le cadre d'un objectif inscrit au PLU de la commune : celui de la maîtrise des nuisances sonores et de la pollution de l'air. Afin d'atteindre cet objectif, le PLU envisage notamment la pacification (limitation des nuisances sonores et de la pollution atmosphérique) des axes principaux traversant la commune (à savoir : ex Route Nationale 2 (RN2), exRN370, Route départementale 115 (RD115), RD 40, RD 44), consistant en un enrichissement de l'offre de transport en commun pour diminuer la saturation des routes. Si cette mesure d'atténuation est en effet indispensable afin de remplir l'objectif établi, il est également possible d'envisager des opérations de renaturation qui permettront de participer à cet objectif (*Beckett et al, 1998 ; Nowak et al, 2013*), tout en remplissant plusieurs rôles supplémentaires : amélioration du cadre de vie, réduction de la carence en espaces verts, conservation de la biodiversité, réduction du risque d'inondations, etc. Aussi, les zones renaturables se situant le long des axes à pacifier ont été étudiés plus en détails, faisant ressortir le type de zones (cours d'école, parking, zone industrielle, etc) et le / les enjeux associés à leur renaturation (figure 19). De la même façon, un scénario de renaturation visant la ré-ouverture d'un cours d'eau aujourd'hui enterré (le Sausset), a été envisagé (figure 20). Il s'agit par ailleurs d'un objectif départemental de la Seine-Saint-Denis dans le cadre de la restauration des continuités écologique intra-urbaine (*Direction de la nature, des paysages et de la biodiversité*). Enfin, **il est également envisageable de produire**

**une estimation de la contribution potentielle du territoire à l'objectif national qu'est le ZAN**, la localisation des espaces renaturables étant un enjeu important dans le cadre de sa mise en œuvre. L'étude des différents sites mis en évidence lors de cette étude permet par exemple d'envisager des contributions à court, moyen et long terme. Par exemple ; la renaturation des cours d'écoles ou des cimetières soulevant peu de conflit d'usage ou d'intérêt économique, seraient envisageable à court terme. La renaturation de parkings ou de terrain de sport pouvant quant à elle entraîner des conflits d'usages (fonction de leur fréquentation), serait plus longue à mettre en place et pourrait alors être envisageable à moyen terme. Enfin, la renaturation de zones industrielles ou de grandes surfaces commerciales recouvrant une dimension économique en plus des questions d'usages, pourrait n'être envisageable qu'à long terme (qu'il s'agisse d'une renaturation partielle ou totale de la zone). Ce type d'estimation, bien qu'arbitraire et relativement imprécise (un parking peu fréquenté sera renaturable à court terme, une zone industrielle vétuste pourra l'être à moyen terme...), permet néanmoins d'envisager la renaturation du territoire dans le cadre de l'enjeu national qu'est le ZAN et mérite donc d'être étudiée. Selon cette logique, on estime ainsi :

- **29,77 ha** de zones renaturables à **court terme**
- **85,83 ha** de zones renaturables à **moyen terme**
- **167,04 ha** de zones renaturables à **long terme**

Cependant, bien que la renaturation d'espaces artificialisés permette de diminuer l'artificialisation nette, il est nécessaire de garder à l'esprit que la commune est déjà fortement artificialisée et qu'elle devrait davantage s'inscrire dans un objectif de Zéro Artificialisation Brute, via une politique de sobriété foncière, **en privilégiant le renouvellement urbain et en assurant la protection stricte des espaces de pleine terre existants.**

Les applications de la méthodologie sont potentiellement nombreuses pour les collectivités. Selon l'échelle considérée (commune, département, région), ces dernières pourront l'utiliser dans le cadre de l'objectif ZAN, afin d'évaluer leurs besoins en matière de renaturation et cibler les secteurs à fort gain écologique. Au-delà du ZAN, cet outil constitue une base à l'élaboration de stratégies volontaristes de renaturation, dans le cadre de politique de nature en ville, en reposant sur des bases plus scientifiques pour le choix des sites à renaturer. Pour les acteurs privés, cet outil peut également aider à cibler des sites pour

accueillir des mesures compensatoires, dans le cadre de la séquence ERC (Éviter-Réduire-Compenser). Plusieurs études ont mis en évidence la difficulté des mesures compensatoires à respecter un objectif de gain net de biodiversité (*Weissgerber, 2019*). La mise en œuvre de cette séquence sur des sites fortement imperméabilisés afin d’y restaurer des écosystèmes fonctionnels pourrait davantage contribuer à cet objectif. **Enfin, le déploiement de la méthodologie à une échelle départementale voire régionale pourrait aider à la révision des documents d’urbanisme et de planification**, en vue de définir des « zones à renaturer » dans les PLU/i ou les SCoT. Ce travail pourra par exemple alimenter la révision du SDRIF (Schéma Directeur de la Région Île-de-France) en proposant des zones de reconquête de la biodiversité et d’adaptation au changement climatique par les solutions fondées sur la nature.

Un autre apport de cette méthodologie est que les critères utilisés lors de son développement ne sont pas valables uniquement sur la région Île-de-France, ce qui la rend potentiellement adaptable à d’autres territoires. Le calcul des scores est fonction des indicateurs utilisés, si certains ne sont pas disponibles pour un territoire donné cela ne rend pas l’analyse impossible, mais suppose de prendre en compte cette absence de donnée lors de l’interprétation des résultats. Il existe également des bases de données nationale qui pourraient permettre de remplacer une partie des données utilisées ici et qui sont spécifiques à l’Île-de-France : le projet MapUCE<sup>9</sup> vise par exemple à fournir des données à l’échelle nationale concernant le micro-climat urbain ; le projet Copernicus<sup>10</sup> permet quant à lui d’avoir des informations relatives à l’imperméabilisation des sols. Enfin, certaines études permettent également d’estimer la sensibilité d’une zone vis-à-vis de certaines pressions, comme par exemple vis-à-vis de la pollution de l’air par les PM<sub>2,5</sub> en se basant uniquement sur les données du trafic routier (*Pascal & Medina, 2012 ; Requía & Koutrakis, 2018*).

<sup>9</sup> CNRM : Projet MapUCE : <https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article787>

<sup>10</sup> Copernicus – Imperviousness : <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness>

#### 4.2 - Biais, limites, et perspective d'améliorations

La méthodologie présente malgré tout des biais et des limites. Premièrement, en cas d'absence de données sur une maille pour un critère donné, le score attribué sera automatiquement de 0. Cependant, ce score ne reflète alors pas une mauvaise qualité de la maille en question mais simplement une absence de données. Bien que cette situation soit marginale, il est nécessaire de garder ce biais à l'esprit. Par ailleurs, les scores obtenus et la vulnérabilité supposée des mailles sont à manier avec précaution : **la qualité du diagnostic final est le reflet de la précision des données utilisées**. Aussi, les résultats obtenus ne sont pas à interpréter comme fournissant une vision précise de la qualité du territoire, mais comme un proxy des enjeux présents sur ce dernier.

Par exemple, dans le cadre du scénario « Reconquête de la biodiversité » et notamment de l'étude des espaces verts présents sur le territoire, la seule information utilisée était la taille de ces espaces, sans tenir compte de leur qualité respective (s'agissait-il de parcs en gestion différenciée ? Ou d'espaces soumis à une gestion intensive ?), bien qu'il s'agisse d'une information pertinente pour évaluer la qualité d'un espace vis-à-vis de la biodiversité (*Fontaine et al, 2016 ; Dylewski et al, 2019*). L'impact psychologique des espaces verts sur la population augmentant par ailleurs avec la richesse spécifique propre à ces espaces (*Fuller et al, 2007*), l'importance du mode de gestion revêt donc une importance particulière non seulement du point de vue de la conservation de la biodiversité mais aussi d'un point de vue social. D'autre part, les jardins de l'habitat individuel n'ont pu être pris en compte que dans l'étude du couvert végétal et pas en tant qu'espaces verts surfaciques, bien que plusieurs jardins privés proches gérés de façon favorable à la biodiversité puissent agir de façon similaire à un patch (*Goddard et al, 2010*). Dans le cas des arbres remarquables, l'absence d'informations concernant l'identité des arbres constitue également une limite, puisque les espèces exotiques (ou tout simplement non locales) n'ont pas le même impact sur la faune que les espèces indigènes locales (*Mata et al, 2021*). Concernant les autres habitats rares pouvant être pris en compte, il en existe en réalité une grande diversité qui ne se limite pas aux arbres remarquables et aux zones humides : il est par exemple possible d'ajouter la présence de bassins de rétention comme faisant office de zones humides temporaires (*Scher & Thiery, 2005 ; Perron & Pick, 2020*). Cependant ceci n'est valable que dans le cas où le bassin de rétention est végétalisé et avec une structure propice au développement de la biodiversité

(Barra, 2020). Il est également possible de prendre en compte la présence de friches, celles-ci pouvant abriter un plus grand nombre d'espèces que les espaces verts classiques (Bonthoux et al, 2014). Les exemples proposés sont en revanche à utiliser avec précaution et ne sauraient être considérés comme étant systématiquement favorable à la biodiversité. Ils ne le sont que dans le cas où leur gestion est faite de façon à leur permettre de développer un rôle de support pour la biodiversité.

Dans le cadre de l'étude de la vulnérabilité au changement climatique, le faible nombre de critères utilisés (ici 2, pouvant monter à 3 dans le cas de zones avec un risque d'inondations, alors pris en compte depuis la cartographie réglementaire des Plans de Prévention du Risque d'Inondations) implique également de manipuler les résultats avec une certaine précaution.

Enfin, quelques biais sont également à noter dans le cadre du scénario « Santé et cadre de vie ». Le grand nombre de critères pris en compte dans l'analyse spatiale a par exemple pour effet l'obtention d'un très faible nombre de mailles qui n'en remplissent aucun. C'est la raison pour laquelle le score retenu pour les mailles vulnérables (allant ici jusqu'à 4) était plus haut pour ce scénario que pour les deux autres, bien que le score maximum de ce scénario soit le même que celui du scénario « Reconquête de la biodiversité ».

**En ce qui concerne les limites globales de la méthode, on peut notamment citer l'absence d'étude de la connectivité.** En effet, il aurait été intéressant de modéliser celle-ci, par exemple à l'aide du logiciel Graphab, afin de mettre en évidence la contribution des espaces dans la connectivité du territoire et de repérer les points noirs (Foltête et al, 2012). En Île-de-France, l'association Environnement 92 produit des études de la connectivité de cette façon, et met ainsi en évidence des sites à renaturer afin de relier différents réservoirs ou afin de consolider les corridors de déplacement<sup>11</sup>. Une prise en compte future de ces informations permettrait de produire des scénarios de renaturation dont la mise en place maximiserait les bénéfices pour la biodiversité tout en remplissant des objectifs sociaux.

**Enfin, il est également à noter une imprécision relative quant à l'estimation des zones désimperméabilisables.** En effet, la dernière étape de la méthodologie consistant à localiser les zones à la main depuis une vue satellite, seules les zones les plus grandes sont facilement localisables. Dans le cas présent, l'utilisation du MOS a permis de réduire cette

<sup>11</sup> Source : rapport de stage étudiants d'Environnement 92, accessible sur demande à l'association

imprécision en facilitant la localisation des zones potentielles, mais cette donnée est d'une part spécifique à l'Île-de-France, et d'autre part ne permet pas de localiser les zones de faibles tailles : trottoir, impasse, etc. La méthodologie développée ici permet d'effectuer une recherche de sites de manière semi-automatisée, ce qui était l'objectif recherché. Pour autant, une phase de terrain s'avère indispensable pour affiner notre outil, invalider certains sites ou en repérer d'autres, non localisables à l'aide de la méthode seule (voir annexe 8).

**Ceci met en évidence l'importance d'associer une démarche participative à cette recherche de sites renaturables**, bien que cela n'ait pas pu être fait ici. Ce type de démarche permet non seulement d'avoir plus de précision quant aux zones imperméables existantes (avec par exemple la localisation de trottoirs surdimensionnés, d'alignement d'arbres imperméables, de routes peu utilisées qu'il serait possible de condamner et renaturer intégralement, etc.), mais également d'avoir des informations quant à l'usage qui en est fait par la population. Car c'est là l'un des problèmes rencontrés lors de ce type de projets : l'acceptabilité sociale est très variable d'un ouvrage à un autre, et il est très difficile de la supposer. En revanche, permettre aux habitant.es de s'approprier un projet de renaturation et d'y prendre part, depuis sa conception jusqu'à sa réalisation, permet de favoriser cette acceptabilité sociale et ainsi la pérennité du projet dans le temps. **Ce type de démarche peut également être l'occasion d'engager un réel dialogue sur la question de la renaturation**, ses avantages (bien-être, limitation des risques comme les inondations, etc) et inconvénients (plus « salissant », aspect « désordonné », etc). Au-delà de la question de la renaturation seule, c'est également l'opportunité de faire passer des connaissances précises sur le changement climatique, les effets des activités anthropiques et de l'urbanisation sur la biodiversité, l'importance de la protection des écosystèmes... Autant de sujets et de problématiques qui nécessitent une compréhension par toutes et tous afin de permettre une réponse efficace.

Ainsi, la mise en place d'une démarche participative visant à recenser les espaces désimperméabilisables, à l'image de ce qui est déjà fait dans plusieurs villes (les ruelles vertes à Montréal, les permis de végétaliser à Lille, Paris, etc), en prenant par exemple pour base la typologie établie lors de cette étude, semble indispensable dans le cadre d'une estimation réelle du potentiel de désimperméabilisation et de renaturation en milieu urbain.

## 5 - Conclusion

Ainsi, la méthode développée, bien qu'elle soit une simplification assez forte de la réalité, permet la **mise en évidence d'un grand nombre de sites potentiellement désimperméabilisables et renaturables, ainsi que les enjeux qui leur sont associés.** Permettant de sortir des démarches uniquement opportunistes (utilisées faute d'outils permettant d'identifier correctement le gisement de sites désimperméabilisables), elle offre la possibilité de prioriser les sites à renaturer en fonction du nombre ou du type d'enjeux qui y sont associés. Elle donne donc des objectifs qui permettent de passer à l'action à l'échelle locale, mais qui permettent également d'inscrire ces projets dans une démarche plus large, à l'échelle du département ou de la région. **Il est par ailleurs possible d'approfondir cette notion de priorisation en ajoutant la prise en compte des questions d'usages, de la difficulté du projet, etc.** Pour ce faire, un travail a été amorcé au début de l'étude conduite ici, en prenant pour base les travaux effectués par la ville de Berlin sur la faisabilité des projets de renaturation, mais n'a pas encore pu être mis en œuvre à l'heure actuelle (voir annexe 9)

L'avantage de se concentrer sur la désimperméabilisation réside dans le fait qu'il existe un grand nombre de sites potentiels à renaturer, et que leur renaturation permettra toujours un gain fort, du point de vue social comme environnemental. Néanmoins, **au vu des enjeux actuels, il paraît nécessaire de s'intéresser également à la renaturation des espaces artificialisés qui ne sont pas nécessairement imperméabilisés** (comme les espaces verts, friches, terrains vacants, bassins de rétention, etc) afin d'améliorer leur qualité et les services écosystémiques associés. Aussi, il serait intéressant d'envisager une application de cette méthode qui prendrait également en compte ce type d'espaces lors de l'étape de localisation des sites à renaturer, ce qui permettrait alors d'envisager la renaturation au sens large sur les territoires.

## Bibliographie

Airparif. (2019). *La pollution de l'air en 2018*. Paris, France, 28 pages.

Baldock, K. C., Goddard, M. A., Hicks, D. M., Kunin, W. E., Mitschunas, N., Osgathorpe, L. M., ... & Memmott, J. (2015). Where is the UK's pollinator biodiversity? The importance of urban areas for flower-visiting insects. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1803), 20142849.

Barra, M. (2020). *Gestion des eaux pluviales et biodiversité : revue bibliographique et préconisations*. ARB IdF., Paris.

Barra, M. Clergeau, P. (2020). « Zéro Artificialisation Nette » : des questions écologiques se posent.. Revue Diagonal

Basagaña, X., Sartini, C., Barrera-Gómez, J., Dadvand, P., Cunillera, J., Ostro, B., ... & Medina-Ramón, M. (2011). Heat waves and cause-specific mortality at all ages. *Epidemiology*, 765-772.

Bayulken, B., Huisingh, D., & Fisher, P. M. (2020). How are Nature Based Solutions Helping in the Greening of Cities in the Context of Crises such as Climate Change and Pandemics? A Comprehensive Review. *Journal of Cleaner Production*, 125569.

Béchet B. (coord.), Le Bissonnais Y. (coord.), Ruas A. (coord.), Aguilera A., André M., Andrieu H., Ay J.-S., Baumont C., Barbe E., Beudet-Vidal L., Belton-Chevallier L., Berthier E., Billet Ph., Bonin O., Cavailhès J., Chancibault K., Cohen M., Coisnon T., Colas R., Cornu S., Cortet J., Dablanç L., Darly S., Delolme C., Fack G., Fromin N., Gadal S., Gauvreau B., Géniaux G., Gilli F., Guelton S., Guérois M., Hedde M., Houet T., Humbertclaude S. (expert technique), Jolivet L., Keller C., Le Berre I., Madec P. (expert technique), Mallet C., Marty P., Mering C., Musy M., Oueslati W., Paty S., Polèse M., Pumain D., Puissant A., Riou S., Rodriguez F., Ruban V., Salanié J., Schwartz C., Sotura A., Thébert M., Thévenin T., Thisse J., Vergnès A., Weber C., Wery C., Desrousseaux M, 2017, *Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols, Déterminants, impacts et leviers d'action*. INRA (France), 609 pages.

Beckett, K. P., Freer-Smith, P. H., & Taylor, G. (1998). Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental pollution*, 99(3), 347-360.

Beninde, J., Veith, M., & Hochkirch, A. (2015). Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. *Ecology letters*, 18(6), 581-592.

Convention de Ramsar sur les zones humides. (2018). Perspectives mondiales des zones humides : état des zones humides à l'échelle mondiale et des services qu'elles fournissent à l'humanité. Gland, Suisse : Secrétariat de la Convention de Ramsar.

Cordeau, E. (2017). Adapter l'Ile-de-France à la chaleur urbaine.

Cox, D. T., Shanahan, D. F., Hudson, H. L., Plummer, K. E., Siriwardena, G. M., Fuller, R. A., ... & Gaston, K. J. (2017). Doses of neighborhood nature: the benefits for mental health of living with nature. *BioScience*, 67(2), 147-155.

Devictor, V., Julliard, R., & Jiguet, F. (2008). Distribution of specialist and generalist species along spatial gradients of habitat disturbance and fragmentation. *Oikos*, 117(4), 507-514.

Direction de la nature, des paysages et de la biodiversité. (2013). *La trame verte et bleue départementale en Seine-Saint-Denis : proposition d'une enveloppe optimale*. Seine-Saint-Denis, 31 pages

Dylewski, Ł., Maćkowiak, Ł., & Banaszak-Cibicka, W. (2019). Are all urban green spaces a favourable habitat for pollinator communities? Bees, butterflies and hoverflies in different urban green areas. *Ecological Entomology*, 44(5), 678-689.

Fletcher, D., Zhao, B., Grandin, Gl., Yang, J., Barra, M., Ruzic, M., Larsen, L.V., Iversen, S., Xu, Y., Chen, C., Banzhaf, E., Knopp, J., Luo, X., Wu, W., Vesuviano, G., Jones, L. (2020). *Report on assessment of drivers and pressures leading to urban challenges, across the ULLs, including spatial and temporal components*. Deliverable D2.1. for EU H2020 REGREEN project.

Fontaine, B., Bergerot, B., Le Viol, I., & Julliard, R. (2016). Impact of urbanization and gardening practices on common butterfly communities in France. *Ecology and evolution*, 6(22), 8174-8180.

Fortel, L., Henry, M., Guilbaud, L., Guirao, A. L., Kuhlmann, M., Mouret, H., ... & Vaissière, B. E. (2014). Decreasing abundance, increasing diversity and changing structure of the wild bee community (Hymenoptera: Anthophila) along an urbanization gradient. *PloS one*, 9(8), e104679.

Fosse, J. (2019). Objectif 'Zéro artificialisation nette': quels leviers pour protéger les sols. *France Stratégie*.

Fuller, R. A., Irvine, K. N., Devine-Wright, P., Warren, P. H., & Gaston, K. J. (2007). Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology letters*, 3(4), 390-394.

Goddard, M. A., Dougill, A. J., & Benton, T. G. (2010). Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. *Trends in ecology & evolution*, 25(2), 90-98.

Hill, M. J., Biggs, J., Thornhill, I., Briers, R. A., Gledhill, D. G., White, J. C., ... & Hassall, C. (2017). Urban ponds as an aquatic biodiversity resource in modified landscapes. *Global change biology*, 23(3), 986-999.

IPBES (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages.

Jaén, C., Villasclaras, P., Fernández, P., Grimalt, J. O., Udina, M., Bedia, C., & van Drooge, B. L. (2021). Source Apportionment and Toxicity of PM in Urban, Sub-Urban, and Rural Air Quality Network Stations in Catalonia. *Atmosphere*, 12(6), 744.

Kurylo, J. S., Threlfall, C. G., Parris, K. M., Ossola, A., Williams, N. S. G., & Evans, K. L. (2020). Butterfly richness and abundance along a gradient of imperviousness and the importance of matrix quality. *Ecological Applications*, 30(7), e02144.

Kraszewski, M. (2019). *Évaluation du taux d'artificialisation en France: comparaison des sources Teruti-Lucas et fichiers fonciers*.

Maas, J., Verheij, R. A., de Vries, S., Spreeuwenberg, P., Schellevis, F. G., & Groenewegen, P. P. (2009). Morbidity is related to a green living environment. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 63(12), 967-973.

Mata, L., Andersen, A. N., Morán-Ordóñez, A., Haahs, A. K., Backstrom, A., Ives, C. D., ... & Lynch, Y. (2021). Indigenous plants promote insect biodiversity in urban greenspaces. *Ecological Applications*, e02309.

Ministère de la Transition Écologique et Solidaire. (2018). *Plan Biodiversité*. Paris, plan, 28p.

Muratet, A. (2016). Etat de Santé de la Biodiversité en Île-de-France, Apport du programme de science participative Vigie-Nature. *Natureparif, Paris*.

Muratet, Audrey & Chiron, François & Muratet, Myr. (2019). Manuel d'écologie urbaine.

Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Hoehn, R. (2013). Modeled PM<sub>2.5</sub> removal by trees in ten US cities and associated health effects. *Environmental pollution*, 178, 395-402.

Omar, M., Al Sayed, N., Barré, K., Halwani, J., & Machon, N. (2018). Drivers of the distribution of spontaneous plant communities and species within urban tree bases. *Urban Forestry & Urban Greening*, 35, 174-191.

Pascal, M., de Crouy Chanel, P., Wagner, V., Corso, M., Tillier, C., Bentayeb, M., ... & Medina, S. (2016). The mortality impacts of fine particles in France. *Science of the Total Environment*, 571, 416-425.

Pascal, M., Gorla, S., Wagner, V., Sabastia, M., Guillet, A., Cordeau, E., ... & Host, S. (2021). Greening is a promising but likely insufficient adaptation strategy to limit the health impacts of extreme heat. *Environment international*, 151, 106441.

Pascal, M., & Medina, S. (2012). Résumé des résultats du projet Aphekom 2008-2011. *Des clefs pour mieux comprendre les impacts de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé en Europe*. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire.

PLU d'Aulnay-sous-Bois. (2015) – *Projet d'Aménagement et de Développement Durables*. Seine-Saint-Denis. 28 pages

Prigioniero, A., Zuzolo, D., Niinemets, Ü., & Guarino, C. (2021). Nature-Based Solutions as tools for air phytoremediation: a review of the current knowledge and gaps. *Environmental Pollution*, 116817.

Requia, W. J., & Koutrakis, P. (2018). Mapping distance-decay of premature mortality attributable to PM<sub>2.5</sub>-related traffic congestion. *Environmental Pollution*, 243, 9-16.

Salerno, F., Gaetano, V., & Gianni, T. (2018). Urbanization and climate change impacts on surface water quality: Enhancing the resilience by reducing impervious surfaces. *Water research*, 144, 491-502.

Selmi, W. (2014). *Services écosystémiques rendus par la végétation urbaine Application d'approches d'évaluation à la ville de Strasbourg* (Doctoral dissertation, Université de Strasbourg).

Soubeyroux, J. M., Ouzeau, G., Schneider, M., Cabanes, O., & Koukoku-Arnaud, R. (2016). Les vagues de chaleur en France: analyse de l'été 2015 et évolutions attendues en climat futur. *La Météorologie*.

- Souza, F. L., Valente-Neto, F., Severo-Neto, F., Bueno, B., Ochoa-Quintero, J. M., Laps, R. R., ... & de Oliveira Roque, F. (2019). Impervious surface and heterogeneity are opposite drivers to maintain bird richness in a Cerrado city. *Landscape and Urban Planning*, 192, 103643.
- Spotswood, E., Grossinger, R., Hagerty, S., Bazo, M., Benjamin, M., Beller, E., ... & Askevold, R. (2019). *Making Nature's City: A Science-Based Framework for Building Urban Biodiversity*. San Francisco Estuary Institute. Publication, (947).
- Stagoll, K., Lindenmayer, D. B., Knight, E., Fischer, J., & Manning, A. D. (2012). Large trees are keystone structures in urban parks. *Conservation Letters*, 5(2), 115-122.
- Strohbach, M. W., Lerman, S. B., & Warren, P. S. (2013). Are small greening areas enhancing bird diversity? Insights from community-driven greening projects in Boston. *Landscape and Urban Planning*, 114, 69-79.
- Szulczewska, B., Giedych, R., Borowski, J., Kuchcik, M., Sikorski, P., Mazurkiewicz, A., & Stańczyk, T. (2014). How much green is needed for a vital neighbourhood? In search for empirical evidence. *Land Use Policy*, 38, 330-345.
- White, M. P., Alcock, I., Wheeler, B. W., & Depledge, M. H. (2013). Would you be happier living in a greener urban area? A fixed-effects analysis of panel data. *Psychological science*, 24(6), 920-928.
- Threlfall, C. G., Mata, L., Mackie, J. A., Hahs, A. K., Stork, N. E., Williams, N. S., & Livesley, S. J. (2017). Increasing biodiversity in urban green spaces through simple vegetation interventions. *Journal of applied ecology*, 54(6), 1874-1883.
- UICN France (2018). *Les Solutions fondées sur la Nature pour lutter contre les changements climatiques et réduire les risques naturels en France*. Paris, France
- Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A., & Zelson, M. (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of environmental psychology*, 11(3), 201-230.
- Urban green spaces and health. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2016.
- Vega, K. A., & Küffer, C. (2021). Promoting wildflower biodiversity in dense and green cities: the important role of small vegetation patches. *Urban Forestry & Urban Greening*, 127165.
- World Health Organization. (2006). *Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air: particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre: mise à jour mondiale 2005: synthèse de l'évaluation des risques* (No. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02). Genève: Organisation mondiale de la Santé.
- World Health Organization. (2018). Environmental noise guidelines for the European region.
- White, M. P., Alcock, I., Wheeler, B. W., & Depledge, M. H. (2013). Would you be happier living in a greener urban area? A fixed-effects analysis of panel data. *Psychological science*, 24(6), 920-928.
- Yan, Z., Teng, M., He, W., Liu, A., Li, Y., & Wang, P. (2019). Impervious surface area is a key predictor for urban plant diversity in a city undergone rapid urbanization. *Science of the Total Environment*, 650, 335-342.

## Annexes

**Annexe 1 :** Chercheurs et chercheuses interrogé.e.s au cours du stage afin de définir les différents critères à étudier et les seuils à utiliser dans le cadre de l'étude

Nom / Prénom	Structure	Thématique d'échange
Erwan Cordeau	Chargé d'études Département Environnement Institut Paris Region	Îlots de chaleur urbains et leur étude depuis les différents indicateurs de l'étude « Adapter l'Île de France à la chaleur urbaine »
Simon Carrage	Chargé d'études Département Environnement Institut Paris Region	Ruissellement ; Inondations par crue et leur étude depuis le PPRI
Manuel Pruvost Bouvattier	Chargé d'études Département Environnement Institut Paris Region	Ruissellement et techniques alternatives de gestion des eaux pluviales
Cécile Mauclair	Chargée d'études Département Environnement Institut Paris Region	Carence en espaces verts et son étude depuis les données produites par l'Institut Paris Region
Nicolas Laruelle	Chargé d'études Département Environnement Institut Paris Région	Carence en espaces verts et son étude depuis les données produites par l'Institut Paris Region
David Fletcher	Chercheurs à UK Centre for Ecology and Hydrology (UKCEH)	Étude de la pollution de l'air par les PM2.5 à partir des données de l'association Airparif
Antoine Perez Munoz	Chef du pôle accompagnement des politiques publiques chez Bruitparif	Étude des nuisances sonores et leur étude depuis les données de l'association Bruitparif
Hemminki Johan	Écologue Naturaliste à l'ARB	Critères d'études du scénario "Reconquête de la biodiversité"
Gwendoline Grandin	Écologue à l'ARB	Critères et scénarios de l'étude
Marc Barra	Écologue à l'ARB	Critères et scénarios de l'étude
Mustapha Taqarort	Géomaticien à l'ARB	Étude de la connectivité via les logiciel Graphab et Biodispersal
Luc Abbadie	Enseignant chercheur à l'Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement de Paris	Critères et scénarios de l'étude

**Annexe 2** : Typologie des espaces désimperméabilisables (par degré de précision)

Degré 1	Degré 2	Degré 3	Degré 4
Espaces ouverts artificialisés	Places publiques	Places publiques	Trottoir
			Allée bitumée
			Parvis
			Dalle de béton
	Espaces verts urbains	Parcs ou jardins	Parking
			Routes
			Allée bitumée
	Espaces ouverts à vocations de sports	Équipement sportifs de grande taille (terrain de golf, hippodromes)	Parking
			Terrain de sport (foot, volley etc)
			Contour des terrains
			Skate park surdimensionné
			Dalle de béton
	Cimetières	Cimetières	Parking
			Dalle de béton
			Allée bitumée
	Terrains vacants	Friches	Dalle de béton
Bâti désaffecté			
Zones abandonnées (gares, aéroport, usines)		Dalle de béton	
		Bâti désaffecté	
Habitations	Habitat collectif	Immeubles / Résidence	Cours / Dalle de béton
			Parking
			Trottoir
	Habitat autre	Prisons	Cours
			Terrains de sport
			Parkings
		Hôtel, foyers, auberges de jeunesse	

Voiries	Structures associés	Rond points	
		Cul de sac	
		Terre plein centraux	
	Routes	1 voie	
		2 voie	
		> 2 voies	
	Délaissés routiers		
	Trottoir	Trottoir > 1,40m	
		Trottoir avec alignement d'arbres	
Pistes cyclables	Pistes cyclables		
Transports	Emprise routières	Voies de plus de 25m de large	Autoroutes urbaines
			Délaissés routiers
	Parkings	Parkings de surface	Allée de circulation
			Zone de séparation des places
			Places de parkings
	Gares	Gares	Parking
			Place
	Voie ferrés	Bordures de voies	
Voie ferrés inutilisées			

Équipement	Établissement d'enseignement	Enseignement de premier degré	Cours de récréation
		Enseignement secondaire	Terrain de sport
			Cours de récréation
		Enseignement supérieur	Terrain de sport
	Cours de récréation		
	Enseignement autre		
	Établissement de santé	Hôpitaux, cliniques	Parkings
			Dalle de béton
			Cours
		Autres (dispensaires, institut médico-pédagogique)	Parkings
			Dalle de béton
			Cours
	Autres équipements accueillant du public	Mairies	Place
		Centres de congrès et d'exposition	Parkings
			Dalle de béton
		Équipement culturel et de loisirs (musée, châteaux etc)	Parking
Place			
Activités	Économique et industrielles	Grandes emprises industrielles / Zone d'activités économiques	Zones vétustes
			Parkings
			Routes
	Commerces	Grandes surfaces commerciales	Parkings
		Routes	
Cours d'eau	Rivières enterrées	Rivières enterrées	
	Rivières / Fleuves	Berges	
	Canal (cours d'eau artificiel)	Berges	
		Lit artificiel du cours d'eau	

### Annexe 3 : Note sur la constitution de l'indice de ruissellement<sup>12</sup>

L'indice de ruissellement est constitué à partir du coefficient d'imperméabilisation et de la pente du terrain.

**Le coefficient d'imperméabilisation** est repris du ruissellement du "Guide technique des bassins de retenue d'eaux pluviales"- STU Agences de l'Eau 1994. Les valeurs figurant dans ce document ont été affectées à des regroupements de MOS (Mode d'Occupation du Sol) après un test portant sur un petit bassin versant affluent de la Marne : le Morbras. Les valeurs utilisées sont reportées dans le tableau ci-dessous.

#### **Coefficients d'imperméabilisation selon le MOS**

<b>Coefficients d'imperméabilisation simplifié</b>	<b>Coefficients d'imperméabilisation</b>	<b>Regroupement de MOS</b>
faible	0 - 0,1	espaces verts naturels, terres agricoles, parcs et jardins
faible	0,1 - 0,2	terrains vacants urbains et ruraux, infrastructures de transports ferrés
faible	0,2 - 0,3	terrains de sport, habitat individuel peu dense
Moyen	0,3 - 0,4	habitat individuel
Moyen	0,4 - 0,5	chantiers, carrières
Moyen	0,5 - 0,6	cimetières, décharges
Moyen	0,6 - 0,7	équipements de superstructures, habitat collectif peu dense
Fort	0,7 - 0,8	habitat collectif dense, commerces et bureaux
Fort	0,8 - 0,9	industries
Fort	0,9 - 1	infrastructures routières et aéroportuaires

Les **pent**es sont calculées en 11 classes à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 mètres :

<b>Classe de pente simplifiée</b>	<b>Classe de pente</b>
faible	- inférieures à 1 %
faible	- 1 à 2 %
faible	- 2 - 3 %
Moyen	- 3 - 4 %
Moyen	- 4 - 5 %
Moyen	- 5 - 6 %
Moyen	- 6 - 7 %
Fort	- 7 - 8 %
Fort	- 8 - 9 %
Fort	- 9 - 10 %
Fort	- supérieures à 10 %

**L'indice de ruissellement** est obtenu en combinant le coefficient d'imperméabilisation et la pente de la façon suivante :

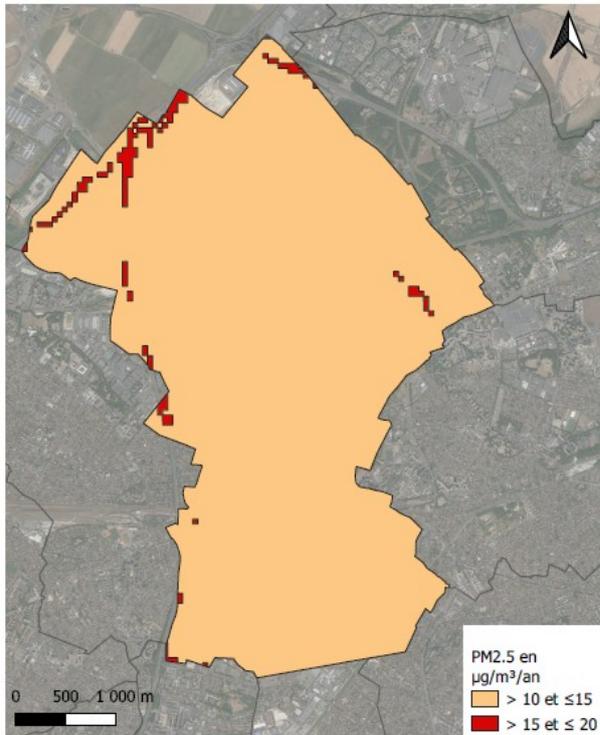
	<b>Pentes</b>	<b>Faible</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Forte</b>
<b>Imperméabilisation</b>				
<b>Faible</b>		1	2	4
<b>Moyenne</b>		3	5	7
<b>Forte</b>		6	8	9

<sup>12</sup> CRIF, AESN, ARENE, IAURIF : Les indicateurs du développement durable dans le périmètre du Sage Marne aval - Septembre 1998-

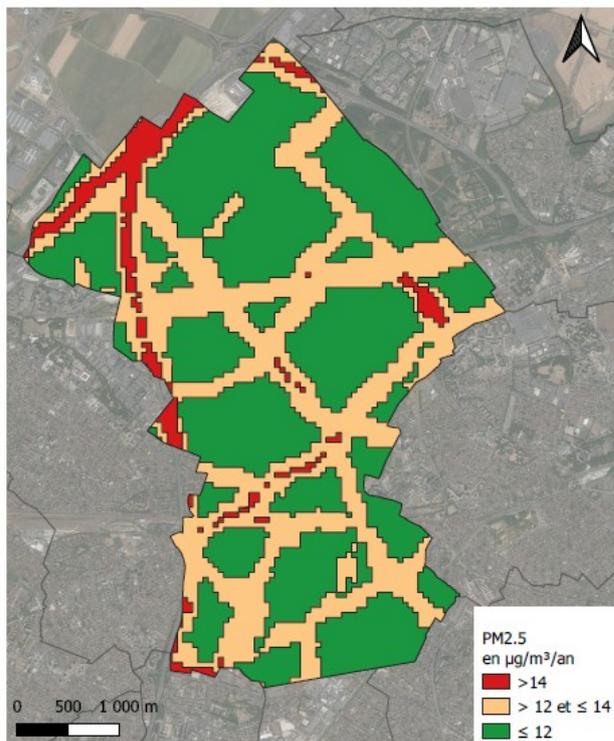
**Annexe 4** : Tableau de correspondance entre taux d'imperméabilisation et catégories du MOS

Code (MOS 47 postes)	Poste MOS	Imperméabilisation	Coefficient moyen
1	Bois ou forêts	Faible	0.05
2	Coupes ou clairières en forêts	Faible	0.05
3	Peupleraies	Faible	0.05
4	milieux semi-naturels	Faible	0.05
5	Terres labourées	Faible	0.05
6	Prairies	Faible	0.05
7	Vergers, pépinières	Faible	0.05
8	Maraîchage, horticulture	Faible	0.05
11	Parcs ou jardins	Faible	0.05
12	Jardins familiaux	Faible	0.05
13	Jardins de l'habitat	Faible	0.05
14	Terrains de sport en plein air	Faible	0.25
15	Equipements sportifs de grande surface	Faible	0.25
16	Camping, caravaning	Faible	0.25
17	Parcs liés aux activités de loisirs sauf parcs de châteaux	Faible	0.15
19	Surfaces engazonnées avec ou sans arbustes	Faible	0.05
20	Terrains vacants	Faible	0.15
40	Emprises de transport ferré	Faible	0.15
45	Extraction de matériaux	Faible	0.15
10	Eau	Forte	1
24	Habitat continu bas	Forte	0.75
25	Habitat collectif continu haut	Forte	0.75
27	Habitat autre	Forte	0.75
29	Zones ou espaces affectés aux activités	Forte	0.85
30	Entrepôts logistiques	Forte	0.85
31	Commerces	Forte	0.75
32	Bureaux	Forte	0.75
38	Administrations, organismes officiels	Forte	0.75
39	Autres équipements accueillant du public	Forte	0.75
41	Emprises routières	Forte	0.95
42	Parcs de stationnement	Forte	0.95
43	Gares routières, dépôts	Forte	0.95
44	Installations aéroportuaires	Forte	0.95

**Annexe 5 :** Cartographie de la pollution de l'air par les PM2,5 à Aulnay-sous-bois (échelle 1/35 000) selon la classification établie depuis les recommandations gouvernementales

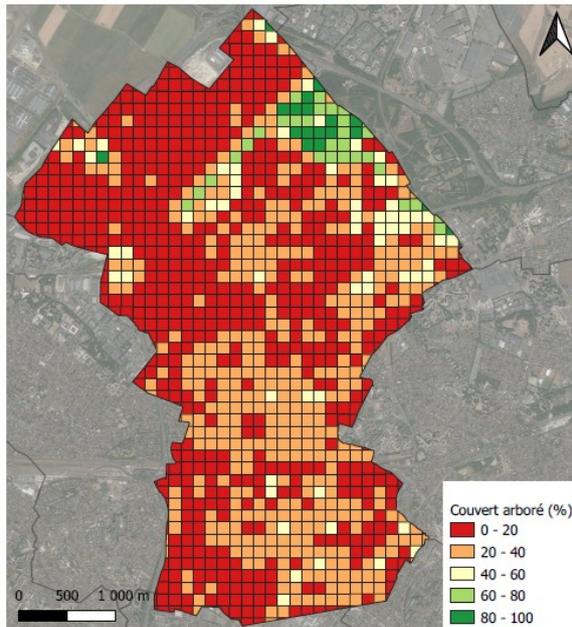


**Annexe 6 :** cartographie de la pollution de l'air par les PM2,5 à Aulnay-sous-bois (échelle 1 / 38 000) selon la nouvelle classification

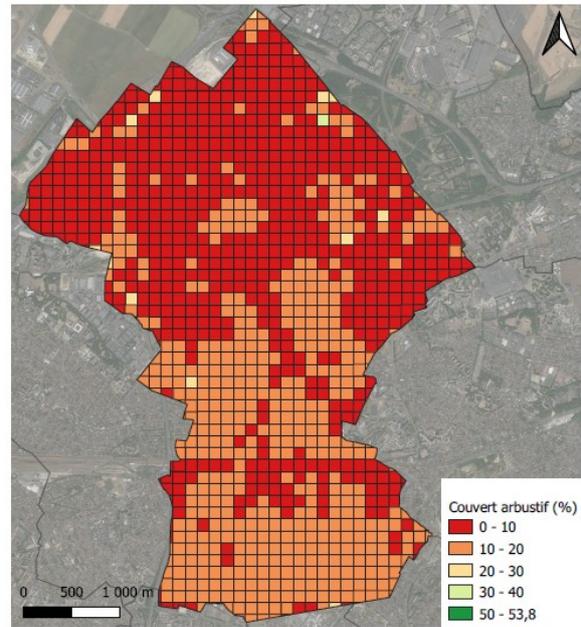


**Annexe 7 :** Cartographie du pourcentage de recouvrement des différentes strates de végétation

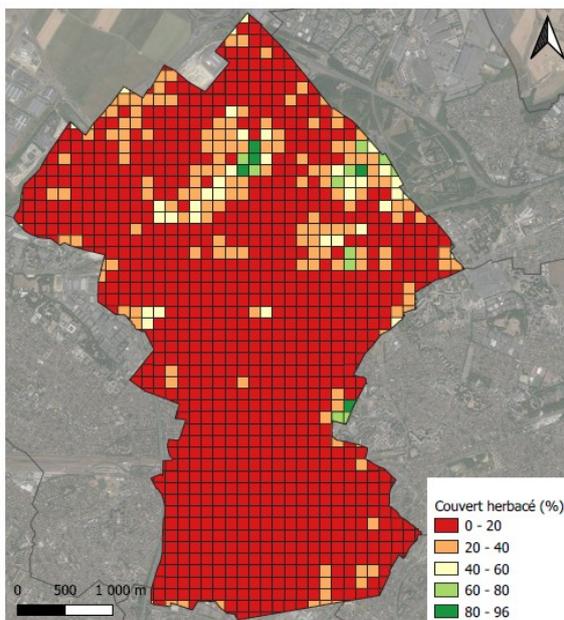
La strate herbacée occupe en moyenne 15,04 % des mailles ( $\pm 13,1\%$ ), avec un maximum de 95,76 % et un minimum de 0. La strate arbustive occupe en moyenne 8,8 % des mailles ( $\pm 5,64\%$ ), avec un maximum de 53,84 % et un minimum de 0 %. Enfin, la strate arborée occupe en moyenne 21,14 % des mailles ( $\pm 17,56\%$ ), avec un maximum de 100 % et un minimum de 0 %. En ce qui concerne le couvert végétal global, il occupe en moyenne 45,02 % des mailles ( $\pm 23,19\%$ ), avec un maximum de 100 % et un minimum de 0 %



Cartographie d'Aulnay-Sous-Bois après l'étude du couvert arboré (échelle 1 / 35 000)



Cartographie d'Aulnay-Sous-Bois après l'étude du couvert arbustif (échelle 1 / 35 000)



Cartographie d'Aulnay-Sous-Bois après l'étude du couvert herbacé (échelle 1 / 35 000)

**Annexe 8** : Exemple de zones renaturables localisées lors d'une sortie à Aulnay-Sous-Bois le 18/08/2021, non repérées à l'aide de la méthodologie



Bâti désaffecté et dalle de béton, non localisé dans le cadre de l'application de la méthodologie car difficilement identifiable depuis une vue satellite



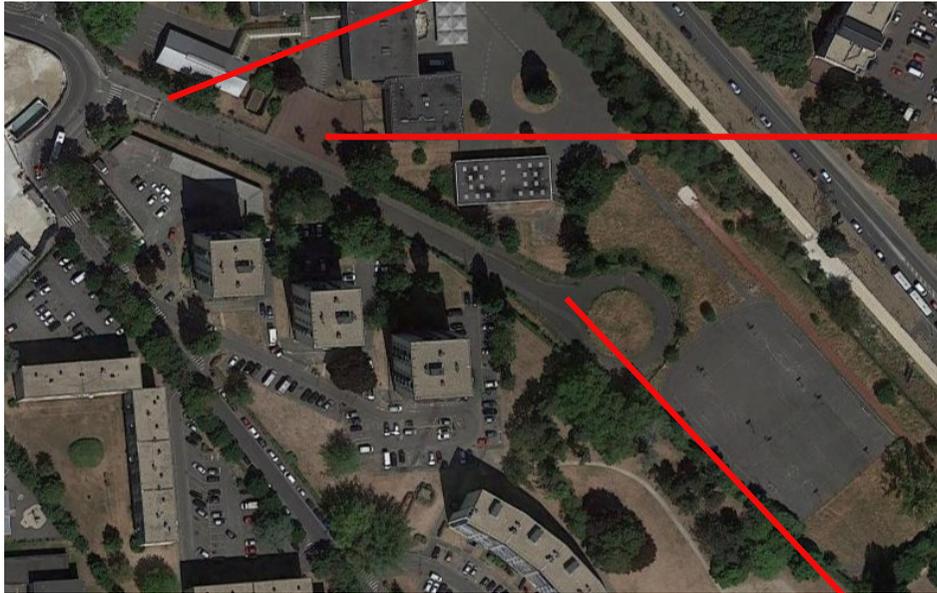
Trottoir surdimensionné, non localisé dans le cadre de l'application de la méthodologie car difficilement identifiable depuis une vue satellite



Alignement d'arbres imperméabilisé, non localisé dans le cadre de l'application de la méthodologie car difficilement identifiable depuis une vue satellite du fait du couvert végétal provenant des arbres



Délaissé routier, non localisé dans le cadre de l'application de la méthodologie car difficilement identifiable depuis une vue satellite du fait de la présence de végétation sur la zone pourtant imperméable



Route passant devant le collège Claude Debussy, non localisé dans le cadre de l'application de la méthodologie du fait de l'absence d'informations concernant l'usage de la route qui est en réalité condamnée



**Annexe 9 :** Indicateur de faisabilité des projets de désimperméabilisation, adapté des travaux menés par la ville de Berlin<sup>13</sup>

Indicateur de faisabilité des projets de désimperméabilisation / renaturation d'un site									
Statut foncier	Intérêt	Effort technique	Intérêt	Usage	Intérêt	Risque géologique*	Intérêt	Temps nécessaire	Intérêt
Public	Fort	Peu d'efforts (retrait de bitume uniquement)	Fort	"Aucun"	Fort	Absent	Fort	1-2 ans	Fort
		Effort moyen (démolition de petites structures)	Moyen	Réseaux de canalisation	Moyen	Probable	Moyen	environ 5 ans	Moyen
Privé (nécessite une acquisition au préalable)	Faible	Effort élevé (démolition de grandes structures)	Faible	Dalle urbaine	Faible	Certain	Faible	> 5 ans	Faible

*Risques géologiques	Gypse	Argile / marnes argileuses	Formation karstique	Carrières souterraines
	Présence	Présence	Présence	Présence
	Absence	Absence	Absence	Absence

<sup>13</sup> Disponible sur : <https://www.berlin.de/umweltatlas/en/soil/removal-of-impervious-soil-coverage/2020/methodology/>

## **Résumé :**

L'urbanisation croissante et l'imperméabilisation des sols qui y en découle sont au cœur de la crise écologique : accélération du déclin de la biodiversité, amplification des impacts liés au changement climatique (ruissellement, inondations, îlots de chaleur urbains...), dégradation de la santé et du bien-être des habitants. L'Île-de-France, et en particulier la région du Grand Paris, est confrontée à l'ensemble de ces problématiques. Si les solutions pour répondre à ces défis sont multiples, le déploiement des solutions fondées sur la nature, notamment par la renaturation, apparaît comme une stratégie privilégiée, au carrefour de plusieurs enjeux. Dans le cadre du projet européen H2020 REGREEN, la présente étude vise à quantifier le potentiel de désimperméabilisation et proposer des scénarios de renaturation croisant plusieurs enjeux. A partir du croisement de données sur la commune pilote d'Aulnay-Sous-Bois, en Seine-Saint-Denis (93), la méthodologie développée a permis de recenser un total de 270,09 ha de zones potentiellement désimperméabilisables et renaturables. Accompagné d'une phase de terrain, cet outil opérationnel permettra aux collectivités de mieux se rendre compte du potentiel de renaturation et de prioriser les actions à mettre en œuvre. Il s'avère adaptable à d'autres communes et déployable à d'autres échelles de territoires (département, région, etc.).

## **Abstract :**

Growing urbanization, and the resulting waterproofing of soils, are at the heart of the ecological crisis: acceleration of the decline of biodiversity, amplification of the impacts linked to climate change (runoff, floods, urban heat islands, etc.), degradation of the health and well-being of the inhabitants. Île-de-France, and in particular the Grand Paris region, is faces all of these issues. While there are many solutions to meet these challenges, the deployment of nature-based solutions, in particular through renaturation, appears to be a privileged strategy, at the crossroads of several challenges. As part of the European H2020 REGREEN project, this study aims to quantify the potential for soil de-sealing and to propose renaturation scenarios crossing several issues. From the cross-referencing of data on the pilot town of Aulnay-Sous-Bois, in Seine-Saint-Denis (93), the methodology developed allowed to identify a total of 270.09 ha of potentially de-sealable and renaturable areas. Accompanied by a field phase, this operational tool will allow local authorities to better understand the potential for renaturation and to prioritize the actions to be implemented. It is adaptable to other municipalities and to other territorial scales (department, region, etc.).

**Mots clés** : Écologie urbaine ; SIG ; Services écosystémiques ; Solutions Fondées sur la Nature / SFN ; Désimperméabilisation