



Rapport de recherche

2023

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

Infrastructure Ecologique du Grand Genève - Synthèse

Lehmann, Anthony; Sanguet, Arthur; Waller, Noé; Guinaudeau, Benjamin

How to cite

LEHMANN, Anthony et al. Infrastructure Ecologique du Grand Genève - Synthèse. 2023

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:172592>

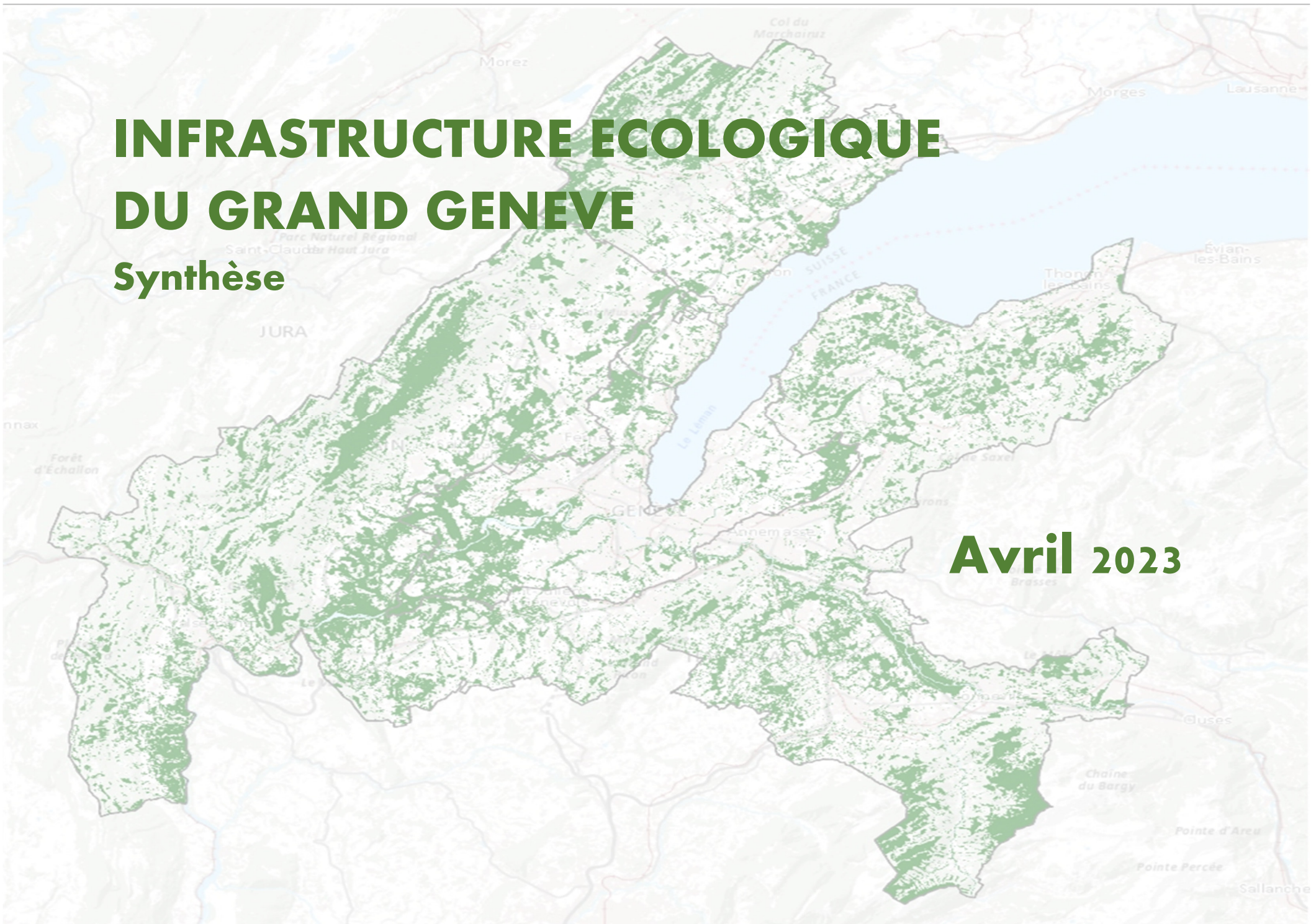
© The author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareALike (CC BY-SA)

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>

INFRASTRUCTURE ECOLOGIQUE DU GRAND GENEVE

Synthèse

Avril 2023



Porteurs du projet:

Anthony Lehmann (Université de Genève et GE-21)

Sylvie Vares (Pôle du Métropolitain Genevois Français)

Aurélie Stamm (Région de Nyon)

Aline Blaser (Etat de Genève)

Citation: Lehmann A., Sanguet A., Waller N., et Guinaudeau B., 2023. Infrastructure écologique du Grand Genève - Synthèse



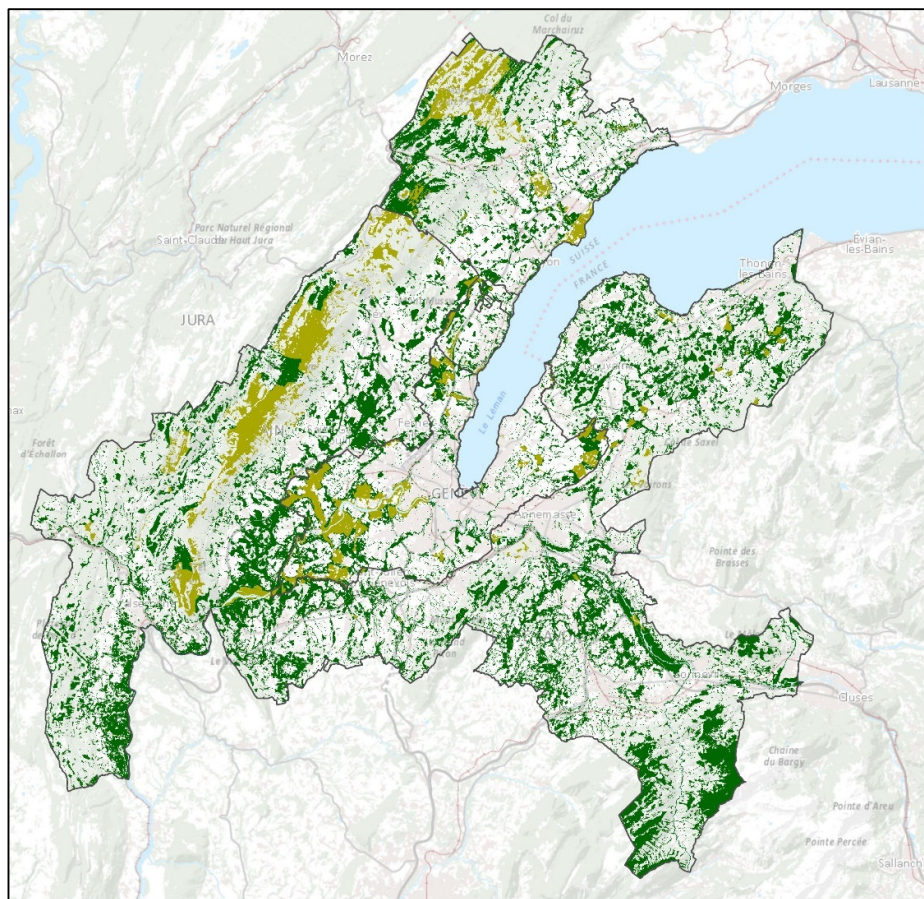
**Région
de Nyon**

**GENEVOIS
FRANÇAIS**
Pôle
métropolitain



Table des matières

Avant-propos	5
Introduction	6
Objectifs	7
Méthodologie.....	9
Résultats.....	10
Les 4 piliers de l'IE	14
Les composantes des piliers.....	20
Recommandations	30
Conclusions	33
Remerciements	34
Références	35



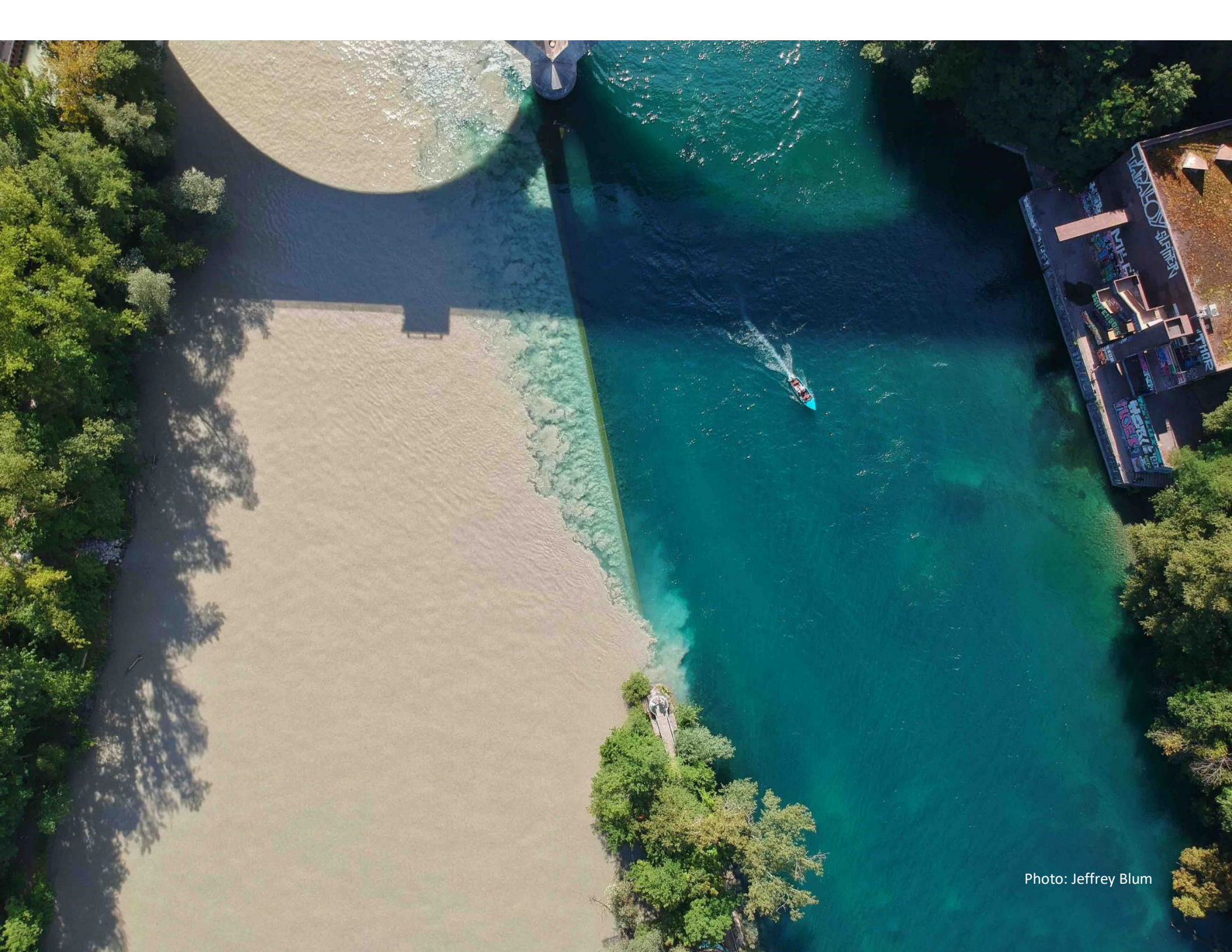


Photo: Jeffrey Blum

Avant-propos

En janvier 2023, les élus du Grand Genève ont signé la Charte pour le Grand Genève en transition avec le désir de faire de la transition écologique la colonne vertébrale de la coopération transfrontalière, reconnaissant que l'érosion du vivant, la déplétion des ressources naturelles et la dégradation du climat sont nos plus grandes menaces. Cette Charte établit 10 engagements stratégiques pour respecter à la fois le plancher social et le plafond écologique.

L'urbanisation et le morcellement, phénomènes en constante expansion à travers le monde et dont le Grand Genève n'est pas épargné, ont pour conséquence une pression croissante sur les espaces naturels et les écosystèmes. Face à cette réalité, les urbanistes doivent relever le défi d'une conception plus durable lors de la mutation des territoires, qui se base sur les principes de préservation de l'environnement et de la biodiversité.

La Charte du Grand Genève en transition établit un objectif très clair : zéro perte nette

d'habitats naturels à l'horizon 2050. Elle reconnaît que le maintien de l'infrastructure (ou continuité) écologique est une condition indispensable à la préservation de la biodiversité. Trois pistes pour l'action sont identifiées :

- Mieux connaître, préserver, régénérer, restaurer, développer l'infrastructure (ou continuité) écologique
- Accorder une attention particulière à la prise en compte de l'infrastructure (ou continuité) écologique dans la planification de tout nouveau projet
- Faire en sorte que la nature et les espaces végétalisés soient répartis de manière à profiter à tous les habitants

La présente étude est en pleine adéquation avec cet objectif et ses pistes pour l'action. Grâce à l'analyse de milliers de données spatialisées, l'équipe de GE21 a mis au point une méthode solide pour identifier les aires naturelles ayant le plus grand intérêt écologique pour le territoire.

Se basant sur des hypothèses de travail (choix de pondération), et par son aspect exploratoire, l'infrastructure écologique n'a pas de valeur contraignante. Cet outil constitue néanmoins une donnée de base indispensable

pour respecter les objectifs fixés dans la Charte du Grand Genève en transition et fournit aux urbanistes des informations utiles sur les zones les plus précieuses du point de vue du maintien de la biodiversité. C'est une contribution importante au service de la planification territoriale durable et nous espérons qu'elle sera exploitée dans toutes les planifications d'agglomération à venir.

CONDITIONS D'USAGE : non opposable, l'infrastructure écologique du Grand Genève et ses composantes (cartographies, rapport et autres livrables) sont des outils de travail et d'analyse technique pour des planifications franco-valdo-genevoises (construction de la Vision territoriale transfrontalière (VTT), élaboration des prochaines générations de projets d'agglomération) ou des données de base dans de futurs travaux tels que l'élaboration de la trame noire transfrontalière. Elle ne se substitue pas aux infrastructures écologiques des collectivités du territoire nécessaires pour l'analyse des effets de mesures opérationnelles.

Introduction

La biodiversité au sens large regroupe la variabilité des organismes vivants à plusieurs échelles (gènes, espèces, écosystèmes) ainsi que les fonctions qu'ils remplissent en permettant un équilibre général des interactions entre ces entités. Cette biodiversité est en déclin rapide à l'échelle globale en raison de la destruction des habitats naturels (déforestation, urbanisation), de la surexploitation des ressources (surpêche, braconnage), du changement climatique (températures, précipitations), de la pollution au sens large (pesticides, plastiques) ainsi que de l'expansion des espèces exotiques envahissantes au détriment des espèces indigènes (IPBES, 2018, 2019).

Ce déclin est indirectement lié à notre mode de vie, en particulier à nos modes de consommation et notre manière d'occuper et d'exploiter le territoire. La conservation de la biodiversité est nécessaire non seulement d'un point de vue éthique et responsable, mais aussi parce qu'elle permet le bon fonctionnement des écosystèmes qui rendent les services nécessaires à nos sociétés et à notre bien-être.

En décembre 2022, La Convention sur la Diversité Biologique (CBD) a proposé d'étendre l'objectif de pourcentage d'aires protégées de 17% pour 2020, à 30% pour 2030, afin d'augmenter la part des territoires où la conservation de la biodiversité et de ses services sont prioritaires.

Le concept d'Infrastructure Ecologique (IE) s'aligne parfaitement sur cet objectif de la CBD et dans la vision moderne de conservation de la nature en prenant en considération le fonctionnement des systèmes socio-écologiques dans leur ensemble (Mace, 2014).

L'IE a eu plusieurs définitions et applications, parfois assez différentes, mais la définition que nous avons retenue se base sur ce qui est promu à l'échelle européenne (Wang & Banzhaf, 2018). Scientifiquement parlant, elle permet la considération de tous les aspects de la biodiversité. Elle est définie comme un réseau d'aires (semi-)naturelles connectées permettant une priorisation des objectifs de conservation de la nature. Elle est généralement composée d'aires nodales qui concentrent la diversité biologique et les services écosystémiques, et de liens permettant une connectivité structurelle (grands écosystèmes non morcellés) et fonctionnelle (possibilité de déplacement de quelques espèces cibles) du réseau.

Son identification est particulièrement intéressante en contexte péri-urbain et permet d'associer une valeur écologique à chaque élément du territoire afin de considérer la protection de la nature dans la planification territoriale (Honeck *et al.*, 2020a).

Pour identifier l'IE, nous nous basons sur l'étude de quatre piliers :

- 1) la distribution de la biodiversité, ou plus spécifiquement de la diversité des espèces et les habitats ;
- 2) la connectivité structurelle, c'est-à-dire une description physique des milieux naturels du territoire, et ;
- 3) la connectivité fonctionnelle qui correspond à l'utilisation effective du territoire par les animaux et qui est parfois regroupée avec la connectivité structurelle pour ne former qu'un troisième pilier (Honeck *et al.*, 2020b).
- 4) la production de services écosystémiques de régulation;

La méthodologie générale est d'étudier ces quatre piliers séparément, puis d'identifier des surfaces qui regroupent au mieux les valeurs élevées de ces quatre piliers sur une surface fixée à 30% du territoire par les politiques publiques sur la biodiversité.

Objectifs

Le Pôle métropolitain du Genevois français, la Région de Nyon et l'Etat de Genève souhaitent disposer d'une cartographie de l'Infrastructure Ecologique (IE) à l'échelle du Grand Genève et de chacun de leur périmètre respectif.

Cette IE apportera des données essentielles dans le cadre de diverses démarches engagées sur le territoire du Grand Genève, notamment:

- Etude environnementale stratégique de la démarche VTT (Vision Transfrontalière Territoriale)
- AMI Zéro Artificialisation Nette dont le Pôle métropolitain du Genevois français est lauréat
- Infrastructure Ecologique du Canton de Genève (Stratégies biodiversité suisse et cantonale)

L'IE s'inscrit pleinement dans l'Objectif 3 de la Charte du Grand Genève en transition (Figure 1). Un impact positif sur tous les autres objectifs peut d'ailleurs être attendu.

Figure 1. Les 10 Objectifs de la Charte du Grand Genève en Transition (Grand-Genève, 2023)

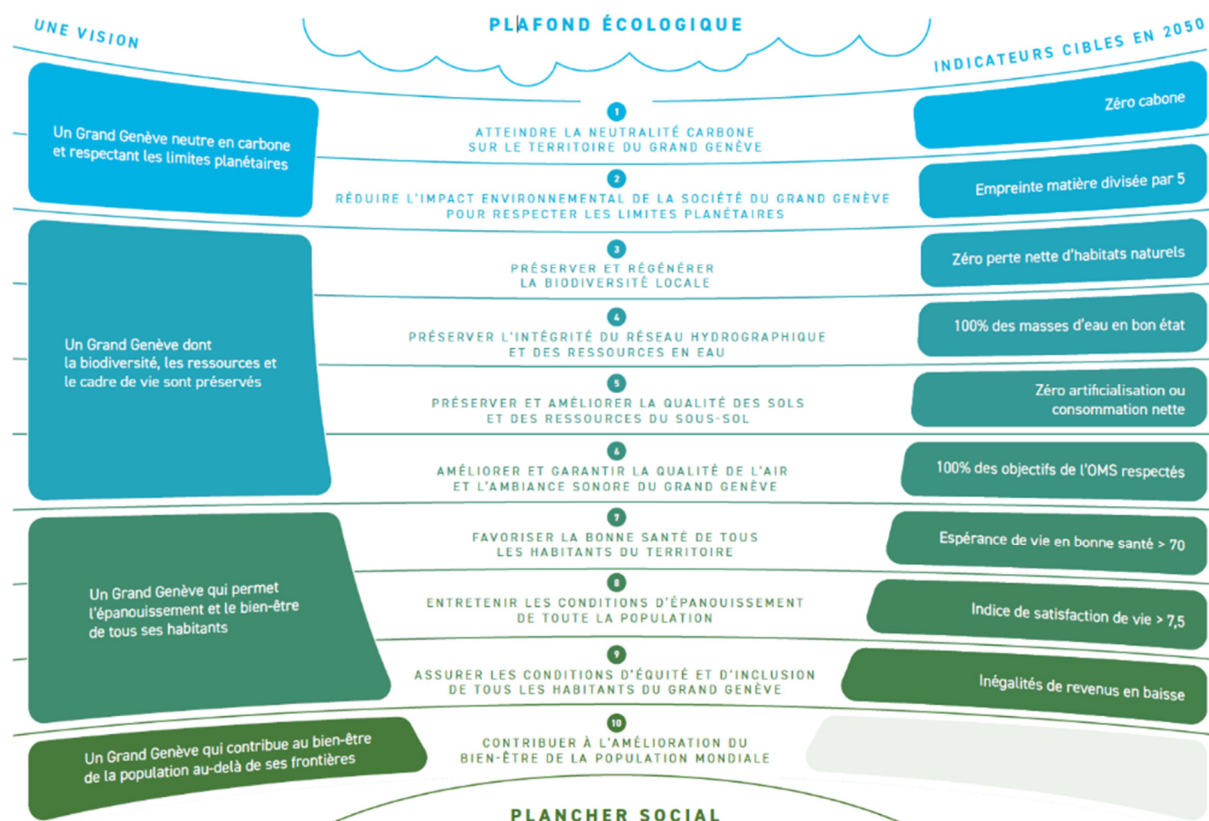




Photo: Anthony Lehmann

Méthodologie

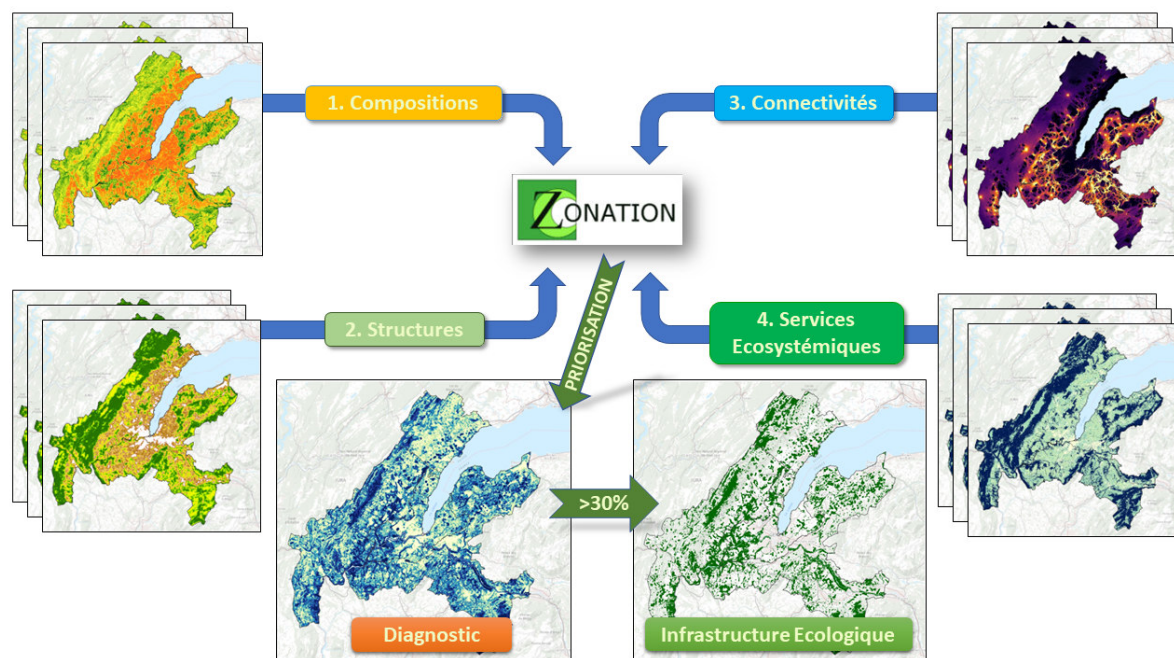
GE-21 a mis au point une méthode d'analyse de priorisation sur le territoire du Canton de Genève qui permet de synthétiser l'ensemble des connaissances disponibles sur la biodiversité à travers un Diagnostic de Biodiversité. Ce diagnostic est couvrant et hiérarchise l'ensemble d'un territoire d'un point de vue de la valeur relative de biodiversité en chaque point selon quatre piliers d'information: Composition, Structure, Connectivité et Services écosystémiques (Figure 2).

A partir de ce diagnostic, il est possible d'extraire l'infrastructure écologique (IE) en retenant les meilleurs 17% du territoire qui constituent les zones nodales (réservoirs de biodiversité), ainsi que les meilleurs 13% suivants, qui représentent les zones relais (corridors biologiques). Ces objectifs chiffrés viennent des objectifs d'Aichi pour les zones nodales et du Forum Biodiversité Suisse, ainsi que des nouveaux objectifs post 2020 de la Convention sur le Biodiversité Biologique (CBD), pour les zones relais. Ces objectifs sont

repris également au niveau de la Confédération helvétique et du canton de Genève.

Cette méthode demeure flexible et adaptable. Il est possible en effet d'attribuer selon les objectifs poursuivis plus de poids à un des piliers si on le juge plus important ou plus apte à protéger la biodiversité et les services qu'elle nous rend.

Figure 2. Les 4 piliers permettant le Diagnostic de la Biodiversité et l'extraction des 30% meilleurs pourcents de l'Infrastructure Ecologique



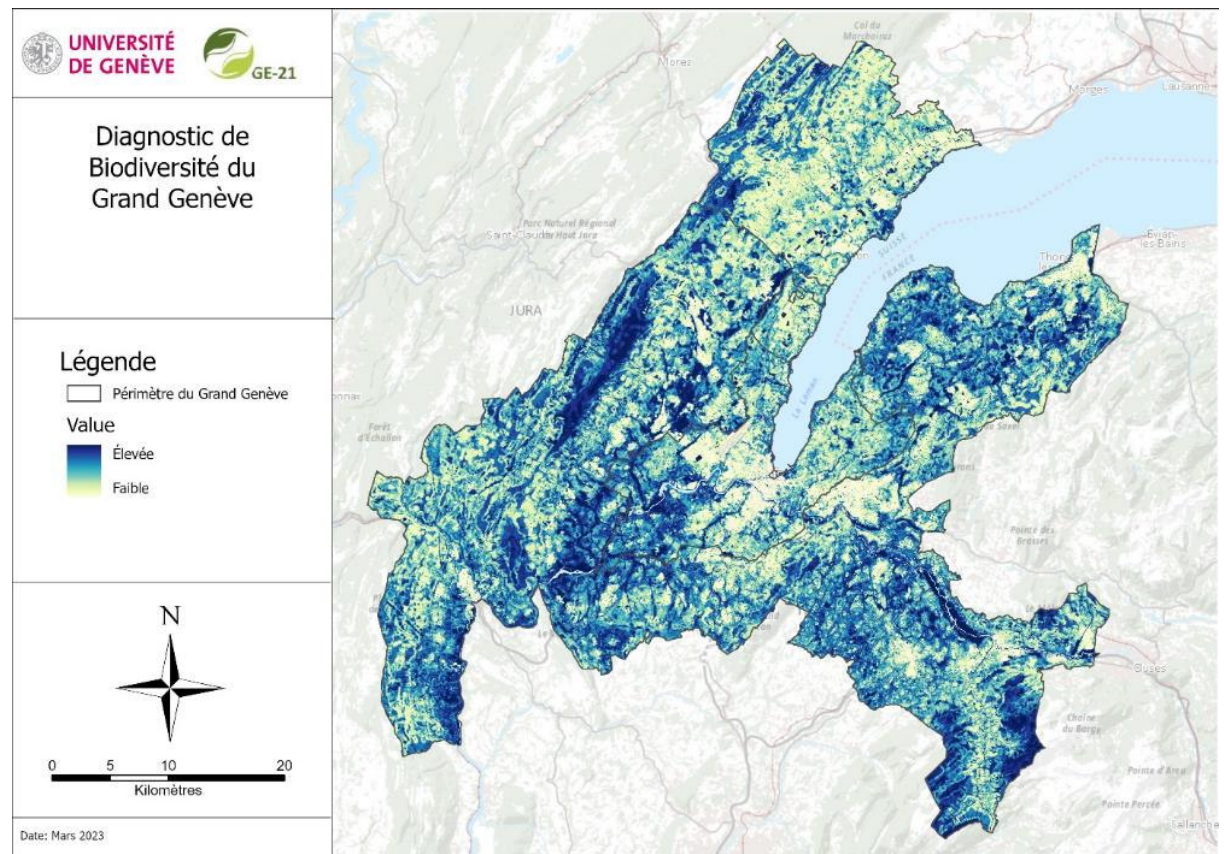
Résultats

Priorisation: Diagnostic Ecologique

L'identification de l'infrastructure écologique repose sur la sélection de portions territoriales avec le plus haut potentiel estimé de qualité écologique. Ce sont les différents indicateurs de biodiversité qui permettent de définir ce potentiel de qualité écologique. Afin de concentrer et de résumer les informations que l'ensemble des indicateurs traduit, la méthodologie fait appel au concept de priorisation spatiale de la conservation pour obtenir un **diagnostic écologique** (Figure 3).

Le concept de priorisation spatiale repose sur l'allocation optimale et spatiale des ressources dans un but de hiérarchiser les différents objets du territoire. Ce cadre théorique permet d'identifier quelles sont les structures territoriales à conserver en priorité, au travers des différentes données considérées.

Figure 3- Diagnostic écologique



Les poids choisis pour chaque variable d'entrée dans la priorisation sont donnés dans le Tableau 1. La méthode de sélection de l'IE basée sur les meilleurs 30% de chacun des territoires considérés est présentée dans la Figure 4.

Tableau 1 – Poids alloués aux différents indices et piliers pour le calcul de l'IE sur un poids total de 200.

		Poids /couche	Nbre couche	Poids/ groupe	Poids/pilier
Pilier composition	Espèces flore	0.0116171	1480	25	100
	Espèces flore LR	0.0232342	336		
	Espèces faune	0.0347222	450	25	
	Espèces faune LR	0.0694444	135		
	Composition Habitats	2.5	20	50	
Pilier structure	Structure	8	5	40	40
Pilier services écosystémiques	Service écosystémique	4	5	20	20
Pilier connectivité	Connectivité	5 Trame Noire = 10	7	40	40
Total			2438	200	

Sélection de l'Infrastructure Ecologique

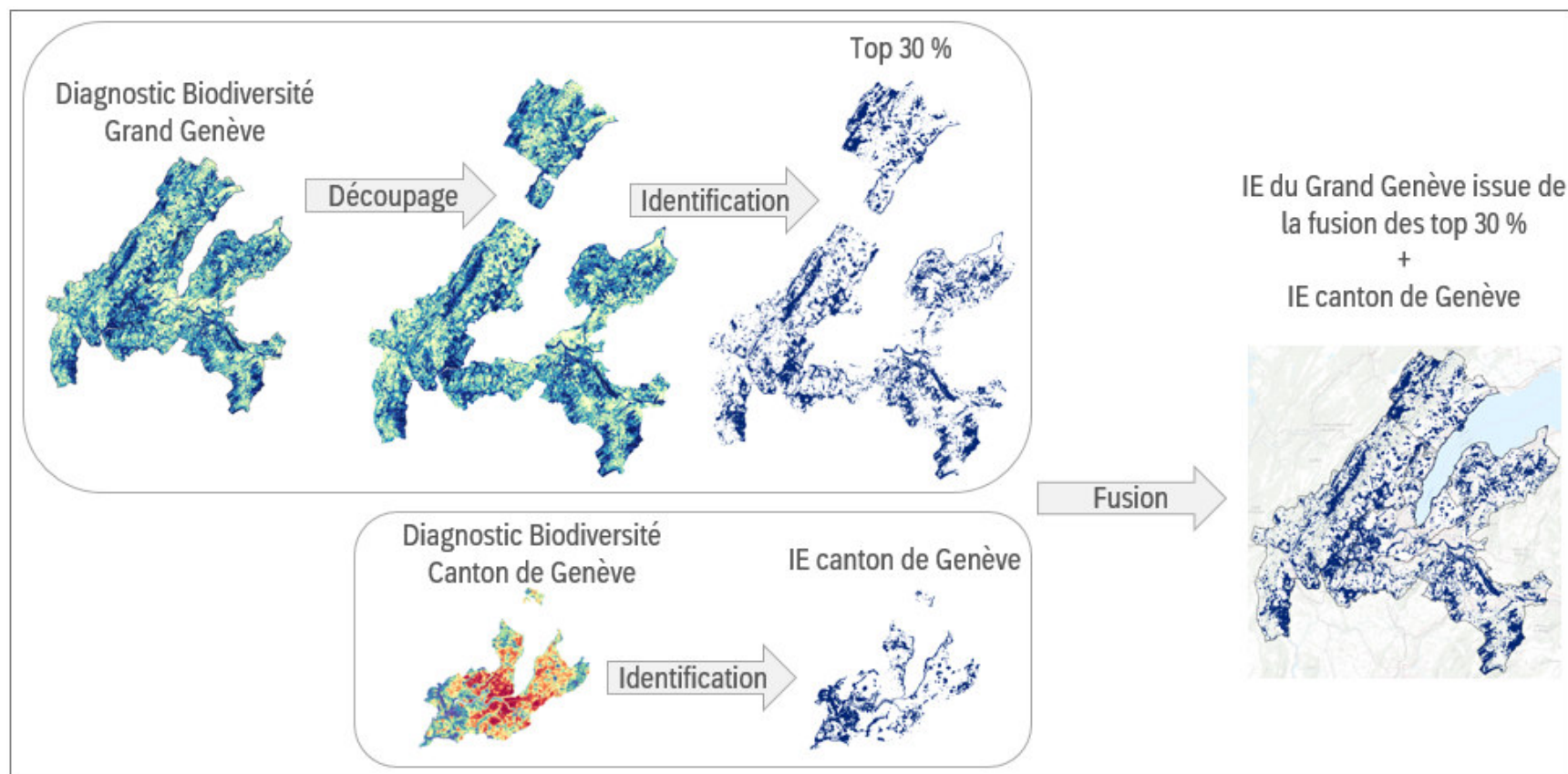
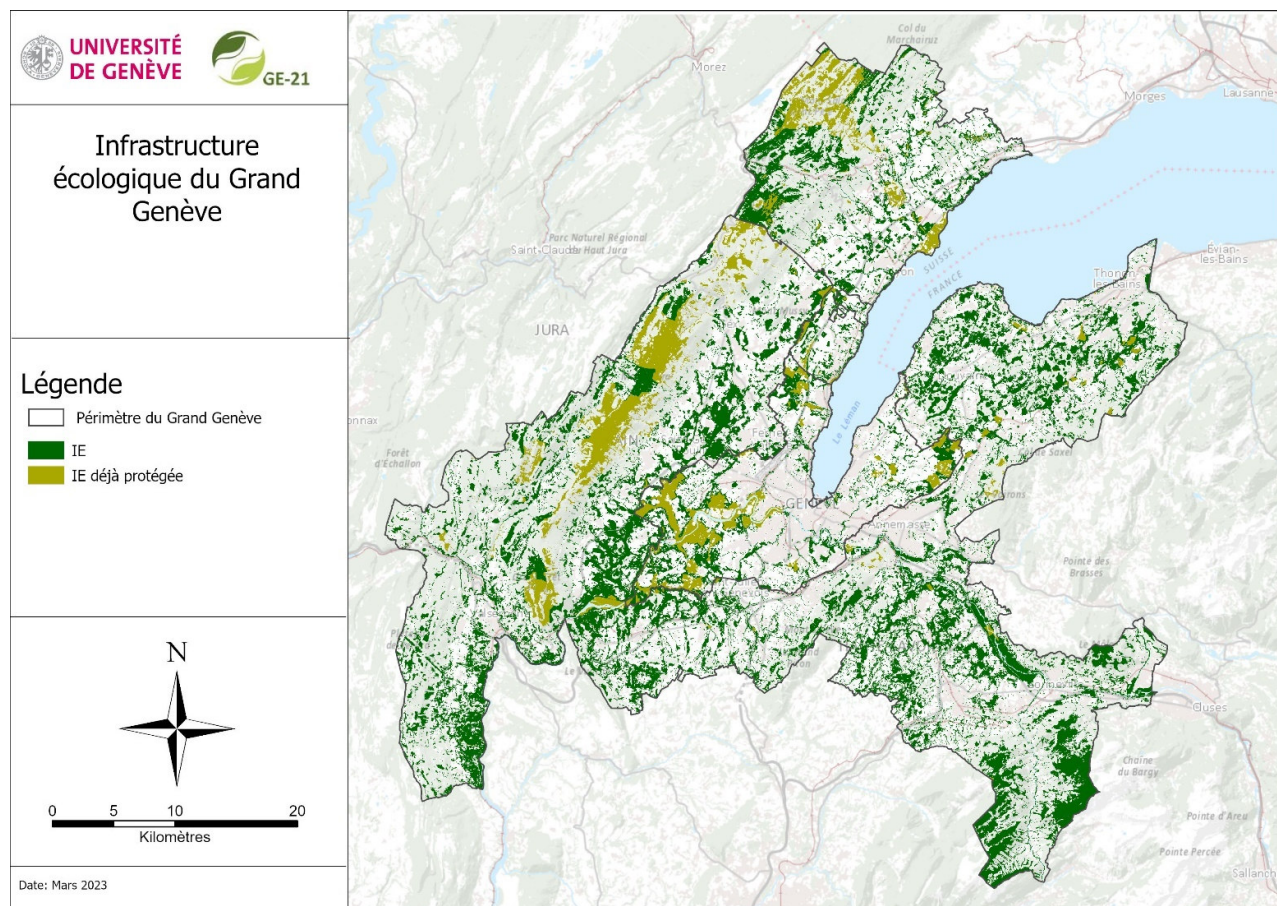


Figure 4. L'infrastructure écologique est constituée de la fusion des meilleurs 30 % des entités du Pôle métropolitain et du district de Nyon, identifiés à partir de découpages individuels du diagnostic de biodiversité du Grand Genève, et de l'infrastructure écologique cantonale genevoise, issue du diagnostic biodiversité à l'échelle cantonale.

Le résultat final de notre analyse de l'**Infrastructure Ecologique** du Grand Genève est présenté dans la Figure 5 avec une mise en évidence des zones qui ont déjà un statut de protection.

On retrouve une couverture de l'IE homogène sur le territoire, étant donné que chaque entité possède la même proportion de 30% de territoire couverte par l'infrastructure écologique (Figure 4). Les grandes structures naturelles sont identifiées au sein des différentes entités, ce qui permet d'assurer une certaine continuité du réseau dans les zones transfrontalières. Chaque entité possède un classement (diagnostic écologique) relatif du potentiel estimé de qualité écologique qui lui permet de prioriser les zones même en dehors de l'infrastructure écologique.

Figure 5. Infrastructure écologique du Grand Genève avec les éléments déjà protégés



Les 4 piliers de l'IE

Pilier 1: Composition

Le premier pilier appelé « biodiversité » regroupe l'analyse de la distribution d'espèces végétales et animales ainsi que des habitats. Il est préférable de l'appeler « composition » car il ne couvre pas tous les aspects de la biodiversité décrits plus tôt. Néanmoins, l'étude de la distribution des plantes, des animaux et des habitats permet de mettre en évidence les milieux les plus intéressants pour la conservation d'un grand nombre d'espèces, ou pour la conservation d'espèces rares ou menacées.

Ce pilier est composé de:

- 1816 cartes de distribution d'espèces végétales dont 336 menacées sur la liste rouge suisse.
- 585 cartes de distribution d'espèces animales dont 135 menacées en liste rouge suisse.
- Distribution des habitats naturels.



©Biedermann

Pilier 2: Structure

Ce pilier regroupe plusieurs indices qui étudient la structure du paysage. La structure d'un territoire est l'organisation spatiale de son paysage et des éléments qui le constituent. Dans le cadre de l'identification de l'IE, on s'intéresse ici surtout à la manière dont sont agencés les milieux naturels ainsi que leur qualité. Un paysage bien structuré possède des habitats naturels bien connectés (ou peu fragmentés), diversifiés, et suffisamment grands pour permettre le maintien d'espèces sensibles aux effets de lisière.

Ce pilier est composé de:

- Indice de fragmentation (ou de continuité) des habitats naturels
- Perméabilité des classes d'utilisation du sol
- Naturalité du territoire
- Diversité des milieux verts (indice de Shannon)
- Indicateur des zones centrales



©Revillard

Pilier 3: Connectivité

La connectivité fonctionnelle joue un rôle particulièrement important, notamment pour les déplacements des animaux pour se nourrir, se reproduire, trouver des ressources ou migrer. Elle définit l'usage concret du paysage par les animaux et donc leur capacité à circuler sur le territoire. À l'inverse de la structure du paysage qui étudie les caractéristiques intrinsèques du territoire, la connectivité fonctionnelle dépend de l'organisme considéré, les milieux naturels favorables à la survie d'une espèce ou les barrières écologiques peuvent largement varier. En effet, alors qu'une autoroute ou une clôture sont généralement des barrières écologiques pour les mammifères terrestres ou les amphibiens, cela n'est évidemment pas le cas pour un oiseau. De même, alors qu'un cerf peut parcourir plusieurs kilomètres par jour pour trouver de la nourriture, ce n'est pas le cas des amphibiens qui auront besoin d'un maillage plus fin du territoire pour se rendre d'un habitat à l'autre. Ainsi, il est intéressant de calculer la connectivité pour plusieurs organismes différents afin d'avoir un résultat représentatif de la faune. L'avis d'experts est nécessaire pour calibrer les données afin d'identifier l'habitat de prédilection de chaque

animal, la distance qu'il peut parcourir ainsi que sa capacité à traverser, ou non, les habitats qui composent le Grand Genève.

Ce pilier est composé de :

- Zones de contrainte pour 3 espèces (cerf, lièvre, chevreuil)
- Connectivité globale & corridors pour 3 espèces (cerf, lièvre, chevreuil)
- Trame noire (pollution lumineuse)



Passage
à Faune
de Viry.

Pilier 4: Services écosystémiques

Ce pilier regroupe plusieurs services écosystémiques de régulation et de support à la biodiversité, qui contribuent au bien-être humain. Il existe d'autres types de services écosystémiques comme ceux de production (de bois, de nourriture, de ressources). Ces services n'ont pas été intégrés à l'analyse car ils entrent parfois en contradiction avec l'intention première de conserver les espaces naturels, notamment en y prélevant des ressources, ou bien en les transformant en milieux agricoles productivistes. Par exemple, au lieu de sélectionner les zones d'agriculture intensive qui permettent de produire de la nourriture, on préfère ici identifier les milieux naturels favorables au maintien des populations de pollinisateurs qui permettront la production de certains fruits et légumes que nous consommons. Les services écosystémiques de régulation incluent également l'atténuation des effets du changement climatique ou d'autres événements météorologiques. Les services dits culturels n'ont pas été inclus car ils peuvent varier selon les préférences de chacun et les valeurs données, par exemple, aux paysages.

Ce pilier se compose de services de soutien de régulation:

- Surfaces en faveur des pollinisateurs
- Stockage du carbone
- Régulation de la qualité de l'eau

- Contrôle de l'érosion et rétention des sédiments
- Régulation du climat local et qualité de l'air



Stratégie biodiversité
du canton¹

¹ <https://www.ge.ch/document/strategie-biodiversite-geneve-2030-plan-action>

Priorisation de l'Infrastructure Ecologique

Le calcul d'allocation spatiale des ressources correspond à une analyse multicritère, dans laquelle les indicateurs de biodiversité au sein des différents piliers sont pris en considération. Nous utilisons un logiciel de priorisation spatiale – *Zonation 5* (Moilanen *et al.*, 2005, 2009; Minin *et al.*, 2014) – qui, grâce à un algorithme itératif, hiérarchise l'ensemble du territoire étudié. Ce logiciel génère un classement des priorités sur la totalité de la matrice territoriale, en attribuant une valeur unique à chaque cellule, qui traduit son importance relative par rapport aux autres sur la base d'une méthode additive (ABF). Nous nommons **diagnostic de biodiversité** le classement hiérarchique et relatif des priorités sur l'ensemble du territoire. À partir du diagnostic de biodiversité, nous identifions les 30 % des cellules avec les valeurs les plus élevées.

Ces meilleurs 30% représentent l'**infrastructure écologique**. Il s'agit de la portion territoriale avec le plus haut potentiel estimé de qualité écologique, ou, selon un autre point de vue, la portion pour laquelle la

perte en biodiversité serait la plus grande si celle-ci venait à disparaître.

L'approche méthodologique globale et le choix du logiciel de priorisation spatiale reposent sur les travaux et connaissances du réseau de scientifiques GE-21 (Honeck *et al.*, 2021), qui est mandaté par l'OFEV (Office fédéral de

l'environnement - CH) pour l'identification de l'infrastructure écologique du canton de Genève, dans le cadre de la Stratégie Biodiversité Genève 2030 (OCAN, 2018). La pondération des piliers proposée dans le graphique ci-dessous est la même que pour l'IE cantonale.

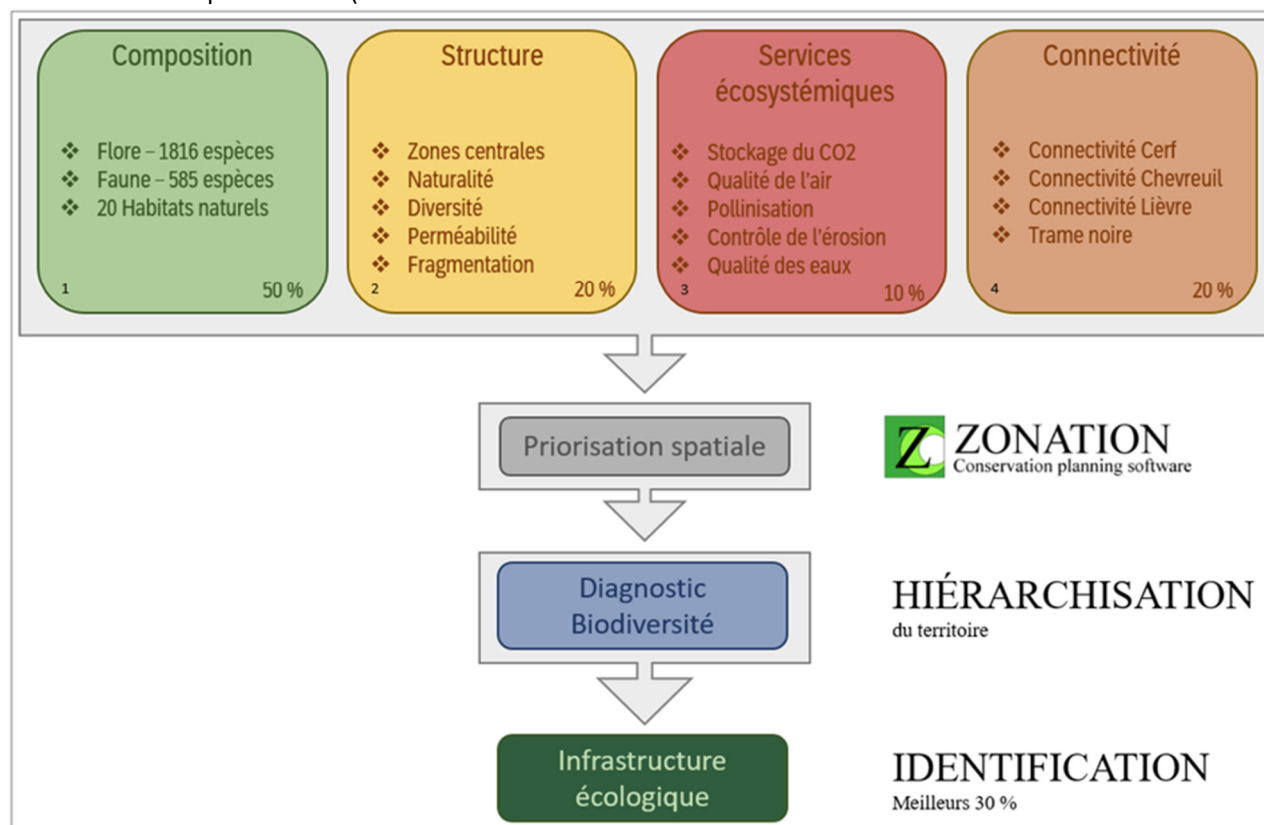




Photo: Anthony Lehmann

Les composantes des piliers

Pilier 1: Composition

Distribution des espèces

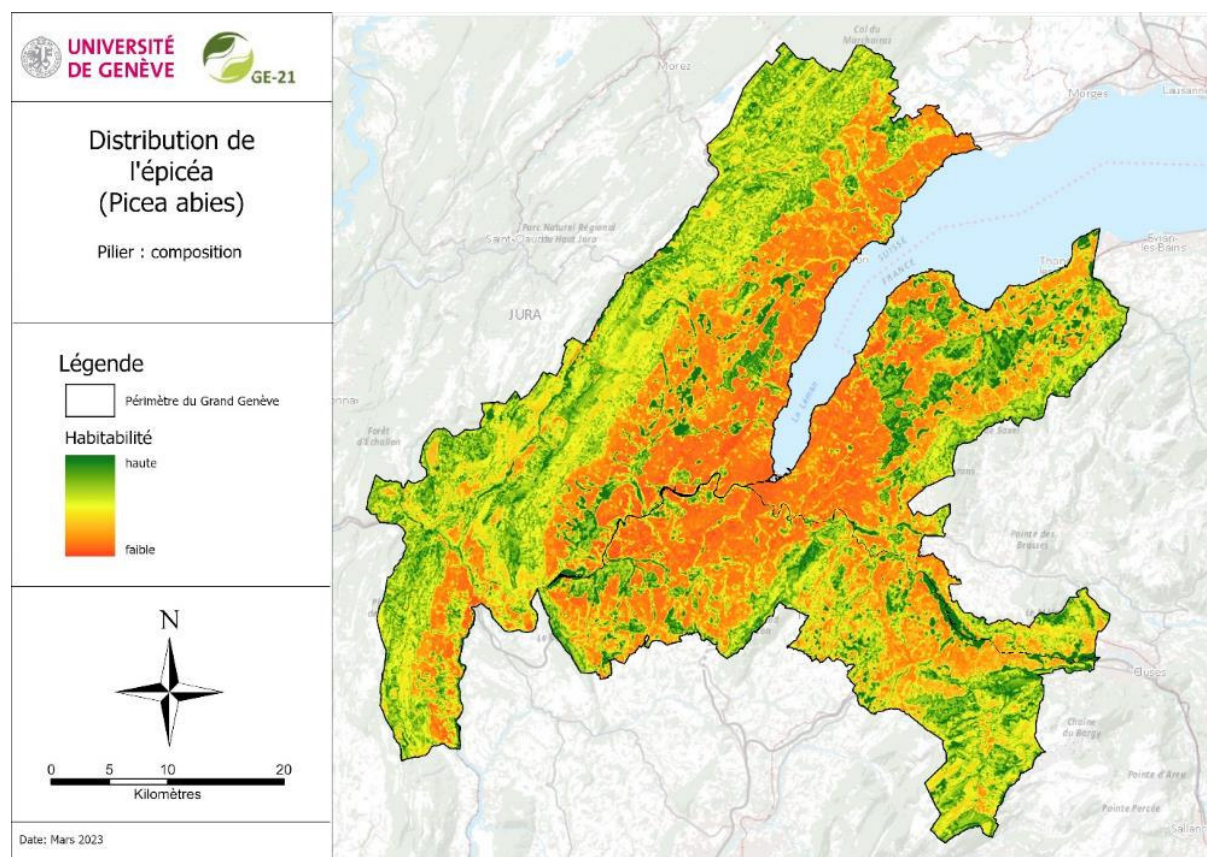
Les données naturalistes concernant la localisation des plantes et des animaux sont souvent ponctuelles dans le temps et l'espace. C'est-à-dire que l'on a la connaissance de la présence d'une espèce en un instant et à un endroit donné, sans pour autant savoir si l'espèce est présente ou non aux alentours, ou bien si cette présence est exceptionnelle ou pérenne. Ainsi, à part pour quelques espèces charismatiques ou très localisées, il est souvent difficile de créer des cartes de distribution pour les plantes et les animaux car il est pratiquement impossible d'étudier minutieusement l'ensemble d'un territoire.

Les **modèles de distribution** permettent de créer une carte d'habitabilité du territoire pour chaque espèce en se basant sur des observations de celle-ci dans leur milieu naturel ainsi qu'un ensemble de variables météorologiques, topographiques, pédologiques et biotiques.

Le résultat obtenu pour chaque espèce correspond à une carte du territoire qui met en avant les zones favorables au développement d'une espèce, ou zones habitables, que l'on peut alors considérer comme sa « distribution potentielle » (Figure 6). La prise en compte d'un maximum d'espèces, pour lesquelles nous

avons suffisamment de données d'observation, permet une identification fiable des milieux importants pour la conservation.

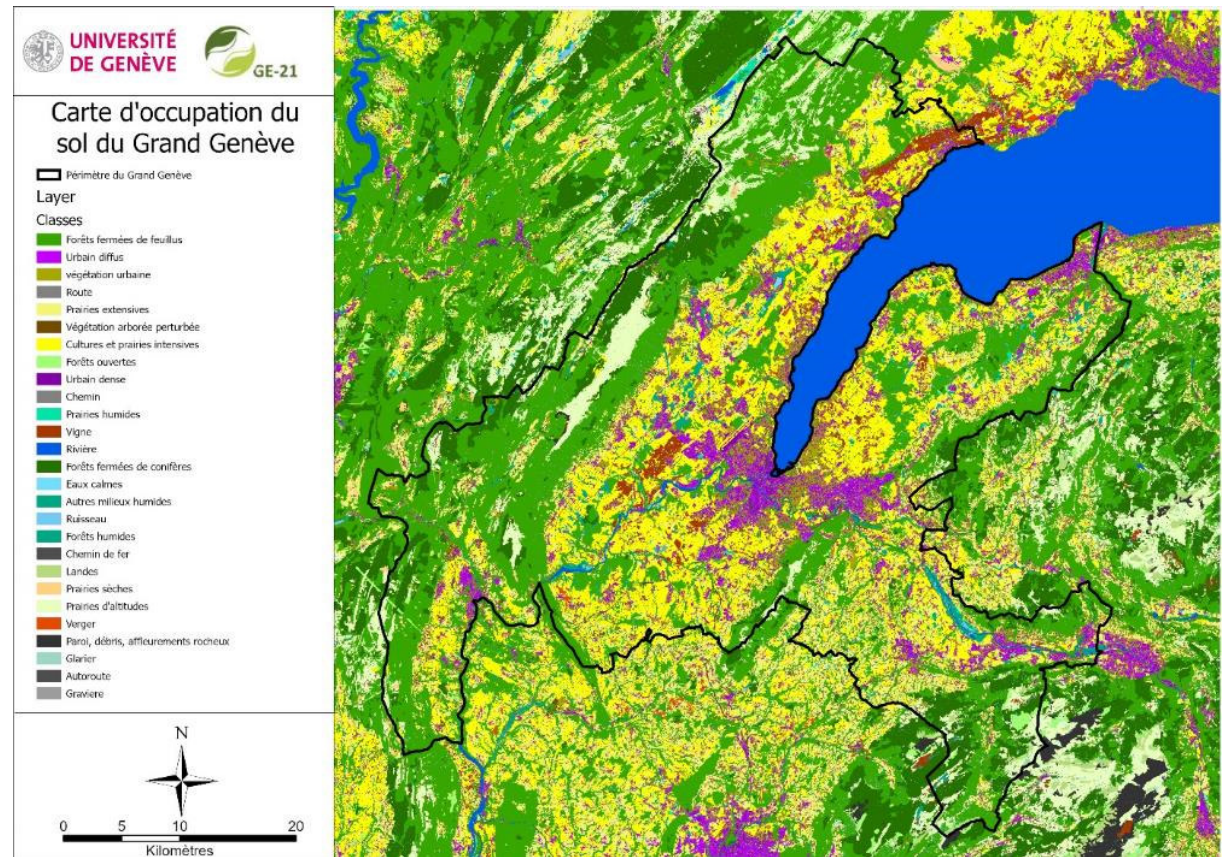
Figure 6. Carte d'habitabilité du territoire pour l'épicéa (*Picea abies*).



Milieux naturels

La couverture du sol et plus particulièrement la distribution des **habitats naturels** est une donnée fondamentale pour la création d'une infrastructure écologique. En effet, non seulement les habitats sont utilisés dans les modélisations décrits précédemment, mais ils le sont aussi dans les trois autres piliers. Il est donc impératif de s'assurer d'avoir une carte des milieux naturels à jour (Figure 7), suffisamment précise et contenant le plus de catégories possibles (Sanguet *et al.*, 2022). Les habitats naturels sont les milieux de vie de tous les organismes vivants et leur considération dans l'IE est alors fondamentale.

Figure 7. Carte d'occupation du sol



Pilier 2: Structure

La **naturalité** (Figure 8) correspond à la qualité écologique des différentes classes de couverture du sol. Un milieu très anthropique aura une naturalité faible alors qu'un milieu peu perturbé aura une naturalité élevée. Les milieux très naturels sont plus intéressants pour l'IE car ils maintiennent la biodiversité locale et les fonctions des écosystèmes.

Ainsi, l'urbain dense aura la valeur la plus basse (1), l'urbain diffus (résidentiel) une valeur de 2, les milieux cultivés une valeur de 3, les forêts une valeur de 4 et les prairies alpines et extensives la valeur la plus élevée (5).

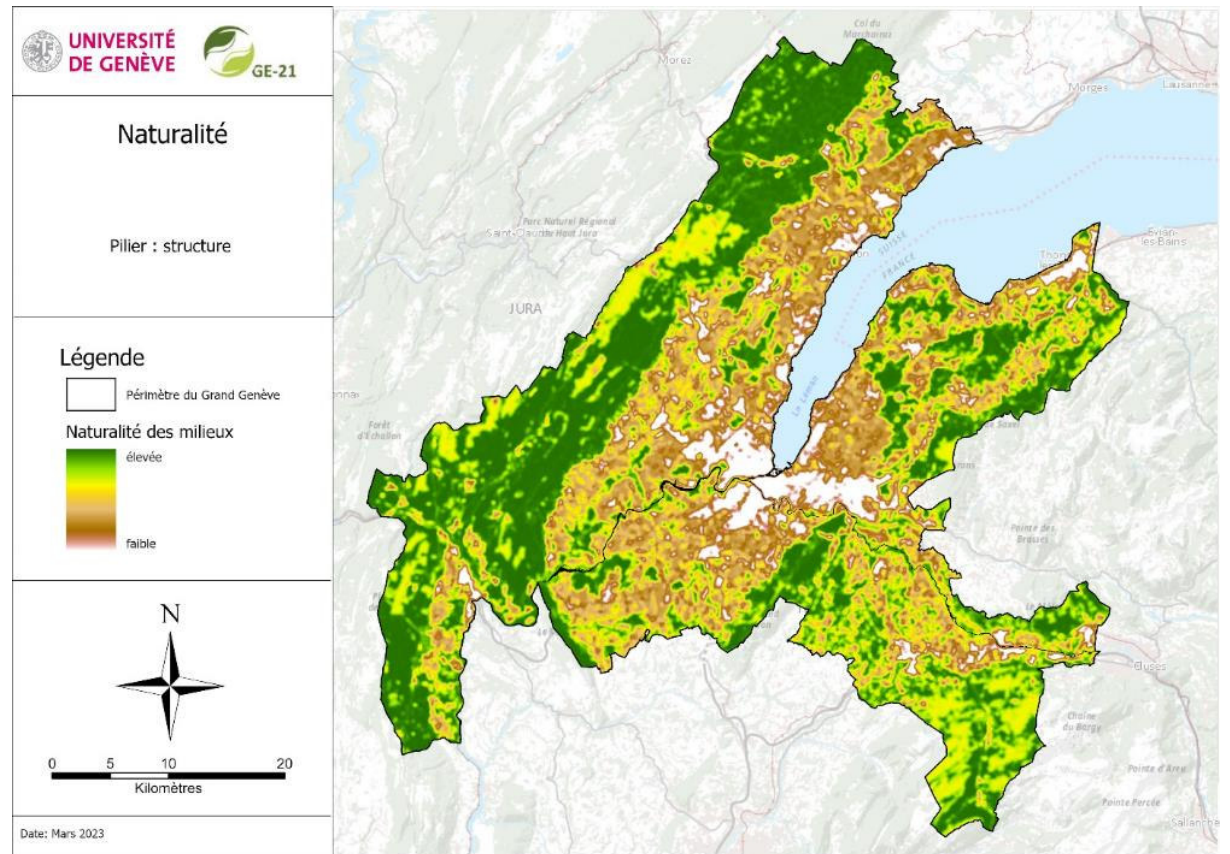


Figure 8. Carte de la Naturalité des habitats

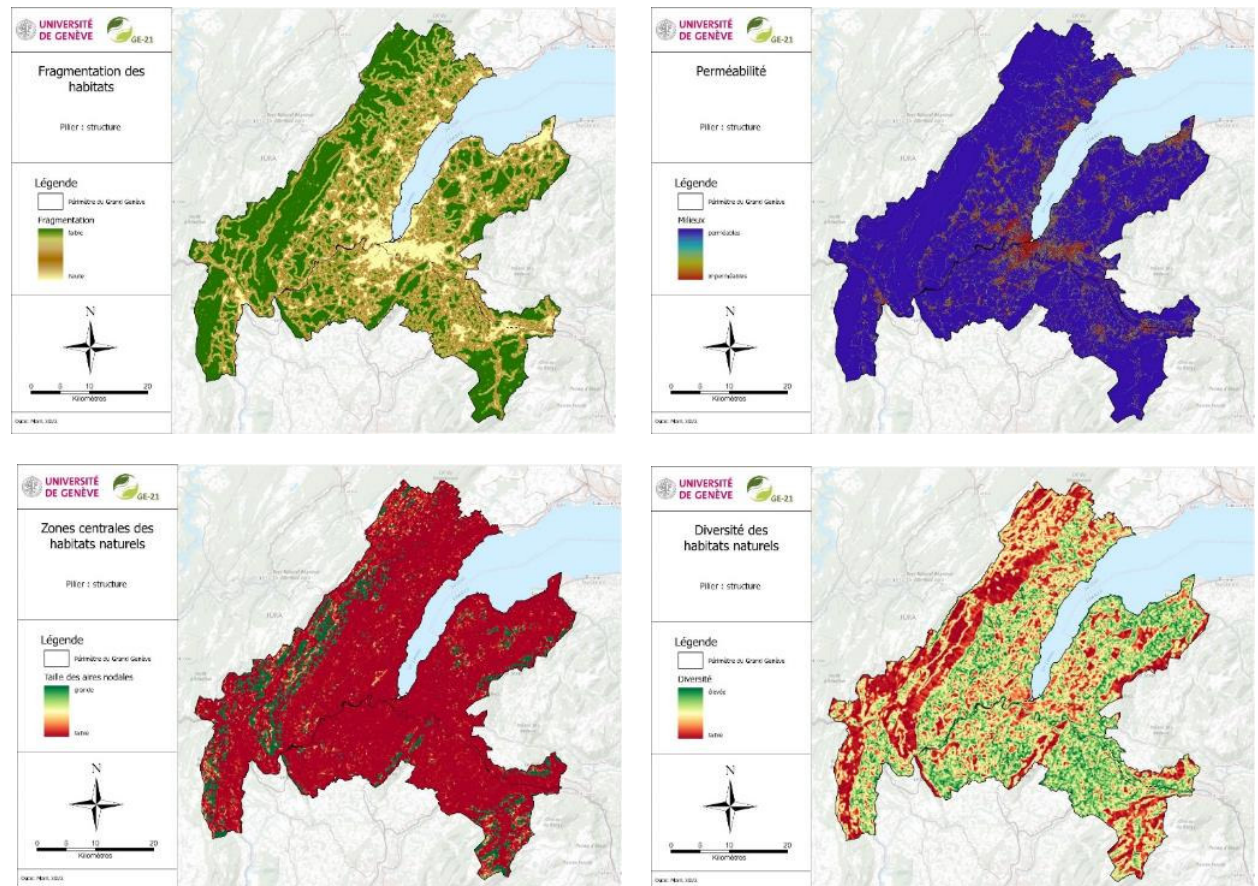
La **fragmentation** des habitats naturels (Figure 9a) apparaît lorsque leur continuité est interrompue par des éléments du paysage, souvent anthropiques, appelés « barrières écologiques ».

La **perméabilité** d'un milieu (Figure 9b) est sa capacité à laisser passer l'eau dans son sous-sol. Un milieu perméable permet d'éviter les écoulements d'eau, de recharger les nappes phréatiques et de maintenir la vie du sol et donc celle des plantes et animaux au-dessus.

L'indicateur des **zones centrales** (Figure 9c) est complémentaire au précédent puisqu'il permet d'identifier les habitats qui ont une surface suffisamment grande pour ne pas subir des effets de bord trop importants en son centre. Il prend une valeur maximale pour les grandes surfaces de forme circulaire.

L'**indice de Shannon** (Figure 9d) correspond à la diversité des milieux naturels dans une surface donnée. Un territoire hétérogène avec une myriade d'habitats naturels permet d'accueillir plus d'espèces sur une surface plus petite et donc d'augmenter les effets positifs d'une biodiversité élevée.

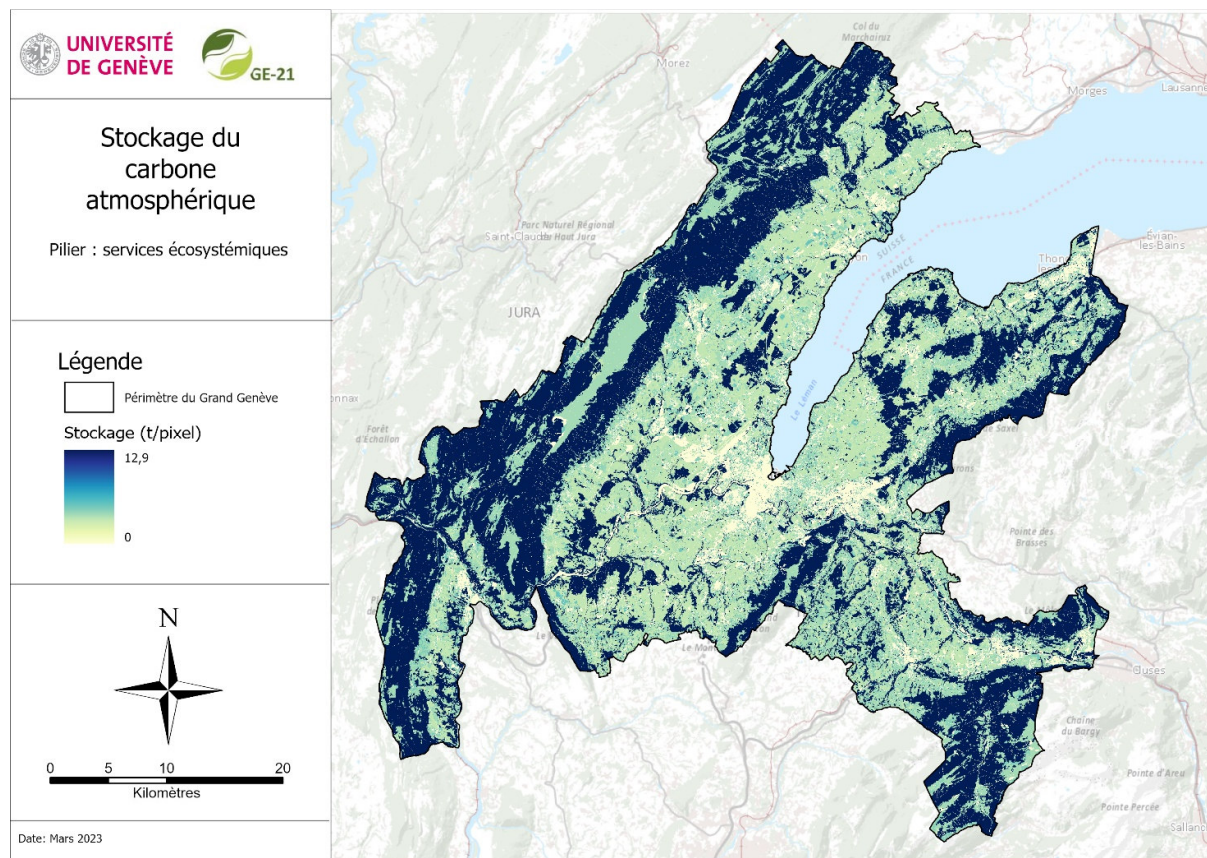
Figure 9. Cartes a) Fragmentation, b) Perméabilité, c) Zones centrales, d) Diversité des milieux naturels



Pilier 3: Services écosystémiques

Le dioxyde de carbone (CO_2) est un gaz à effet de serre massivement rejeté dans l'atmosphère par l'utilisation d'énergie fossile. Son accumulation démesurée est aujourd'hui la principale cause du changement climatique observé. En revanche, il existe des possibilités naturelles pour absorber le CO_2 atmosphérique car il fait partie du cycle du carbone. De manière générale, les océans, les milieux humides, les forêts et les prairies naturelles sont en mesure de stocker du carbone atmosphérique et donc de compenser en partie nos émissions, soit en l'accumulant dans la biosphère (tronc des arbres par exemple), ou en l'incorporant dans les sols. Pour modéliser **le stockage du CO_2** (Figure 10), on donne une valeur de stockage à chaque catégorie d'habitat puis on cartographie cette valeur en utilisant une modélisation avec des valeurs d'expert.

Figure 10. Stockage du carbone



Les milieux naturels représentent des **surfaces en faveur des pollinisateurs** (Figure 11a) qui permettent d'assurer la pérennité des populations et donc de maintenir la pollinisation de nos cultures. En se basant sur une liste de 20 pollinisateurs communs dans la région du Grand Genève et sur les connaissances de leur mode de vie, il est possible d'identifier un indice d'abondance de ces espèces sur une carte.

La surface foliaire est un indice important pour qualifier la capacité des milieux à filtrer l'air mais aussi à réguler le climat local et à atténuer les effets du changement climatique en créant des **microclimats ombragés et frais** (Figure 11b). Pour calculer la surface foliaire des milieux, on se base sur des images satellites qui mesurent la quantité du « vert » au cours de l'année.

Les résidus d'engrais ou de pesticides peuvent ruisseler jusqu'au cours d'eau ce qui peut poser de nombreux problèmes à la biodiversité aquatique. **La régulation de la qualité des eaux** via la rétention des nutriments (Figure 11c) atténue le phénomène d'eutrophisation des mares, particulièrement néfaste pour la faune et la flore de ces milieux.

Le contrôle de l'érosion via la rétention des sédiments (Figure 11d) limite la perte de

matière organique et nutritive des milieux mais aussi les risques de glissements de terrain ou d'autres problèmes similaires. Les milieux capables d'éviter l'érosion font partie des

solutions naturelles permettant de se protéger contre ces aléas.

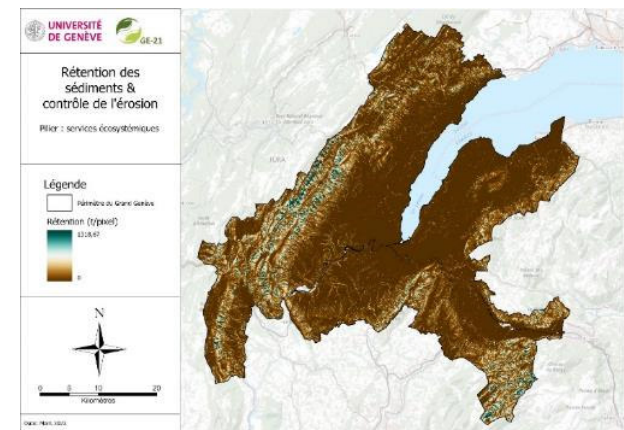
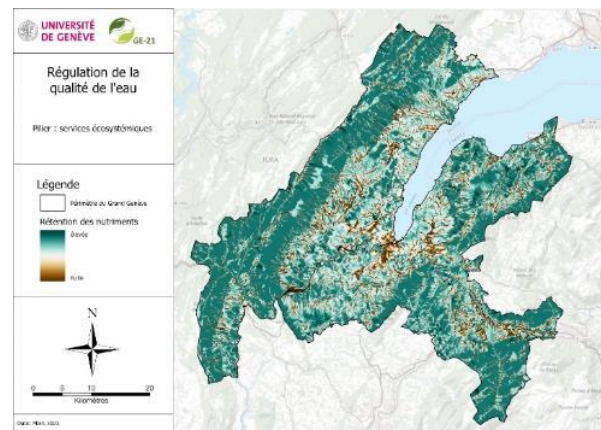
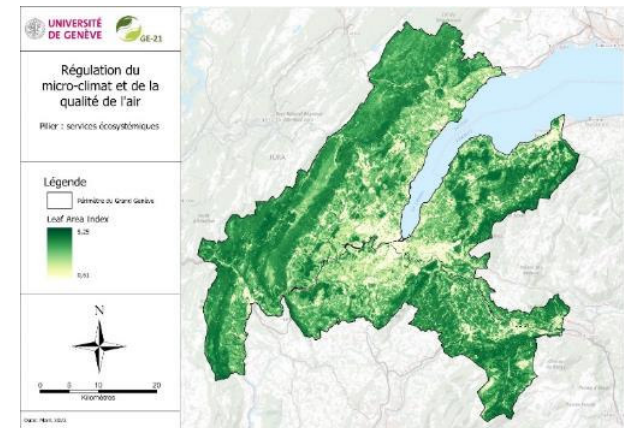
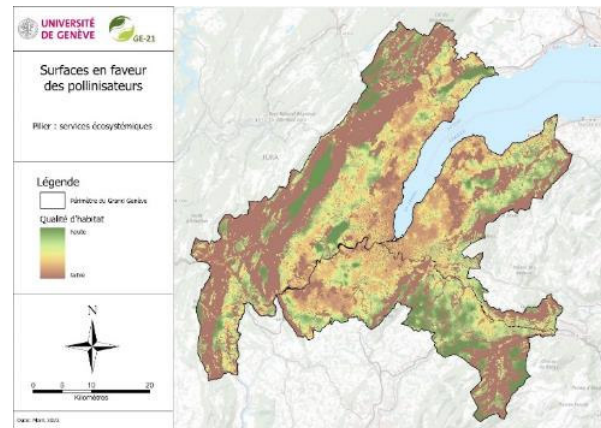


Figure 11. Cartes a) Pollinisateurs, b) Microclimat, c) Rétention des nutriments, d) Rétention des sols

Pilier 4: Connectivité

Cette première carte permet de mettre en avant les zones du paysage où les animaux sont obligés de passer pour se rendre d'un habitat à l'autre. Ces corridors ont donc une importance particulière puisqu'ils représentent l'unique passage possible pour cet animal. Leur conservation permet alors d'assurer la connectivité du territoire pour l'animal concerné. La méthodologie pour identifier ces corridors se base sur la théorie des circuits qui modélise le passage de l'électricité entre deux points en fonction de la résistance de la matrice. La carte identifiant **les zones de contraintes** (Figure 12) est modélisée pour les trois espèces sélectionnées dans ce travail : le cerf, le chevreuil et le lièvre.

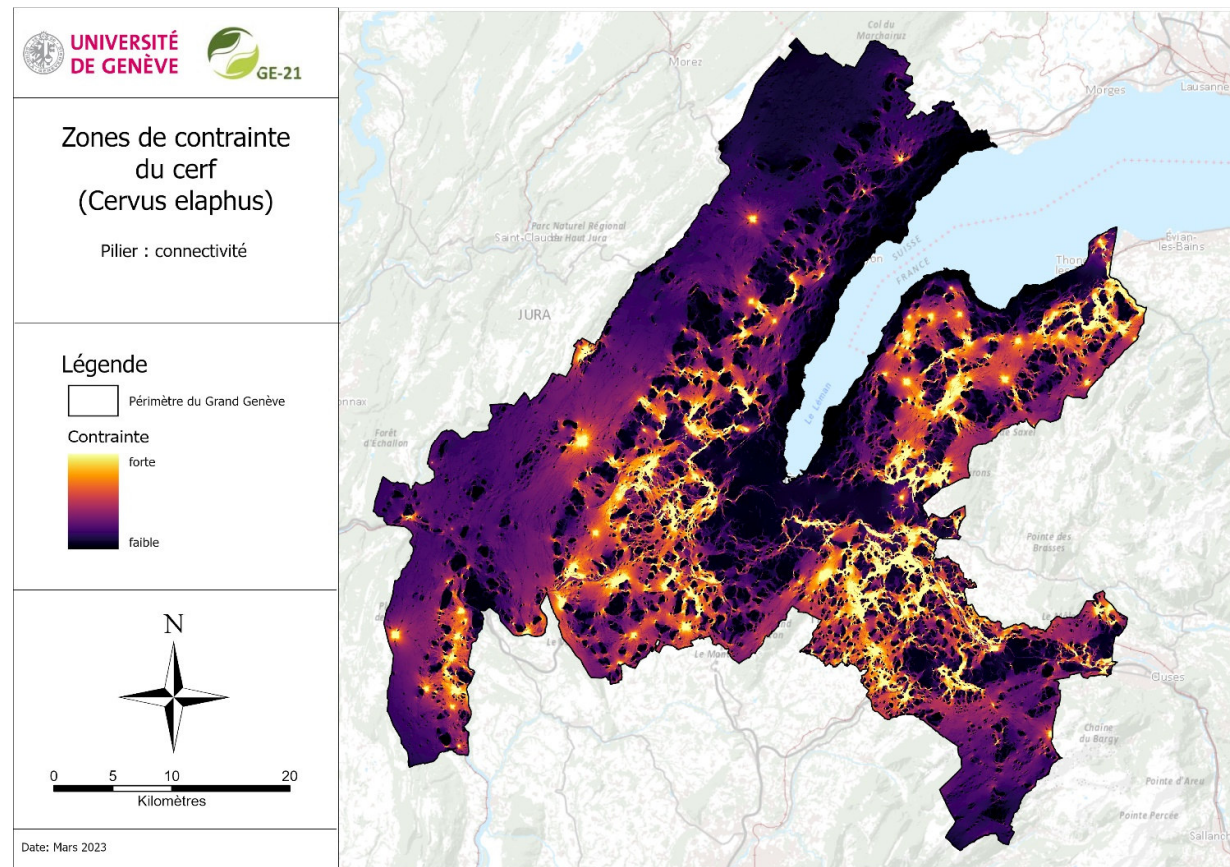
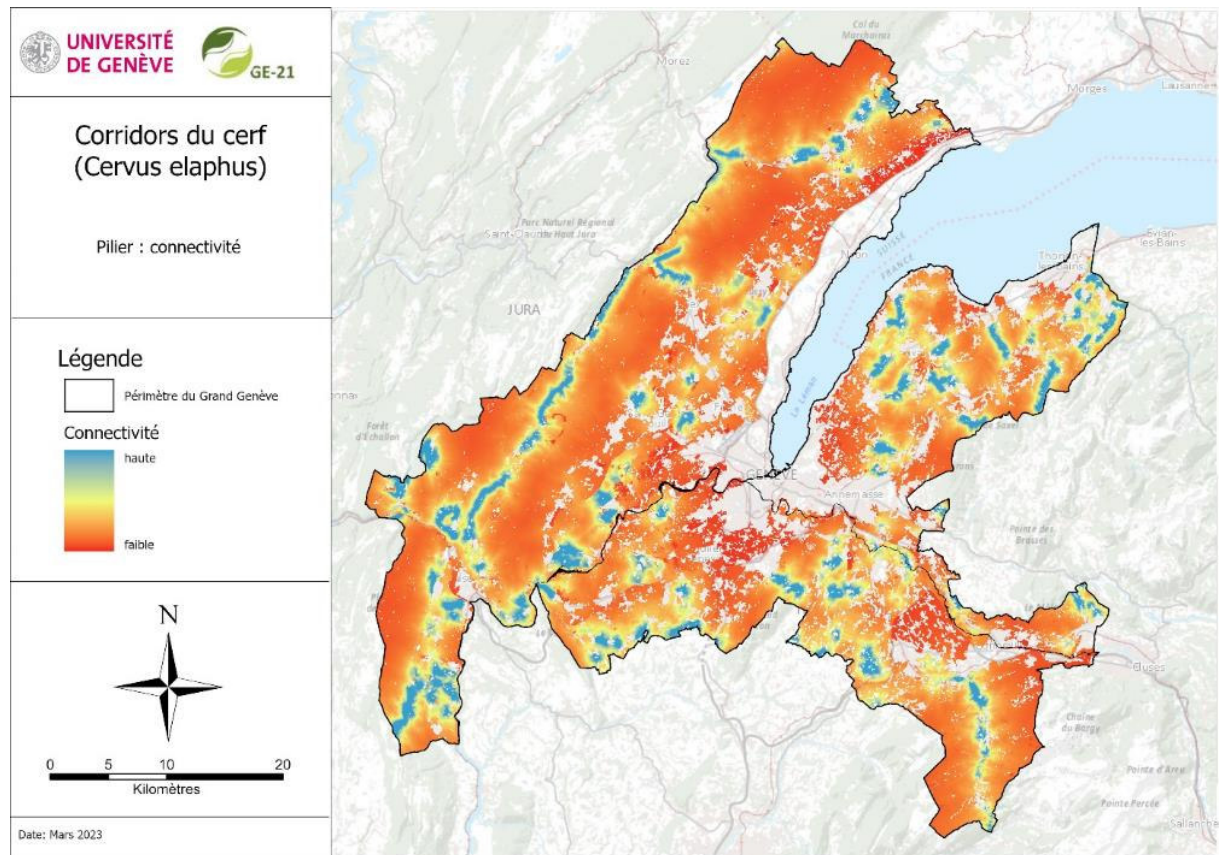


Figure 12. Zones de contrainte du cerf (*Cervus elaphus*)

Cette seconde carte concerne **les corridors** (Figure 13) et est basée sur des données similaires à la première, c'est-à-dire une carte des milieux naturels ainsi qu'une matrice de résistance allouant cette fois une capacité à chaque milieu à utiliser l'énergie de l'animal lorsqu'il le traverse. Grâce à ce résultat, on observe donc la dépense "énergétique" cumulée lors d'un déplacement par un individu sur une matrice aux coûts variables selon l'habitat. Ainsi, les zones proches des aires nodales et composées d'un habitat favorable à l'animal seront plus intéressantes que les zones lointaines composées d'habitats peu favorables. Cette carte a l'avantage d'être couvrante sur l'ensemble du territoire, ou du moins sur les zones considérées comme aptes au déplacement des animaux. Elle est modélisée pour les trois espèces sélectionnées dans ce travail : le cerf, le chevreuil et le lièvre.

Figure 13. Connectivité globale et corridors du cerf (*Cervus elaphus*)



Nous l'avons vu, les habitats favorables aux déplacements d'une espèce et ses barrières écologiques peuvent drastiquement changer d'un groupe à l'autre. Les espèces nocturnes ont par exemple besoin de zones sombres pour se déplacer durant la nuit car la lumière des éclairages perturbe leurs mouvements. L'identification d'une **trame noire** (Figure 14) pour les animaux nocturnes, au même titre qu'une trame verte pour les organismes terrestres et bleue pour les aquatiques, permet alors d'assurer leur connectivité.

Figure 14. Carte de la pollution lumineuse

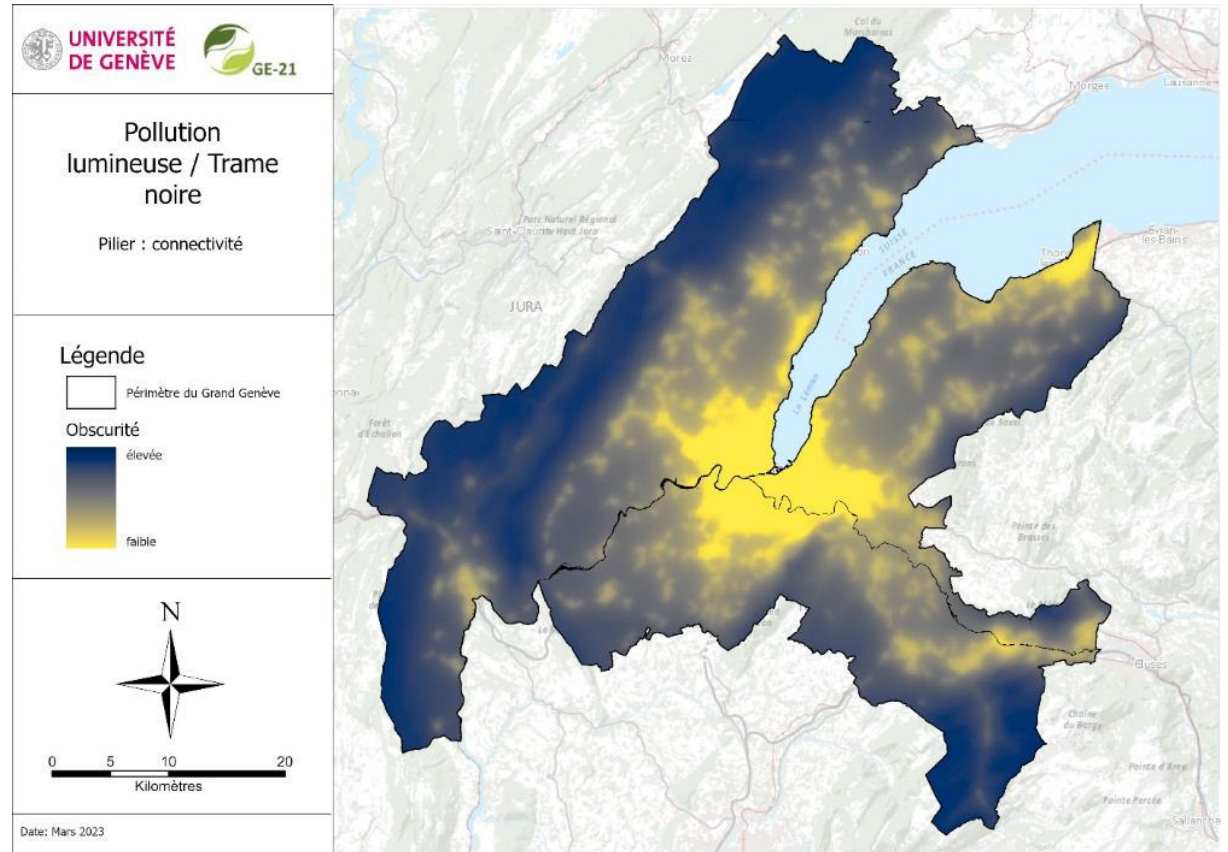




Photo: Anthony Lehmann

Recommandations

Choix des indicateurs et des pondérations

L'approche proposée vise à prendre en compte de manière répliquable l'ensemble des connaissances disponibles sur les indicateurs de la biodiversité, des services écosystémiques de régulation, de la structure du paysage et de sa connectivité. Cette approche quasi holistique nécessite le choix de pondération de ces différents indicateurs dans la priorisation finale. Ici, le choix des poids a été guidé essentiellement par l'expérience des auteurs de l'étude, toutefois une analyse a été menée afin d'explorer la variabilité d'opinions que l'on peut trouver dans un public d'experts plus large. Bien que cette pondération exerce une influence sur le résultat final, nous pensons que dans le contexte genevois, cette influence demeure modeste en raison des fortes contraintes existantes déjà sur le territoire. L'inclusion des services écosystémiques culturels dans une version future pourraient mettre en exergue des lieux naturels importants pour la détente. La lecture du résultat final peut donc être interprétée avec confiance mais aussi une certaine flexibilité.

Que cache l'Infrastructure écologique ?

L'IE est la synthèse d'une très grande quantité d'informations cartographiques qui décrit chacun des piliers en un nombre variable de couches. Bien que le résultat final soit très simple à comprendre et à visualiser : zone faisant partie ou pas des 30 meilleurs pourcents du territoire du point de vue de la biodiversité, le détail de toutes les couches d'entrées n'est pas perdu et peut être consulté dans les attributs du résultat final, afin d'affiner l'analyse et de décliner d'autres applications possibles.

A l'échelle du Grand-Genève

Le résultat obtenu se veut cohérent à l'échelle du Grand Genève. La méthode adoptée a permis de retenir les 30 meilleurs pourcents au sein de chacun des trois secteurs principaux que sont la partie française, le district de Nyon et le canton de Genève.

A l'échelle du District de Nyon

Il est possible de se focaliser sur le district de Nyon afin de visualiser plus en détail le résultat cartographique qui ne diffère pas de celui du Grand Genève.

A l'échelle du Pôle Métropolitain Genevois Français

On peut également zoomer sur la partie du département de l'Ain ou de la Haute Savoie sans modification par rapport à la carte du Grand Genève.

A l'échelle du Canton de Genève

Le résultat sur le canton de Genève est le même que celui obtenu par l'analyse de l'IE à cette échelle qui avait déjà été effectué avant ce travail. La cohérence spatiale et administrative est ainsi maintenue.

A l'échelle des communes

Il est possible de visualiser le résultat à l'échelle d'une commune afin de faire apparaître si la commune possède une proportion de son territoire appartenant à l'IE cantonale plus ou moins importante que l'objectif des 30% régionaux. Les communes qui possèdent déjà plus que 30% d'IE de leur territoire peuvent se concentrer sur l'amélioration de la connectivité et de la qualité de leurs écosystèmes. Les communes qui en possèdent moins de 30%, peuvent utiliser la carte obtenue pour cibler l'amélioration de leur IE communale.



A l'échelle d'un quartier

Bien que l'IE soit défini à une échelle relativement fine de 25m de résolution, il est recommandé pour l'analyse de la valeur écologique d'une parcelle ou d'un quartier d'utiliser un set d'indicateurs simplifiés comme ceux décrit dans l'étude de GE21 « Ancrage » en cours de finalisation.

L'IE de demain avec les changements climatiques

L'IE proposée se base sur la valeur avérée ou potentielle du territoire pour préserver la biodiversité, les services écosystémiques, la structure et la connectivité du territoire. Il est probable que beaucoup de ces valeurs changent avec les modifications importantes du climat attendues. Toutefois, l'option proposée dans cette étude consiste à construire l'IE sur la valeur actuelle de la nature afin de garantir le maintien d'un tissu écologique suffisant à la préservation d'un maximum d'espèces et de services. L'existence de l'IE permettra également aux espèces animales de mieux résister à la pression du climat en favorisant leur déplacement.

L'IE et la qualité de vie de la population du Grand Genève

L'IE proposée intègre un petit nombre de services écosystémiques liés surtout à la régulation du climat, des sols et de la qualité de l'eau et de l'air. D'autres services pourraient être intégrés qui participent encore plus à la qualité de vie perçue par les habitants de la région, comme les services dit culturels (récréatifs, spirituels, de connaissance). Avec l'augmentation prévue de la population de plus de 400'000 habitants d'ici 2050, le Grand Genève aura bien besoin de maintenir une infrastructure écologique de qualité afin de préserver la qualité de vie dans la région.

Bases légales de l'IE

L'IE fait partie de la Stratégie Biodiversité européenne², française³ et suisse⁴, et aussi genevoise⁵. Tous les cantons suisses doivent mettre en place une infrastructure écologique fonctionnelle d'ici 2040 et transmettre leur planification à la Confédération en 2023. Pourtant, le statut des zones identifiées comme faisant partie de l'IE peut grandement varier. Certaines zones font déjà l'objet d'une

ou plusieurs formes de protection et d'autres pas. L'IUCN préconise l'utilisation du concept d'autres mesures efficaces de conservation basées sur les surfaces (OECM⁶ en anglais) afin de compléter le dispositif de protection avec d'autres mesures de conservation sur les sites non protégés afin de parvenir à l'objectif de 30% fixé par les nouveaux accords de la Convention sur la Diversité Biologique (CBD) conclus en 2022⁷.

² environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/green-infrastructure_en

³ biodiv.mnhn.fr/implementation/targets

⁴ www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/biodiversite/info-specialistes/infrastructure-ecologique.html

⁵ www.ge.ch/dossier/geneve-engage-biodiversite/biodiversite-enjeu-actualite/infrastructure-ecologique-renforcee

⁶ www.iucn.org/our-union/commissions/group/iucn-wcpa-other-effective-area-based-conservation-measures-specialist

⁷ <https://www.ecologie.gouv.fr/cop15-biodiversite-aboutit-accord>

Pour les bureaux d'études sur l'environnement

L'IE du Grand Genève, compatible avec celle du Canton de Genève, fournit une information spatiale à fine échelle sur la valeur actuelle des 30 meilleurs pourcents du territoire du point de vue des variables utilisées et de leur pondération. Cela ne veut pas dire que les 70 autres pourcents n'ont pas de valeur et qu'ils peuvent être négligés. Au contraire, cela identifie aussi les zones qui peuvent être améliorées du point de vue de la biodiversité que ce soit en zones rurales ou urbaines. Les variables utilisées pour créer l'IE sont autant de couches d'informations pertinentes qui peuvent être analysées séparément pour répondre à de nombreuses questions sur la conservation de la biodiversité, des services écosystémiques et de la connectivité. L'IE ne peut pas répondre à tous les besoins et des analyses plus pointues sur ces sujets demeurent utiles.

Pour les bureaux d'aménagement du territoire

L'IE est aussi un outil précieux pour les aménagistes du territoire qui ont maintenant une carte afin de connaître la répartition des sites les plus intéressants du point de vue de la biodiversité et des services écosystémiques.

Cette information doit devenir partie prenante de la planification territoriale de l'échelle communale à l'échelle régionale.

Pour le grand public

L'IE représente aussi une source d'information importante pour présenter la valeur multiple de la nature à un plus large public. Celui-ci est maintenant rendu attentif à l'enjeu des changements climatiques dont la solution passe par de nombreuses mesures d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre, mais aussi par des mesures d'adaptation aux changements qui deviennent inévitables. De ce point de vue, l'IE représente une solution pour agir localement pour la préservation de la biodiversité, mais du même coup sur le maintien de conditions climatiques locales plus supportables. En effet, de nombreuses études montrent l'effet bénéfique d'une ceinture de végétation autour et de pénétrante dans les villes pour diminuer de quelques degrés la température en ville.



Story Map

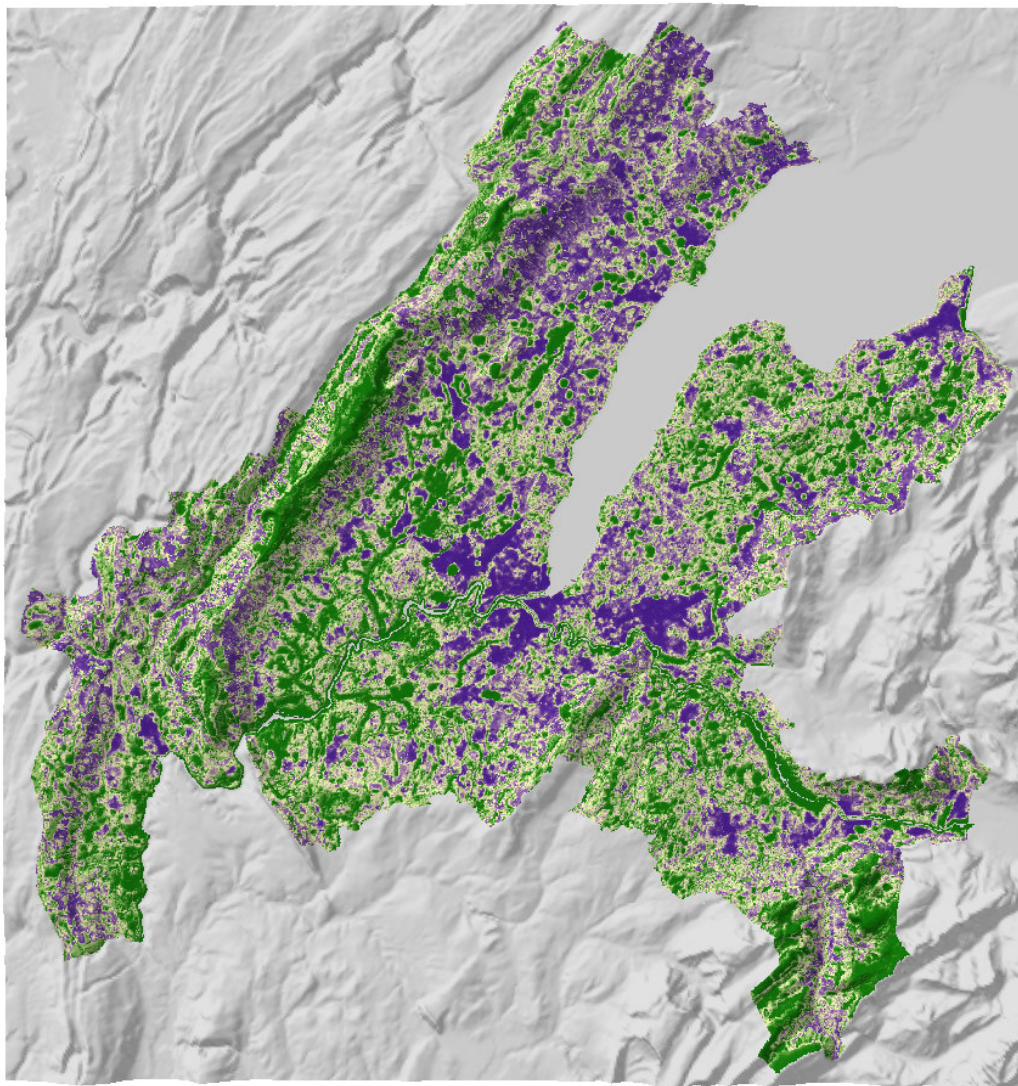
Un récit cartographique (Story Map) a été développé afin de présenter de manière simplifiée l'Infrastructure Ecologique du Grand Genève à l'ensemble des personnes intéressées : <https://arcg.is/1vf1KH0>.

Conclusions

L'Infrastructure Ecologique proposée pour le Grand Genève répond à de multiples obligations légales du côté français et suisse tout en offrant une approche transfrontalière cohérente à différentes échelles de la commune à l'agglomération.

La méthode utilisée est très riche et complexe avec de nombreuses variables décrivant la biodiversité qui sont synthétisées en une seule carte identifiant les 30 meilleurs pourcents du territoire. La préservation de ces 30% est un critère minimal de la conservation de la biodiversité dans la région et des services qu'elle rend à notre bien-être.

Les pressions climatiques et démographiques devraient



augmenter sensiblement dans le futur. La définition rapide et la mise en place de l'infrastructure écologique est un investissement sur la préservation de la biodiversité et de notre qualité de vie pour les générations futures.

L'infrastructure écologique peut être considérée comme un pilier fondamental pour atteindre plusieurs objectifs de la Charte du Grand Genève en transition récemment signée par les partenaires régionaux.

Remerciements

Partenaires:

- Région de Nyon: Aurélie Stamm
- Pôle du Métropolitain Genevois Français: Charlotte le Gouic, Pierre Valty, Sylvie Vares
- Canton de Genève: Aline Blaser

GE21:

- UNIGE: Erica Honeck, Martin Schlaepfer
- HEPIA: Alain Dubois, Claude Fischer, Laurent Huber, Loreto Urbina
- CJB: Nicolas Wyler, Pascal Martin
- OCAN: Bertrand von Arx, Joëlle Massy
- OU : Eric Zellweger

Expertises externes:

- Forum d'Agglomération : Autosaisine sur le Patrimoine Naturel

Citation:

Lehmann A., Sanguet, A., Waller, N., et Guinaudeau, B., 2023. Infrastructure écologique du Grand Genève - Synthèse

Rapport technique :

Sanguet, A., Waller, N., et Guinaudeau, B., Lehmann A., 2023. Infrastructure écologique du Grand Genève – Rapport Technique.

Story Map :

Infrastructure Ecologique du Grand Genève - <https://arcg.is/1vf1KH0>

Références

DETA, DGAN, and CCDB (2018). Stratégie Biodiversité Genève 2030 (SBG-2030). République et canton de Genève.

<https://www.ge.ch/document/7302/telecharger>

Giuliani, G., Petri, E., Interwies, E., Vysna, V., Guigoz, Y., Ray, N., & Dickie, I. (2021). Modelling Accessibility to Urban Green Areas Using Open Earth Observations Data: A Novel Approach to Support the Urban SDG in Four European Cities. *Remote Sensing*, 13(3), 422.

<https://doi.org/10.3390/rs13030422>

Grêt-Regamey, A., Rabe, S.-E., Keller, R., Cracco, M., Guntern, J. & Dupuis J. (2021). Opérationnalisation de l'infrastructure écologique fonctionnelle. ValPar.CH Working Paper Series, 1.

<https://doi.org/10.5167/uzh204025>

Kukkala, A.S., & Moilanen, A. (2013). Core concepts of spatial prioritisation in systematic conservation planning. *Biol. Rev.* 88, 443–464.

<https://doi.org/10.1111/brev.12008>

Grand-Genève, 2023. Charte du Grand Genève en Transition. P. 52. https://www.grand-geneve.org/wp-content/uploads/Charte_Grand_Geneve_en_Transition_2023.pdf

Honeck, E.C., Gallagher, L., von Arx, B., Lehmann, A., Wyler, N., Villarrubia, O., Guinaudeau, B., and Schlaepfer, M. (2021). Integrating ecosystem services into policymaking – A case study on the use of boundary organizations: *Ecosystem Services*, v. 49, no. 101286. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101286>

Honeck, E. C., Moilanen, A., Guinaudeau, B., Wyler, N., Schlaepfer, M., Martin, P., Sanguet, A., Urbina, L., von Arx, B., Massy, J., Fischer, C., & Lehmann, A. (2020a). Implementing Green Infrastructure for the Spatial Planning of Peri-Urban Areas in Geneva, Switzerland. *Sustainability*, 12(4), 1387.

<https://doi.org/10.3390/su12041387>

Honeck, E. C., Sanguet, A., Schlaepfer, M., Wyler, N., & Lehmann, A. (2020b). Methods for identifying green infrastructure. *SN Applied Sciences*, 2(1916).

<https://doi.org/10.1007/s42452-020-03575-4>

IPBES (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the IPBES. IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 p. <https://ipbes.net/global-assessment>

Mace, G. M. (2014). Whose conservation?. *Science*, 345(6204), 1558-1560.

<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1254704>

Moilanen, A., Kujala, H., & Leathwick, J. R. (2009). The Zonation framework and software for conservation prioritization. *Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools*, Oxford University Press pp. 196-210.

OCAN (2018). Stratégie Biodiversité Genève-2030 et Plan d'action. <https://www.ge.ch/node/7302>

OFEV (2017) Plan d'action Stratégie Biodiversité Suisse. Berne. 53 p.

OFEV (2021). Infrastructure écologique. Guide de travail pour la planification cantonale. Convention-programme 2020-2024. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/biodiversite/info-specialistes/infrastructure-ecologique.html>

Ranzoni, J., Giuliani, G., Huber, L., & Ray, N. (2019). Modelling the nocturnal ecological continuum of the State of Geneva, Switzerland, based on high-resolution nighttime imagery. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 16, 100268.

<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100268>

Sanguet, S., Wyler, N., Petitpierre, B., Honeck, H., Poussin, C., Martin, P. & Lehmann, A. (soumis). Beyond topo-climatic predictors: does habitats distribution and remote sensing information improve predictions of species distribution models? *Global Ecology and Conservation*.

<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02286>

Sanguet, A., Waller, N., et Guinaudeau, B., Lehmann A., 2023. Infrastructure écologique du Grand Genève – Rapport Technique.

Story Map : Infrastructure Ecologique du Grand Genève - <https://arcg.is/1vf1KH0>

