



---

---

OFEV-GE / RPT - Projet individuel 2016-2019  
RAPPORT FINAL

**Services écosystémiques 2016-2019**

N°00476.PZ GE (réf.P172-0695)

Durée effective du projet: 2016-2019

**Résumé (produits et prestations)**

La Stratégie Biodiversité Suisse reconnaît les services écosystémiques comme des éléments à protéger (Conseil Fédéral 2012, Conseil Fédéral 2017), car ils représentent les fonctions écologiques et paysagères qui contribuent à la production de ressources favorisant l'économie, la santé et le bien-être humain. La mise en œuvre d'une politique de protection et de gestion des services écosystémiques est actuellement freinée par des incertitudes concernant la meilleure méthode pour quantifier, prioriser et cartographier les services écosystémiques dans un contexte d'arbitrage politique.

L'OFEV a précédemment identifié une liste de 49 indicateurs potentiels pour représenter 23 Prestations Ecosystémiques Finales (PEF) dans le but d'une estimation économique (Staub et al. 2011). Le projet INDICATEURS-SE avait comme premier objectif d'évaluer s'il était possible de cartographier ces indicateurs sur le canton de Genève. Seuls 10 des 49 indicateurs de la liste proposée dans Staub et al. (2017) ont pu être cartographiés. Treize indicateurs supplémentaires ont été cartographiés après modification de l'indicateur existant, ou grâce à des nouveaux indicateurs. Au final, nous avons réussi à cartographier 23 indicateurs à l'échelle de 1 hectare, ce qui a permis d'avoir au moins un indicateur pour 17 des 23 PEF. Parmi les 17 PEF cartographiées, 8 (y compris celle de la biodiversité) avaient au moins un indicateur jugé de bonne qualité (c'est à dire suffisante pour être déployées dans un contexte politique) tandis que les indicateurs pour 8 autres PEF avaient un bon potentiel, mais néanmoins besoin d'amélioration (Tableau 1). Un PEF (sur le bruit) a été évincé car il ne correspondait pas à une prestation écosystémique selon notre définition (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les 17 PEF et leurs indicateurs respectifs représentent une première bibliothèque d'indicateurs de services écosystémiques qui pourront être mobilisés dans le cadre d'analyses de politiques publiques (sectorielle ou intersectorielle) et pour informer une infrastructure écologique nationale (Figure 1).

Tableau 1 : Qualité des indicateurs pour représenter les PEF (données disponibles, fiables, claires) à l'échelle cantonale et fédérale.

N°	Prestation écosystémique finale (PEF)	Catégorie CICES (classification internationale)	Au moins un indicateur cartographié à l'échelle 1 ha	Au moins un indicateur cartographié à l'échelle fédérale
<b>Santé et bien-être</b>				
Sa1	Prestation récréative grâce à la chasse, la cueillette et l'observation de la faune et de la flore sauvages	Culturel		
Sa2	Prestation récréative grâce à des espaces verts urbains ainsi que des espaces de détente de proximité ou plus éloignés	Culturel		
Sa3	Prestation récréative grâce à des espaces de détente aménagés aux alentours des constructions (p. ex. jardins)	Culturel		
Sa4	Possibilité d'identification grâce à de beaux paysages caractéristiques (héritage naturel et culturel)	Culturel		
Sa5	Régulation du microclimat local grâce aux écosystèmes	Régulation		
Sa6	Air sain et de bonne qualité pour l'homme	Régulation		
Sa7	Silence	Régulation		
Sa8	Un niveau de rayonnement non ionisant sans danger pour la santé	Régulation		
<b>Sécurité</b>				
Sé1	Protection contre les avalanches, les chutes de pierres et les laves torrentielles grâce à la végétation sur les pentes escarpées	Régulation		
Sé2	Protection grâce à des zones qui peuvent être inondées ou retenir l'eau	Régulation		
Sé3	Stockage du CO <sub>2</sub> , prestation écosystémique intermédiaire	Régulation		
<b>Biodiversité</b>				
D1	Diversité biologique	Culturel		
<b>Prestations économiques</b>				
E1	Eau potable et eau d'usage issues d'eaux souterraines et d'eaux superficielles utiles	Approvisionnement		
E2	Soutien à la production de biens: pollinisation et lutte contre les ravageurs	Régulation		
E3	Sol fertile pour l'exploitation agricole et sylvicole	Régulation		
E4	Plantes fourragères et engrais organiques pour l'exploitation agricole	Approvisionnement		
E5	Accroissement du bois pour l'exploitation sylvicole	Approvisionnement		
E6	Gibier et poisson pour l'exploitation commerciale	Approvisionnement		
E7	Paysages naturels et culturels à valeur touristique	Culturel		
E8	Energies renouvelables: énergie hydraulique, énergie éolienne, biomasse, énergie solaire	Approvisionnement		
E9	Soutien à la production de biens: capacité de refroidissement	Régulation		
E10	Ressources génétiques et substances actives biochimiques	Approvisionnement		
E11	Soutien à la production de biens: réduction et stockage des résidus	Régulation		

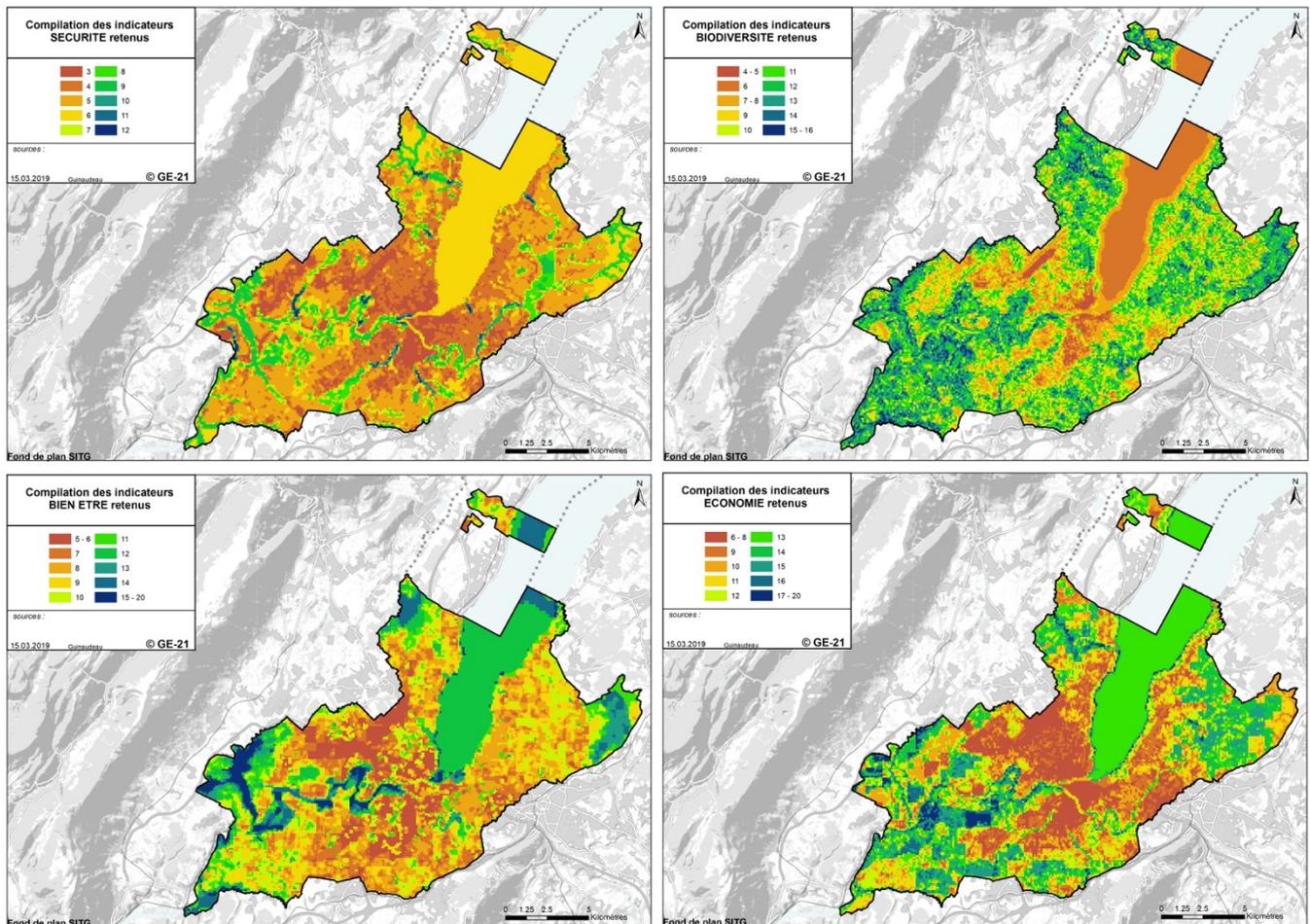


Figure 1: Synthèse (somme) des PEF par catégorie (Sécurité, Santé-Bien-être, Economie et Biodiversité).

Le deuxième objectif du projet était de mesurer la correspondance spatiale entre la biodiversité et les surfaces productrices de services écosystémiques. Notre définition de la biodiversité comprend les quatre sous-indicateurs (richesse floristique, mesh-size, diversité des habitats naturels et naturalité). Les services écosystémiques étaient représentés par une synthèse (somme) des 15 PEF (hors biodiversité) considérées comme de bonne qualité ou avec un bon potentiel. Globalement, la biodiversité et les PEF sont corrélées positivement ( $r = +0.23$ ,  $p < 0.001$ ) à l'échelle de l'hectare. Les sous-indicateurs de la Biodiversité « mesh-size » et « naturalité » sont positivement corrélés avec de nombreuses PEF individuelles. À l'inverse, des mesures plus "traditionnelles" de la biodiversité (« Richesse floristique » et « Diversité des milieux ») ne le sont que très peu. Ces résultats révèlent que les surfaces génératrices de services écosystémiques ne sont pas forcément les mêmes qui abritent la biodiversité "traditionnelle". Afin de visualiser ces associations spatiales, nous avons d'abord identifié les 25% (quartiles, permettant 4 combinaisons) des surfaces cantonales avec les valeurs les plus élevées pour les services écosystémiques et la biodiversité, respectivement. Nous avons trouvé que 12.5% de la surface cantonale avait des valeurs « élevées » pour les deux mesures (sur un maximum de 25% possible), dont seule la moitié se trouve dans les surfaces déjà protégées. Notre analyse permet de cartographier les surfaces à forte valeur PEF et de biodiversité en dehors des réserves naturelles, qui pourraient alors servir de « zones relais » dans une réflexion plus large sur les infrastructures écologiques (Fig 2).

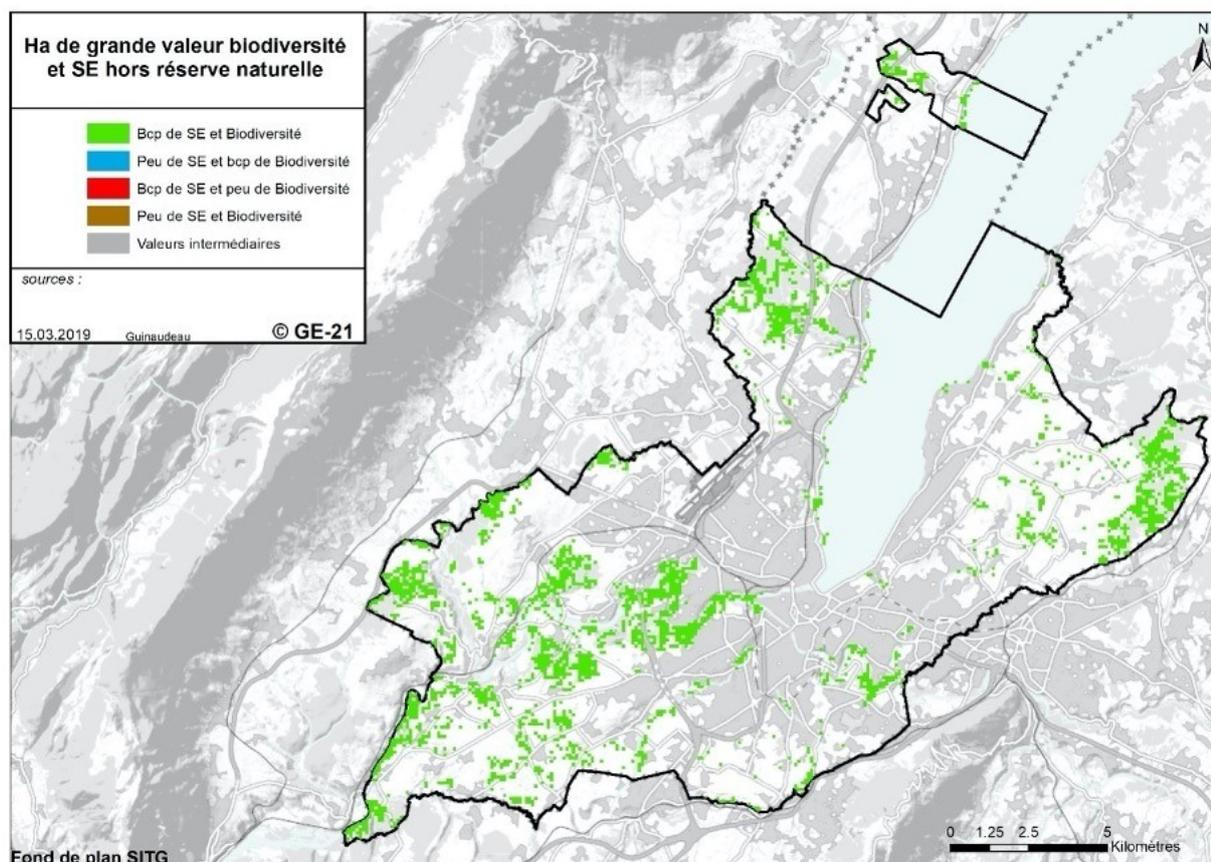


Figure 2: Surfaces ayant des fortes valeurs de biodiversité et de PEFs en dehors des réserves naturelles sur le canton de Genève.

Le troisième objectif était d'organiser une conférence et débat sur les services écosystémiques, ce qui a été fait lors de la conférence SWIFCOB « Les services écosystémiques: du concept scientifique à la mise en pratique » le 9 février 2017 à Berne. Une [synthèse de la conférence](#) résume les points principaux abordés et ne sera pas traitée plus en détail dans ce rapport.

Le dernier objectif était de formuler des conseils pour l'OFEV sur l'usage et le déploiement éventuel d'indicateurs pour des PEF. Le groupe GE-21 mène actuellement plusieurs projets de planification stratégiques (sur le patrimoine arboré du canton ; sur la création d'une infrastructure écologique cantonale ; et sur l'intégration des services écosystémiques dans les évaluations environnementales stratégiques) qui nécessitent l'élaboration d'indicateurs de services écosystémiques qui doivent ensuite être présentés aux instances décisionnelles. Forts de ces expériences et des résultats obtenus dans ce projet INDICATEURS-SE, nous synthétisons quelques retours d'expériences.

- 1) Les **indicateurs agrégés** sont utiles pour une planification à grande échelle (nationale). Cependant, nous mettons en garde contre les dangers associés à l'usage d'indicateurs de synthèse qui cumulent plusieurs PEF. En effet, ce type d'indicateur est souvent perçu comme trop technique et peut mener à un manque d'adhésion de la part du public et des autorités publiques. Il est également vulnérable aux critiques des nombreux choix techniques et de pondération qui sont inévitables lors de la construction des sous-indicateurs. Ces indicateurs agrégés sont également laborieux à recalculer lors des mises à jour ou lorsque plusieurs scénarios (de projets, de politiques) sont comparés.

- 2) Conformément à ce qui est relayé dans la littérature scientifique, nous observons une forte préférence parmi des usagers non scientifiques pour un nombre limité (2-4) d'indicateurs simples qui sont identifiés et co-construits de manière participative selon les enjeux sectoriels. Le processus de co-création représente un investissement en temps supplémentaire mais, au final, il aura l'avantage d'une crédibilité et d'une acceptabilité politique, ainsi que d'une facilité accrue dans les mises à jour des indicateurs (expérience par le projet "[Nos arbres / G'InnoVe](#)").
- 3) Au final, 5 PEF et leurs indicateurs ont des données accessibles, sont simples à comprendre, sont en lien avec la biodiversité, la santé et la sécurité des habitants et sont complémentaires aux lois existantes. Ils représentent donc les PEF et les indicateurs les plus prometteurs pour un déploiement au niveau cantonal et fédéral.
- Sa2 Accès aux espaces calmes ou de détente (indicateur modifié)
  - Sa5 Régulation du microclimat (indicateur pourcentage d'ombre apportée par la canopée)
  - E3 Sols fertiles pour l'agriculture et forêt (indicateur à étendre à tous les sols)
  - Sé1 Forêts protectrices (indicateur existant)
  - Sé2 Protection grâce aux zones inondables selon le contexte (indicateur existant)

Globalement, les services écosystémiques complètent une stratégie de la biodiversité plus conventionnelle axée sur les espèces et milieux. Il sera intéressant d'intégrer les PEF dans la réflexion de toute politique nationale en lien avec nos ressources naturelles, car ils permettent de capturer des dimensions de la nature qui sont importantes pour le public et le bien-être des générations à venir.

## Coûts effectifs (y compris décompte final)

Subvention fédérale: 150'000 CHF

Coût du projet: 245'000 CHF

Participation cantonale: 95'000 CHF

### Partenaires du projet:

- Etat de Genève / Office cantonal de l'agriculture et de la nature (OCAN),
- UniGe / Institut des Sciences de l'Environnement (ISE),
- Ville de Genève / Conservatoire et jardin botaniques (CJBG),
- Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA).

Le co-financement des partenaires était constitué par les participations actives au projet, notamment dans l'accompagnement et la coordination du projet, le suivi technique et la communication. Au moins 5 personnes ont travaillé à temps partiel variable.

## Succès particulier et résultats

- 1) Intégration et prise en compte des indicateurs simplifiées (Sa2, Sa5) dans les évaluations environnementales stratégiques du canton de Genève.
- 2) Ce projet a permis de développer une approche plus générale pour intégrer la biodiversité et les Prestations Ecosystémiques Finales PEFs, ce qui a donné lieu au développement d'une Infrastructure Ecologique pour Genève et de l'article scientifique qui le décrit (Honeck et al. 2020).

## Activités de communications passées et prévues

- 1) Organisation d'une conférence nationale SWIFCOB « Les services écosystémiques: du concept scientifique à la mise en pratique » le 9 février 2017 à Berne. Le sujet avait été initialement proposé par les porteurs de ce projet (Martin Schlaepfer et Bertrand von Arx) et ces deux personnes ont également fait partie du comité scientifique de la conférence.
- 2) Développement d'un jeu en-ligne qui explique la plus-value d'une approche par les services écosystémiques (<http://esgame.unige.ch/>).
- 3) Un article scientifique a été publié dans la revue Sustainability:  
Honeck, E., A. Moilanen, B. Guinaudeau, N. Wyler, M.A. Schlaepfer, P. Martin, A. Sanguet, L. Urbina, B. von Arx, J. Massy, C. Fischer & A. Lehmann (2020). Implementing Green Infrastructure for the Spatial Planning of Peri-Urban Areas in Geneva, Switzerland. Sustainability. 12 (4): 1387-1406.  
doi:10.3390/su12041387
- 4) Une page internet sur le site GE-21 documente le projet (qui depuis a été complété avec des nouvelles données géomatiques): <http://www.ge21.ch/index.php/portfolio/infrastruct-ecolo-geneve>

**Autres charges et conditions** liées à la décision

Néant

**Transfer des données** aux bases de données nationales : **OUI / NON**

Une des conclusions de cette étude est qu'il est urgent de mettre à disposition au niveau fédéral des couches géomatiques des indicateurs de PEF (services écosystémiques) les plus courantes.

**Echange d'informations avec d'autres cantons** **OUI / NON**

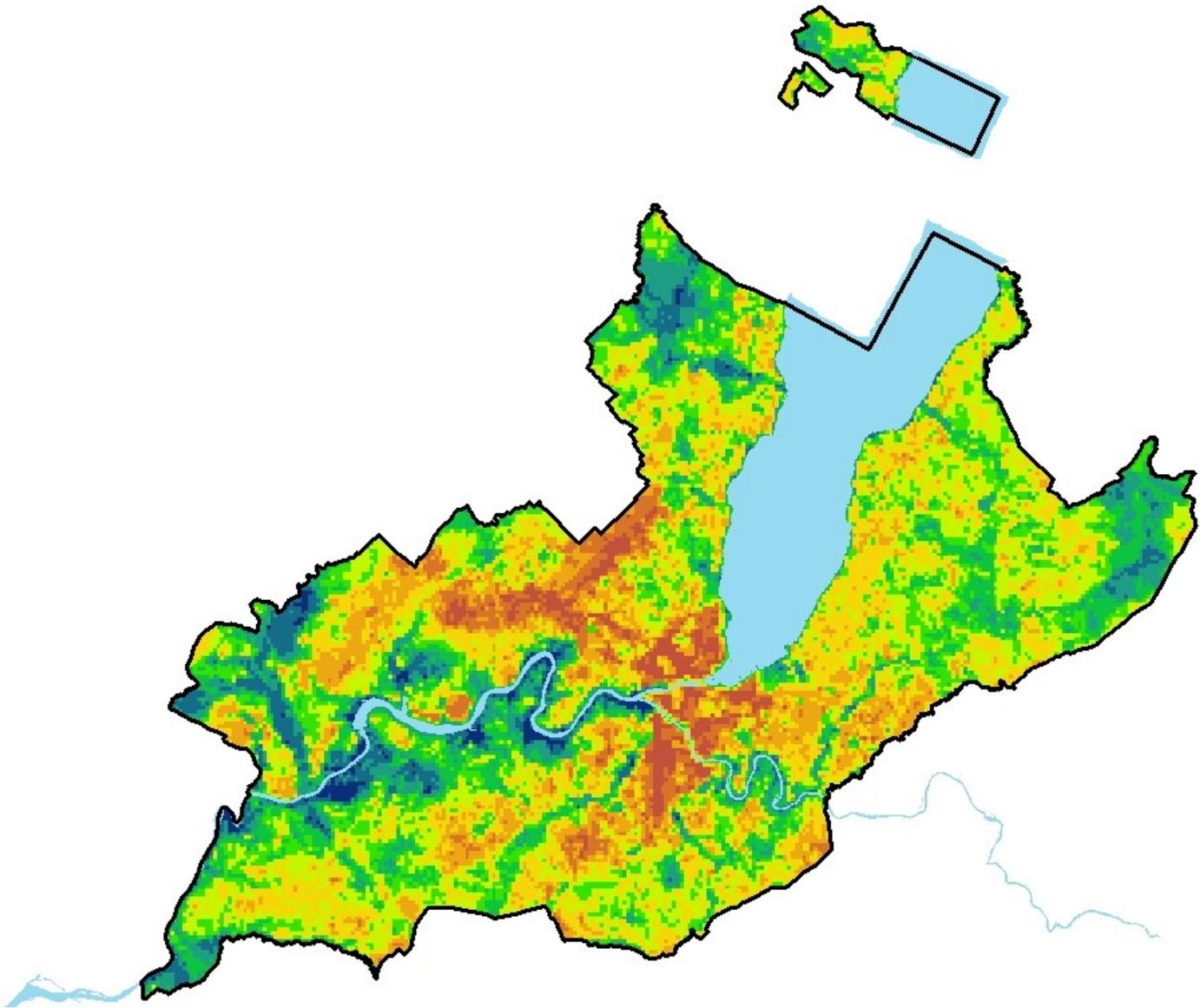
Outre la conférence SWIFCOB18 où les principales conclusions de cette étude avait été présentées aux autres cantons, nous avons présenté l'utilité des approches basées sur des services écosystémiques pour développer une infrastructure écologique aux autres responsables cantonaux pour la biodiversité (KBNL) (14.11.2018).

**Annexe :**

Rapport complet du projet (89 pages) avec analyses, instructions pour accéder aux données, et suggestions d'amélioration de chaque indicateur.

Une cartographie d'indicateurs de Prestations  
Ecosystémiques Finales  
Projet INDICATEURs-SE

RAPPORT FINAL  
Version du 30 septembre 2020





Porteurs du projet :

Martin A. Schlaepfer (Université de Genève et coordinateur de GE-21)

Bertrand von Arx (Service Biodiversité, Office cantonal de l'agriculture et de la nature, Genève)

Projet financé par un octroi de subvention "services écosytémiques 2016-2019", N° référence P172-0695 de l'Office fédéral de l'environnement dans le cadre du soutien aux cantons pour des projets innovants (Programme RPT LPN 2012-2015 "*Espèces, biotopes, sites marécageux, réseaux et compensation écologique*").

Citation recommandée : Guinaudeau, B., N. Wyler, B. von Arx, J. Massy, A. Lehmann, A. Dubois et M.A. Schlaepfer. 2020. INDICATEURS-SE. Rapport final. Université de Genève et Canton de Genève.



## Table of Contents

<b>Résumé</b> .....	<b>5</b>
<b>INTRODUCTION :</b> .....	<b>8</b>
<b>Préambule et objectifs du projet</b> .....	<b>8</b>
<b>Concepts et définitions</b> .....	<b>9</b>
Biodiversité : .....	9
Services écosystémiques : .....	10
Liens entre PEF et Biodiversité .....	11
<b>Indicateurs développés par l’OFEV</b> .....	<b>11</b>
<b>Comparer la distribution spatiale de la biodiversité et des PEF</b> .....	<b>12</b>
<b>METHODES</b> .....	<b>14</b>
<b>Choix des indicateurs et de l’échelle</b> .....	<b>14</b>
<b>Evaluation de la qualité et pertinence des indicateurs pour cartographier les PEF (services écosystémiques)</b> .....	<b>14</b>
<b>Cartographier les PEF</b> .....	<b>14</b>
<b>Cartographier la biodiversité</b> .....	<b>15</b>
<b>Corrélations spatiales entre la biodiversité et les PEF</b> .....	<b>17</b>
<b>RESULTATS :</b> .....	<b>18</b>
<b>Représentation des prestations écosystémiques finales (PEF)</b> .....	<b>18</b>
<b>Source de données</b> .....	<b>25</b>
<b>Modification des indicateurs</b> .....	<b>26</b>
<b>Un carnet cartographique des PEF</b> .....	<b>29</b>
<b>Représentation de la biodiversité</b> .....	<b>32</b>
<b>Analyse spatiale de la superposition des surfaces à forte valeur biodiversité et PEF</b> .....	<b>35</b>
<b>Analyse statistique des corrélations entre biodiversité et prestations écosystémiques</b> .....	<b>37</b>
<b>DISCUSSION</b> .....	<b>40</b>
<b>Pertinence des indicateurs existants</b> .....	<b>40</b>
<b>Forces et faiblesses des indicateurs</b> .....	<b>42</b>
<b>Relation entre les PEFs et la biodiversité</b> .....	<b>42</b>
<b>Recommandations d’indicateurs</b> .....	<b>43</b>
<b>Amélioration et pistes de recherche</b> .....	<b>45</b>
<b>REMERCIEMENTS :</b> .....	<b>46</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE :</b> .....	<b>46</b>
<b>ANNEXE : Liste des PEF analysés, leurs indicateurs et leurs représentations cartographiques</b>	<b>48</b>

## Résumé

La Stratégie Biodiversité Suisse reconnaît les services écosystémiques comme des éléments à protéger (Conseil Fédéral 2012, Conseil Fédéral 2017), car ils représentent les fonctions écologiques et paysagères qui contribuent à la production de ressources favorisant l'économie, la santé et le bien-être humain. La mise en œuvre d'une politique de protection et de gestion des services écosystémiques est actuellement freinée par des incertitudes concernant la meilleure méthode pour quantifier, prioriser et cartographier les services écosystémiques dans un contexte d'arbitrage politique.

L'OFEV a précédemment identifié une liste de 49 indicateurs potentiels pour représenter 23 Prestations Ecosystémiques Finales (PEF) dans le but d'une estimation économique (Staub et al. 2011). Le projet INDICATEURS-SE avait comme premier objectif d'évaluer s'il était possible de cartographier ces indicateurs sur le canton de Genève. Seuls 10 des 49 indicateurs de la liste proposée dans Staub et al. (2017) ont pu être cartographiés. Treize indicateurs supplémentaires ont été cartographiés après modification de l'indicateur existant, ou grâce à des nouveaux indicateurs. Au final, nous avons réussi à cartographier 23 indicateurs à l'échelle de 1 hectare, ce qui a permis d'avoir au moins un indicateur pour 17 des 23 PEF. Parmi les 17 PEF cartographiées, 8 (y compris celle de la biodiversité) avaient au moins un indicateur jugé de bonne qualité (c'est à dire suffisante pour être déployées dans un contexte politique) tandis que les indicateurs pour 8 autres PEF avaient un bon potentiel, mais néanmoins besoin d'amélioration. Un PEF (sur le bruit) a été évincé car il ne correspondait pas à une prestation écosystémique selon notre définition (Tableau 2). Les 17 PEF et leurs indicateurs respectifs représentent une première bibliothèque d'indicateurs de services écosystémiques qui pourront être mobilisés dans le cadre d'analyses de politiques publiques (sectorielle ou intersectorielle) et pour informer une infrastructure écologique nationale.

Le deuxième objectif du projet était de mesurer la correspondance spatiale entre la biodiversité et les surfaces productrices de services écosystémiques. La biodiversité était représentée par quatre sous-indicateurs (richesse floristique, mesh-size, diversité des habitats naturels et naturalité). Les services écosystémiques étaient représentés par une synthèse (somme) des 15 PEF (hors biodiversité) considérées comme de bonne qualité ou avec un bon potentiel. Globalement, les valeurs de la biodiversité et les PEF sont corrélées positivement ( $r = +0.23$ ,  $p < 0.001$ ) à l'échelle de l'hectare. Les sous-indicateurs de la Biodiversité « mesh-size » et « naturalité » sont positivement corrélés avec de nombreuses PEF individuelles. À l'inverse, des mesures plus traditionnelles de la biodiversité (« Richesse floristique » et « Diversité des milieux ») ne le sont que très peu. Ces résultats révèlent que les surfaces génératrices de services écosystémiques ne sont pas les mêmes qui abritent la biodiversité. Afin de visualiser ces associations spatiales, nous avons d'abord identifié les 25% des surfaces cantonales avec les valeurs les plus élevées pour les services écosystémiques et la biodiversité, respectivement. Nous avons trouvé que 12.5% de la surface cantonale avait des valeurs « élevées » pour les deux mesures (sur un maximum de 25% possible). De plus, 54% de ces surfaces à fortes valeurs

de PEF et Biodiversité se trouvent dans les surfaces déjà protégées. Notre analyse permet de cartographier les surfaces à forte valeur PEF et de biodiversité en dehors des réserves naturelles, qui pourraient alors servir de « zones relais » dans une réflexion plus large sur les infrastructures écologiques.

Le troisième objectif était d'organiser une conférence et débat sur les services écosystémiques, ce qui a été fait lors de la conférence SWIFCOB « Les services écosystémiques: du concept scientifique à la mise en pratique » le 9 février 2017 à Berne. Une synthèse de la conférence résume les points principaux abordés et ne sera pas traitée plus en détail dans ce rapport.

Le dernier objectif était de formuler des conseils pour l'OFEV sur l'usage et le déploiement éventuel d'indicateurs pour des PEF. Le groupe GE-21 mène actuellement plusieurs projets de planification stratégiques (sur le patrimoine arboré du canton ; sur la création d'une infrastructure écologique cantonale ; et sur l'intégration des services écosystémiques dans les évaluations environnementales stratégiques) qui nécessitent l'élaboration d'indicateurs de services écosystémiques qui doivent ensuite être présentés aux instances décisionnelles. Forts de ces expériences et des résultats obtenus dans ce projet INDICATEURS-SE, nous synthétisons quelques retours d'expériences.

1) Les **indicateurs agrégés** sont utiles pour une planification à grande échelle (nationale). Cependant, nous mettons en garde contre les dangers associés à l'usage d'indicateurs de synthèse qui cumulent plusieurs PEF. En effet, ce type d'indicateur est souvent perçu comme trop technique et peut mener à un manque d'adhésion de la part du public et des autorités publiques. Il est également vulnérable aux critiques des nombreux choix techniques et de pondération qui sont inévitables lors de la construction des sous-indicateurs. Ces indicateurs agrégés sont également laborieux à recalculer lors des mises à jour ou lorsque plusieurs scénarios (de projets, de politiques) sont comparés.

2) Conformément à ce qui est relayé dans la littérature scientifique, nous observons une forte préférence parmi des usagers non scientifiques pour un **nombre limité (2-4) d'indicateurs simples** qui sont identifiés et co-construits de manière participative selon les enjeux sectoriels. Le processus de co-création représente un investissement en temps supplémentaire mais, au final, il aura l'avantage d'une crédibilité et d'une acceptabilité politique, ainsi que d'une facilité accrue dans les mises à jour des indicateurs.

3) Au final, **5 PEF** et leurs indicateurs ont des données **accessibles**, sont **simples à comprendre**, sont **en lien avec la biodiversité**, la santé et la sécurité des habitants et sont complémentaires aux lois existantes. Ils représentent donc les PEF et les indicateurs les plus prometteurs pour un déploiement au niveau cantonal et fédéral.

- Sa2 Accès aux espaces calmes ou de détente (indicateur modifié)

- Sa5 Régulation du microclimat (indicateur pourcentage d'ombre apportée par la canopée)
- E3 Sols fertiles pour l'agriculture et forêt (indicateur à étendre à tous les sols fertiles)
- Sé1 Forêts protectrices (indicateur existant)
- Sé2 Protection grâce aux zones inondables selon le contexte (indicateur existant)

Globalement, les services écosystémiques complètent une stratégie de la biodiversité plus conventionnelle axée sur les espèces et milieux. Il sera intéressant d'intégrer les PEF dans la réflexion de toute politique nationale en lien avec nos ressources naturelles, car ils permettent de capturer des dimensions de la nature qui sont importantes pour le public et le bien-être des générations à venir.

## INTRODUCTION :

### Préambule et objectifs du projet

En Suisse, on cherche de nouveaux moyens pour sensibiliser sur l'importance de la biodiversité et des écosystèmes naturels. Il a ainsi été décidé d'explorer une approche basée sur la mise en valeur de l'environnement qui nous entoure : l'approche des services écosystémiques (SE). C'est dans le cadre du Programme RPT LPN 2012-2015 "*Espèces, biotopes, sites marécageux, réseaux et compensation écologique*", que ce projet s'insère. Il s'aligne avec les objectifs 6 (recenser les Services écosystémiques (SE)) et 8 (développer la biodiversité dans le milieu urbain) de la Stratégie Biodiversité Suisse (SBS), ainsi qu'avec la loi cantonale genevoise sur la biodiversité (LBio, article 5), la Stratégie Biodiversité Genève 2030 et son Plan d'action 2020-23<sup>1</sup>.

D'ici à 2040, la Suisse doit posséder une infrastructure écologique fonctionnelle dans l'espace rural comme dans l'espace urbain, sur le Plateau, dans le Jura et dans les Alpes. Ceci afin d'avoir une biodiversité riche et résiliente ainsi que des services écosystémiques disponibles sur tout le territoire, pour contribuer en partie à la prospérité et à la qualité de vie en Suisse.

Ce projet vise donc à prospecter la mise en œuvre du concept des SE comme outil d'application et comme outil pédagogique pour sensibiliser le public sur l'importance de la biodiversité. Dans ce rapport, les SE sont considérés comme équivalant à des prestations écosystémiques finales (PEF) qui est l'expression utilisée par l'OFEV (2011).

Le projet a quatre objectifs :

- (i) Réaliser des cartes et un tableau de bord des indicateurs pour les prestations écosystémiques finales (PEF) développés par l'OFEV (2011).
- (ii) Donner des retours sur les PEFs à maintenir ou à modifier à l'avenir.
- (iii) Explorer l'association spatiale entre les PEF et les index traditionnels de la biodiversité.
- (iv) Organiser une conférence nationale tout public sur la thématique de la biodiversité qui nous permettra de diffuser nos résultats, de renforcer la prise de conscience des PEF et de débattre des valeurs intrinsèques et fonctionnelles de la biodiversité.

Ce projet a été élaboré en collaboration avec GE-21 ([www.ge21.ch](http://www.ge21.ch)), un regroupement de chercheurs en sciences biologiques et sociales provenant de l'Université de Genève, l'HEPIA, ainsi que les Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève. Ce groupe est composé d'experts en SIG et en services écosystémiques.

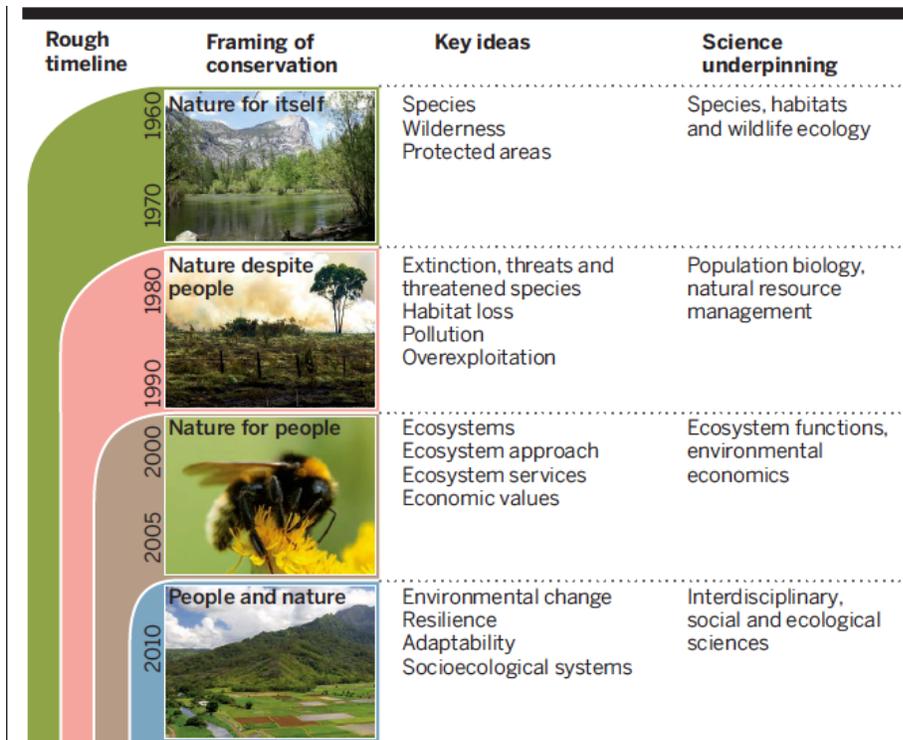
---

<sup>1</sup>[www.ge.ch/lc/strategie-biodiversite](http://www.ge.ch/lc/strategie-biodiversite)

## Concepts et définitions

### Biodiversité :

Le concept de la biodiversité, tout comme celui des services écosystémiques, est « fluctuant » avec de nombreuses définitions. Par exemple, l'expression « biodiversité » est utilisée de manière distincte en politique et en science. En politique, elle est devenue l'étendard de la nature que nous souhaitons conserver. Dans certains cas, cette dernière peut privilégier certains groupes d'espèces (par exemple des espèces indigènes ou des groupes charismatiques comme les oiseaux et mammifères). La définition politique peut aussi favoriser les dimensions du monde naturel qui favorisent les PEF avec son approche anthropocentrique (Figure 1 ; Mace 2014). Dans ce rapport, la biodiversité sera définie de manière scientifique. La biodiversité sera représentée par quatre dimensions (diversité d'espèces ; diversité de milieux naturels ; milieux contiguës permettant la connectivité entre populations ; et l'absence d'influence humaines) nécessaires à l'expression de fonctions écologiques et évolutives.



**Changing views of nature and conservation.** Over the past 50 years, the prevailing view of conservation has changed several times, resulting, for example, in a shift in emphasis from species to ecosystems. None of the framings has been eclipsed as new ones have emerged, resulting in multiple framings in use today.

Figure 1: Différentes conceptions de la biodiversité à protéger (Mace 2014).

### Services écosystémiques :

Les services écosystémiques (SE, ou PEF) peuvent se définir comme des flux de matière, d'énergie issus du stock du capital naturel combinés aux services manufacturés pour produire du bien-être (Costanza et al. 1997) et satisfaire les besoins de l'homme (de Groot, Wilson and Boumans 2002). Dans les années 2000, le concept est devenu une question centrale en conservation (Koschke et al. 2012) ; (Burkhard, Petrosillo and Costanza 2010), en partie grâce au Millenium Assessment (MA 2003). Le MA a classé les services écosystémiques en 4 grandes catégories : (i) les services d'approvisionnement/prélèvement (ex. nourriture, eau douce, bois...), (ii) les services de régulation (de la qualité de l'air, du climat, de l'érosion, ...), (iii) les services culturels (valeur esthétique, récréative, spirituelle) et (iv) les services de soutien des conditions favorables/d'auto-entretien (processus de photosynthèse, cycle des nutriments, formation du sol, ...).

Un défi en lien avec la spatialisation des PEF découle du fait que les surfaces où une fonction est produite ne sont pas forcément les mêmes que celles où elles contribuent au bien-être (Verhagen et al. 2017, Cowling et al. 2008, Baró et al. 2016). Généralement, on distingue « l'offre » d'un service, c'est-à-dire un potentiel théorique, la « demande » de la part de la population humaine et le « flux », c'est-à-dire la part du potentiel qui est effectivement utilisé où qui contribue au bien-être. Le flux dépendra donc de la capacité d'un écosystème à produire des services, mais également de la demande de ces services, elle-même dictée par le cadre biophysique, la taille de la population, les préférences culturelles et la valeur perçue du service (Villamagna, Angermeier

and Bennett 2013). La pertinence de ces composantes peut varier selon le type de PEF (Villamagna et al. 2013). Dans ce rapport, nous nous focalisons sur l'offre, car une quantification de la demande (et, par conséquent, du flux) nécessite des données sur les préférences qui ne sont que rarement disponibles, sauf pour certains services culturels comme la récréation, où l'on peut mesurer des flux sur la base de suppositions (par ex. le besoin d'avoir accès à un parc à moins de cinq minutes à pied).

La monétarisation des services écosystémiques est parfois possible et souhaitable. Une valeur monétaire peut permettre au public et aux instances décisionnelles de prendre conscience d'un ordre de grandeur, servir à fixer des incitations, des taxes, ou d'unité commune qui permet de comparer des variantes de scénarios ou de projets. Cependant, la monétarisation reste controversée, car elle peut dénaturer une valeur (Wilson and Law 2016) et risque de biaiser des analyses en faveur de services plus faciles à monétariser (Jax et al. 2013, Gunton et al. 2017, Robertson 2016). Vu les objectifs de ce rapport, le choix est fait de ne pas monétariser les différents PEF.

### Liens entre PEF et Biodiversité

Bien qu'il soit relativement clair que la biodiversité peut se retrouver dans les différents compartiments du concept de PEF (Mace, Norris and Fitter 2012), il est légitime de se demander si un lieu qui fournit des PEF est forcément riche en biodiversité. La littérature scientifique met en évidence trois points pertinents pour notre étude.

- (1) Les corrélations statistiques ou spatiales entre les PEF et la biodiversité sont souvent positives mais de faible intensité (Anderson Barbara et al. 2009) ; (Schwarz et al. 2017) ; (Cimon-Morin, Darveau and Poulin 2013, Cardinale et al. 2012).
- (2) La biodiversité a tendance à être corrélée positivement avec les services de régulation et négativement avec les services de production (Cimon-Morin et al. 2013) ; (Bennett, Peterson and Gordon 2009); (Foley et al. 2005) ; Raudsepp-Hearne et al., 2010b; Maes et al., 2012; (Raudsepp-Hearne, Peterson and Bennett 2010) ; (Larigauderie et al. 2012); (Schneiders et al. 2012, Harrison et al. 2014).
- (3) La force de la corrélation dépend du type de donnée, des indicateurs utilisés, et de la résolution des calculs (Eigenbrod et al. 2010) ; (Lyashevskaya and Farnsworth 2012) ; (Birkhofer et al. 2018) ; (Grêt-Regamey et al. 2015).

Dans cette étude nous allons quantifier la corrélation entre la biodiversité et les PEF, mais également identifier des surfaces cantonales qui sont exemplaires dans les deux.

### Indicateurs développés par l'OFEV

L'OFEV a établi une liste d'indicateurs qui couvrent tous les PEF principaux en Suisse et qui ont une « relation directe avec le bien-être » (Staub et al. 2011). L'inventaire recense les 23 prestations écosystémiques finales (PEF), c'est-à-dire des biens et des services environnementaux appréciés, consommés ou utilisés directement par les humains (aussi appelés Final Ecosystem Goods and Services, FEES). Chaque PEF est décrite par un ou plusieurs indicateurs. Dans ce rapport, nous considérons les PEF équivalents aux SE. Un des objectifs de l'étude initiale de l'OFEV (Staub et al. 2011) était d'identifier des données qui permettraient de quantifier et monétiser l'ensemble des PEF en Suisse et par canton, en vue d'aider des arbitrages politiques. Il n'y avait pas un objectif de cartographier les PEF afin d'identifier leurs espaces de production (« potentiels ») ni l'emplacement des flux réalisés. Ceci explique le besoin dans cette étude INDICATEURS-SE d'investiguer dans quelle mesure des indicateurs existants pouvaient servir à des analyses cartographiques, et d'éventuellement identifier de nouveaux indicateurs.

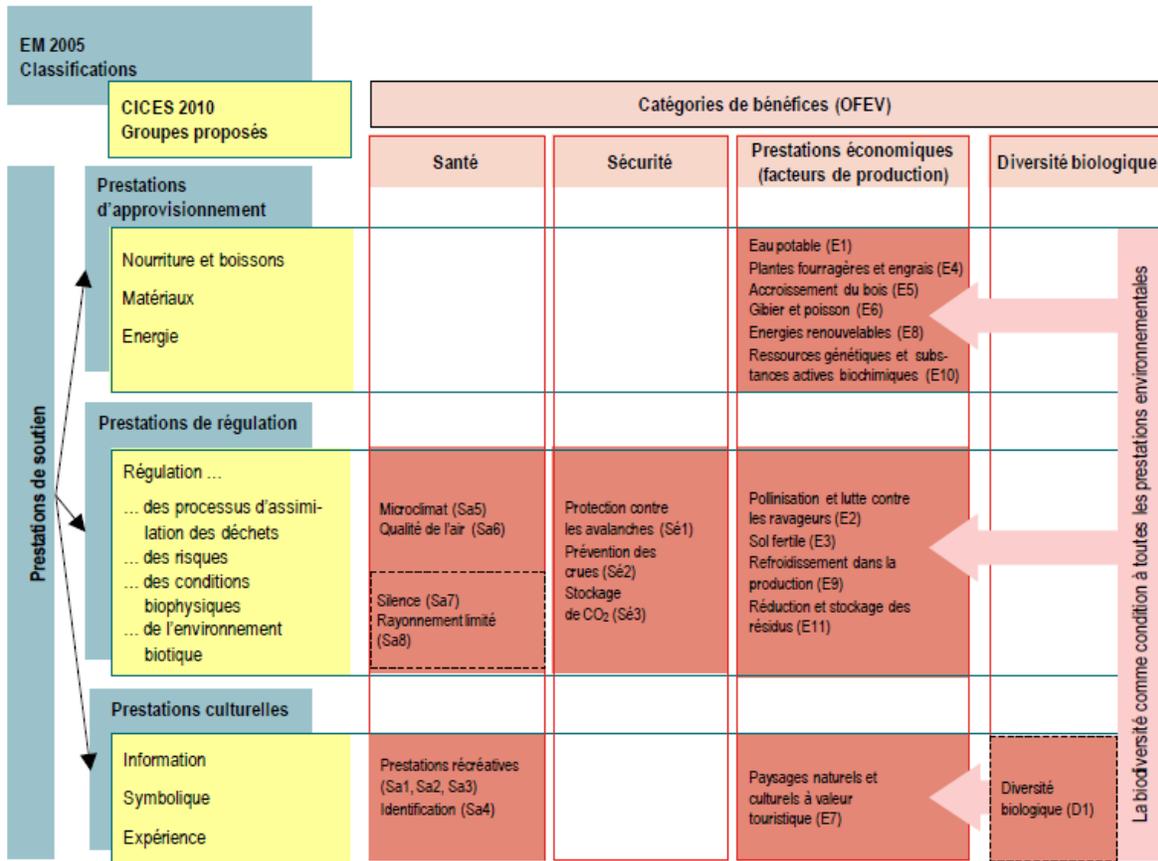
### Comparer la distribution spatiale de la biodiversité et des PEF

Ce projet comporte des enjeux stratégiques et scientifiques. Stratégiquement, il pose la question philosophique de savoir si nous souhaitons protéger la nature (les espèces et les milieux et toutes leurs variations) pour elle-même, ou bien également pour les services qui contribuent au bien-être humain. Pour alimenter ce débat, nous nous posons la question scientifique de savoir dans quelle mesure une stratégie de protection de la nature basée sur des objectifs dits traditionnels de la nature (espèces menacées, richesse floristique, etc.) serait différente d'une approche qui tient compte des services écosystémiques pour identifier les zones considérées comme « prioritaires ». Adjoindre à la biodiversité l'approche des PEF pourrait permettre une meilleure prise de conscience de la population concernant la préservation des écosystèmes, en lui faisant considérer d'autres aspects, plus proches de ses préoccupations quotidiennes (îlot de fraîcheur, beauté du paysage, contribution à la santé, etc.).

Le projet s'articule donc autour des étapes suivantes :

- Cartographier les PEF identifiées dans (Staub et al. 2011), avec l'option de proposer des modifications ;
- Cartographier la biodiversité (qui est considéré comme une PEF dans (Staub et al. 2011), mais qui sera considérée séparément ici étant donné l'objectif du projet d'analyser les liens entre la biodiversité et les autres PEF ;
- Analyser le recoupement (chevauchement) spatial entre les surfaces exemplaires (25% meilleures) en PEF et en biodiversité

- Une discussion qui met en perspectives les résultats et qui débouche sur des recommandations pour l'usage d'indicateurs.



Source: présentation econcept et OFEV sur la base des classifications de l'EM et de la CICES. Désignations des FECS abrégées: cf. tabl. 1 pour les désignations complètes.

Figure 2: Classification des Prestations écosystémiques finales d'après le document de l'OFEV

## METHODES

### Choix des indicateurs et de l'échelle

Les indicateurs de PEF doivent être en adéquation avec l'échelle spatiale à laquelle ils seront utilisés (Grêt-Regamey et al. 2015). Dans ce cas notre périmètre d'analyse est le canton de Genève. Comme la plupart des décisions se prennent à l'échelle des parcelles du foncier, nous avons opté pour des données de base aussi détaillées que possible. Dans ce rapport, les indicateurs sont présentés par hectare.

### Evaluation de la qualité et pertinence des indicateurs pour cartographier les PEF (services écosystémiques)

Notre objectif était de mesurer et cartographier tous les indicateurs de PEF proposés par l'OFEV (Staub et al. 2011). Pour chaque indicateur nous avons cherché les données les plus récentes dans des sources scientifiques (Staub et al. 2011) (Grêt-Regamey 2014), le site cartographique de la Confédération, des données satellitaires, etc.

Chaque indicateur était confronté à quatre questions :

- Existe-t-il une donnée cartographiable de l'indicateur ?
- Existe-t-il un lien logique entre l'indicateur et la PEF ?
- Est-ce que l'interprétation de l'indicateur cartographié se fait facilement ?
- Est-ce que l'indicateur peut être mis à jour facilement ?

Un indicateur était jugé de bonne qualité et robuste (😊) pour représenter la valeur d'une PEF s'il remplissait les 4 critères ci-dessus. Un indicateur était jugé de qualité acceptable (😄) s'il remplissait les 4 critères ci-dessus, mais certains de manière partielle. Finalement, un indicateur était évincé (😞) si la donnée cartographique n'existait pas, ou bien si le lien entre la donnée et l'indicateur était trop bancal.

### Cartographier les PEF

Pour faciliter l'interprétation des cartes, il a été décidé de séparer chacun des indicateurs par quantile (c'est-à-dire quatre groupes avec chacun un quart des observations). Des valeurs de 1 à 4 ont été attribuées à chaque quantile (1 correspondant à une valeur d'indicateur faible et 4 à une valeur élevée). La transformation par quantile de chaque indicateur permet également de sommer les indicateurs entre eux, en regroupant, par exemple, les prestations par catégorie Santé, Sécurité, Economie, Biodiversité (voir exemple Figure 3) ou bien pour produire une carte de synthèse de toutes les PEF cartographiées avec, par exemple, une pondération équitable par catégorie. Lorsqu'une PEF est calculée à partir de plusieurs indicateurs, une moyenne est réalisée afin de n'avoir plus qu'une valeur par PEF.

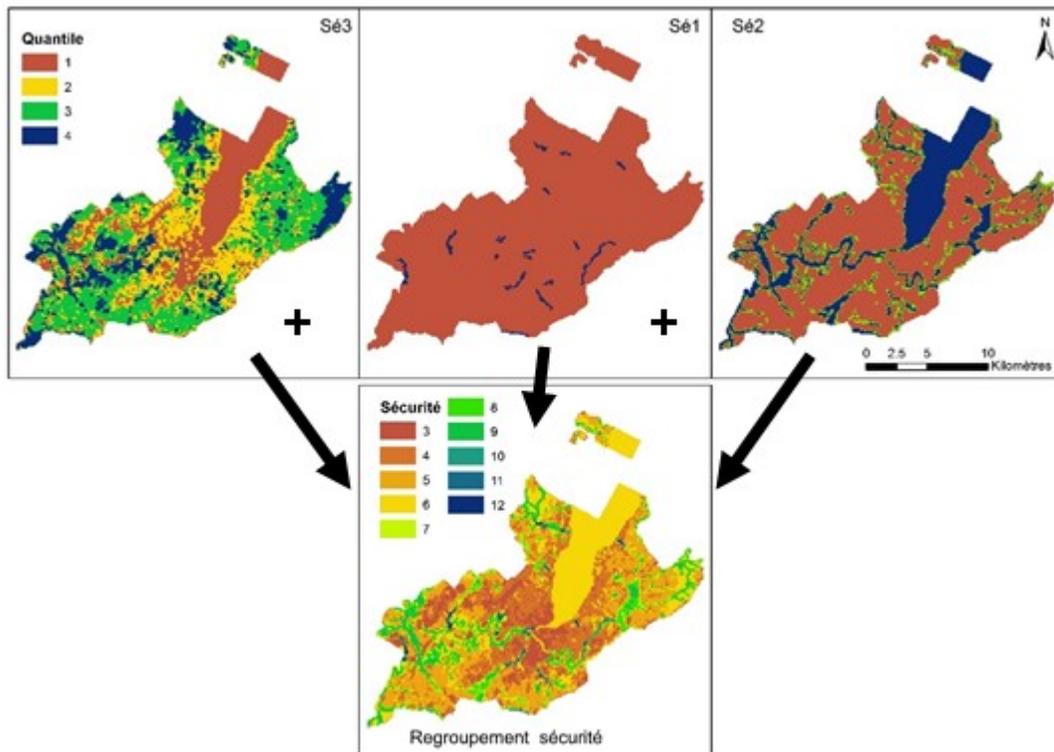


Figure 3: compilation des PEF de type Sécurité. Une valeur de 12 signifie que pour chaque PEF la valeur maximale de 4 a été attribuée. Les surfaces avec une valeur élevée jouent un rôle important en termes de protection.

## Cartographier la biodiversité

Notre objectif était d'avoir une carte de la « biodiversité » du canton qui soit couvrante (la surface entière du canton) et le moins biaisé possible (par rapport à un effort d'échantillonnage hétérogène, notamment). La biodiversité est un concept complexe et multidimensionnel. Souvent, pour des raisons pratiques, elle est représentée par un nombre d'espèces. Il existe en Suisse plusieurs indicateurs de biodiversité (<http://www.biodiversitymonitoring.ch>) pour un suivi politique au niveau national, mais peu qui soient suffisamment détaillés au niveau cantonal et couvrants. Nous en avons retenu trois qui captent les dimensions des espèces, la variété des milieux et une mesure de la connectivité entre les milieux naturels. Nous en avons également

rajouté un quatrième qui mesure l'absence des activités anthropiques (hémérobie). Nous supposons que ces quatre indicateurs captent collectivement les dimensions écologiques et évolutives nécessaires à la création et le maintien de la biodiversité sur une échelle cantonale. Les quatre dimensions de la biodiversité sont décrites ci-dessous.

**Richesse floristique:** la richesse floristique est une mesure traditionnelle de biodiversité que capte l'état d'un processus d'évolution. Dans le canton de Genève, le nombre d'espèces de plantes (richesse floristique) a été modélisé à une échelle fine (au mètre) en croisant la liste des espèces dans un atlas (c'est-à-dire réellement observées dans un échantillonnage fait au km<sup>2</sup> ; 1990-2000) avec la carte des milieux naturels. La relation statistique entre chaque espèce et les types de milieux a été établie à partir de la base de données InfoFlora. Au sein d'un km<sup>2</sup>, une espèce est attribuée à un milieu naturel dès l'instant que l'association espèce-milieu est supérieure ou égale à 10% et que l'espèce était observée dans le km<sup>2</sup> issu de l'atlas. Lorsqu'aucune association ne dépasse le seuil de 10%, l'espèce est attribuée au milieu avec l'association la plus élevée (entre 0.1 - 9.99%). Au cas où aucun milieu associé à l'espèce n'existe dans le km<sup>2</sup>, l'espèce est exclue de l'analyse. Dans le cadre du projet, les résultats ont ensuite été redécoupés à l'hectare. Le nombre d'espèces par hectare correspond à la somme des espèces différentes rencontrées dans les milieux de chaque hectare.

**La diversité des écosystèmes** est captée par l'indice de **diversité de milieux « naturels »**. Une mesure de la diversité (indice Shannon) des milieux naturels est calculée sur chaque hectare. L'indicateur est élevé lorsque les milieux sont divers et distribués de manière relativement équitable. La supposition est faite qu'une valeur élevée représente un plus grand potentiel d'abriter une variété d'espèces (Ramezani 2012). Les milieux anthropiques (sols imperméables ou urbain) sont exclus de l'analyse et l'indice de Shannon est calculée sur les milieux « naturels ».

**La structure des écosystèmes** est représentée par un **indice de fragmentation des milieux**. La méthodologie pour calculer le « mesh-size » est la même que celle utilisée par la Confédération<sup>2</sup> avec les données des milieux naturels et le logiciel FRAGSTATS. Une valeur est calculée pour chaque hectare. Une valeur élevée indique que le paysage est peu fragmenté et constitué de grands patches naturels où il est a priori facile pour les espèces terrestres de se déplacer car les barrières (route, infrastructure urbaine ou cours d'eau) sont absentes.

**Les fonctions des écosystèmes** sont représentées par un **indice de naturalité**. L'objectif à travers cet indicateur est de quantifier la qualité du territoire pour la biodiversité. L'indicateur est un ratio de milieux « naturels » aux milieux « urbains ou anthropiques » (O'Neill et al. 1988). Les données utilisées sont les types de milieux, classés en naturels ou anthropiques, issus de la carte des milieux. L'indice est calculé sur chaque pixel et lissé sur un rayon de 200 m puis moyenné par hectare. Sa valeur est élevée lorsqu'un site est dominé par des milieux naturels, et faible lorsqu'un

---

<sup>2</sup><https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themen/thema-landschaft/landschaft--daten--indikatoren-und-karten/landschaft--indikatoren/indikator-landschaft.pt.html/aHR0cHM6Ly93d3cuaW5kaWthdG9yZW4uYWRtaW4uY2gvUHVibG/ljL0FlbURldGFpbD9pbmQ9TEEwMTAmbG5nPWZyJIN1Ymo9Tg%3d%3d.html>

site est dominé par des milieux impactés par l’homme. La supposition est faite que les milieux naturels permettent aux processus écologiques et évolutifs de se réaliser. L’indicateur de naturalité est à l’origine un indicateur d’urbanité.

## Corrélations spatiales entre la biodiversité et les PEF

Une approche statistique et une approche cartographique ont été employés pour mesurer la corrélation entre les surfaces riches en biodiversité et celles riches en PEF. Afin de visualiser les associations spatiales entre la biodiversité et PEF, un code couleur est construit sur la base des valeurs de chaque facteur regroupé en quantiles (**Tableau 1**). Les surfaces avec des valeurs supérieures à la médiane en biodiversité et PEF sont en vert. Nous avons aussi comparé la distribution de ces surfaces avec la répartition des réserves naturelles du canton afin de quantifier dans quelle mesure les réserves captent des surfaces riches en biodiversité ou PEF, mais aussi pour identifier des surfaces riches en dehors des réserves en tant que zones candidates pour des actions de conservation futures.

*Tableau 1: Code couleur pour illustrer les associations spatiales entre les quartiles de biodiversité et de prestations écosystémiques finales (PEF).*

		BIODIVERSITE			
		1 (faible)	2	3	4 (riche)
PEF	1 (faible)	1-1	1-2	1-3	1-4
	2	2-1	2-2	2-3	2-4
	3	3-1	3-2	3-3	3-4
	4 (riche)	4-1	4-2	4-3	4-4

- **Beaucoup de PEF et beaucoup de Biodiversité**
- **Beaucoup de PEF et peu de Biodiversité**
- **Peu de PEF et beaucoup de Biodiversité**
- **Peu de PEF et peu de Biodiversité**
- Valeurs intermédiaires de PEF et Biodiversité

Des corrélations statistiques entre les valeurs biodiversité et PEF par hectare ont été calculées. Une première approche suppose que les valeurs de chaque hectare est indépendante (sans autocorrélation spatiale), et une seconde intègre une correction pour l’autocorrélation spatiale (utilisation du package spatialpack dans le logiciel R version 3.5.2). La corrélation simple donne le degré de similitude entre les deux jeux de données en réalisant un test de rang. Dans le cas présent, la dimension spatiale rajoute une difficulté. Il faut non seulement être en mesure de dire s’il existe une corrélation, mais également dire où elle se trouve sur le territoire, et si elle est positive ou négative.

Les corrélations dans R ont été réalisées sur le canton en enlevant volontairement le lac Léman, car la majorité des indicateurs ne tient pas compte des services écosystémiques qui émanent des milieux aquatiques

## RESULTATS :

### Représentation des prestations écosystémiques finales (PEF)

Nous avons évalué et tenté de cartographier 49 indicateurs issus de (Staub et al. 2011). Un arbre décisionnel (Figure 4) a été utilisé pour décider si un indicateur pouvait être utilisé tel quel, modifié/remplacé ou évincé. Nous avons réussi à cartographier 23 des 49 indicateurs (Tableau 1 ; voir cartes et descriptifs en Annexe 1), ce qui a permis d'avoir au moins un indicateur pour 16 des 23 PEF, biodiversité comprise (D1 ; section suivante) (Tableau 2). Au moins une PEF était cartographiable dans chacune des 4 catégories de services écosystémiques définies par l'OFEV (Staub et al. 2011) (Tableau 1).

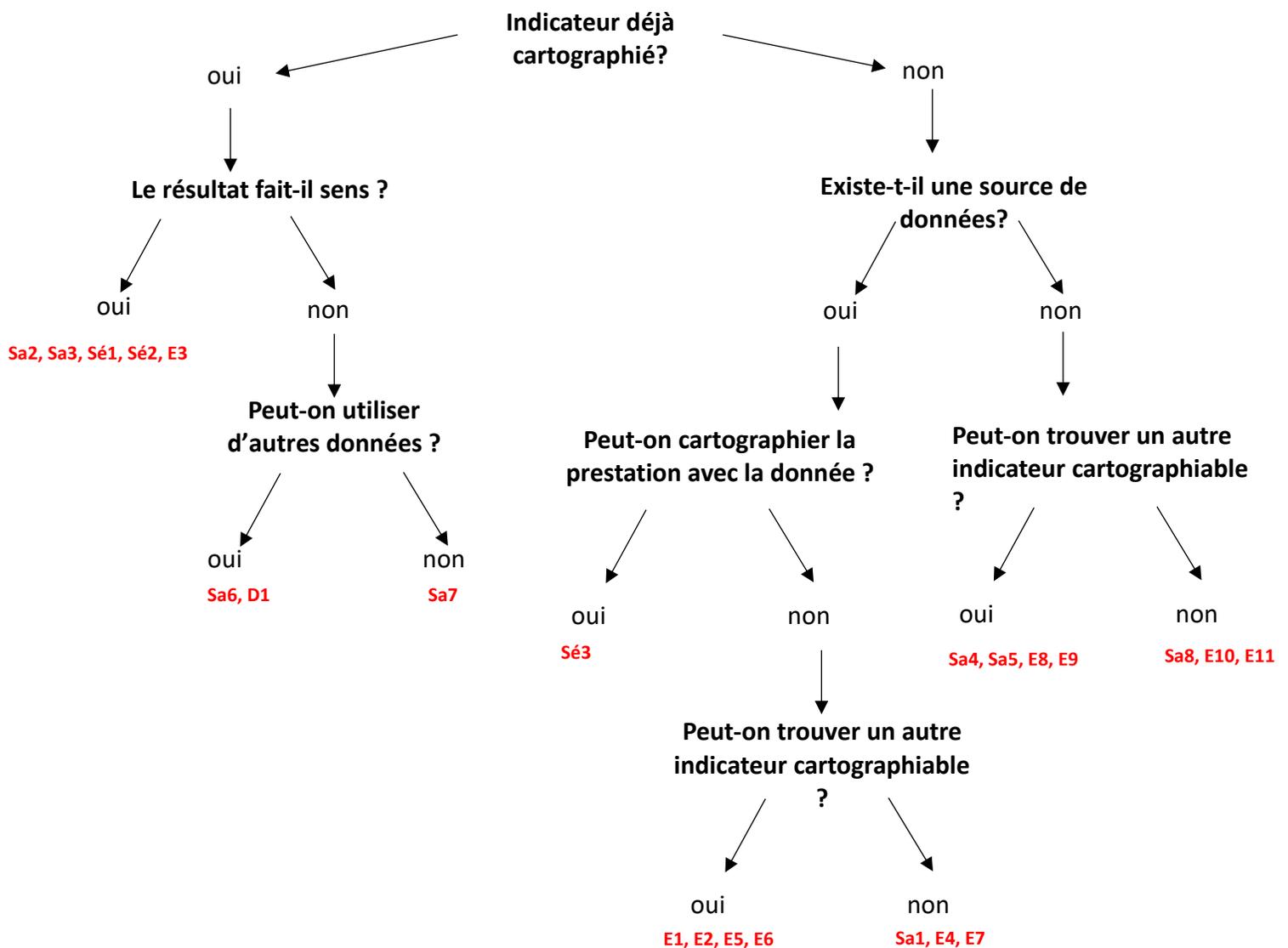


Figure 4: Arborescence binaire pour justifier la décision de cartographier les PEF. Au final 16 PEF ont pu être cartographiées. Les abréviations des PEF sont tirées du Tableau 1.

Table 1: Liste des indicateurs initiaux proposés dans le document de Staub 2011 et choix de réalisation par GE-21.

N°	PEF	Indicateur proposé	Choix de réalisation
<b>santé bien-être</b>			
Sa1	Prestation récréative grâce à la chasse, la cueillette et l'observation de la faune et de la flore sauvage	Nombre de personnes chassant pendant le temps libre	évincé
Sa1	Prestation récréative grâce à la chasse, la cueillette et l'observation de la faune et de la flore sauvage	Nombre de personnes pêchant pendant le temps libre	évincé
Sa1	Prestation récréative grâce à la chasse, la cueillette et l'observation de la faune et de la flore sauvage	indice de rendement de pêche	évincé
Sa2	Prestation récréative grâce à des espaces verts urbains ainsi que des espaces de détente de proximité ou plus éloignés	Disponibilité d'espaces verts et de cours d'eau dans un rayon de 4 km autour des habitations en Suisse	remplacé
Sa2	Prestation récréative grâce à des espaces verts urbains ainsi que des espaces de détente de proximité ou plus éloignés	Accessibilité des espaces de détente pour la population suisse, indicateur d'utilisation des loisirs de proximité non pondéré par la densité de population et pondéré par la densité de population	conservé
Sa2	Prestation récréative grâce à des espaces verts urbains ainsi que des espaces de détente de proximité ou plus éloignés	Accessibilité des zones sans constructions pour la population suisse	évincé
Sa2	Prestation récréative grâce à des espaces verts urbains ainsi que des espaces de détente de proximité ou plus éloignés	Accessibilité des zones calmes pour la population suisse	conservé
Sa2	Prestation récréative grâce à des espaces verts urbains ainsi que des espaces de détente de proximité ou plus éloignés	Usage récréatif effectif des forêts: proportion de surfaces avec une fréquentation d'au moins 100 personnes par jour sur la parcelle témoin (rayon de 100m)	évincé
Sa3	Prestation récréative grâce à des espaces de détente aménagés aux alentours des constructions (p. ex. jardins)	Surface qui peut être utilisée pour jardiner, s'asseoir, jouer ou se détendre	conservé
Sa4	Possibilité d'identification grâce à de beaux paysages caractéristiques (héritage naturel et culturel)	se renseigner auprès de le l'OPS / LABES	conservé

Sa5	Régulation du microclimat local grâce aux écosystèmes	/	conservé
Sa6	Air sain et de bonne qualité pour l'homme	PM10: personnes exposées sur leur lieu d'habitation soit à un air «sain» (inférieur aux valeurs limites d'immission) soit à un air «malsain» (supérieur aux valeurs limites d'immission)	remplacé
Sa6	Air sain et de bonne qualité pour l'homme	Idem NO2	
Sa6	Air sain et de bonne qualité pour l'homme	Idem O3	
Sa6	Air sain et de bonne qualité pour l'homme	Idem suies	
Sa7	Silence	Personnes habitant dans un environnement calme pendant la journée (nombre de personnes exposées au bruit pendant la journée [trafics routier, ferroviaire et aérien] $L_r \leq 55\text{dB}$ )	évincé
Sa7	Silence	Nombre de personnes habitant dans un environnement calme pendant la nuit (nombre de personnes exposées au bruit pendant la nuit [trafics routier, ferroviaire et aérien] $L_r \leq 45\text{dB}$ )	évincé
Sa8	Un niveau de rayonnement Non ionisant sans danger pour la santé	/	évincé
<b>Sécurité</b>			
Sé1	Protection contre les avalanches, les chutes de pierres, et les laves torrentielles grâce à la végétation sur les pentes escarpées	Forêt protectrice pertinente pour la protection contre les avalanches sous forme de carte	évincé
Sé1	Protection contre les avalanches, les chutes de pierres, et les laves torrentielles grâce à la végétation sur les pentes escarpées	Forêt protectrice pertinente pour la protection contre les glissements de terrain (coulées de terre) sous forme de carte	conservé
Sé1	Protection contre les avalanches, les chutes de pierres, et les laves torrentielles grâce à la végétation sur les pentes escarpées	Forêt protectrice pertinente pour la protection contre les chutes de pierres sous forme de carte	
Sé1	Protection contre les avalanches, les chutes de pierres, et les laves torrentielles grâce à la végétation sur les pentes escarpées	Valeurs protégées par «Forêt de protection avalanches» (permet un calcul des risques en fonction des scénarios retenus)	
Sé1	Protection contre les avalanches, les chutes de pierres, et les laves torrentielles grâce à la végétation sur les pentes escarpées	Valeurs protégées par «Forêt de protection glissements de terrain» (permet un calcul des risques en fonction des scénarios retenus)	évincé
Sé1	Protection contre les avalanches, les chutes de pierres, et les laves torrentielles grâce à la végétation sur les pentes escarpées	Valeurs protégées par «Forêt de protection chute de pierres» (permet un calcul des risques en fonction des scénarios retenus)	évincé

sé2	Protection grâce à des zones qui peuvent être inondées ou retenir l'eau	Surfaces naturelles protectrices qui peuvent être inondées	conservé
Sé3	Stockage du CO2 Prestation écosystémique intermédiaire	Modification annuelle du stockage des gaz à effet de serre causée par les changements dans la gestion forestière	évincé
Sé3	Stockage du CO2 Prestation écosystémique intermédiaire	Modification annuelle du stockage des gaz à effet de serre causée par les changements dans l'utilisation des terres	évincé
Sé3	Stockage du CO2 Prestation écosystémique intermédiaire	Un indice des réserves de CO2 pour les différentes formes d'utilisation du territoire (forêts, cultures, prairies, zones humides) [Base: la somme des valeurs d'indice de toutes les formes d'utilisation du territoire a été fixée à 100 pour 1990]	conservé
<b>Diversité biologique</b>			
D1	Valeur d'existence («intrinsèque») de la diversité au niveau des espèces, gènes, écosystèmes et paysages	Indicateurs Z3, Z7 et Z9 du Monitoring de la biodiversité en Suisse (MBD): diversité biologique en Suisse et dans les régions, diversité biologique dans les paysages, diversité biologique dans les habitats Il faut considérer ces propositions comme provisoires: dans le cadre de la stratégie en matière de biodiversité, les indicateurs ont fait l'objet d'un débat nourri. Il conviendra d'examiner la faisabilité d'un indicateur «Modification du nombre et extension des habitats existants en Suisse».	remplacé
D1	Valeur d'existence («intrinsèque») de la diversité au niveau des espèces, gènes, écosystèmes et paysages	Indicateur relatif aux types de paysages (sur la base d'une typologie des paysages de Suisse / statistique des zones de protection)	remplacé
<b>Prestations économiques (facteurs de production naturels)</b>			
E1	Eau potable et eau d'usage issues d'eaux souterraines et d'eaux superficielles utiles	Approvisionnement en eau provenant d'eaux de source phréatiques Non traitées	conservé
E1	Eau potable et eau d'usage issues d'eaux souterraines et d'eaux superficielles utiles	Pourcentage de l'eau de source et de nappes phréatiques sur l'approvisionnement total en eau	évincé
E2	Soutien à la production de biens: pollinisation et lutte contre les ravageurs	Nombre et qualité des fournisseurs de pollen et de nectar Espèces végétales par zone de mesure.	remplacé
E2	Soutien à la production de biens: pollinisation et lutte contre les ravageurs	Densité moyenne des abeilles en Suisse (Völker par km <sup>2</sup> )	évincé
E3	Sol fertile pour l'exploitation agricole et sylvicole	ha de surface d'assolement, ha de surface de forêt	conservé
E4	Plantes fourragères et engrais organiques pour l'exploitation agricole	valeur production agricole en chf par an	évincé
E4	Plantes fourragères et engrais organiques pour l'exploitation agricole	Estimation de la quantité (en tonnes) de pâturages et d'aliments pour l'agriculture	évincé

E4	Plantes fourragères et engrais organiques pour l'exploitation agricole	Estimation de la quantité (en tonnes) d'engrais organique utilisée en agriculture	évincé
E5	Accroissement du bois pour l'exploitation sylvicole	Accroissement du bois	évincé
E5	Accroissement du bois pour l'exploitation sylvicole	Accroissement du bois net (accroissement du bois moins l'exploitation et la mortalité)	évincé
E5	Accroissement du bois pour l'exploitation sylvicole	Quantité de bois utilisé (exploitation annuelle)	évincé
E6	Gibier et poisson pour l'exploitation commerciale	Rendement annuel total de la pêche professionnelle en Suisse sur les Lacs (tonnes de poissons).	évincé
E6	Gibier et poisson pour l'exploitation commerciale	Rendement des pêcheurs professionnels suisses dans la consommation totale de poissons suisses.	évincé
E6	Gibier et poisson pour l'exploitation commerciale	Rendement annuel total du gibier (venaison) en Suisse, en tonnes de viande.	évincé
E6	Gibier et poisson pour l'exploitation commerciale	Proportion de gibier sauvage en Suisse dans la consommation totale de gibier sauvage en Suisse	évincé
E7	Paysages naturels et culturels à valeur touristique	Transports de personnes des chemins de fer suisses de montagne	évincé
E7	Paysages naturels et culturels à valeur touristique	Complément d'indicateur n° 2: cars postaux (dans les régions touristiques) et les bateaux (sur les cours d'eau suisses)	évincé
E8	Energies renouvelables: énergie hydraulique, énergie éolienne, biomasse, énergie solaire	Quantité absolue et part d'énergie renouvelable dans la consommation finale d'électricité	évincé
E8	Energies renouvelables: énergie hydraulique, énergie éolienne, biomasse, énergie solaire	Montant absolu et part de l'énergie renouvelable dans l'énergie de consommation finale sans énergie électrique	évincé
E9	Soutien à la production de biens: capacité de refroidissement	Besoin en eau de refroidissement pour des bâtiments en millions de m3 par an	conservé
E10	Ressources génétiques et substances actives biochimiques	Nombre d'isolats de bactéries pour la production	évincé
E11	Soutien à la production de biens: réduction et stockage des résidus	/	évincé

Tableau 2: Qualité des indicateurs pour représenter les PEF (données disponibles, fiables, claires).

N°	Prestation écosystémique finale (PEF)	Catégorie CICES (classification internationale)	Au moins un indicateur cartographié à l'échelle 1 ha	Au moins un indicateur cartographié à l'échelle fédérale	Commentaires
<b>Santé et bien-être</b>					
Sa1	Prestation récréative grâce à la chasse, la cueillette et l'observation de la faune et de la flore sauvages	Culturel			Les données n'étant pas cartographiques, elles sont difficilement utilisables. Il faudrait peut-être réfléchir au calcul d'une densité de sentier pédestre (offre – potentiel) qui correspondrait à la possibilité d'observer la faune et la flore. L'utilisation des données de téléphones ou montres connectées ( <a href="#">STRAVA</a> ) pourrait être une piste à suivre.
Sa2	Prestation récréative grâce à des espaces verts urbains ainsi que des espaces de détente de proximité ou plus éloignés	Culturel			À l'échelle cantonale, l'indicateur « Disponibilité d'espaces verts et de cours d'eau dans un rayon de 4 km autour des habitations en Suisse » ne représentait pas la réalité, une analyse de <a href="#">zone de desserte</a> a donc été réalisée pour mesurer l'accessibilité aux espaces verts par la population. À l'échelle fédérale, les indicateurs OPS couvrent la Suisse mais sont parfois difficile à interpréter.
Sa3	Prestation récréative grâce à des espaces de détente aménagés aux alentours des constructions (p. ex. jardins)	Culturel			À l'échelle cantonale, il est probable que certains cantons possèdent une cartographie précise de leurs espaces verts. Ces espaces verts à proximité des lieux d'habitation sont très appréciés de la population et sont donc de bons indicateurs de l'offre en détente. À l'échelle fédérale, les données Geostat couvrent l'ensemble de la Suisse et sont une bonne alternative à la donnée cantonale.
Sa4	Possibilité d'identification grâce à de beaux paysages caractéristiques (héritage naturel et culturel)	Culturel			L'inventaire fédéral du paysage peut être utilisé à l'échelle cantonale mais ne correspond peu au ressenti du terrain. Il semble plus pertinent pour l'échelle fédérale.
Sa5	Régulation du microclimat local grâce aux écosystèmes	Régulation			Les images satellites permettent désormais de facilement mesurer la température de surface. Les données sont accessibles gratuitement et il est possible de mettre à jour le résultat. Utilisation à l'échelle cantonale comme fédérale.
Sa6	Air sain et de bonne qualité pour l'homme	Régulation			L'indice de pollution à long terme du Cercl'indicateur est plus pertinent que celui du réseau NABEL. Il couvre toute la Suisse. Sa précision à l'hectare semble plus pertinente au niveau fédéral que cantonal. Un satellite (Sentinel-5P) a récemment été lancé pour montrer la pollution atmosphérique. Il faudrait investiguer cette source de données.
Sa7	Silence	Régulation			Il est difficile de faire un lien entre biodiversité et nuisance sonore. Ces données sont plutôt liées aux infrastructures grises. Il faudrait plutôt réfléchir en termes d'éléments naturels qui protègent des nuisances sonores, ou bien des sources de bruits naturels et agréables.
Sa8	Un niveau de rayonnement non ionisant sans danger pour la santé	Régulation			La relation entre PEF et émissions des réseaux mobiles est difficilement palpable. La prestation rend compte d'une absence de nuisance plutôt que d'un service rendu.
<b>Sécurité</b>					
Sé1	Protection contre les avalanches, les chutes de pierres et les laves torrentielles grâce à la végétation sur les pentes escarpées	Régulation			Cartographie et méthodologie couvrantes et précises sur l'ensemble de la Suisse, utilisables aux deux échelles.
Sé2	Protection grâce à des zones qui peuvent être inondées ou retenir l'eau	Régulation			Nous avons utilisé les données cantonales des services de l'eau (espace minimal des cours d'eau, zones naturelles et renaturées qui peuvent retenir l'eau, zone de danger) pour modéliser le périmètre qui agit en tant que protection des crues. À l'échelle fédérale, les données Aquaprotect ont l'avantage d'être réalisées à plusieurs temps de retour (50 à 500 ans) pour l'ensemble de la Suisse et sont relativement similaires aux données cantonales.
Sé3	Stockage du CO <sub>2</sub> , prestation écosystémique intermédiaire	Régulation			Il a fallu récupérer un raster d'utilisation du sol, puis d'appliquer les formules du rapport <a href="#">NIR</a> pour calculer un indicateur de stockage équivalent CO <sub>2</sub> dans le sol. Il a l'avantage de pouvoir être calculé sur l'ensemble de la Suisse, il est reproductible à différentes périodes et en fonction du changement d'utilisation du sol.
<b>Biodiversité</b>					
D1	Diversité biologique	Culturel			Utilisation de la base de données Info Flora pour estimer la richesse floristique et de la carte des Milieux naturels de Genève pour mesurer la fonctionnalité du territoire. Ces indicateurs de fonctionnalités peuvent être recalculés dans une moindre précision à l'échelle fédérale en utilisant GEOSTAT. Les données du BDM à Genève n'étaient pas pertinentes, car trop peu de placettes (2, dont une dans le lac) sont présentes sur le territoire.
<b>Prestations économiques</b>					

E1	Eau potable et eau d'usage issues d'eaux souterraines et d'eaux superficielles utiles	Approvisionnement			L'indicateur proposé se base sur des données statistiques issues d'un pdf et ne sont pas cartographique. À Genève nous avons à disposition les points de pompage de l'eau, ainsi que les volumes et l'étendue de la nappe phréatique. De plus, le Canton a défini des mesures de protection des eaux. Selon l' <a href="#">Ordonnance fédérale sur la protection des eaux</a> (OEaux), ces secteurs doivent être cartographiés par les cantons et pourraient donc être utilisés à l'échelle fédérale. Il existe également des modèles hydrographiques qui n'ont pas été investigués : le modèle SWAT permet notamment de tester différents scénarios d'approche agro-écologique afin d'évaluer leur impact sur la qualité de l'eau des bassins versants et de déterminer si leur mise en place apporte un bénéfice sur les ressources en eau étudiées.
E2	Soutien à la production de biens: pollinisation et lutte contre les ravageurs	Régulation			La pollinisation est une prestation écosystémique à forte valeur symbolique. Mais les données disponibles sont souvent lacunaires et il faut donc passer par des modélisations d'abondance de pollinisateurs basées sur la présence de milieux naturels d'intérêt. Sans carte des milieux naturels précises à l'échelle fédérale, il n'est pas possible de modéliser la pollinisation.
E3	Sol fertile pour l'exploitation agricole et sylvicole	Régulation			Les surfaces d'assolement et forestières sont cartographiées à Genève. À l'échelle fédérale, la statistique de la superficie mesure également ces surfaces. Du point de vue quantitatif, le type de cultures devrait être accessible par le biais de l'OFAG.
E4	Plantes fourragères et engrais organiques pour l'exploitation agricole	Approvisionnement			Grande difficulté à trouver des informations sur l'utilisation de plantes fourragères et engrais organiques ainsi que leur cartographie. E4 pourrait certainement être rattachée à la prestation E3 et apporter un caractère quantitatif à ladite prestation.
E5	Accroissement du bois pour l'exploitation sylvicole	Approvisionnement			Présenté sous forme de cartes et de tableaux, l'Inventaire forestier national suisse (IFN) recense l'état et l'évolution de la forêt suisse, récoltant à cet effet des données sur un réseau systématique d'échantillonnage. Les données sont agrégées à l'ensemble du canton. Les forestiers cantonaux ont été questionnés afin de savoir s'il existait une cartographie de l'exploitation forestière, il semble qu'elle ne soit pas encore réalisée. En l'état, nous ne voyons pas comment mesurer cette prestation.
E6	Gibier et poisson pour l'exploitation commerciale	Approvisionnement			Les données statistiques sont souvent agrégées par espèce et par canton, il est donc difficile de spatialiser ces informations. À défaut d'autres informations, nous proposons d'utiliser les principaux cours d'eau et lacs.
E7	Paysages naturels et culturels à valeur touristique	Culturel			C'est une prestation très difficile à quantifier, proche de Sa4. C'est certainement par l'utilisation mutuelle de l'approche contingente des coûts de déplacement et d'enquêtes qu'il serait le plus facile d'obtenir des résultats. Cette étape pourrait être rattachée au projet <a href="#">WaMos</a> du WSL.
E8	Energies renouvelables: énergie hydraulique, énergie éolienne, biomasse, énergie solaire	Approvisionnement			Le potentiel thermique et solaire et les quantités d'énergies renouvelables produites à Genève sont connus, mais pas la localisation précise des productions. La Suisse possède une cartographie des zones à potentiel éolien. Cette prestation risque de rentrer en conflit avec la préservation des milieux naturels.
E9	Soutien à la production de biens: capacité de refroidissement	Régulation			À l'échelle cantonale, il existe des données sur l'utilisation des nappes phréatiques pour refroidir les bâtiments.
E10	Ressources génétiques et substances actives biochimiques	Approvisionnement			Complexité de mise en œuvre de l'indicateur, peu parlant pour le grand public, non investigué.
E11	Soutien à la production de biens: réduction et stockage des résidus	Régulation			Complexité d'acquisition de la donnée, il faut passer par la modélisation ( <a href="#">InVEST SDR</a> ) ou par la <a href="#">carte</a> de risque d'érosion, qu'il faudrait combiner avec une carte d'utilisation du sol.

Les raisons de l'éviction d'un indicateur sont multiples : (i) les données n'existent pas. Par exemple, c'est le cas pour l'indicateur *Transports de personnes des chemins de fer suisses de montagne* du PEF E7. Les sociétés de car postaux et de trains ont été contacté et elles ne sont pas en mesure de distinguer les lignes pour les touristes de celles pour les pendulaires, par exemple. (ii) Aucun indicateurs n'a été proposé initialement et nous n'avons pas trouvé de solutions non plus (ex PEF E11, Réduction et stockage des résidus). (iii), l'indicateur proposé ne peut être spatialisé ou temporalisé. C'est le cas pour les indicateurs E8 (Energie renouvelable), E6 (paysage naturel à valeur touristique, et E5 (Gibier ou poissons pour exploitation commerciale), par exemple.

La couleur des smileys dans le Tableau 2 reflètent une évaluation de la qualité d'un indicateur, et non de son état à Genève ou en Suisse. Sept PEF n'ont pas été cartographiées par manque de données fiables ou parce que l'indicateur avait été jugé peu pertinent. Sur les 16 PEF qui ont été cartographiées, huit restent partiellement insatisfaisantes (voir commentaires et annexe 1). Sept PEF (plus celui de la biodiversité) avaient au moins un indicateur représentatif de la prestation sur le territoire genevois (Tableau 1).

### Source de données

Dans un souci de reproductibilité de cette étude dans d'autres cantons, nous indiquons dans les fiches pour chaque indicateur les données disponibles au niveau fédéral (Annexe 1). Cependant, nous avons privilégié des données plus précises au niveau cantonal lorsque celles-ci étaient disponibles.

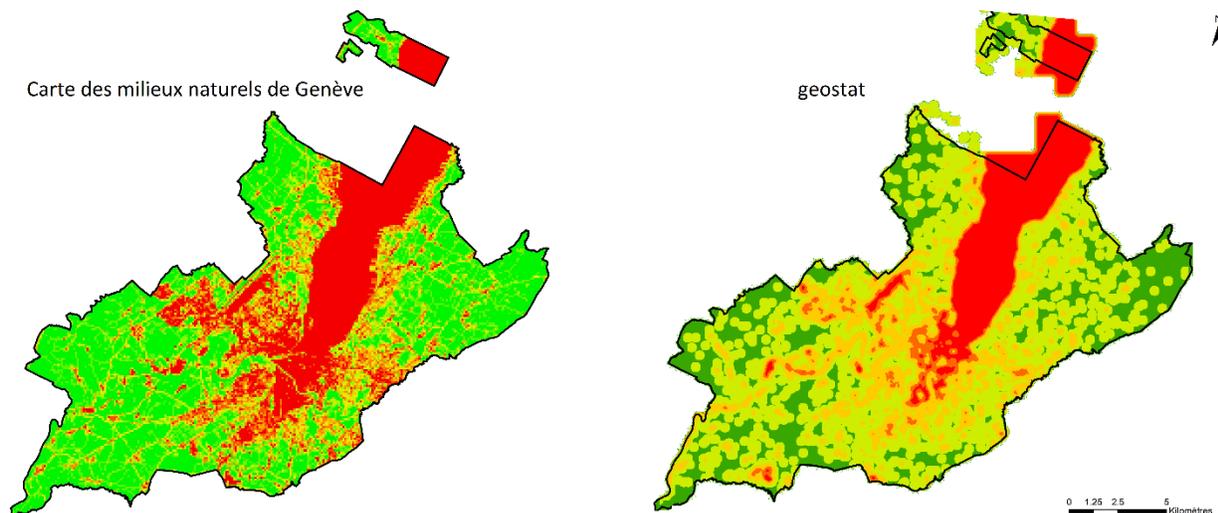


Figure 5: Cartographies de morcellement du paysage avec différentes données. Le paysage est difficile à traverser (principalement pour la faune terrestre) lorsque la carte est rouge et inversement en vert. La carte à gauche se base sur la carte des milieux naturels de Genève précise au mètre (données cantonales), et celle à droite correspond au même indicateur, mais calculé avec des données disponibles à l'échelle du pays, à l'hectare (Geostat). Les gros cours d'eau et le lac sont considérés comme des barrières à la mobilité de la faune terrestre.

Pour illustrer les conséquences de la source de données sur le rendu final, nous illustrons l'indicateur biodiversité « mesh-size » qui reflète le morcellement du paysage (Figure 5). La carte de gauche utilise la carte des milieux naturels comme donnée principale. La carte de droite utilise la donnée Geostat, qui représente un point (échantillon) par hectare. Bien que les deux résultats montrent des tendances similaires, la donnée cantonale montre que l'espace urbain fragmente en réalité plus le territoire que la donnée de l'office de la statistique. Pour une analyse à l'échelle cantonale, GeoStat serait vraisemblablement de qualité suffisante. Toutefois, si le gestionnaire souhaite faire une analyse pour un projet au niveau d'une commune ou d'un quartier, elle devient alors trop imprécise.

## Modification des indicateurs

Plusieurs indicateurs proposés par (Staub et al. 2011) ont nécessité des modifications avant de pouvoir être cartographiés. Nous illustrons quelques points essentiels avec la *Prestation récréative grâce à des espaces verts urbains ainsi que des espaces de détente de proximité ou plus éloignés* (Sa2), un PEF en lien avec la santé et le bien-être.

Deux indicateurs d'accessibilité sont proposés par Staub et al. (2011) pour représenter l'accès aux espaces verts urbains pour la détente. Ils ont l'avantage d'être déjà cartographiés et disponibles pour toute la Suisse. À l'échelle d'un canton, cependant, leur interprétation reste peu intuitive, des formes géométriques (carrés, cercles) sont visibles sur la (Figure 6) **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Elles sont dues à une modélisation basée sur des tests réalisés dans quelques villes suisses, mais ne correspondent pas au ressenti du citoyen genevois qui connaît le territoire.

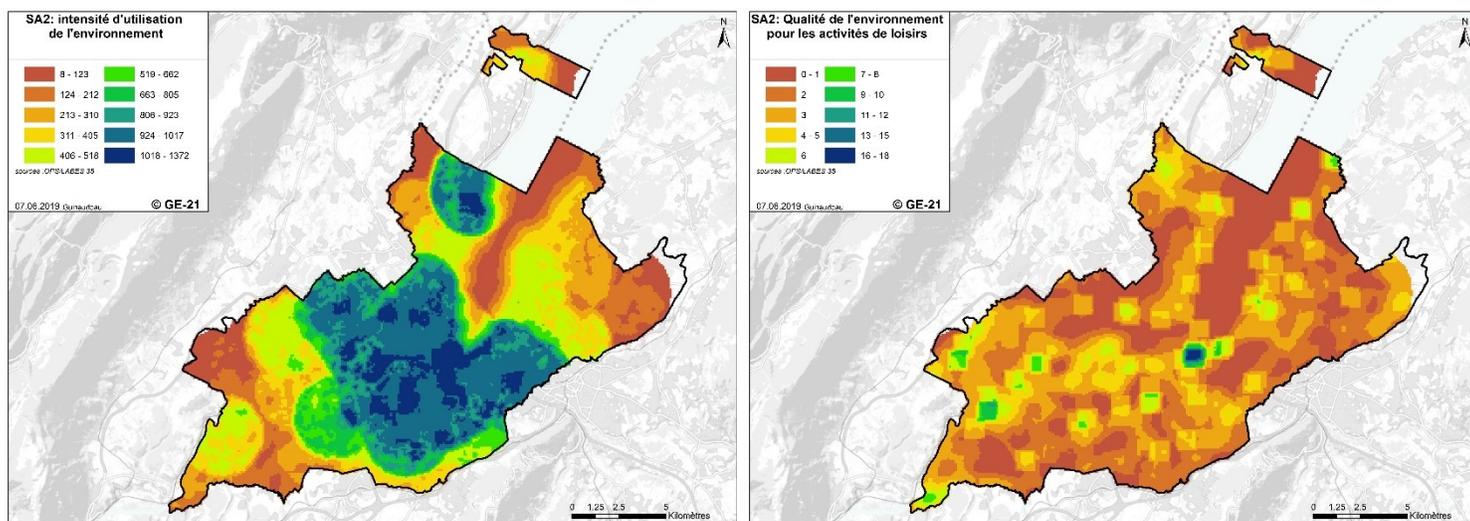


Figure 6: Deux indicateurs développés par l'Observatoire du paysage pour représenter les activités de loisirs liées à l'environnement.

Nous proposons pour cette PEF un nouvel indicateur défini par le nombre d'habitants qui ont accès à des espaces verts (parcs arborés) ou bleus (cours d'eau et lacs). Nous avons identifié tous les polygones verts ou bleu (de surface égale ou supérieur à 0.5 ha) accessibles gratuitement par le public. Ensuite, nous avons créé une carte géomatique du réseau qui permet aux citoyens de relier

à pied/vélo/voiture chaque espace vert et bleu depuis son domicile. Une sélection des cheminements a été réalisée à partir de la couche géomatique des routes de l'agglomération en les discriminant par taille (exception pour certaines routes primaires avec trottoir) + pistes cyclables + chemins de randonnée et aménagements piétons.

La motivation pour accéder à un espace vert ou bleu peut dépendre de sa surface.

Création de distance de desserte en fonction de la superficie des espaces verts :

- 0.5 à 2 ha : distance de 300 m,
- 2 à 20 ha : distance de 2 km,
- 20 à 100 ha : distance de 5 km,
- 100 à 500 ha : distance de 10 km

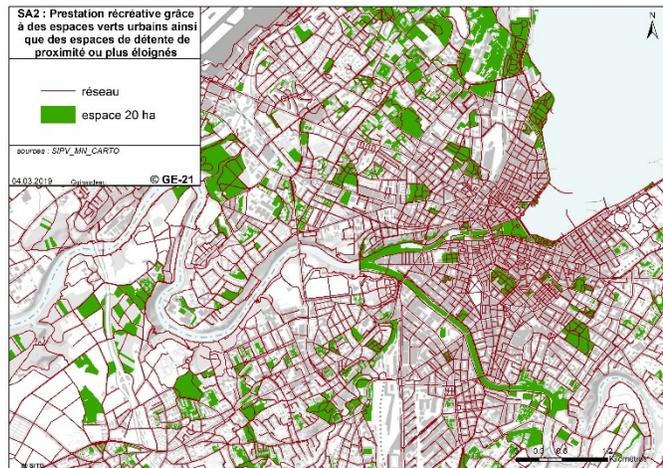


Figure 7: Données de base pour l'analyse d'accessibilité pour les polygones faisant entre 2 et 20 ha.

Nous avons finalement croisé ces informations avec les données "population" afin de compter le nombre de personnes (adresses) dans la zone d'accès de chaque polygone, avec une analyse de desserte (network analystArcGIS) en fonction de la taille des polygones retenus.

Le résultat de l'analyse réseau est figuré par des polygones représentant la zone d'accès de chaque espace vert ou bleu. Cet indicateur est préférable car il identifie les espaces ouverts et naturels qui servent à la détente de manière précise et explicite.

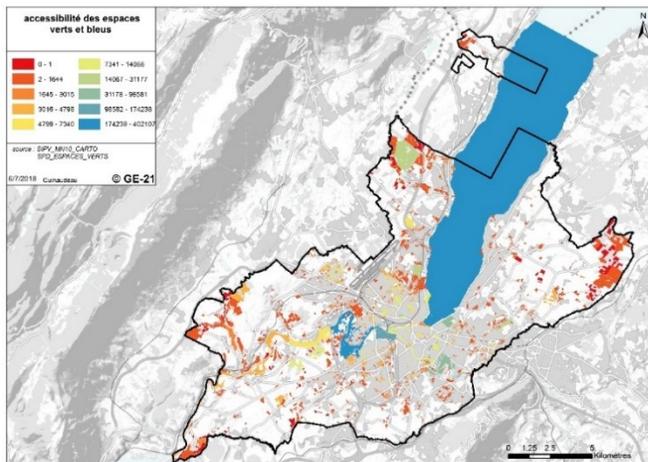


Figure 9: Nombre de personne (adresses) ayant accès aux polygones verts ou bleus.

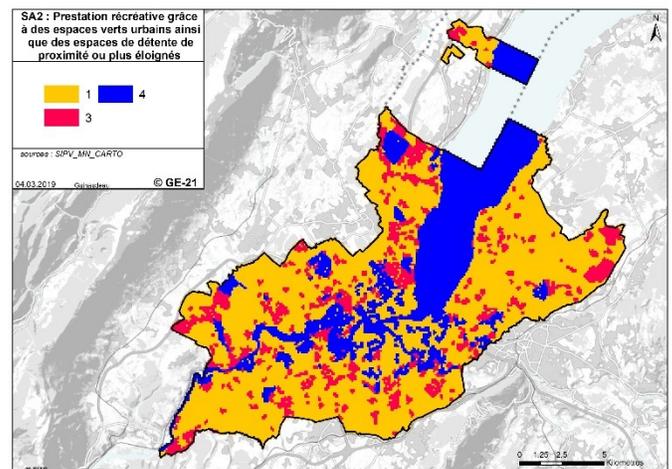


Figure 8: Séparation par quartile des valeurs accessibilité (en bleu les espaces verts ou bleus proche des habitations)

## Un carnet cartographique des PEF

Chacune des 17 PEF (parfois plusieurs indicateurs) a été cartographiée (Annexe 1). Ces cartes ont ensuite été regroupées par catégories de PEF dans un premier temps, et ensuite regroupées collectivement pour donner une carte de synthèse.

Le résultat des regroupements de PEF par catégories montre des tendances assez différentes (Figure 10). Très peu de localités ont une fonction de protection, ce qui est assez logique puisque le canton possède peu de reliefs abrupts et possède un lac qui permet de tempérer les événements pluviométriques. À l'inverse, les surfaces qui sont associées à la Biodiversité et les PEF de l'Economie sont plus largement réparties sur le territoire. Dans le second cas, c'est principalement l'agriculture et la sylviculture qui en sont les moteurs. Enfin, les PEF de Bien-être et de Santé se regroupent autour des parcs et espaces verts urbains comme celui des Eaux-Vives, de la Jonction Rhône-Arve, du Bois de la Bâtie et des localités plus périphériques, notamment les forêts en zone extra-urbaine.

Table 3: Liste des indicateurs de PEF (n=17) et de Biodiversité (n=4) utilisés dans les analyses

N°	Indicateur initialement proposé	Choix de réalisation	nouvel indicateur GE-21	données pour nouvel indicateur
<b>santé bien-être</b>				
Sa2	Disponibilité d'espaces verts et de cours d'eau dans un rayon de 4 km autour des habitations en Suisse	remplacé	Accessibilité des espaces naturels	Sélection d'espaces naturels d'intérêt dans la carte des MN pour calculer le nombre de personne ayant accès à chaque espace naturel
Sa2	Accessibilité des espaces de détente pour la population suisse, indicateur d'utilisation des loisirs de proximité non pondéré par la densité de population et pondéré par la densité de population	conservé		
Sa2	Accessibilité des zones calmes pour la population suisse	conservé		
Sa3	Surface qui peut être utilisée pour jardiner, s'asseoir, jouer ou se détendre	conservé		
Sa4	se renseigner auprès de le l'OPS / LABES	conservé	Paysages d'intérêt	Inventaire Fédéral du Paysage
Sa5	/	créé	Îlot de fraîcheur	Température de surface
Sa6	PM10: personnes exposées sur leur lieu d'habitation soit à un air «sain» (inférieur aux valeurs limites d'immission) soit à un air «malsain» (supérieur aux valeurs limites d'immission)	remplacé	Qualité de l'air	Indice de Pollution à long terme
<b>Sécurité</b>				
Sé1	Forêt protectrice pertinente pour la protection contre les glissements de terrain (coulées de terre) et chute de pierre sous forme de carte	conservé		
sé2	Surfaces naturelles protectrices qui peuvent être inondées	conservé	utilisation des données genevoises	
Sé3	Un indice des réserves de CO2 pour les différentes formes d'utilisation du territoire (forêts, cultures, prairies, zones humides) [Base: la somme des valeurs d'indice de toutes les formes d'utilisation du territoire a été fixée à 100 pour 1990]	conservé		
<b>Diversité biologique</b>				
D1		créé	Indice de Naturalité	carte des MN
D1	Indicateur relatif aux types de paysages (sur la base d'une typologie des paysages de Suisse / statistique des zones de protection)	remplacé	Fragmentation du paysage	carte des MN
D1		créé	Indice de richesse de milieux naturels	carte des MN
D1	Indicateurs Z3, Z7 et Z9 du Monitoring de la biodiversité en Suisse (MBD): diversité biologique en Suisse	remplacé	Richesse floristique	Inflorea
<b>Prestations économiques (facteurs de production naturels)</b>				
E1	Approvisionnement en eau provenant d'eaux de source phréatiques Non traitées	conservé	Protection des ressource en eau	Périmètre des secteurs de protection des eaux <a href="https://ge.ch/sitg/fiche/1592">https://ge.ch/sitg/fiche/1592</a>
E2	Nombre et qualité des fournisseurs de pollen et de nectar Espèces végétales par zone de mesure.	remplacé	Indice d'abondance de pollinisateurs	Carte des MN et modélisation InVEST
E3	ha de surface d'assollement, ha de surface de forêt	conservé		
E5		créé	Forêt productrice	Catégories forestières de la carte MN au sein du cadastre forestier
E6		créé	Richesse piscicole des cours d'eau	Utilisation de l'emprise du lac et des principaux cours d'eau
E8		créé	Capacité éolienne	Utilisation de l'intérêt éolien, zone sous réserve de coordination, <a href="https://wind-data.ch/windkarte/index.php?lng=fr">https://wind-data.ch/windkarte/index.php?lng=fr</a>
E9	Besoin en eau de refroidissement pour des batiments en millions de m3 par an	conservé	Ressource pour refroidir le bati	Cartographie des nappes phréatiques utilisées pour pomper l'eau pour refroidir les bâtiments

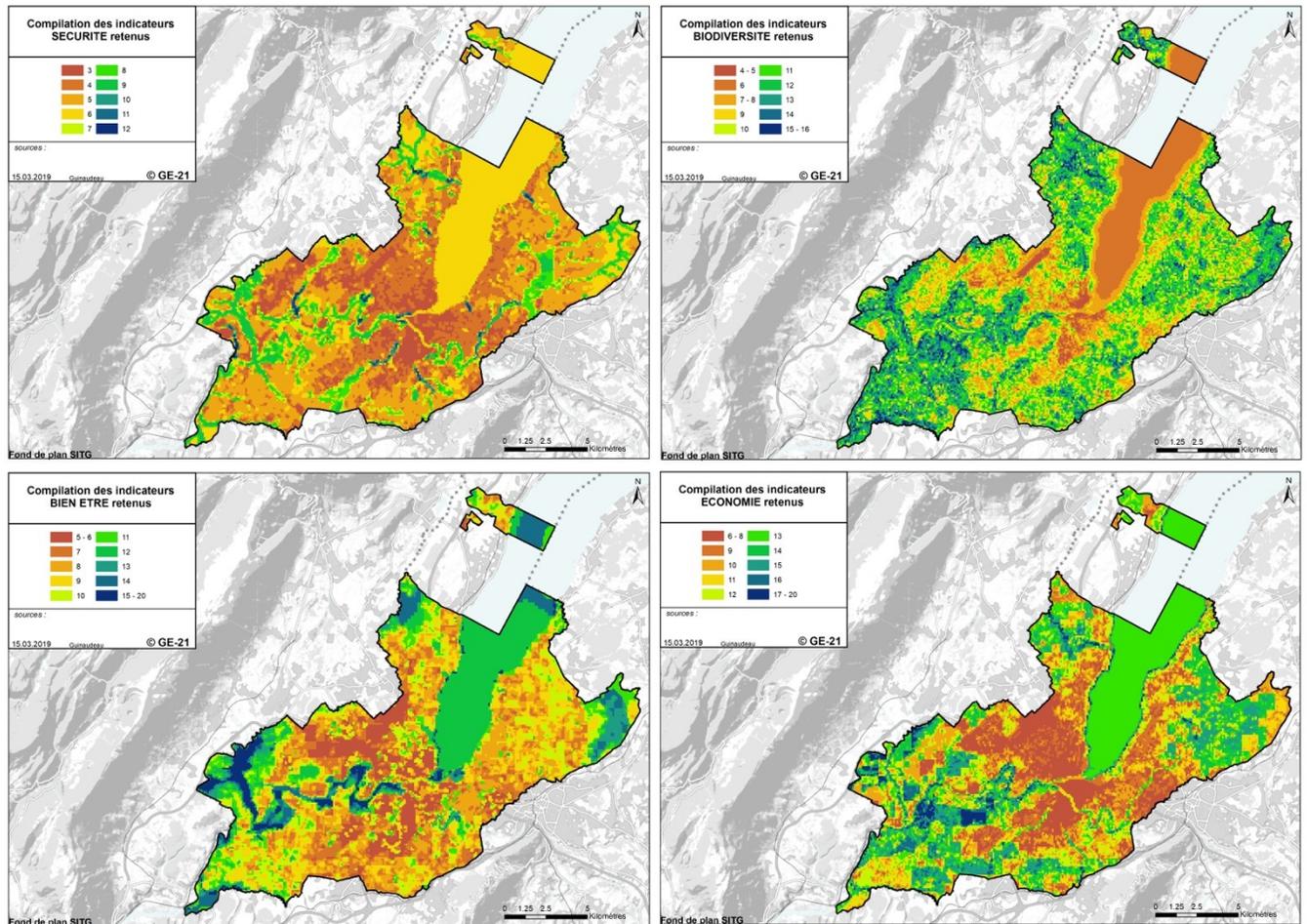


Figure 10: Cumule des PEF par catégorie (Sécurité, Santé-Bien-être, Economie et Biodiversité).

On constate globalement deux généralités qui font écho aux mêmes tendances observées pour la biodiversité :

- Le centre urbain de Genève est moins pourvu en PEF.
- Les abords des cours d’eaux et des forêts sont souvent riches en PEF.

Afin de produire une seule carte qui synthétise la distribution des PEF, les 4 catégories de PEF ont été additionnées avec une pondération égale. La valeur théorique minimale est de 19 (cela correspond à 15 PEF + 4 indicateurs de biodiversité avec le quantile 1 pour un même ha) et la valeur maximale théorique est de 76 (19 PEF avec le quantile 4 pour un même ha). Un ha qui approche la valeur de 76 possède donc de nombreuses PEF avec une valeur de Biodiversité élevée.

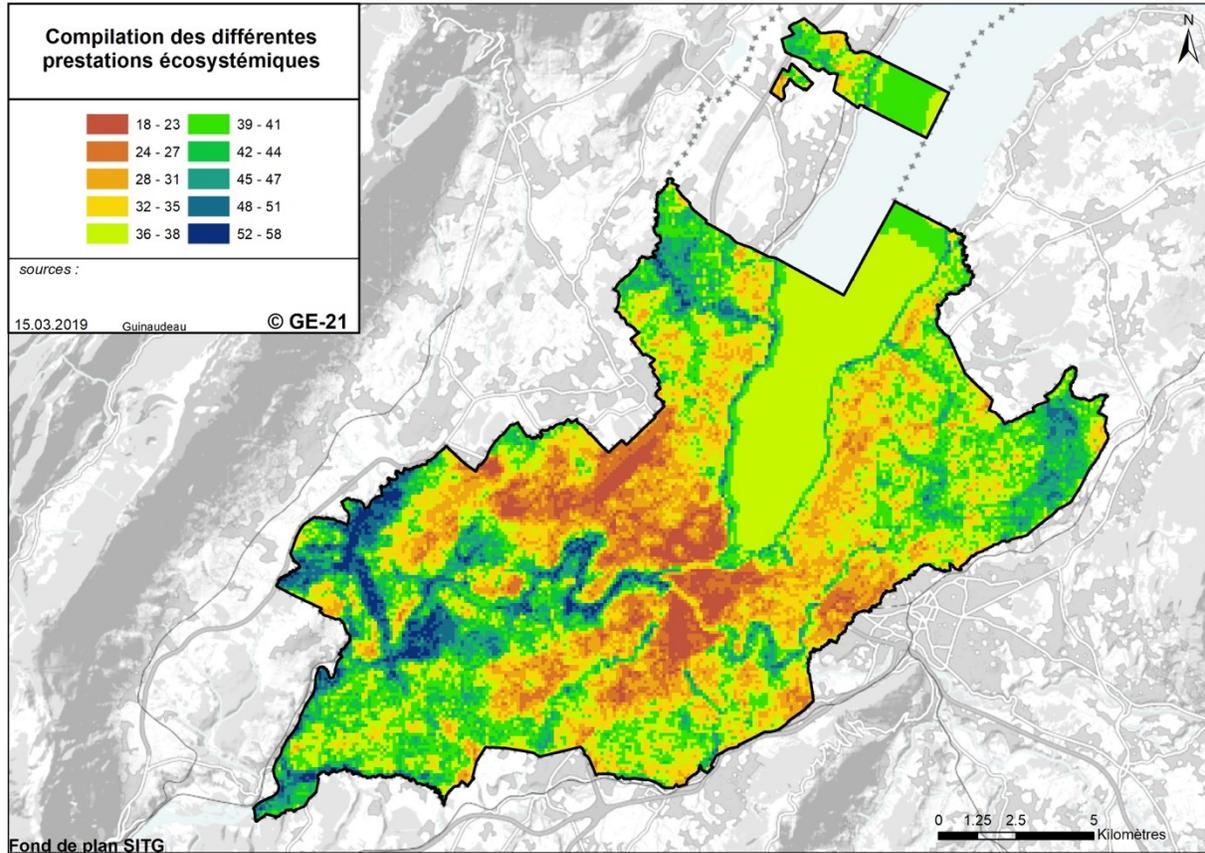


Figure 11: Carte synthétique des PEF sur le canton de Genève en prenant les indicateurs de la

Table 3.

Les forêts, les abords du lac et des cours d'eau (Seymaz, l'Aire), certains parcs publics (Trembley, Eaux Vives, Bertrand) sont des surfaces avec beaucoup de PEF+Biodiversité (Figure 15). À l'inverse, les zones urbaines à proximité de l'aéroport, la gare, l'actuel PAV (Quartie Praille-Acacias-Vernet) ou dans une moindre mesure la région de Thônex, sont moins pourvus en PEF+Biodiversité.

### Représentation de la biodiversité

Pour la première fois à Genève, quatre dimensions de la biodiversité ont été cartographiées de manière couvrante sur le canton (Figures 12-15). Une image composite (avec une pondération équivalente entre les quatre indicateurs) de la biodiversité illustre que les zones naturelles (proches des cours d'eau) et des zones avec de faibles densités de bâtiments sont relativement riches en biodiversité, à l'exception des zones agricoles (Figure 16). Ces cartes correspondent à notre intuition et nos expériences du terrain, mais il serait nécessaire de faire des vérifications sur

le terrain des indicateurs qui le permettent (richesse floristique flore, diversité de milieux, naturalité).

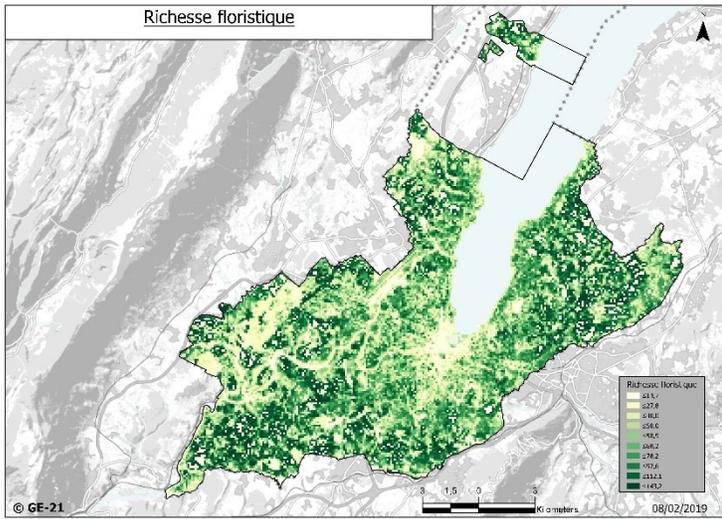


Figure 12: Modélisation de la richesse floristique du canton, par hectare, fond de plan SITG.

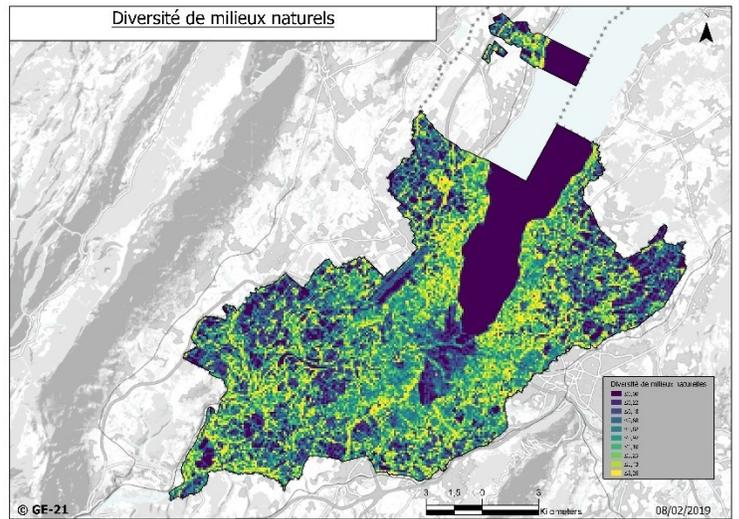


Figure 13: Diversité des milieux verts (indice de Shannon en séparant la carte des milieux naturels en 30 milieux naturels), fond de plan SITG.

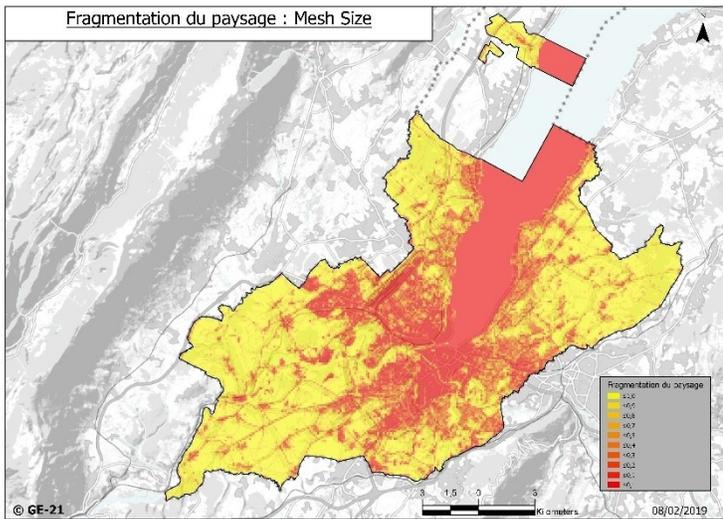


Figure 14: Indice de fragmentation du paysage, en rouge les milieux fortement fragmentés ou considérés comme des barrières difficiles à traverser pour la faune, fond de plan SITG.

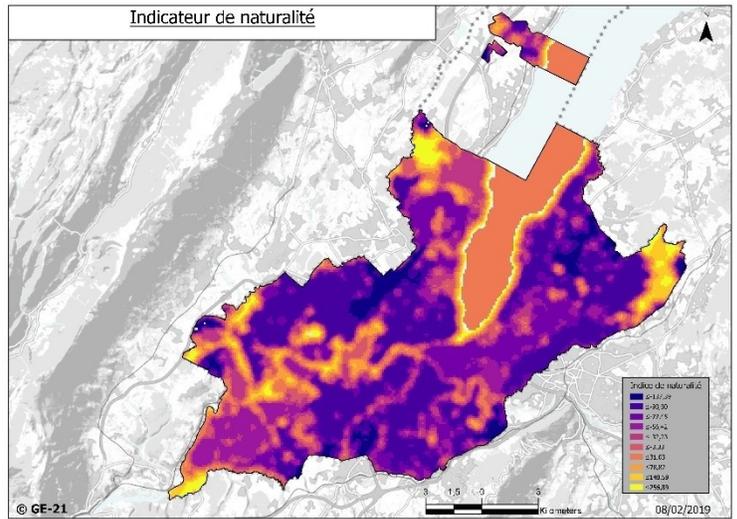


Figure 15: Indice de naturalité du territoire, fond de plan SITG.

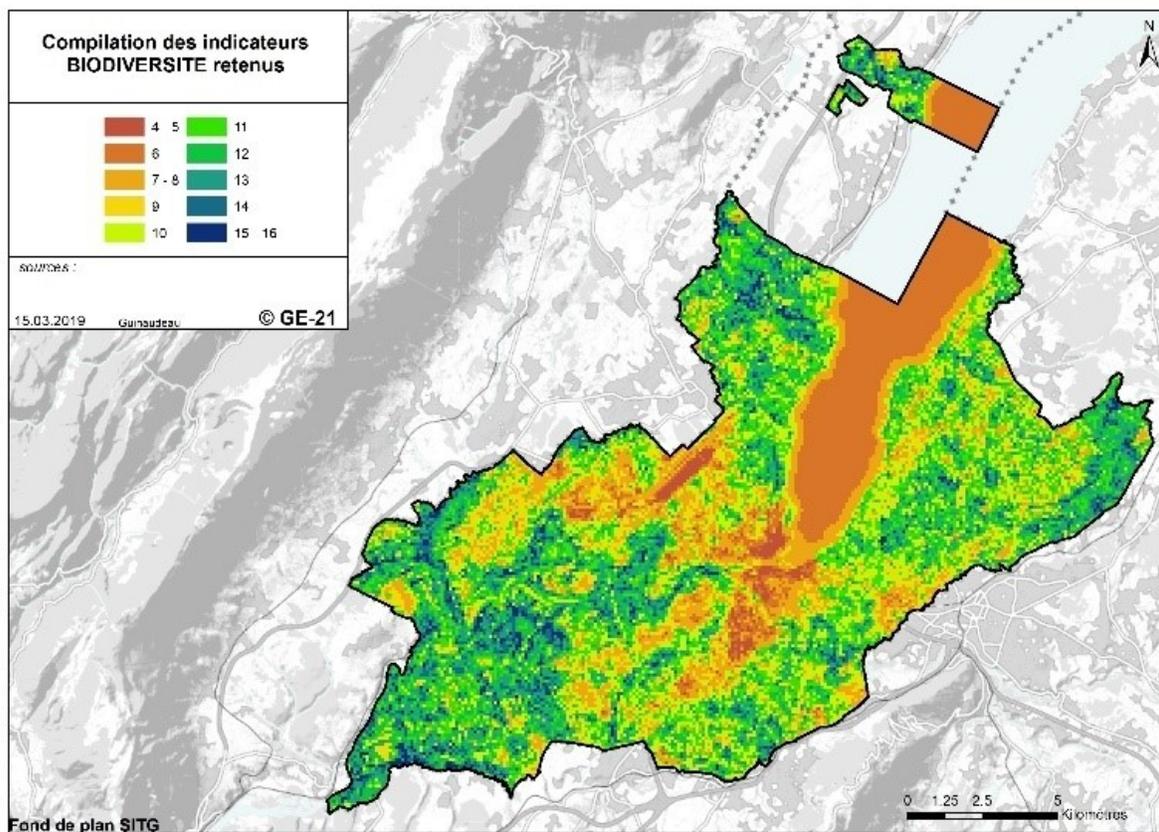


Figure 16: Carte synthétique de la biodiversité (composée des 4 indicateurs de biodiversité).

## Analyse spatiale de la superposition des surfaces à forte valeur biodiversité et PEF

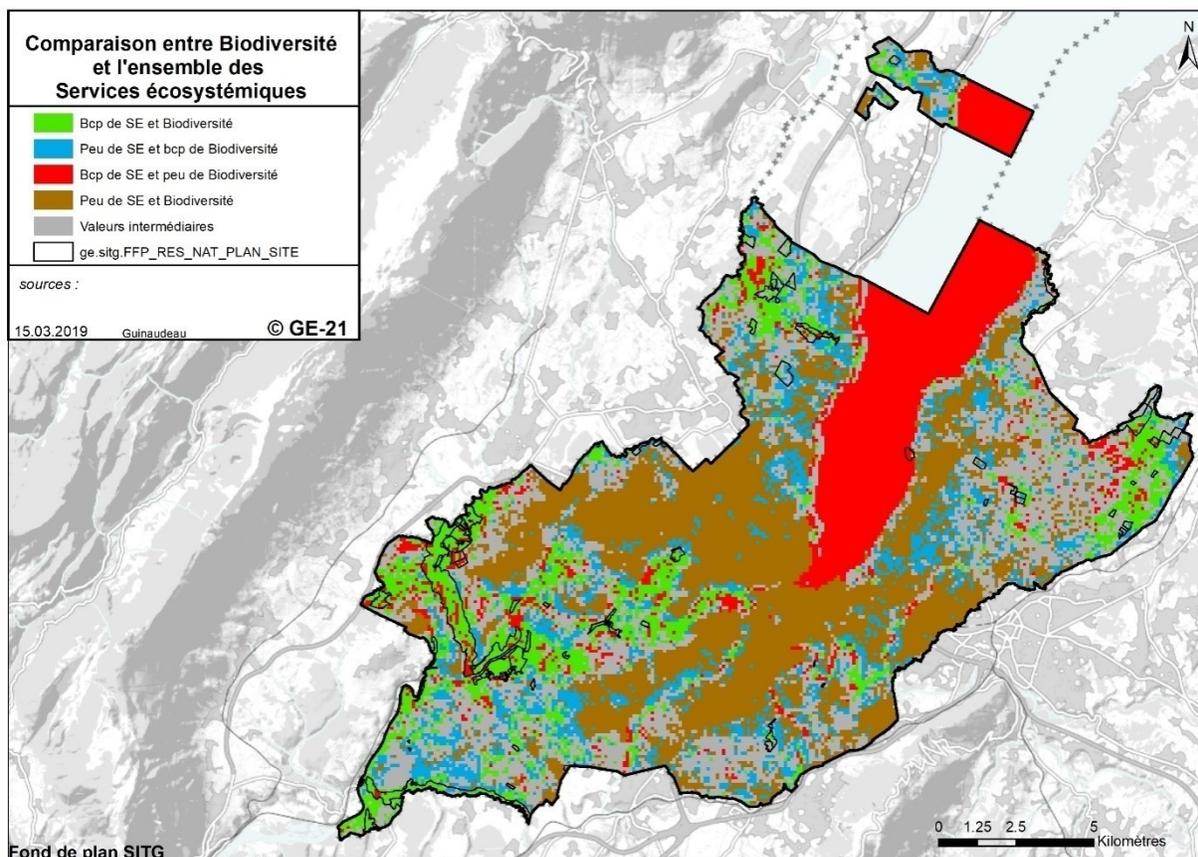


Figure 17: Comparaison entre les valeurs de biodiversité et de SE (

Table 3), avec les périmètres des réserves naturelles (ligne noire). Les seuils pour appartenir à l'un ou l'autre des regroupements se trouvent en Tableau 1. Les indicateurs de la biodiversité sont biaisés en faveur des milieux terrestres, ce qui contribue peut-être aux faibles valeurs de biodiversité dans les milieux aquatiques (lac et cours d'eau).

Une part relativement importante (12.5 %) de la surface du canton a des valeurs élevées à la fois en matière de PEF et de biodiversité (surfaces vertes ; Figure 17). Ces surfaces sont situées en zone forestière, aux abords du lac et des cours d'eau et principalement hors de la zone urbaine dense.

Environ un tiers (29%) supplémentaire de la surface cantonale est riche en PEF (16.5% ; en rouge dans Figure 17) ou en biodiversité (12.5%, en bleu dans Figure 17). Ces surfaces se trouvent dans les localités périurbaines, à proximité de localités riches en PEF et en biodiversité. La zone agricole obtient principalement des valeurs intermédiaires. On constate enfin qu'il y a à peu près 31% de surfaces cantonales considérées comme pauvres dans les deux (surfaces brunes). Ces lieux se trouvent généralement dans le tissu urbain.



## Analyse statistique des corrélations entre biodiversité et prestations écosystémiques

Les corrélations simples et corrigées pour l'autocorrélation spatiale donnent des résultats très similaires. Chaque indicateur est corrélé avec les mêmes indicateurs dans les deux tests statistiques. Seule différence, le coefficient de corrélation est plus fort dans les corrélations de Pearson non spatialisé (test de rang). Pour plus de clarté, seules les corrélations de Pearson sont présentées (Figure 18).

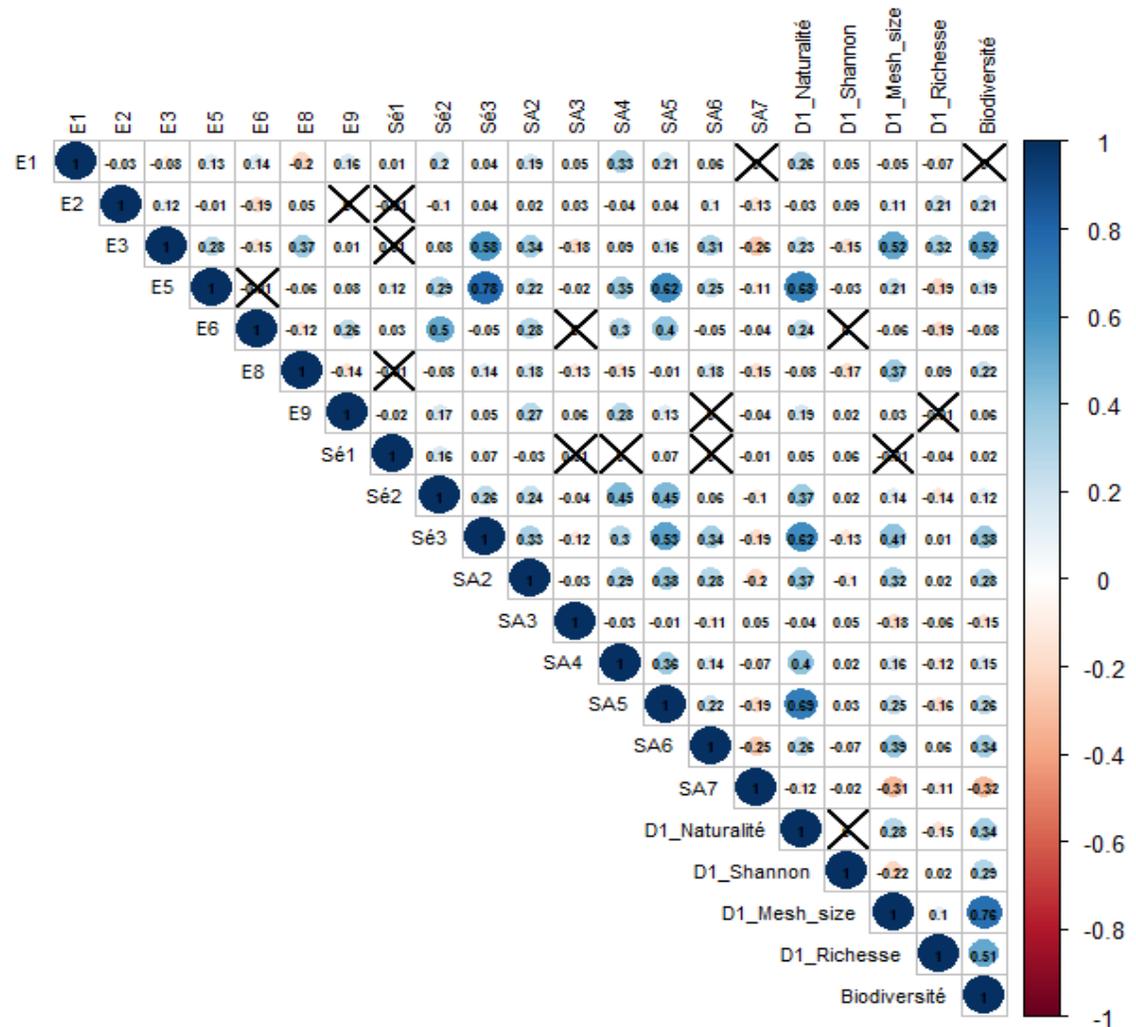


Figure 18: Corrélation de Pearson entre les PEF cartographiés (test de rang). Les croix signifient un test non significatif. La ligne biodiversité correspond à la moyenne des valeurs des 4 indicateurs D1.

Nous analysons les principales corrélations « fortes » (c'est-à-dire  $r > 0.3$ ). Les 4 sous-indicateurs pour la Biodiversité (naturalité, mesh-size, diversité des milieux et richesse floristique) sont peu ou pas corrélés entre eux. Cela laisse supposer que ces quatre sous-indicateurs captent des dimensions uniques et complémentaires de la biodiversité.

Seul le PEF E3 (sols fertiles pour l'exploitation agricole et sylvicole) est corrélé positivement avec la Biodiversité, et en particulier avec les sous-indicateurs mesh-size et richesse floristique.

Les sous-indicateurs de la biodiversité mesh-size et naturalité sont positivement corrélés avec de nombreux PEF. À l'inverse, des mesures traditionnelles de la biodiversité (richesse floristique flore et diversité des milieux) ne le sont que très peu.

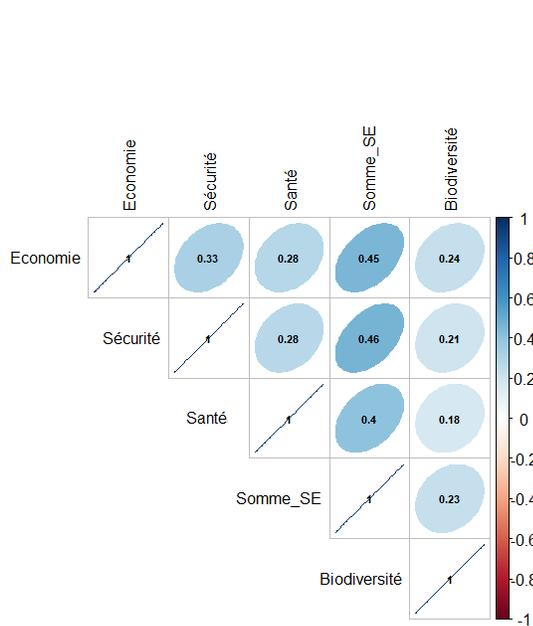


Figure 19: Corrélation spatiale basée sur le système suisse.

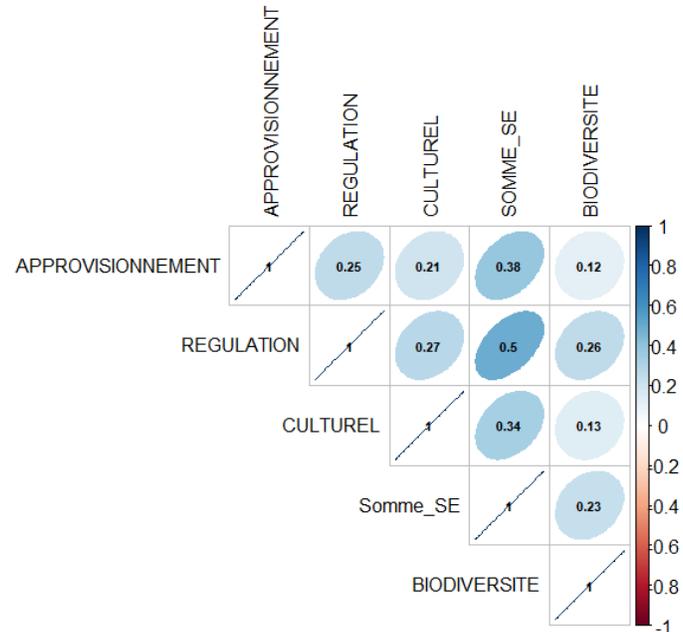


Figure 20: Corrélation spatiale basée sur le système européen.

Les trois catégories de PEF définies par l'OFEV (Economie, Sécurité, et Santé humaine) sont toutes positivement et faiblement corrélées ( $r$  entre 0.18 et 0.24) avec la biodiversité et entre elles (Figure 19). Lorsque les PEF sont regroupées avec une classification de PEF européenne CICES (Figure 20), on observe que la biodiversité est plus corrélée avec les PEF de régulation (corrélation  $r=0.26$ ), et nettement moins corrélée avec les PEF culturels ( $r=0.13$ ) et ceux d'approvisionnement ( $r=0.12$ ).

### 1.1. Analyse des réserves naturelles et des hotspots PEF & biodiversité

Les réserves naturelles sont des zones protégées de manière durable, définies sur la base du règlement sur la protection du paysage, des milieux naturels et de la flore (RPPMF, L 4 05.11). Les lieux classés en réserve naturelle ont pour près de 54 % de bonnes à très bonnes valeurs de PEF et Biodiversité. Seulement 1 % des surfaces des réserves naturelle est considéré comme de mauvaise qualité pour les deux catégories (Tableau 2, Figure 17). Ceci s'explique par la présence occasionnelle de routes et de bâtiments au sein des réserves.

Tableau 2: Nombre d'hectares répartis dans les différentes combinaisons de PEF- Biodiversité et pourcentage du total que cela représente, les seuils pour appartenir à l'une des catégories se trouvent en Tableau 1.

Combinaison PEF/BIODIVERSITE	Ha de réserve naturelle (total = 1'872ha)	
+/+	1008	54%
-PEF/+BIO	165	9%
+PEF/- BIO	234	13%
-/-	27	1%
Intermédiaire	438	23%

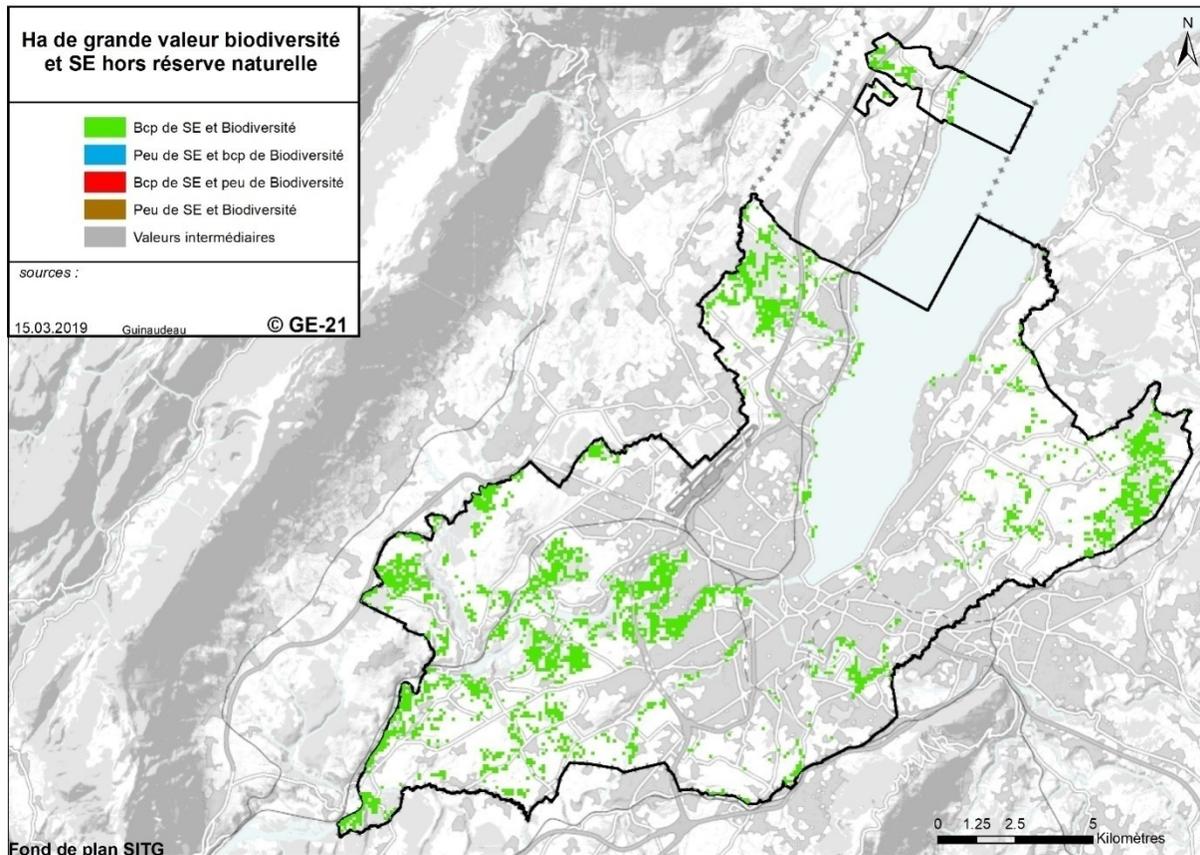


Figure 21: Hotspot de biodiversité et de SE en dehors des réserves naturelles.

La méthodologie met en évidence 2618 autres ha en dehors de ces périmètres protégés où les valeurs de PEF et Biodiversité sont élevées (+/+). Ceci représente des foyers potentiellement important pour la biodiversité, et il serait intéressant de regarder si des bases légales les protègent, ou si des programmes de préservation ou d'aménagements du territoire sont prévus (Figure 21).

## DISCUSSION

L'objectif du projet INDICATEURS-SE était d'évaluer la pertinence des indicateurs de PEF développés précédemment par l'OFEV afin d'identifier ceux qui seraient sujets à être intégrés dans des décisions de planification territoriale. Ici, nous résumons et commentons les résultats de ce projet.

### Pertinence des indicateurs existants

Le projet INDICATEURS-SE avait comme premier objectif d'évaluer s'il était possible de cartographier les 49 indicateurs de départ, par exemple sur le canton de Genève. Au final, nous avons réussi à cartographier 23 indicateurs à l'échelle de 1 hectare, ce qui a permis d'avoir au moins un indicateur pour 16 des 23 PEF. Parmi les 16 PEF cartographiées, 8 PEF (7 indicateurs de PEF + celle de la biodiversité D1) avaient au moins un indicateur jugé de bonne qualité (Tableau 2 ; smiley en vert). Au niveau national 10 PEF (9 indicateurs de PEF + celle de la biodiversité) peuvent être cartographiés.

Table 4: Synthèse des indicateurs de PEF qui peuvent être cartographiés à l'échelle nationale.

N°	Prestation écosystémique finale (PEF)	Au moins un indicateur cartographié à l'échelle 1 ha	Au moins un indicateur cartographié à l'échelle nationale
<b>Santé et bien-être</b>			
Sa2	Prestation récréative grâce à des espaces verts urbains ainsi que des espaces de détente de proximité ou plus éloignés		
Sa3	Prestation récréative grâce à des espaces de détente aménagés aux alentours des constructions (p. ex. jardins)		
Sa4	Possibilité d'identification grâce à de beaux paysages caractéristiques (héritage naturel et culturel)		
Sa5	Régulation du microclimat local grâce aux écosystèmes		
Sa6	Air sain et de bonne qualité pour l'homme		
<b>Sécurité</b>			
Sé1	Protection contre les avalanches, les chutes de pierres et les laves torrentielles grâce à la végétation sur les pentes escarpées		
Sé2	Protection grâce à des zones qui peuvent être inondées ou retenir l'eau		
Sé3	Stockage du CO <sub>2</sub> , prestation écosystémique intermédiaire		
<b>Biodiversité</b>			
D1	Diversité biologique		
<b>Prestations économiques</b>			
E3	Sol fertile pour l'exploitation agricole et sylvicole		

Ces 9 PEF et leurs indicateurs représentent une première bibliothèque d'indicateurs de services écosystémiques qui pourront être mobilisés dans le cadre d'analyses de politiques publiques (sectorielles ou intersectorielles) et pour informer une infrastructure écologique nationale. Il

existe 3 à 8 PEF supplémentaires (selon l'échelle d'application) qui ont des indicateurs avec un bon potentiel, mais avec, néanmoins, un besoin d'amélioration (Table 5).

Table 5: Synthèse des indicateurs de PEF qui ont un bon potentiel pour être cartographiés à l'échelle cantonale ou nationale

N°	Prestation écosystémique finale (PEF)	Catégorie CICES (classification internationale)	Au moins un indicateur cartographié à l'échelle 1 ha	Au moins un indicateur cartographié à l'échelle fédérale	Commentaires
<b>Santé et bien-être</b>					
Sa4	Possibilité d'identification grâce à de beaux paysages caractéristiques (héritage naturel et culturel)	Culturel			L'inventaire fédéral du paysage peut être utilisé à l'échelle cantonale mais ne correspond pas forcément à l'échelle fédérale.
Sa6	Air sain et de bonne qualité pour l'homme	Régulation			L'indice de pollution à long terme du Cercl'indicateur est plus pertinent que celui du réseau NAB. L'ha semble plus pertinente au niveau fédéral que cantonal. Un satellite (Sentinel-5P) a récemment été lancé pour mesurer la pollution atmosphérique. Il faudrait investiguer cette source de données.
<b>Sécurité Biodiversité Prestations économiques</b>					
E1	Eau potable et eau d'usage issues d'eaux souterraines et d'eaux superficielles utiles	Approvisionnement			L'indicateur proposé se base sur des données statistiques issues d'un pdf et ne sont pas cartographiées. Les points de pompage de l'eau, ainsi que les volumes et l'étendue de la nappe phréatique. De protection des eaux. Selon l' <a href="#">Ordonnance fédérale sur la protection des eaux</a> (OEaux), ces secteurs et pourraient donc être utilisés à l'échelle fédérale. Il existe également des modèles hydrographiques et le modèle SWAT permet notamment de tester différents scénarios d'approche agro-écologique afin de déterminer si leur mise en place apporte un bénéfice sur les bassins versants.
E2	Soutien à la production de biens: pollinisation et lutte contre les ravageurs	Régulation			La pollinisation est l'une des prestations écosystémiques les plus importantes. Les données disponibles pour passer par des modélisations d'abondance de pollinisateurs basées sur la présence de milieux naturels précises à l'échelle fédérale, il n'est pas possible de modéliser.
E5	Accroissement du bois pour l'exploitation sylvicole	Approvisionnement			Présenté sous forme de cartes et de tableaux, l'Inventaire forestier national suisse (IFN) recense et récolte à cet effet des données sur un réseau systématique d'échantillonnage. Les données forestières cantonales ont été questionnées afin de savoir s'il existait une cartographie de l'exploitation encore réalisée. En l'état, nous ne voyons pas comment mesurer ce service.
E6	Gibier et poisson pour l'exploitation commerciale	Approvisionnement			Les données statistiques sont souvent agrégées par espèce et par canton, il est donc difficile d'obtenir d'autres informations, nous proposons d'utiliser les principaux cours d'eau.
E8	Energies renouvelables: énergie hydraulique, énergie éolienne, biomasse, énergie solaire	Approvisionnement			Le potentiel thermique et solaire et les quantités d'énergie renouvelable produites à Genève sont élevées. La Suisse possède une cartographie des zones à potentiel élevé. Cette prestation risque de rentrer en conflit avec la préservation des paysages.
E9	Soutien à la production de biens: capacité de refroidissement	Régulation			À l'échelle cantonale, utilisation des nappes phréatiques d'où sont tirés les m <sup>3</sup> d'eau.

Les fiches par prestation permettent aux cantons de cartographier au moins 18 des 23 indicateurs de PEF avec des données disponibles au niveau national. Il est important de rappeler qu'un grand nombre d'indicateurs proposés repose sur l'existence de la carte des milieux naturels de Genève. Sans cette donnée, il est plus difficile (impossible ?) de cartographier certains services écosystémiques.

Pourquoi est-ce que certains indicateurs n'ont pas été cartographiés ? Certains PEF du document OFEV 2011 (comme les ressources génétiques et substances actives biochimiques E10 et la réduction et stockage des résidus E11) sont actuellement difficiles à comprendre pour un citoyen non averti, car les processus sous-jacents sont souvent complexes.

Nous avons également écarté des analyses les PEF qui représentent des absences de nuisance (Silence Sa7, et Un niveau de rayonnement non ionisant sans danger pour la santé Sa8) qui sont

plutôt causées par des activités anthropiques plutôt qu'une prestation fournie par les écosystèmes.

Le Lac est peu pris en compte dans les PEF mesurés. Par exemple, le stockage du carbone comme il est actuellement calculé avec Sé3 ne considère pas le stockage dans le lac, alors qu'il est certainement très important. Il serait sans doute souhaitable de développer des indicateurs pour mesurer un spectre de fonctions écologiques qui émanent des milieux aquatiques et de ne pas prendre une décision biaisée en faveur d'un écosystème particulier au détriment d'un autre.

La cartographie de la biodiversité a été particulièrement intéressante. Les données du BDM sont précieuses à l'échelle suisse, mais lacunaire à Genève lorsque l'on souhaite travailler sur la biodiversité à l'échelle locale ou cantonale. À notre connaissance, la méthodologie proposée ici est unique car elle aboutit à une carte évolutive et couvrante qui capte les principaux processus écologiques directement liés à la biodiversité.

### Forces et faiblesses des indicateurs

Les indicateurs de PEF qui sont cartographiables permettent de visualiser une des valeurs souvent invisible ou implicite qui nous est transmise par la biodiversité. Leur dimension spatiale et explicite peut permettre soit à des surfaces d'être protégées pour leurs PEF, ou bien d'être restaurée en vue de rétablir des PEF.

Certaines PEF découlent de processus bio-physiques relativement complexe (par ex. soutien à la production de biens ; réduction et stockage des résidus) ou bien de préférences sociales difficiles à estimer sans sondage (par ex. valeur paysagère). La question se pose si, pour ces PEF, il n'était pas préférable d'avoir un indicateur même imparfait que rien du tout. Dans nos analyses de synthèse, nous avons opté pour l'inclusion de tous les indicateurs jugés acceptables (smiley jaune) ou fiable (smiley vert).

Nos retours d'expériences à travers plusieurs projets sur les PEF mené de manière participative parlent en faveur des indicateurs les plus simples, intuitifs, en particulier ceux qui sont en lien avec la santé humaine. Ceux-ci sont moins sujets à une méfiance qui accompagne des indicateurs complexes.

### Relation entre les PEFs et la biodiversité

Le deuxième objectif du projet était de mesurer la correspondance spatiale entre la biodiversité et les surfaces productrices de services écosystémiques. La biodiversité était représentée par la somme de quatre sous-indicateurs (richesse floristique, mesh-size, diversité des habitats et naturalité). Les PEF étaient représentés par une synthèse (somme additive) des 15 PEF (hors biodiversité) considérés comme de qualité acceptable (smiley jaune ou vert dans Tableau 2).

Les analyses cartographiques ont montré que 12.5% de la surface cantonale avaient des valeurs « élevées » pour les deux mesures (biodiversité et PEF). De plus, 54% de ces surfaces à fortes valeurs de PEF et de biodiversité se trouvent dans les surfaces déjà protégées. Notre analyse permet également de cartographier les surfaces à forte valeur PEF et de biodiversité en dehors des réserves naturelles, qui pourraient alors servir de « zones relais » dans une réflexion plus large sur l'infrastructure écologique.

Les résultats principaux des analyses cartographiques sont confirmés par les analyses statistiques. Nous avons trouvé que les valeurs sur chaque unité d'analyse (surface d'un hectare) pour la biodiversité et les PEF sont corrélés positivement ( $r = +0.23$ ,  $p < 0.001$ ). Les sous-indicateurs de la Biodiversité « mesh-size » et « naturalité » sont corrélés positivement avec de nombreuses PEF individuelles. À l'inverse, des mesures plus traditionnelles de la biodiversité (richesse floristique et diversité des milieux) ne le sont que très peu.

Globalement, ces deux approches illustrent que les services écosystémiques et les mesures traditionnelles de biodiversité ne se chevauchent que partiellement. Ce résultat soulève les questions suivantes : devrait-on aussi protéger les surfaces qui produisent de nombreux services dans le cadre de l'aménagement du territoire ? Est-ce que les services écosystémiques représentent une dimension de la « nature » (pour éviter le mot biodiversité) que nous souhaitons également conserver ?

### Recommandations d'indicateurs

Le dernier objectif était de formuler des conseils pour l'OFEV et les cantons sur l'usage et le déploiement éventuel d'indicateurs pour les PEF.

Les recommandations doivent être adaptées au type de projet. Aujourd'hui, les PEF sont intégrés soit dans un projet de consultation (avec une composante de co-construction par les parties prenantes) soit dans un travail technique de cartographie afin d'identifier des zones prioritaires pour la conservation. Nous détaillons des recommandations par type de projet.

Pour les travaux participatifs de co-création, et conformément à ce qui est relayé dans la littérature scientifique, nous observons une forte préférence parmi des usagers non scientifiques pour un nombre limité (2-4) d'indicateurs simples qui sont identifiés et co-construits. Les indicateurs de synthèse qui cumulent plusieurs PEF sont perçus comme trop techniques et peuvent mener à un manque d'adhésion de la part du public et des autorités publiques. Ils sont également vulnérables aux critiques des nombreux choix techniques et de pondération qui sont inévitables lors de la construction des sous-indicateurs.

Par exemple, dans un projet sur la planification stratégique du patrimoine arboré à Genève, le processus de concertation a abouti à un indicateur sur les îlots de fraîcheur produits par les arbres (en lien avec leur canopée), le pourcentage des résidents qui avait accès aux parcs arborés pour la détente et le rôle structurant des arbres dans les corridors biologiques. Dans un autre contexte,

celui de la planification territoriale, la plupart des services écosystémiques peuvent être regroupé, par exemple, par la proportion de sols perméables ou le score de naturalité.

Le choix de créer des indicateurs par un processus participatif implique un investissement en temps supplémentaire. Il peut aussi mener à une simplification de la réalité souvent considérée comme moins rigoureuse du point de vue scientifique. Mais au final il aura l'avantage d'une crédibilité et d'une acceptabilité politique, ainsi que d'une facilité accrue dans les mises à jour des indicateurs.

Un indicateur idéal aura les caractéristiques suivantes : avoir une définition claire ; présence d'une unité ou d'un système de classification ; une méthodologie reproductible ; varier dans le temps et dans l'espace ; avoir une résolution fine ( $\leq 100\text{m}$  pour des analyses au niveau cantonal,  $\leq 25\text{m}$  analyse locale, communale) ; être diffusé en open source ou à travers les institutions cantonales ou la Confédération; Enfin, avoir un lien marqué avec un objectif identifié.

Parmi ceux-ci, cinq indicateurs nous semblent particulièrement prometteurs pour des travaux au niveau national :

PEF	Nom	Données
Sa2	Prestation récréative grâce à des espaces verts urbains ainsi que des espaces de détente de proximité ou plus éloignés	Information déjà disponible sous forme cartographique sur l'Observatoire du paysage. Ou bien à modifier avec données GeoStat, TLM3D, ou une carte des milieux naturels
Sa5	Régulation du microclimat local grâce aux écosystèmes	Pourcentage d'ombre au sol par la canopée; images satellites ou LIDAR
Sé1	Forêt protectrice	Sylva protect
Sé2	Éléments naturels qui protègent des inondations	Aquaprotect
E3	Fertilité des sols	Indicateur à étendre à tous les sols fertiles. GeoStat / Surfaces d'assolement / Forêt productive

Ces 5 PEF et leurs indicateurs ont des données accessibles, sont simples à comprendre, sont en lien avec la biodiversité, la santé et la sécurité des habitants et complètent les lois existantes.

Pour des travaux de nature plus technique qui n'impliquent pas forcément des interactions avec le public nous recommandons un portfolio de nombreux indicateurs qui peuvent soit être sélectionnés pour répondre à une question de politique publique spécifique, soit être cumulés pour produire une carte synthétique.

Nous avons également découvert qu'en absence d'un répertoire centralisé des données prêtes à l'emploi, ces indicateurs sont laborieux à recalculer lors des mises à jour ou lorsque plusieurs

scénarios (de projets, de politiques publiques) sont comparés. Aujourd'hui nous sommes encore loin d'un système d'indicateurs qui puisse être calculé et mis à jour rapidement. L'acquisition et la maîtrise (c'est-à-dire la compréhension exacte de sa nature) de la donnée est souvent laborieuse. À notre grand regret, très peu de données se trouvent sur des plateformes en libre-service. La plupart du temps, il faut retrouver directement le producteur des données originales et lui en faire la demande. Nous pensons qu'il serait souhaitable de déposer les données pour des indicateurs de base sur [Open Data Swiss](#), qui recense plus de 7'000 jeux de données, dont par exemple SonBase (PEF Sa7).

Globalement, les services écosystémiques complètent une stratégie de la biodiversité plus conventionnelle axée sur les espèces et milieux. Nous pensons qu'il est intéressant d'intégrer les PEF dans la réflexion de toute politique nationale en lien avec nos ressources naturelles, car les PEF permettent de capturer des dimensions de la nature qui sont importantes pour le public et le bien-être des générations à venir.

### Amélioration et pistes de recherche

Ce projet a permis de mettre en lumière certaines lacunes dans nos connaissances ou bien lors de la mise en œuvre de projets qui impliquent de nombreux indicateurs de PEF. Celles-ci concernent (i) les difficultés à mettre à jour des données, et temps disponible pour les produire, en particulier dans le contexte de scénarios de l'avenir ; (ii) développer une méthodologie transparente et équitable pour décider quels indicateurs intégrer dans une étude et ensuite pondérer leurs importances relatives ; et (iii) valider les données modélisées en éprouvant leur vraisemblance sur le terrain. Le projet met aussi en évidence la portée territoriale, au-delà de l'approche par la biodiversité et l'importance d'intégrer les PEF dans la planification de l'aménagement du territoire.

Ce mandat a permis de nourrir d'autres projet et notamment d'intégrer les PEF, la biodiversité et la structure du paysage dans un concept d'Infrastructure écologique sur le canton de Genève (projet Infrastructure Ecologique, (Honeck et al. 2020)). Pour rappel, la Suisse doit posséder une infrastructure écologique fonctionnelle d'ici à 2040. L'utilisation d'un logiciel de priorisation spatiale (e.g. Marxan, Zonation) permet la combinaison d'indicateurs pour valoriser la biodiversité (Richesse faune et flore), la structure du paysage (naturalité, fragmentation, diversité des milieux naturels, trame noire, imperméabilisation) et les services écosystémiques (une douzaine d'indicateurs de PEF), afin de créer l'infrastructure écologique. La résolution d'analyse est actuellement de 25 m. Elle permettra dans un premier temps d'identifier les 30% du territoire de meilleure qualité, incluant les 17 % du territoire en périmètres protégés au sens de l'objectif 11 d'Aichi (in Plan Stratégique mondial CBD, 2010) et les 13 % de mise en réseau cohérente selon le Forum Biodiversité Suisse (Guntern J. et al, 2013). Dans un second temps, une analyse de connectivité plus poussée permettra de préciser les corridors vers les zones de qualité. GE-21 souhaite étendre les analyses sur le Grand Genève afin d'intégrer la dimension transfrontalière.

## REMERCIEMENTS :

Nous remercions l'Office fédéral de l'environnement pour leur soutien financier à ce projet

## BIBLIOGRAPHIE :

- Anderson Barbara, J., R. Armsworth Paul, F. Eigenbrod, D. Thomas Chris, S. Gillings, A. Heinemeyer, B. Roy David & J. Gaston Kevin (2009) Spatial covariance between biodiversity and other ecosystem service priorities. *Journal of Applied Ecology*, 46, 888-896.
- Baró, F., I. Palomo, G. Zulian, P. Vizcaino, D. Haase & E. Gómez-Baggethun (2016) Mapping ecosystem service capacity, flow and demand for landscape and urban planning: A case study in the Barcelona metropolitan region. *Land Use Policy*, 57, 405-417.
- Bennett, E. M., G. D. Peterson & L. J. Gordon (2009) Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, 12, 1394-1404.
- Birkhofer, K., G. K. S. Andersson, J. Bengtsson, R. Bommarco, J. Dänhardt, B. Ekbom, J. Ekroos, T. Hahn, K. Hedlund, A. M. Jönsson, R. Lindborg, O. Olsson, R. Rader, A. Rusch, M. Stjernman, A. Williams & H. G. Smith (2018) Relationships between multiple biodiversity components and ecosystem services along a landscape complexity gradient. *Biological Conservation*, 218, 247-253.
- Burkhard, B., I. Petrosillo & R. Costanza (2010) Ecosystem services – Bridging ecology, economy and social sciences. *Ecological Complexity*, 7, 257-259.
- Cardinale, B. J., J. E. Duffy, A. Gonzalez, D. U. Hooper, C. Perrings, P. Venail, A. Narwani, G. M. Mace, D. Tilman, D. A. Wardle, A. P. Kinzig, G. C. Daily, M. Loreau, J. B. Grace, A. Larigauderie, D. S. Srivastava & S. Naeem (2012) Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486, 59-67.
- Cimon-Morin, J., M. Darveau & M. Poulin (2013) Fostering synergies between ecosystem services and biodiversity in conservation planning: A review. *Biological Conservation*, 166, 144-154.
- Conseil Fédéral. 2012. Stratégie Biodiversité Suisse, du 25 avril 2012., 7239 – 7342.
- . 2017. Stratégie Biodiversité Suisse – Plan d'action.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton & M. van den Belt (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Cowling, R. M., B. Egoh, A. T. Knight, P. J. O'Farrell, B. Reyers, M. Rouget, D. J. Roux, A. Welz & A. Wilhelm-Rechman (2008 ) An operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 9483-9488
- de Groot, R. S., M. A. Wilson & R. M. J. Boumans (2002) A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393-408.
- Eigenbrod, F., P. R. Armsworth, B. J. Anderson, A. Heinemeyer, S. Gillings, D. B. Roy, C. D. Thomas & K. J. Gaston (2010) The impact of proxy-based methods on mapping the distribution of ecosystem services. *Journal of Applied Ecology*, 47, 377-385.
- Etat de Genève. Stratégie Biodiversité Genève 2030. <https://www.ge.ch/document/strategie-biodiversite-geneve-2030> (consulté le 25 mars 2019)

- Foley, J. A., R. DeFries, G. P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S. R. Carpenter, F. S. Chapin, M. T. Coe, G. C. Daily, H. K. Gibbs, J. H. Helkowski, T. Holloway, E. A. Howard, C. J. Kucharik, C. Monfreda, J. A. Patz, I. C. Prentice, N. Ramankutty & P. K. Snyder (2005) Global Consequences of Land Use. *Science*, 309, 570.
- Grêt-Regamey, A., F. Kienast, S.-E. Rabe, et C. Singer. 2014. Machbarkeitsabklärung Datenverfügbarkeit für ein Mapping der Ökosystemleistungen in der Schweiz. BAFU.
- Grêt-Regamey, A., B. Weibel, F. Kienast, S.-E. Rabe & G. Zulian (2015) A tiered approach for mapping ecosystem services. *Ecosystem Services*, 13, 16-27.
- Gunton, R. M., E. N. van Asperen, A. Basden, D. Bookless, Y. Araya, D. R. Hanson, M. A. Goddard, G. Otieno & G. O. Jones (2017) Beyond ecosystem services: Valuing the Invaluable. *Trends in Ecology & Evolution*, 32, 249-257.
- Harrison, P. A., P. M. Berry, G. Simpson, J. R. Haslett, M. Blicharska, M. Bucur, R. Dunford, B. Egoh, M. Garcia-Llorente, N. Geamănă, W. Geertsema, E. Lommelen, L. Meiresonne & F. Turkelboom (2014) Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: A systematic review. *Ecosystem Services*, 9, 191-203.
- Honeck, E., A. Moilanen, B. Guinaudeau, N. Wyler, A. M. Schlaepfer, P. Martin, A. Sanguet, L. Urbina, B. von Arx, J. Massy, C. Fischer & A. Lehmann (2020) Implementing Green Infrastructure for the Spatial Planning of Peri-Urban Areas in Geneva, Switzerland. *Sustainability*, 12.
- Jax, K., D. N. Barton, K. M. A. Chan, R. de Groot, U. Doyle, U. Eser, C. Görg, E. Gómez-Baggethun, Y. Griewald, W. Haber, R. Haines-Young, U. Heink, T. Jahn, H. Joosten, L. Kerschbaumer, H. Korn, G. W. Luck, B. Matzdorf, B. Muraca, C. Neßhöver, B. Norton, K. Ott, M. Potschin, F. Rauschmayer, C. von Haaren & S. Wichmann (2013) Ecosystem services and ethics. *Ecological Economics*, 93, 260-268.
- Koschke, L., C. Fürst, S. Frank & F. Makeschin (2012) A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. *Ecological Indicators*, 21, 54-66.
- Larigauderie, A., B. Reyers, H. A. Mooney, H. Tallis & S. Polasky (2012) Finding Common Ground for Biodiversity and Ecosystem Services. *BioScience*, 62, 503-507.
- Lyashevskaya, O. & K. D. Farnsworth (2012) How many dimensions of biodiversity do we need? *Ecological Indicators*, 18, 485-492.
- Mace, G. M., K. Norris & A. H. Fitter (2012) Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in Ecology & Evolution*, 27, 19-26.
- O'Neill, R. V., J. R. Krummel, R. H. Gardner, G. Sugihara, B. Jackson, D. L. DeAngelis, B. T. Milne, M. G. Turner, B. Zygmunt, S. W. Christensen, V. H. Dale & R. L. Graham (1988) Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1, 153-162.
- Office Fédéral de l'Environnement. 2017. Stratégie Biodiversité Suisse. Plan d'Action. Confédération Suisse, Bern.
- Ramezani, H. (2012) A Note on the Normalized Definition of Shannon's Diversity Index in Landscape Pattern Analysis. *Environment and Natural Resources Research*, 2, 7.
- Raudsepp-Hearne, C., G. D. Peterson & E. M. Bennett (2010) Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 5242.
- Robertson, M. M. (2016) The Nature That Capital Can See: Science, State, and Market in the Commodification of Ecosystem Services. *Environment and Planning D: Society and Space*, 24, 367-387.

- Schneiders, A., T. Van Daele, W. Van Landuyt & W. Van Reeth (2012) Biodiversity and ecosystem services: Complementary approaches for ecosystem management? *Ecological Indicators*, 21, 123-133.
- Schwarz, N., M. Moretti, M. N. Bugalho, Z. G. Davies, D. Haase, J. Hack, A. Hof, Y. Melero, T. J. Pett & S. Knapp (2017) Understanding biodiversity-ecosystem service relationships in urban areas: A comprehensive literature review. *Ecosystem Services*, 27, 161-171.
- Staub, C., W. Ott, F. Heusi, G. Klingler, A. Jenny, M. Häcki & A. Hauser. 2011. Indicateurs pour les biens et services écosystémiques: Systématique, méthodologie et recommandations relatives aux informations sur l'environnement liées au bien-être. In *L'environnement pratique n° 1102*, 14. Berne: Office fédéral de l'environnement, .
- Verhagen, W., A. S. Kukkala, A. Moilanen, A. J. A. van Teeffelen & P. H. Verburg (2017) Use of demand for and spatial flow of ecosystem services to identify priority areas. *Conservation Biology*, 31, 860-871.
- Villamagna, A. M., P. L. Angermeier & E. M. Bennett (2013) Capacity, pressure, demand, and flow: A conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery. *Ecological Complexity*, 15, 114-121.
- Wilson, K. A. & E. A. Law (2016) How to Avoid Underselling Biodiversity with Ecosystem Services: A Response to Silvertown. *Trends in Ecology & Evolution*, 31, 332-333.

## ANNEXE : Liste des PEF analysés, leurs indicateurs et leurs représentations cartographiques

N°	Sa1		
Prestation écosystémique finale (PEF)	Prestation récréative grâce à la chasse, la cueillette et l'observation de la faune et de la flore sauvage		
Indicateurs proposés	Nombre de personnes chassant pendant le temps libre	Nombre de personnes pêchant pendant le temps libre	Indice de rendement de pêche
Base de données	Statistique de la chasse	Brevets de pêche / nombre de membres, auprès des autorités cantonales	Les rendements de pêche à la ligne dans les rivières et les lacs suisses en kg, d'après les statistiques de la pêche de l'OFEV
Récupération des données	<a href="https://www.wildtier.ch/projekte/statistiken/">https://www.wildtier.ch/projekte/statistiken/</a>	Auprès du service de l'Etat concerné	
Lien spatial	Non		
Lien temporel	Valeur par année		
Lien LU/LC	Non		
Peut être cartographié	Non		
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Oui	Non	Non
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui	Oui	Non
Facilité d'interprétation cartographique	Non	Oui	Non
Remarques - ressenti GE-21	Interdiction de la chasse à Genève, pas d'info sur la cueillette	Pas cartographiable, le nombre de permis n'indique pas les lieux de pêche	
Pertinence au projet	Non - données difficiles à obtenir	Non - n'est pas spatial	Non - données difficiles à obtenir
Indicateur initial utilisé	Non		
Indicateur proposé par GE-21	Les données cantonales disponibles permettant d'observer la faune et la flore sauvage ont été listées. À savoir les sentiers équestres, les itinéraires de loisirs, les observatoires. Aucun indicateur n'est toutefois proposé.		
Pertinence pour l'OFEV	À l'échelle suisse, l'utilisation du nombre de personnes chassant/ pêchant pendant le temps libre ne va pas renseigner sur la prestation Sa1. Il faut peut-être réfléchir à une densité de sentier pédestre (offre – potentiel) qui correspondrait à la possibilité d'observer la faune et la flore. L'utilisation des données STRAVA pourrait être une piste à suivre. En l'état, la prestation ne peut pas être investiguée.		

N°	Sa2				
Prestation écosystémique finale (PEF)	Prestation récréative grâce à des espaces verts urbains ainsi que des espaces de détente de proximité ou plus éloignés				
Indicateurs proposés	Disponibilité d'espaces verts et de cours d'eau dans un rayon de 4 km autour des habitations en Suisse	Accessibilité des espaces de détente pour la population suisse, indicateur d'utilisation des loisirs de proximité non pondéré par la densité de population et pondéré par la densité de population	Accessibilité des zones sans constructions pour la population suisse	Accessibilité des zones calmes pour la population suisse	Usage récréatif effectif des forêts: proportion de surfaces avec une fréquentation d'au moins 100 personnes par jour sur la parcelle témoin (rayon de 100 m)
Base de données	Paramètre OPS/LABES "Qualité du paysage dans l'environnement résidentiel"	Paramètre OPS/LABES 35 relevé dans l'espace des loisirs de proximité	Paramètre OPS/LABES 31a/b et 32 (accessibilité des zones sans constructions, zones calmes)		Inventaire forestier national (IFN)
Récupération des données	WSL qui est mandaté par l'OFEV, dispose de ces données OPS/LABES.	<a href="https://www.slf.ch/en/publications/show/releve-dans-lespace-des-loisirs-de-proximite.html">https://www.slf.ch/en/publications/show/releve-dans-lespace-des-loisirs-de-proximite.html</a>	OPS / LABES	OPS / LABES	IFN
Lien spatial	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Lien temporel	Oui	Non	Oui	Oui	Oui, période IFN 2009-2013
Lien LU/LC	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Peut être cartographié	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui				
Facilité d'interprétation cartographique	Oui	Non	Oui	Oui	Oui
Remarques - ressenti GE-21	L'indicateur initialement proposé semble peu représentatif de la réalité genevoise (rayon trop grand) et ne prend pas en compte des espaces naturels clés du canton.	Deux indicateurs (indice de qualité de l'environnement et indice d'intensité d'utilisation de l'environnement). Il peut être difficile de comprendre le résultat de l'indicateur et vers quoi il doit tendre.	Échelle de résolution trop grande pour le contexte genevois, les deux indicateurs sont proches l'un de l'autre en termes de résultats, assez redondant avec les précédents. Un des deux seulement sera utilisé.		L'inventaire forestier national suisse (IFN) recense l'état et l'évolution de la forêt suisse, récoltant à cet effet des données sur un réseau systématique d'échantillonnage sous forme de tableaux. L'IFN donne donc une valeur pour le canton mais pas la localisation précise. L'ensemble des forêts sont productives à Genève.
Pertinence au projet	Non - pas pertinent pour Genève	Moyenne	Non, redondant, résolution imprécise	Oui	Non - n'est pas spatial
Indicateur initial utilisé	Non	Oui	Non	Oui	Non
Indicateur proposé par GE-21	Sélection d'espace vert ou bleu d'au moins 0.5 ha, analyse réseau et décompte du nombre de personnes ayant accès aux polygones naturels retenus	Une grande partie de la population utilise des applications sportives permettant de cartographier les parcours réalisés et de créer des cartes d'intensité d'utilisation des sentiers. Ex : Stravametro <a href="https://metro.strava.com/">https://metro.strava.com/</a> il serait bien d'investiguer cette piste.			Les initiatives WaMos, sous forme d'enquêtes par canton, sont riches en informations sur l'utilisation des forêts, toutefois les localisations précises au sein des cantons ne sont pas connues.
Pertinence pour l'OFEV	L'analyse réseau d'accessibilité est simple à réaliser dans les différents cantons.	Le paramètre OPS/LABES 35 a l'avantage de couvrir toute la Suisse.	Avantage de couvrir toute la Suisse. Il n'est pas nécessaire d'utiliser les des deux.		Pas d'information cartographique



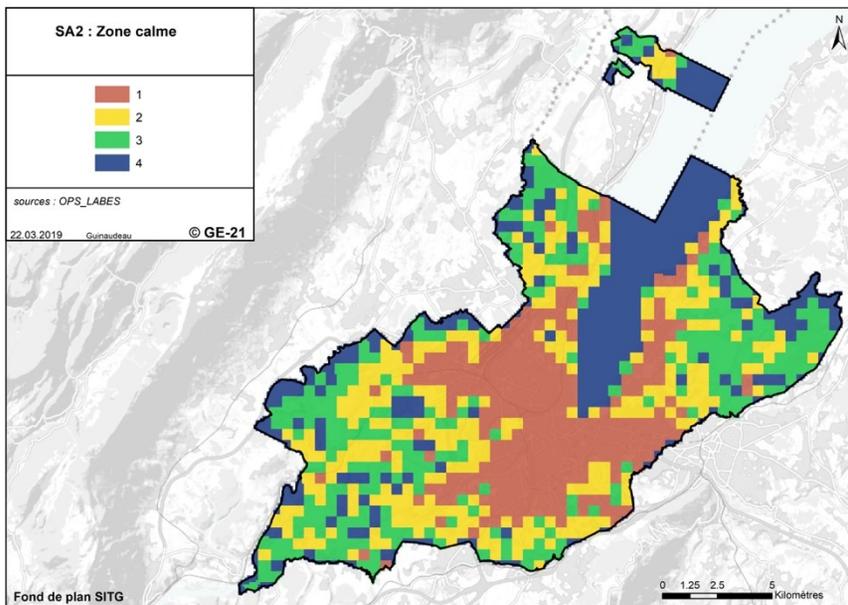
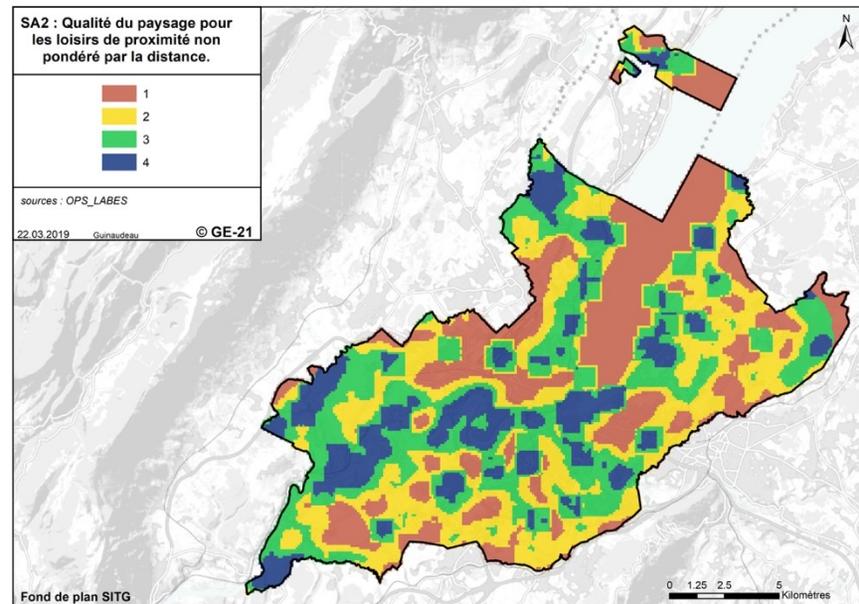
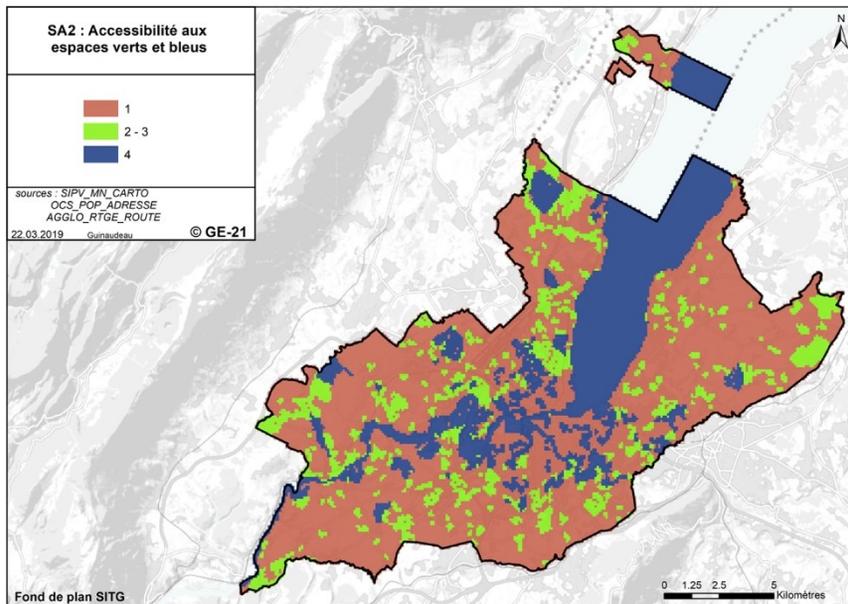


Figure 22: Trois indicateurs conservés pour la prestation Sa2. Séparation des données par quantile, 1 = faible service rendu et 4 = service rendu élevé.

N°	Sa3
Prestation écosystémique finale (PEF)	Surface qui peut être utilisée pour jardiner, s'asseoir, jouer ou se détendre
Indicateurs proposés	Statistique de la superficie
Base de données	OFEV GEOSTAT
Récupération des données	Oui
Lien spatial	Oui
Lien temporel	Oui
Lien LU/LC	Oui
Peut être cartographié	Oui
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Oui
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui
Facilité d'interprétation cartographique	La statistique de la superficie a l'avantage de couvrir toute la Suisse.
Remarques - ressenti GE-21	Les données pourraient être couplées à TLM3D et à certaines catégories des couches bodendeckung, freizeitareal, nutzungsareal.
Pertinence au projet	Oui
Indicateur initial utilisé	Oui
Indicateur proposé par GE-21	À Genève, les données SPD_ESPACES_VERTS sont plus précises que Geostat.
Pertinence pour l'OFEV	Les données Geostat couvrent l'ensemble de la Suisse. Il est également probable que les cantons possèdent une cartographie précise de leurs espaces verts. Ces espaces verts à proximité des lieux d'habitation sont très appréciés de la population et sont donc de bons indicateurs de l'offre en détente.

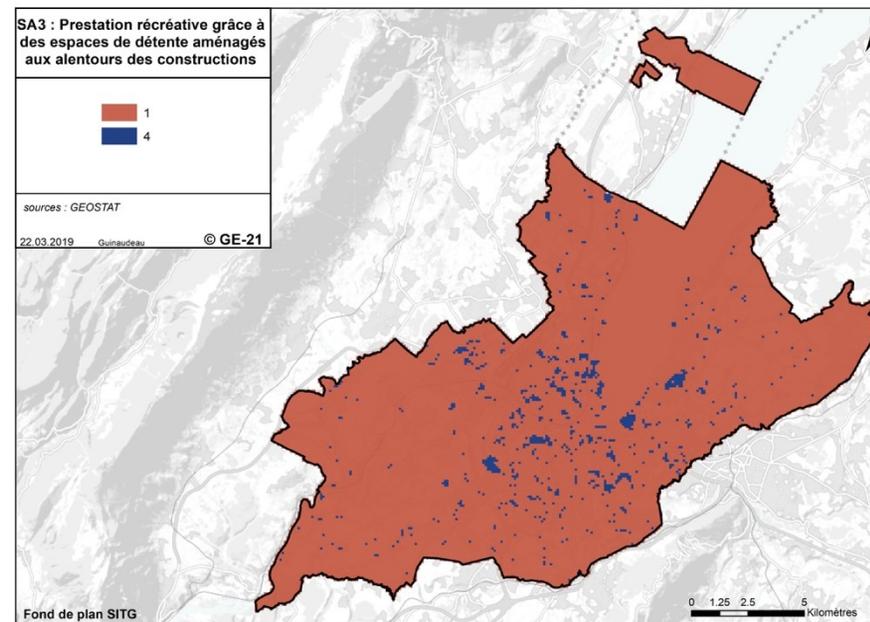
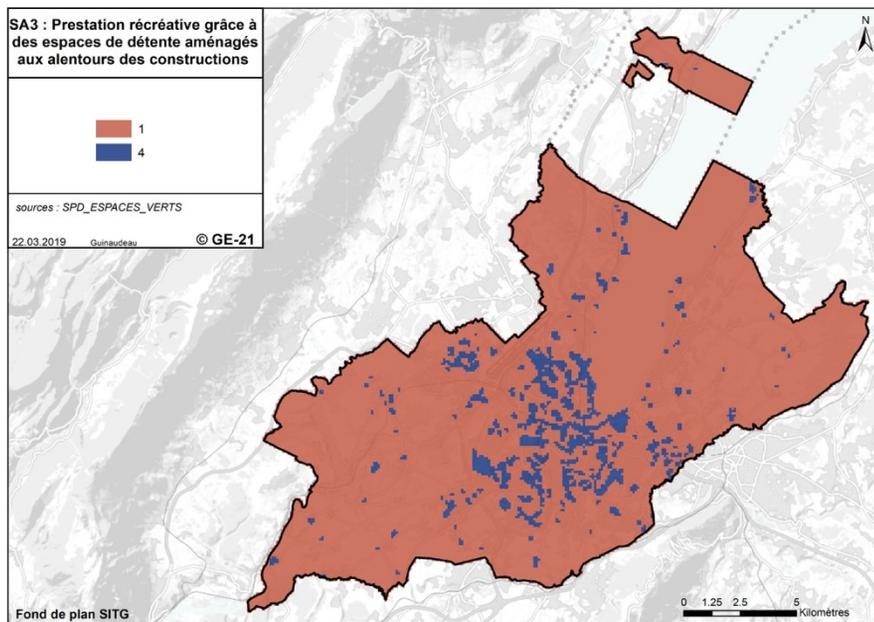


Figure 23: À gauche, indicateur retenu pour identifier les espaces de détente aux alentours des constructions. À droite, la donnée fédérale (Geostat). Les deux sources de données ont une relativement bonne correspondance.

L'indicateur recommandé est la surface qui peut être utilisée pour jardiner, s'asseoir, jouer ou se détendre. Si la donnée cantonale n'existe pas, ce sont les statistiques de la superficie (NOLU04) qu'il faut utiliser. Ces tableaux dissocient l'utilisation du sol en 4, 10 ou 46 catégories séparées en thématiques (habitat et infrastructure, agriculture, aire boisées, aires improductives). Les données pour Genève ont été mises à jour en 2013.

Des catégories ont retenu notre attention : parcs publics (338 ha) et jardins familiaux (99 ha). Une troisième peut être retenue, à savoir installations de sport (337 ha). Un total de 774 ha (codes de Geostat, 161, 162, 163, 164, 165 et 166 correspondants respectivement à parcs publics, espaces sportifs, terrain de golf, terrain de camping, jardins familiaux et cimetières). Il est possible de spatialiser l'information en utilisant une grille à l'hectare basée sur la grille nationale.

N°	Sa4	
Prestation écosystémique finale (PEF)	Possibilité d'identification grâce à de beaux paysages caractéristiques (héritage naturel et culturel)	
Indicateurs proposés	Se renseigner auprès de le l'OPS / LABES	
Base de données	/	
Récupération des données	<a href="https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themen/thema-landschaft/landschaft--daten--indikatoren-und-karten/landschaft--indikatoren/indikator-landschaft.pt.html/aHR0cHM6Ly93d3cuaW5kaWthdG9yZW4uYWRtaW4uY2gvUHVibG/ljLOFlbURldGFpbD9pbmQ9TEEwMjlmG5nPWZy.html">https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themen/thema-landschaft/landschaft--daten--indikatoren-und-karten/landschaft--indikatoren/indikator-landschaft.pt.html/aHR0cHM6Ly93d3cuaW5kaWthdG9yZW4uYWRtaW4uY2gvUHVibG/ljLOFlbURldGFpbD9pbmQ9TEEwMjlmG5nPWZy.html</a>	
Lien spatial	/	
Lien temporel	/	
Lien LU/LC	/	
Peut être cartographié	/	
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Non	
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui	
Facilité d'interprétation cartographique	Non	
Rremarques - ressenti GE-21	L'utilisation de proxy comme le nombre de photos prises à un endroit semblent intéressants. Toutefois cela reflète le paysage observé et non le paysage local. Il faudrait rajouter la notion de bassin de vision autour de ces photos.	
Pertinence au projet	/	
Indicateur initial utilisé	Non	
Indicateur proposé par GE-21	Utilisation de l'Inventaire fédérale du paysage à défaut de mieux car la précision des données est relativement faible.	Densité de photos prises à un endroit (extraction des photos via api Flickr), il existe également un <a href="#">modèle InVEST</a> . Ces modèles facilitent la récupération des photos (plusieurs milliers sur Genève). L'étape la plus laborieuse est ensuite la visualisation de chaque photo afin de savoir s'il faut la conserver ou non. C'est donc un indicateur coûteux à développer. Il existe un modèle mondial réalisé qui pourrait être utilisé : <a href="http://www.sightsmap.com/">http://www.sightsmap.com/</a>
Pertinence pour l'OFEV	Données disponibles pour l'ensemble de la Suisse. Attention cependant les périmètres identifiés sont souvent larges et mériteraient d'être retravaillés.	

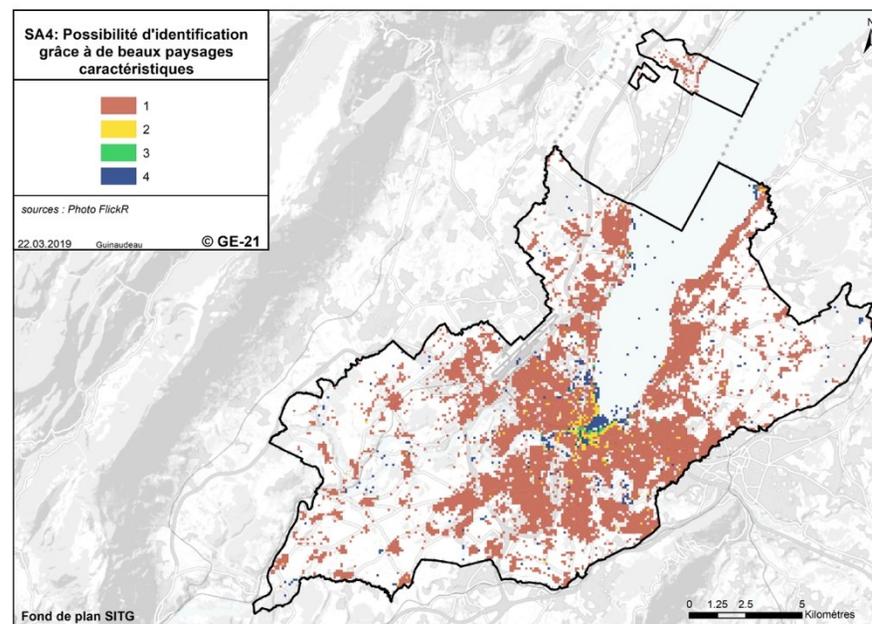
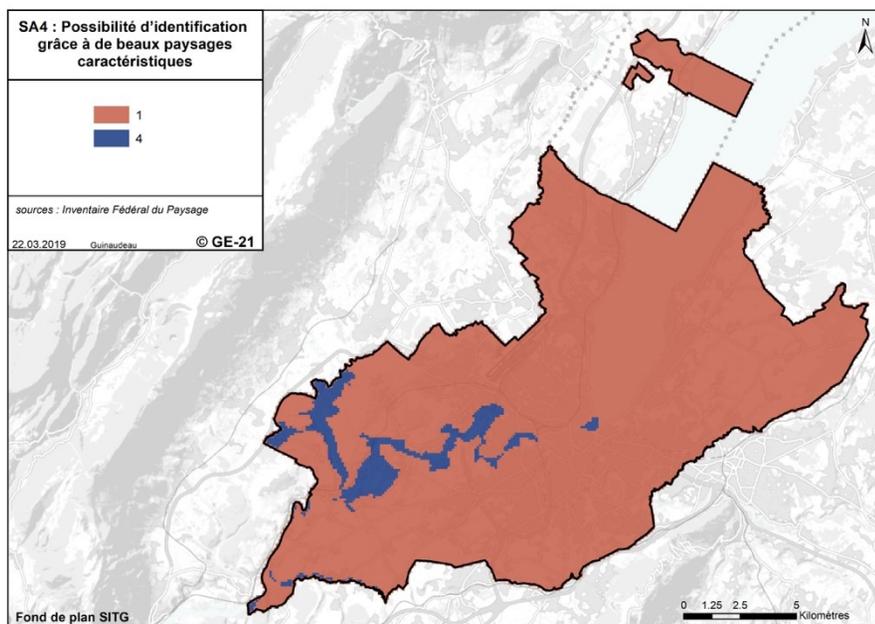


Figure 24: À gauche, l'inventaire fédéral du paysage, à droite, la modélisation de photo prise dans Flickr. Il s'agit à travers une [api](#) de sélectionner les thèmes des photos à travers les tags choisis par les utilisateurs. Nous avons tenté de déployer la même méthodologie sur Genève en récupérant les photos disponibles sur la thématique du paysage sur Flickr, pour ensuite créer un indice de densité de photo sur le territoire avec prise en compte de la densité de population. On voit clairement dans le contexte genevois que les photos prises se retrouvent essentiellement en zone urbaine dense. Genève est très touristique, la zone urbaine est bien parcourue par les touristes qui se déplacent moins en zone rurale. Il y a donc un biais d'échantillonnage. D'autre part, il faudrait pouvoir identifier la prise de vue de la photo. Ce n'est généralement pas là où l'on prend la photo qu'il y a un beau paysage mais plutôt à l'horizon (e.g le mont blanc visible depuis certaine localité à Genève). Une autre possibilité est que la méthode qui utilise les photos issues de Flickr est peut-être moins pertinente à l'échelle d'un canton qu'à l'échelle suisse.

N°	Sa5
Prestation écosystémique finale (PEF)	Régulation du microclimat local grâce aux écosystèmes
Indicateurs proposés	/
Base de données	/
Récupération des données	
Lien spatial	/
Lien temporel	/
Lien LU/LC	/
Peut être cartographié	/
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	/
Lien théorique entre indicateur et FEG	/
Facilité d'interprétation cartographique	/
Remarques - ressenti GE-21	GE-21 a cherché à utiliser des images satellites (Landsat 8) pour estimer une température de surface et sélectionner ainsi les îlots de chaleur / fraîcheur
Pertinence au projet	Résolution de 30 m
Indicateur initial utilisé	/
Indicateur proposé par GE-21	Îlot de fraîcheur (représenté par les températures les plus fraîches sur le territoire).
Pertinence pour l'OFEV	Facile à réaliser avec la méthodologie proposée, les données sont accessibles gratuitement, il est possible de mettre à jour le résultat, qui couvre l'échelle mondiale. Une cartographie de l'ombrage des arbres pourrait également être utilisée et représenterait même mieux la contribution biologique de ce phénomène.

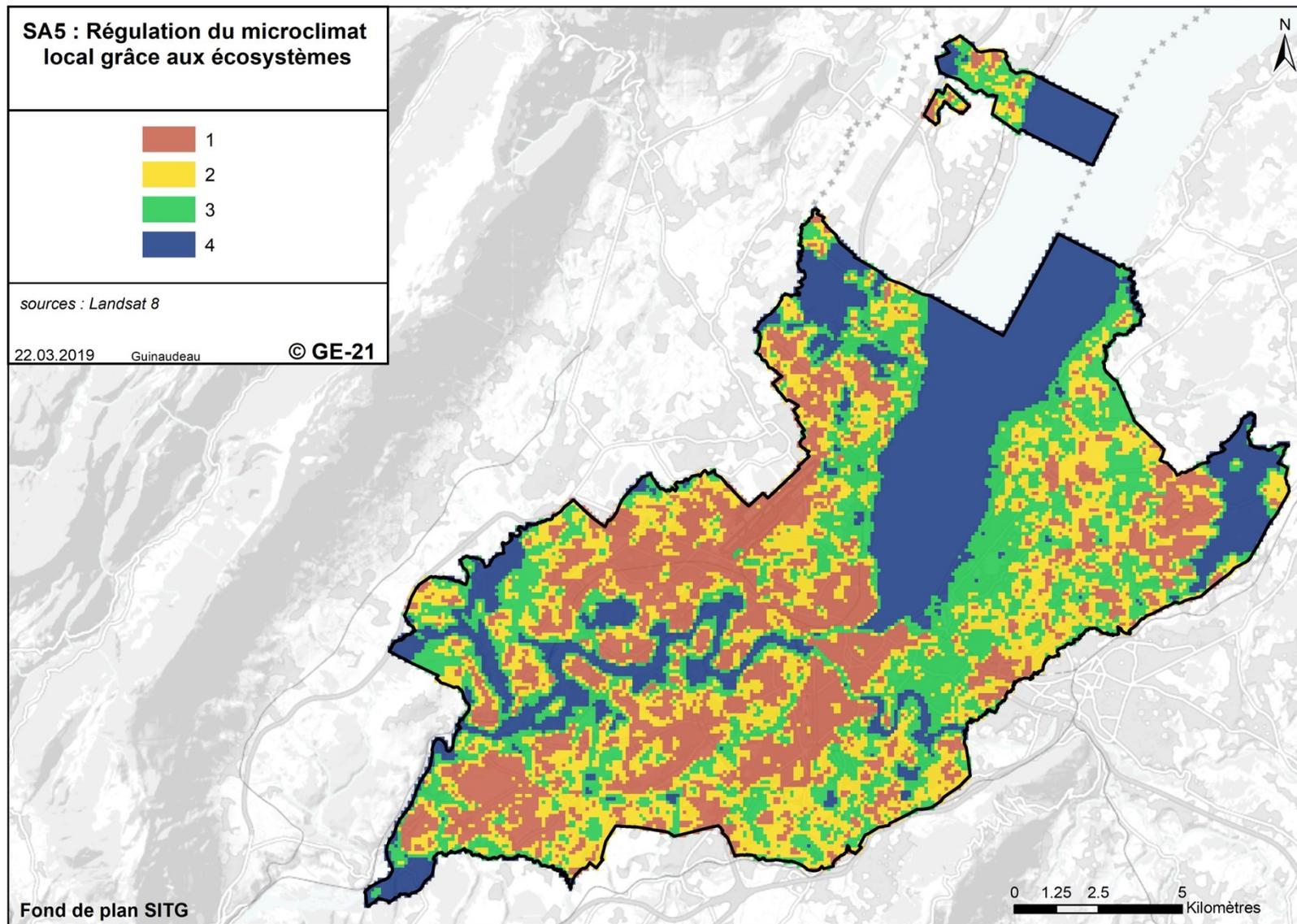


Figure 25: Modélisation des îlots de fraîcheur à partir des données satellitaires.

N°	Sa6			
Prestation écosystémique finale (PEF)	Air sain et de bonne qualité pour l'homme			
Indicateurs proposés	PM10: personnes exposées sur leur lieu d'habitation soit à un air « sain » (inférieur aux valeurs limites d'immission) soit à un air « malsain » (supérieur aux valeurs limites d'immission)	Idem NO2	Idem O3	Idem suies
Base de données	Réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL).			
Récupération des données	<a href="https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/etat/donnees/reseau-national-d-observation-des-polluants-atmospheriques--nabe.html">https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/etat/donnees/reseau-national-d-observation-des-polluants-atmospheriques--nabe.html</a>			
Lien spatial	Oui			
Lien temporel	Oui			
Lien LU/LC	Non			
Peut être cartographié	Oui			
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Oui			
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui			
Facilité d'interprétation cartographique	Oui			
Remarques - ressenti GE-21	Le réseau NABEL ne comprend que 16 stations en Suisse. Les valeurs ne permettent pas aux cantons de cartographier précisément les pollutions au sein de leur territoire contrairement aux données Cercl'indicateur. Il existe une carte pour le NO <sub>2</sub> précise à Genève, mais ce dernier ne dépasse plus les seuils. La qualité de l'air s'améliorant, il ne semble pas que ce soit une priorité pour le service du <a href="#">SABRA</a> à Genève de calculer la pollution atmosphérique.			
Pertinence au projet	Non - pas pertinent pour Genève			
Indicateur initial utilisé	Non			
Indicateur proposé par GE-21	L'indice de pollution à long terme, du Cercl'indicateur est plus pertinent car il est couvrant sur toute la Suisse et compile les effets de différents polluants (NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM10)			
Pertinence pour l'OFEV	L'indice de pollution à long terme du Cercl'indicateur est plus pertinent que celui du réseau NABEL. Il couvre toute la Suisse. Un satellite (Sentinel-5P) a récemment été lancé pour montrer la pollution atmosphérique. Il faudrait investiguer cette source de données dont la résolution est de 3.5 x 7 km.			

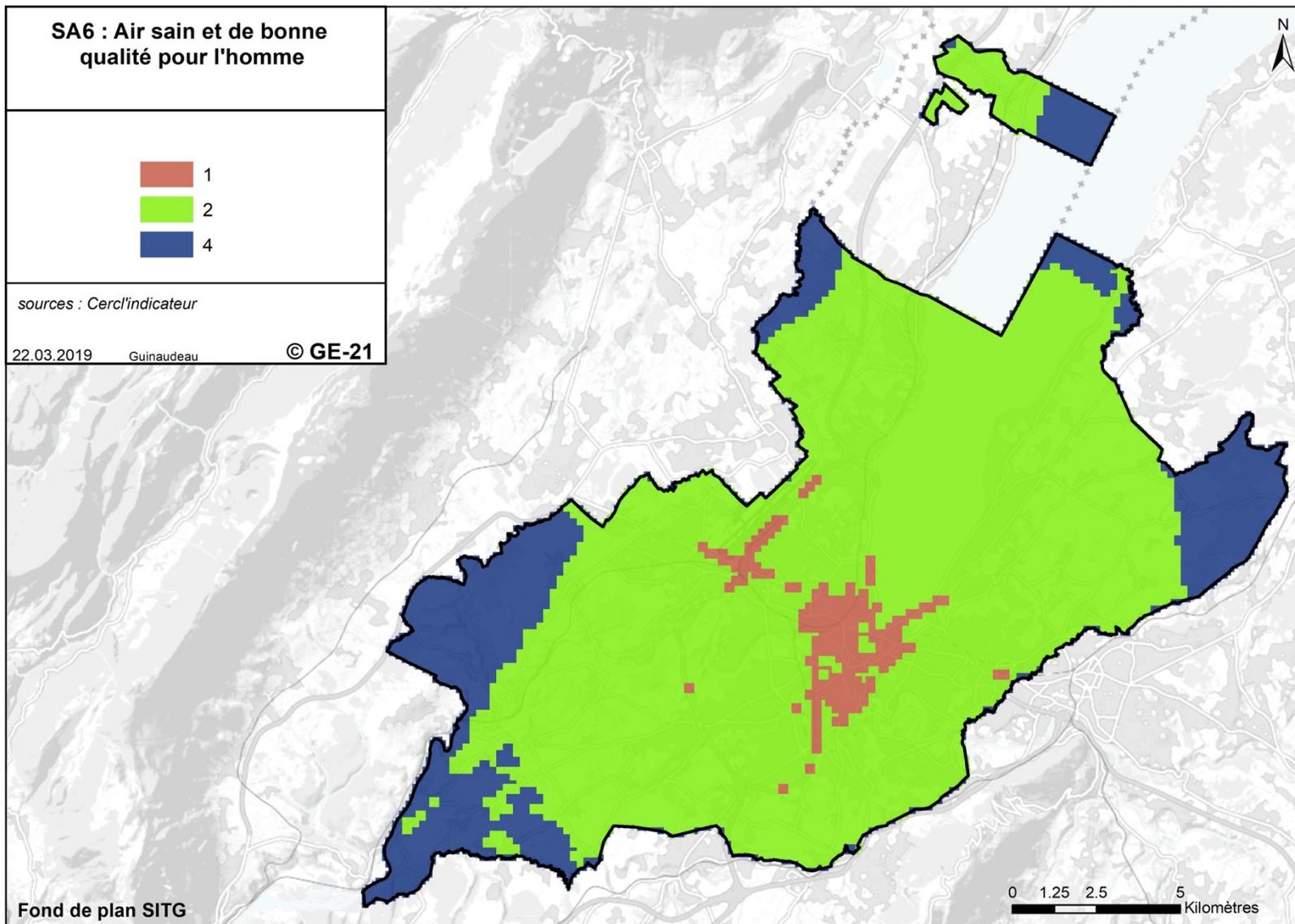


Figure 26: Indice de pollution à long terme issu du Cercl'indicateur, Recommandation 27c du Cercl'Air. « L'IPL est un indice mixte de pollution de l'air qui tient compte des effets sur la santé humaine résultant d'une exposition chronique à de l'air pollué. Il est calculé sur la base des valeurs annuelles de concentrations de trois polluants : les poussières fines (PM10), le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et l'ozone (O<sub>3</sub>). Les concentrations de ces trois polluants sont mises en relation avec les valeurs limites d'immission fixées dans l'Ordonnance du 16 décembre 1985 sur la protection de l'air (OPair). Les valeurs obtenues sont pondérées, pour tenir compte des effets chroniques très différents de ces polluants sur la santé (poids : 4.5 pour les PM10, 4.5 pour le NO<sub>2</sub>, 1 pour l'O<sub>3</sub>) » tiré des Fiches d'indicateurs cantons (état au 3.11.2015).



N°	Sa7	
Prestation écosystémique finale (PEFS)	Silence	
Indicateurs proposés	Personnes habitant dans un environnement calme pendant la journée (nombre de personnes exposées au bruit pendant la journée [trafics routier, ferroviaire et aérien] $L_r \leq 55\text{dB}$ )	Nombre de personnes habitant dans un environnement calme pendant la nuit (nombre de personnes exposées au bruit pendant la nuit [trafics routier, ferroviaire et aérien] $L_r \leq 45\text{dB}$ )
Base de donnée	Pollution sonore: SonBASE	Pollution sonore: SonBASE
Récupération des données	disponible sur openswissdata	disponible sur openswissdata
Lien spatial	Oui	Oui
Lien temporel	Oui, disponible depuis 2009	Oui, disponible depuis 2009
Lien LU/LC	Oui	Oui
Peut être cartographié	Oui	Oui
facilité d'accès aux données cartographiques précises	Oui	
lien théorique entre indicateur et FEG	Oui	
facilité d'interprétation cartographique	Non	
remarques - ressenti GE-21	Il est difficile de faire un lien entre biodiversité et nuisance sonore. Ces données sont plutôt liées aux infrastructures grises. Un service écosystémique par définition est fourni par la nature qui nous entoure. Il faudrait plutôt réfléchir en terme d'élément naturel qui contrent les nuisances sonores.	
Pertinence au projet	<b>Non, pas pertinent pour Genève</b>	
indicateur initial utilisé	Non	
Indicateur proposé par GE-21	/	
Pertinence pour l'OFEV	nous proposons de ne pas utiliser cet indicateur qui représente plus une absence de nuisance plutôt qu'un service.	

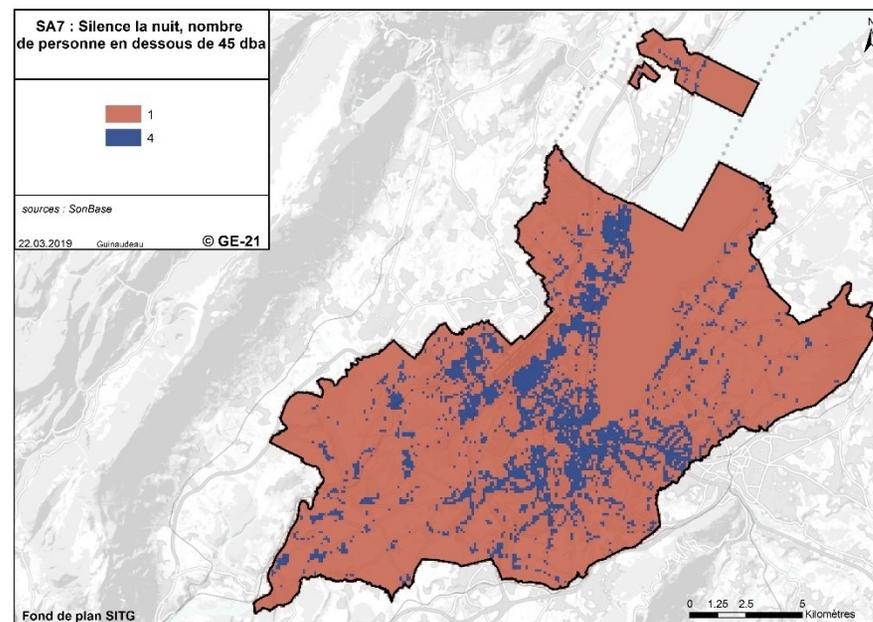
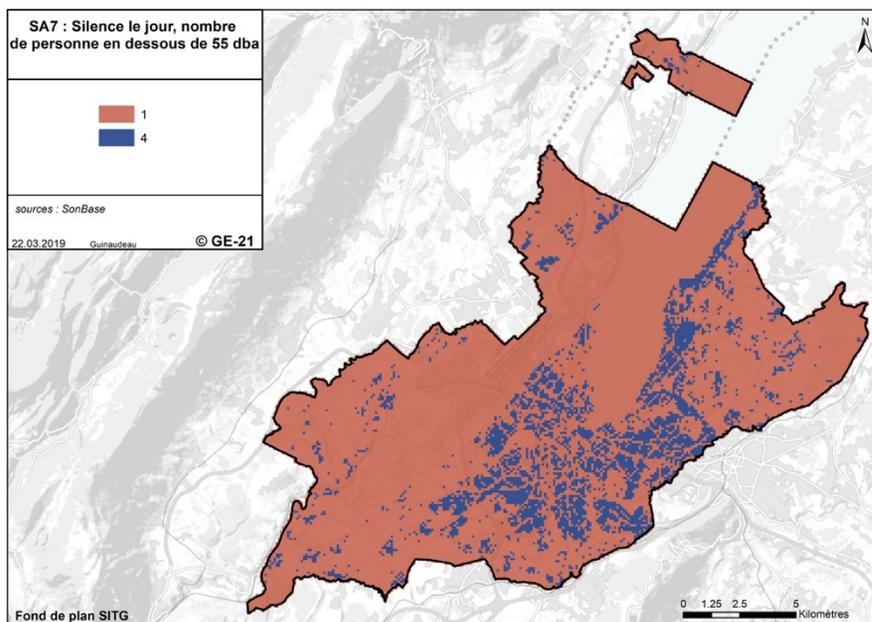


Figure 27: Pollution sonore. La base de données SonBase fournit les principaux résultats du bruit de la circulation routière et ferroviaire évalués par rapport aux valeurs limites d'exposition fixées dans [l'ordonnance sur la protection contre le bruit](#). Les données sous forme de raster (résolution 10 x 10 m) indiquent les valeurs du bruit en dB à 4m de hauteur au-dessus du sol. Les calculs se fondent sur une modélisation utilisant VECTOR25, et DTM de Swisstopo. Les points forts de cet indicateur sont la facilité d'accès aux données, leur description et qualité. Toutefois, dans le contexte des SE nous n'arrivons pas à faire de lien avec l'apport des écosystèmes pour ce service.

N°	Sa8
Prestation écosystémique finale (PEF)	Un niveau de rayonnement non ionisant sans danger pour la santé
Indicateurs proposés	/
Base de données	/
Récupération des données	/
Lien spatial	/
Lien temporel	/
Lien LU/LC	/
Peut être cartographié	/
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Non
Lien théorique entre indicateur et FEG	Non
Facilité d'interprétation cartographique	Non
Remarques - ressenti GE-21	Difficile d'avoir accès aux données, problème de sensibilité des données. Le rapport entre PEF et immissions des réseaux mobiles est difficile à faire. D'un point de vue légal, l'ORNI est respecté partout, donc a priori il n'y a pas de risque.
Pertinence au projet	Non - données difficiles à obtenir et le lien avec la biodiversité est faible
Indicateur initial utilisé	Non
Indicateur proposé par GE-21	Une carte des immissions des téléphones portables est en cours de réalisation par le SABRA, mais elle ne sera pas utilisée.
Pertinence pour l'OFEV	Abandonner cet indicateur car on ne connaît pas le lien existant entre rayonnement non ionisant et santé. Encore une fois, on est plutôt dans le cadre d'une absence de nuisance plutôt que d'un service rendu.

N°	Sé1					
Prestation écosystémique finale (PEF)	Protection contre les avalanches, les chutes de pierres et les laves torrentielles grâce à la végétation sur les pentes escarpées					
Indicateurs proposés	Forêt protectrice pertinente pour la protection contre les avalanches sous forme de carte	Forêt protectrice pertinente pour la protection contre les glissements de terrain (coulées de terre) sous forme de carte	Forêt protectrice pertinente pour la protection contre les chutes de pierres sous forme de carte	Valeurs protégées par « Forêt de protection avalanches » (permet un calcul des risques en fonction des scénarios retenus)	Valeurs protégées par « Forêt de protection glissements de terrain » (permet un calcul des risques en fonction des scénarios retenus)	Valeurs protégées par « Forêt de protection chute de pierres » (permet un calcul des risques en fonction des scénarios retenus)
Base de données	Silvaproduct					
Récupération des données	Il faut faire une demande auprès de Patrik Fouvy et Catherine Deriva GE ET VD	Il faut faire une demande auprès de Patrik Fouvy et Catherine Deriva GE ET VD	Il faut faire une demande auprès de Patrik Fouvy et Catherine Deriva GE ET VD	/	/	/
Lien spatial	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non
Lien temporel	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non
Lien LU/LC	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non
Peut être cartographié	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Oui			Non		
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui			Oui		
Facilité d'interprétation cartographique	Oui			Oui		
Remarques - ressenti GE-21	Absent à Genève	Normalement tous les cantons sont dans l'obligation de créer ces couches. Elles sont donc disponibles à l'échelle suisse.	Normalement tous les cantons sont dans l'obligation de créer ces couches. Elles sont donc disponibles à l'échelle suisse.	Il n'existe pas de méthodologie pour calculer les dommages évités pour les forêts protectrices. Pistes à suivre : la méthode Econome, initiative ProtectBio, indice du potentiel de dommage.		
Pertinence au projet	Non	Oui	Oui	Non - données difficiles à obtenir		
Indicateur initial utilisé	Non	Oui	Oui	Non		
Indicateur proposé par GE-21	/	Forêt protectrice pertinente pour la protection contre les glissements de terrain (coulées de terre) sous forme de carte	Forêt protectrice pertinente pour la protection contre les chutes de pierres sous forme de carte	Les études d'analyse de risque et coûts sont longues et complexes à mettre en place. Toutefois, il serait intéressant d'obtenir les valeurs des « objets » protégés par les forêts protectrices. Nous n'avons pas les connaissances suffisantes pour les obtenir.		
Pertinence pour l'OFEV	Cartographie précise et qui couvre l'ensemble de la Suisse			Si une méthodologie simple est trouvée, nous recommandons de conserver cet indicateur.		

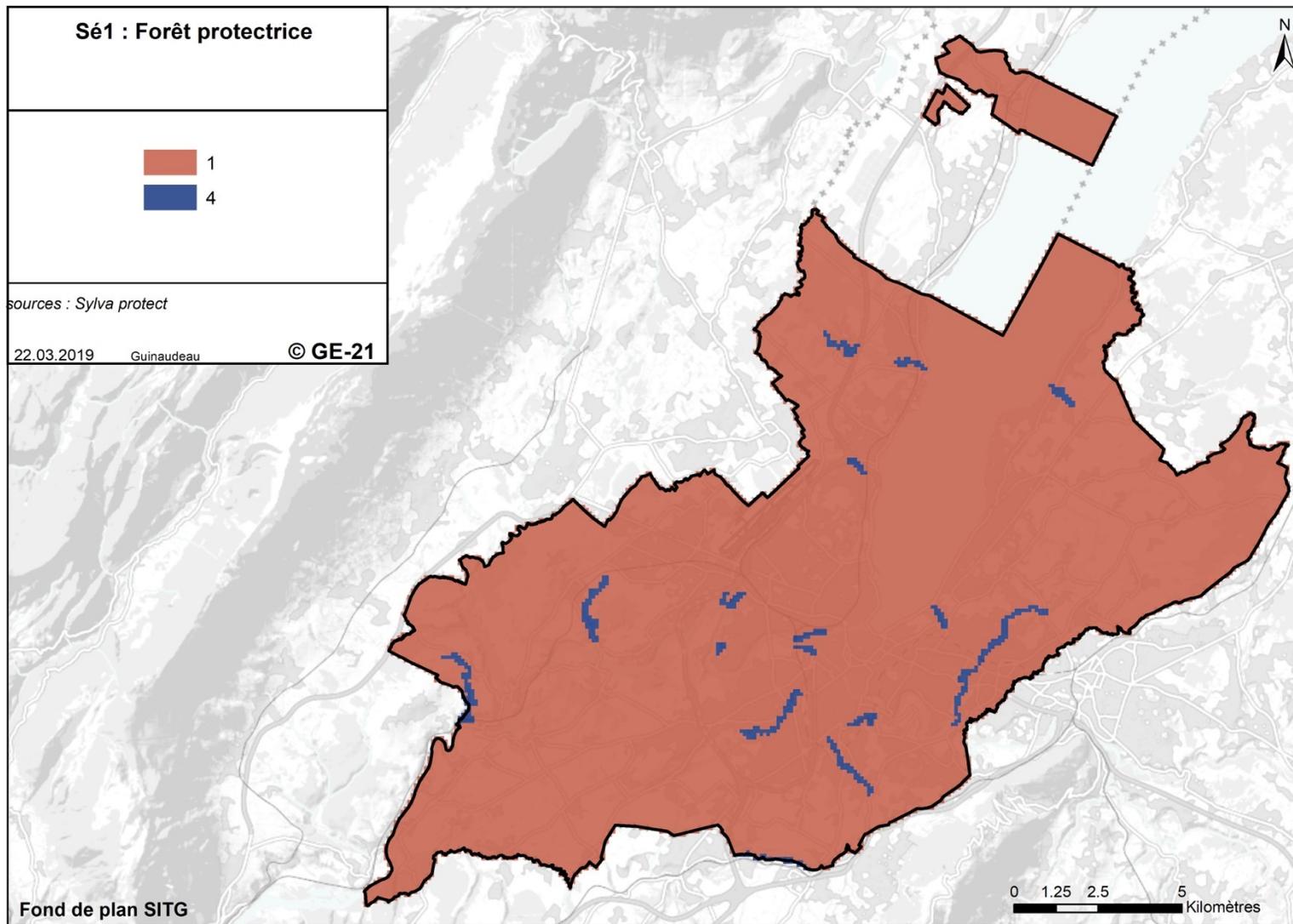


Figure 28: Les forêts protectrices sont des forêts remplissant une fonction protectrice quelconque comme la protection de la biodiversité, de l'eau potable ou contre les dangers naturels. Chaque canton se doit de fournir une l'emplacement des forêts protectrice. À Genève cela représente 4 % des forêts du territoire.

N°	Sé2
Prestation écosystémique finale (PEF)	Protection grâce à des zones qui peuvent être inondées ou retenir l'eau
Indicateurs proposés	Surfaces naturelles protectrices qui peuvent être inondées
Base de données	Aquaprotect
Récupération des données	<a href="https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dangers-naturels/info-specialistes/situation-de-danger-et-utilisation-du-territoire/donnees-de-base-sur-les-dangers/aquaprotect.html">https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dangers-naturels/info-specialistes/situation-de-danger-et-utilisation-du-territoire/donnees-de-base-sur-les-dangers/aquaprotect.html</a>
Lien spatial	Oui
Lien temporel	Oui
Lien LU/LC	Oui
Peut être cartographié	Oui
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Oui
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui
Facilité d'interprétation cartographique	Oui
Remarques - ressenti GE-21	Les données Aquaprotect ont l'avantage d'être réalisées à plusieurs temps de retour (50 à 500 ans) pour l'ensemble de la Suisse. Notons que les données genevoises sont plus précises.
Pertinence au projet	Oui
Indicateur initial utilisé	Oui - avec les données genevoises
Indicateur proposé par GE-21	Eléments naturels utiles pour la prévention des crues (données genevoises)
Pertinence pour l'OFEV	Les données Aquaprotect sont de bonne qualité et peuvent être utilisées par les différents cantons.

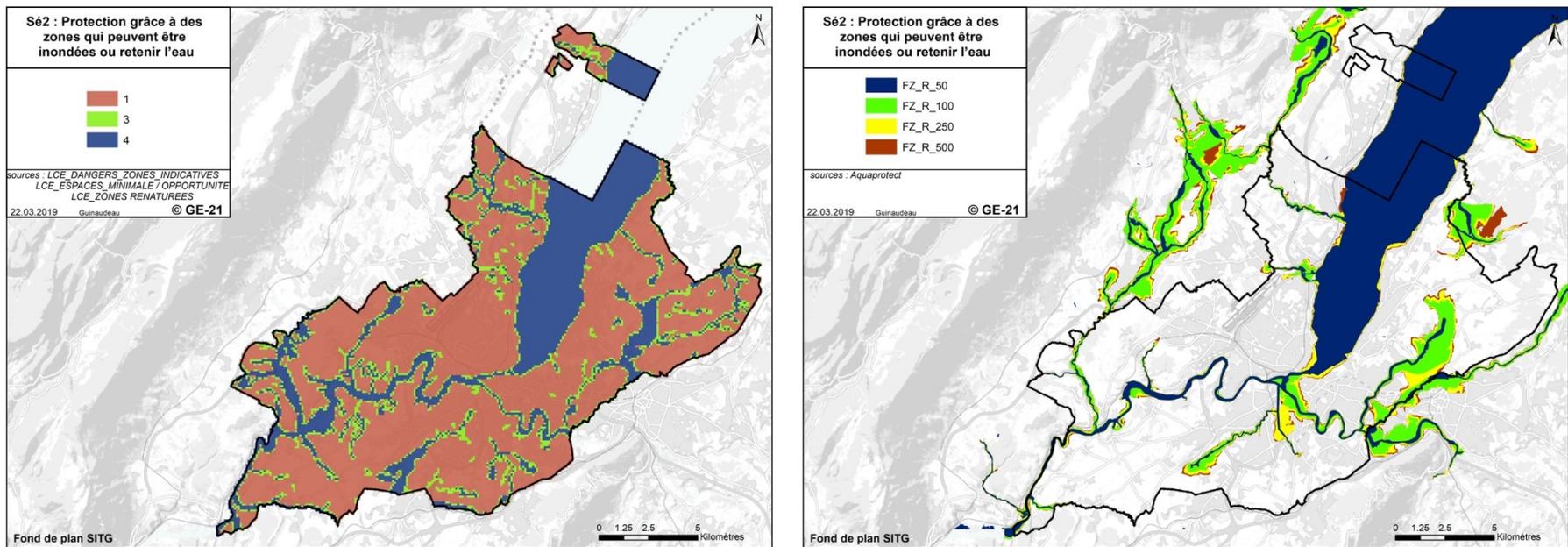


Figure 29: À gauche, les données genevoises qui recensent les éléments naturels d'intérêt en cas d'inondation. À droite, les données d'Aquaprotect, méthode qui tient compte de trois paramètres: la distance horizontale et verticale séparant le point concerné du cours d'eau et la taille du sous-bassin versant. Sur la base de ces paramètres et d'autres facteurs, les zones d'inondation sont définies pour les périodes de retour de 50, 100, 250 et 500 ans à l'aide des relations statistiques. Les ouvrages de protection existants ne sont pas pris en compte, les zones indiquent donc la surface qui serait potentiellement inondée en cas de défaillance de ces ouvrages. Il y a une assez grande similitude entre les deux sources de données. Il est donc possible d'utiliser les données Aquaprotect lorsqu'aucune donnée cantonale n'existe.

N°	Sé3		
Prestation écosystémique finale (PEF)	Stockage du CO <sub>2</sub> , prestation écosystémique intermédiaire		
Indicateurs proposés	Modification annuelle du stockage des gaz à effet de serre causée par les changements dans la gestion forestière	Modification annuelle du stockage des gaz à effet de serre causée par les changements dans l'utilisation des terres	Un indice des réserves de CO <sub>2</sub> pour les différentes formes d'utilisation du territoire (forêts, cultures, prairies, zones humides) [Base: la somme des valeurs d'indice de toutes les formes d'utilisation du territoire a été fixée à 100 pour 1990]
Base de données	Inventaire suisse des émissions de gaz à effet de serre: LULUCF		
Récupération des données	Météotest	Météotest	Météotest
Lien spatial	Non	Non	Non
Lien temporel	Oui	Oui	Oui
Lien LU/LC	Oui	Oui	Oui
Peut être cartographié	Non	Non	Non
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Non		
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui		
Facilité d'interprétation cartographique	Oui		
Remarques - ressenti GE-21	Les indicateurs correspondent à des valeurs numériques pour l'ensemble du canton ; afin de cartographier le stockage du CO <sub>2</sub> dans le sol il a fallu contacter l'entreprise Météotest et demander un raster d'utilisation du sol, puis appliquer les formules du rapport <a href="#">NIR</a> pour calculer un indicateur de stockage équivalent CO <sub>2</sub> dans le sol. Il existe également un modèle InVEST qui permet de calculer le stockage du CO <sub>2</sub> dans le sol.		
Pertinence au projet	Oui		
Indicateur initial utilisé	Oui avec le raster de Météotest		
Indicateur proposé par GE-21	Stockage équivalent CO <sub>2</sub> par ha.		
Pertinence pour l'OFEV	L'indicateur proposé par GE-21 a l'avantage de pouvoir être calculé sur l'ensemble de la Suisse, il est reproductible à différentes périodes et en fonction du changement d'utilisation du sol. Il faut toutefois s'imprégner de la méthodologie de Météotest et du rapport NIR. Le stockage du carbone étant une prestation écosystémique de régulation clé, nous recommandons vivement son estimation. Le logiciel <a href="#">InVEST</a> possède également un module qui calcule le carbone présent dans le sol et la végétation.		

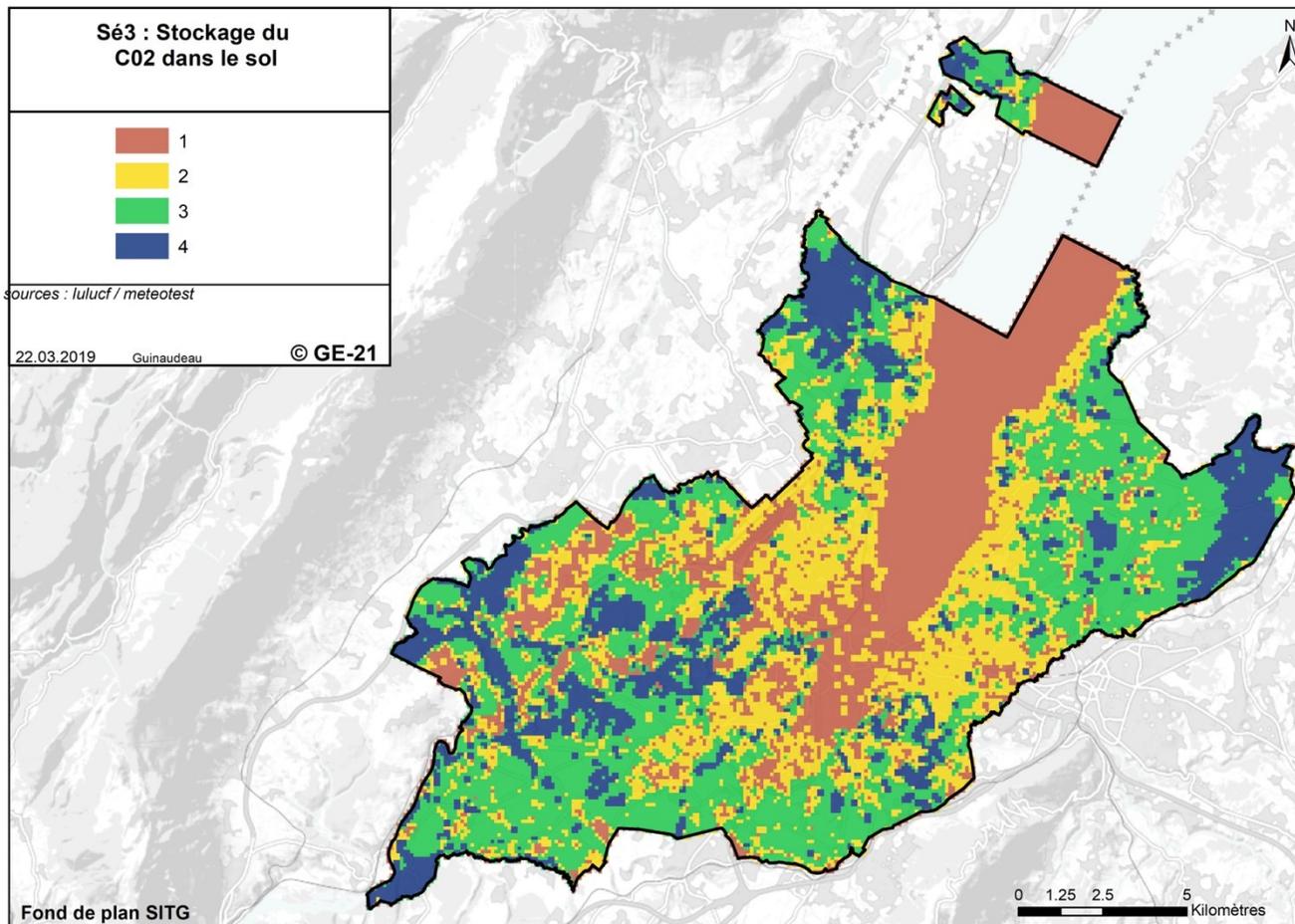


Figure 30: Afin de cartographier les puits de carbone ; des rasters à l'hectare ont été demandés à l'entreprise METEOTEST (1992 et 2009). Il s'agit d'une combinaison entre le Land Use et le Land Cover issu de GEOSTAT. Ils consistent en une table dans laquelle sont renseignés les différents types de sols présents sur le canton. Cinq zones régionales et trois niveaux d'altitudes sont pris en compte pour différencier les sols au sein d'une même catégorie (e.g. forêt productive). Sont distingués également les sols minéraux des sols organiques. Dans le cas de Genève une seule zone d'élévation (< 601m) et deux régions (Jura et plateau central) sont présentes. Dès lors il suffit de s'intéresser au tableau 6-4 du NIR (p331). Pour une année définie, il faut calculer la quantité de CO<sub>2</sub> stocké dans chaque type de sol. On remarquera que la plupart du temps il suffit de se référer à la table 6-4 qui renseigne les valeurs de CO<sub>2</sub> pour 1ha de sol. Ainsi, pour les CC code 11, 13, 31 à 61 le CO<sub>2</sub> stocké n'évolue pas en fonction des années. Concernant les cases bleutées (CC code 12 et 21) les quantités fluctuent au cours du temps, il faut alors se référer aux tables 6-19, 6-23 et 6.27). Une fois ces valeurs estimées, il suffit de reprendre le raster fourni par METEOTEST. En reprenant les valeurs de CO<sub>2</sub> stocké par hectare il est possible d'obtenir une cartographie détaillée des réserves de CO<sub>2</sub> sur le territoire.

N°	E1	
Prestation écosystémique finale (PEF)	Eau potable et eau d'usage issues d'eaux souterraines et d'eaux superficielles utiles	
Indicateurs proposés	Approvisionnement en eau provenant d'eaux de source phréatiques non traitées	Pourcentage de l'eau de source et de nappes phréatiques sur l'approvisionnement total en eau
Base de données	Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux (SSIGE), statistique annuelle de l'eau	
Récupération des données	Pdf des statistiques récupéré, contact auprès de monsieur m.freiburghaus@svgw.ch, ssige@ssige.ch	
Lien spatial	Non	
Lien temporel	Oui	
Lien LU/LC	Non	
Peut être cartographié	Non	
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Non	
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui	
Facilité d'interprétation cartographique	/	
Remarques - ressenti GE-21	L'indicateur à l'origine est une valeur numérique ou un pourcentage. Nous avons décidé d'utiliser la donnée fédérale cartographiée des secteurs de protection des eaux.	
Pertinence au projet	Non - n'est pas spatial	
Indicateur initial utilisé	Non	
Indicateur proposé par GE-21	Classement des secteurs de protection des eaux, secteur A0 valeur 4, secteur Au valeur 3, secteur B valeur 2, autre valeur 1.	
Pertinence pour l'OFEV	<p>Les points de pompage de l'eau sont souvent connus, les volumes également mais cela ne représente pas l'étendue de la nappe phréatique. Le service est rendu par l'entière de la nappe phréatique. Il existe également des modèles hydrographiques qui n'ont pas été investigués : Le modèle SWAT permet notamment de tester différents scénarios d'approche agro-écologique afin d'évaluer leur impact sur la qualité de l'eau des bassins versants et de déterminer si leur mise en place apporte un bénéfice sur les ressources en eau étudiées.</p> <p>L'eau est une ressource essentielle dont la gestion est liée à l'énergie, les sols, la biodiversité, la pression démographique, l'urbanisation. Il est donc très important de mettre en évidence les lieux d'intérêt et de viser à leur protection.</p>	

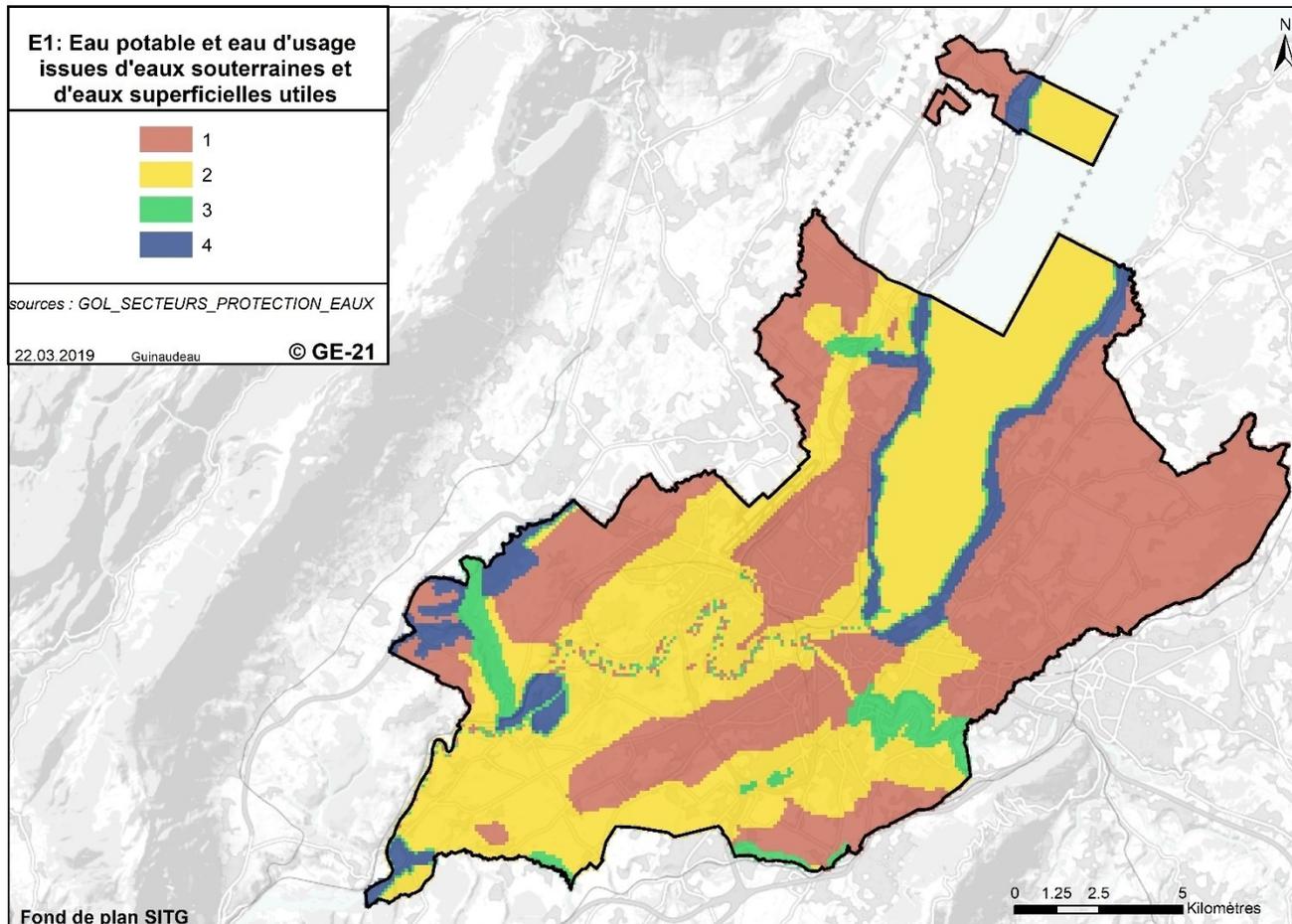


Figure 31: Cette couche définit les secteurs dont le contexte géographique, géologique et hydrogéologique impliquent des mesures de précaution et des aménagements limitant les risques de pollution des eaux superficielles et souterraines destinées à l'eau de boisson. Cette information semble correspondre au PEF E1 et nous proposons donc d'en utiliser la cartographie pour représenter la prestation écosystémique. Il existe trois types de secteur de protection : Le secteur « Ao » est défini pour les eaux superficielles. Il est cantonné sur les rives du lac Léman ainsi que sur certaines zones considérées comme des biotopes d'importance nationale. Le secteur « Au » de protection des eaux comprend toutes les surfaces correspondant aux aquifères formés de roches meubles, qui sont le siège de nappes d'eaux souterraines exploitables dignes de protection, ainsi que celles des zones attenantes nécessaires à leur protection. Le secteur « B » de protection des eaux est une particularité genevoise mise en place avec l'accord de l'OFEV pour indiquer des zones particulièrement menacées, mais se situant sous une épaisseur de couche morainique protectrice suffisante. Le lac est également pris en compte.

N°	E2	
Prestation écosystémique finale (PEF)	Soutien à la production de biens: pollinisation et lutte contre les ravageurs	
Indicateurs proposés	Nombre et qualité des fournisseurs de pollen et de nectar. Espèces végétales par zone de mesure.	Densité moyenne des abeilles en Suisse (Völker par km <sup>2</sup> )
Base de données	Indicateur MBD Z9	Associations d'apiculteurs (VDRB, SAR, STA ensemble dans le VSBV)
Récupération des données	Tobias Roth (roth@hintermannweber.ch)	/
Lien spatial	Oui	Oui
Lien temporel	Oui	Non
Lien LU/LC	Non	Oui
Peut être cartographié	Oui	Non
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Non	
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui	
Facilité d'interprétation cartographique	Oui	
Remarques - ressenti GE-21	Un pdf rédigé en 2004, "L'apiculture en Suisse", dans lequel se trouve une carte "des ressources mellifères de la suisse" a été trouvé, mais impossible de récupérer la donnée en format raster. Les associations d'apiculteurs ne possèdent que des données lacunaires.	Les données du MBD ne sont pas non plus suffisantes pour aboutir à un indicateur pertinent (seulement 13 petites aires de 10m <sup>2</sup> , Z9). Le logiciel InVEST permet de mesurer l'abondance de pollinisateur sur un territoire donné.
Pertinence au projet	<b>Non - données lacunaires</b>	<b>Non</b>
Indicateur initial utilisé	Non	Non
Indicateur proposé par GE-21	Indice d'abondance de pollinisateur réalisé dans InVEST (Veronica Ruiz).	
Pertinence pour l'OFEV	La pollinisation est l'une des prestations écosystémiques les plus importantes. Réussir à la mesurer est donc nécessaire.	

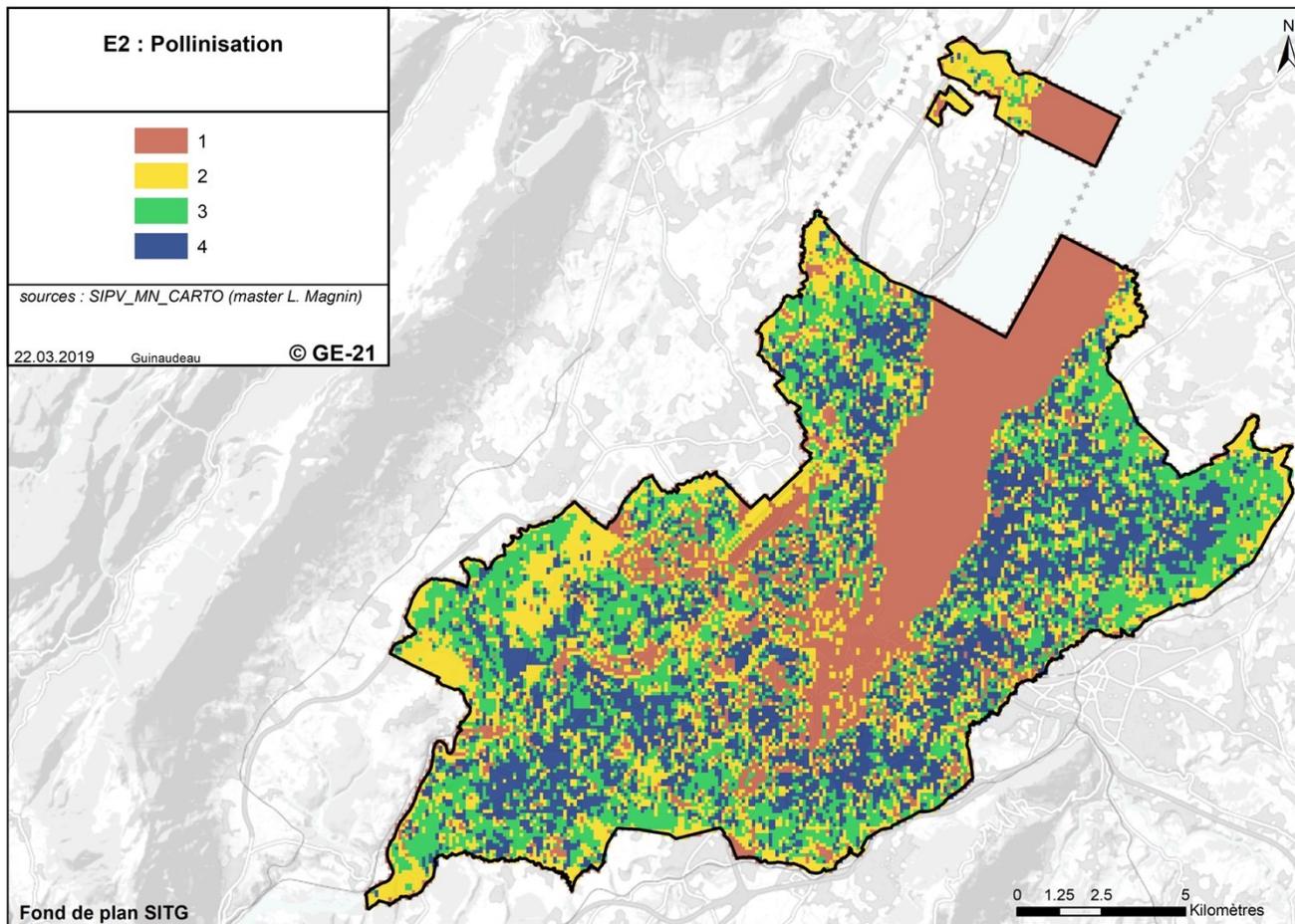


Figure 32: À partir du logiciel Invest, il est possible d'estimer l'abondance de pollinisateurs. L'indice est compilé à partir de données sur les espèces communes d'abeilles sauvages au sein des milieux naturels. Le modèle utilise donc des informations sur la disponibilité des sites de nidification et des ressources en fleurs, ainsi que sur les plages de vol des abeilles, pour cartographier l'abondance d'abeilles dans le paysage. Les intrants requis comprennent une carte d'utilisation des terres et de couverture terrestre. À Genève, la carte des milieux naturels a donc été utilisée, mais si une telle donnée n'existe pas dans un autre canton, il est possible d'utiliser GEOSTAT / TLM3D. Il faut également acquérir/créer à partir de la littérature une table de guildes des pollinisateurs avec des propriétés sur les saisons actives, les préférences de nidification, les distances de vol moyennes et les abondances relatives pour chaque espèce ou groupe de pollinisateurs sauvages ; une table biophysique qui croise les données LU/LC et les types de nidification pour les pollinisateurs et les ressources florales d'une saison à l'autre.

N°	E3
Prestation écosystémique finale (PEF)	Sol fertile pour l'exploitation agricole et sylvicole
Indicateurs proposés	Ha de surface d'assolement, ha de surface de forêt
Base de données	Statistique de la superficie
Récupération des données	Statistique de la superficie NOAS04
Lien spatial	Oui
Lien temporel	Oui
Lien LU/LC	Oui
Peut être cartographié	Oui
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Oui
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui
Facilité d'interprétation cartographique	Oui
Remarques - ressenti GE-21	Utilisation des codes propres à ces deux activités dans Geostat. Il existe des données genevoises plus précises concernant les périmètres dans le SITG. Pour l'aspect qualitatif, les agriculteurs doivent déclarer ce qu'ils cultivent. Ces données sont a priori disponibles par le biais de l'Office cantonal de l'agriculture et de la nature. Toutefois, la direction Agriculture ne souhaite pour le moment pas diffuser les données (sensibles). Ces données seront accessibles par le biais de l'OFAG courant 2019. À l'échelle suisse, il existe un réseau NABO qui ponctuellement analyse les caractéristiques des sols. Il y a également une carte d'aptitude des sols.
Pertinence au projet	Oui
Indicateur initial utilisé	Oui
Indicateur proposé par GE-21	Qualitativement, nous avons accès aux ha de surface d'assolement et aux ha de surfaces de forêt issus des données genevoises. Il manque donc actuellement l'aspect quantitatif, qui devrait bientôt être accessible par le biais de l'OFAG.
Pertinence pour l'OFEV	Les données Geostat constituent déjà une bonne base, mais il est toutefois nécessaire de chercher des données plus qualitatives. Le type de culture devrait être accessible depuis 2019.

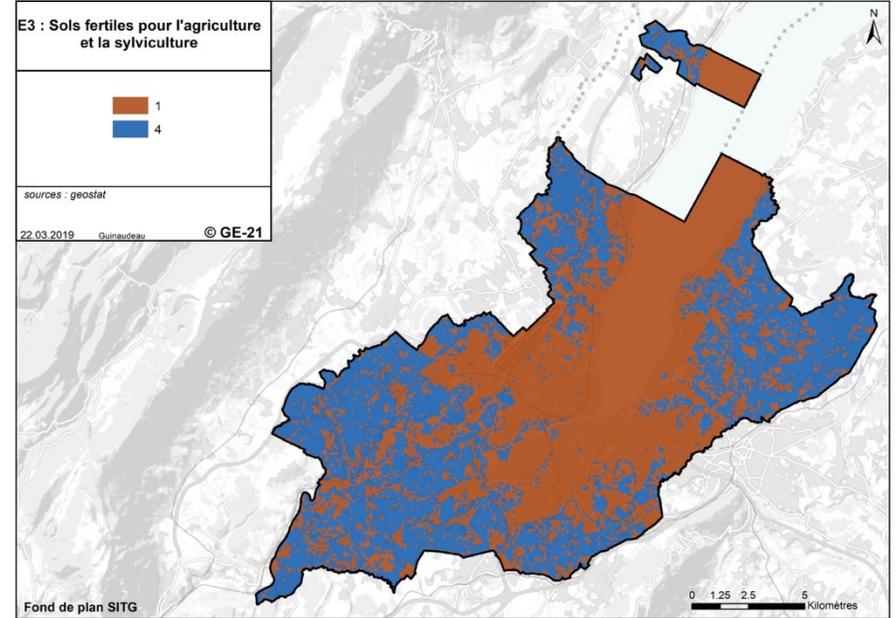
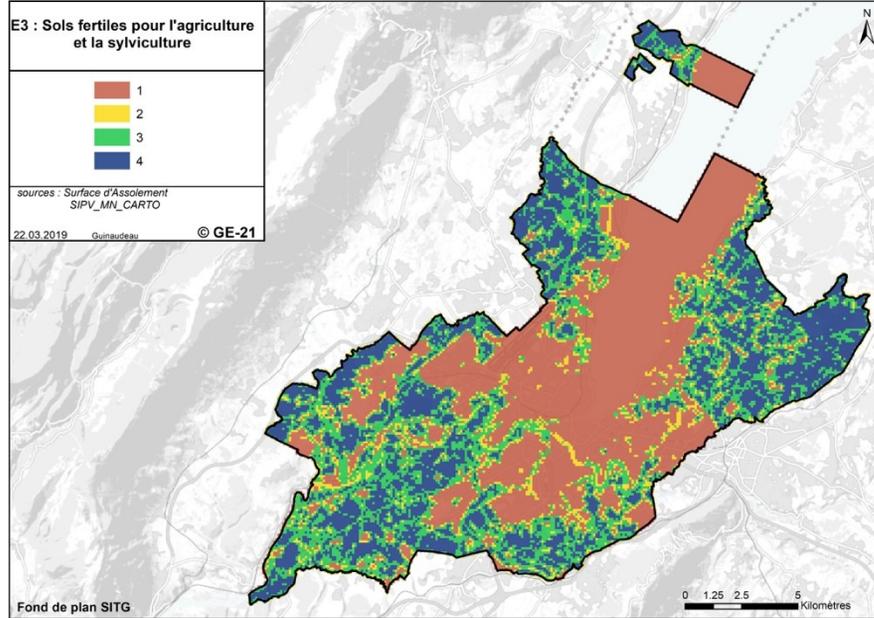
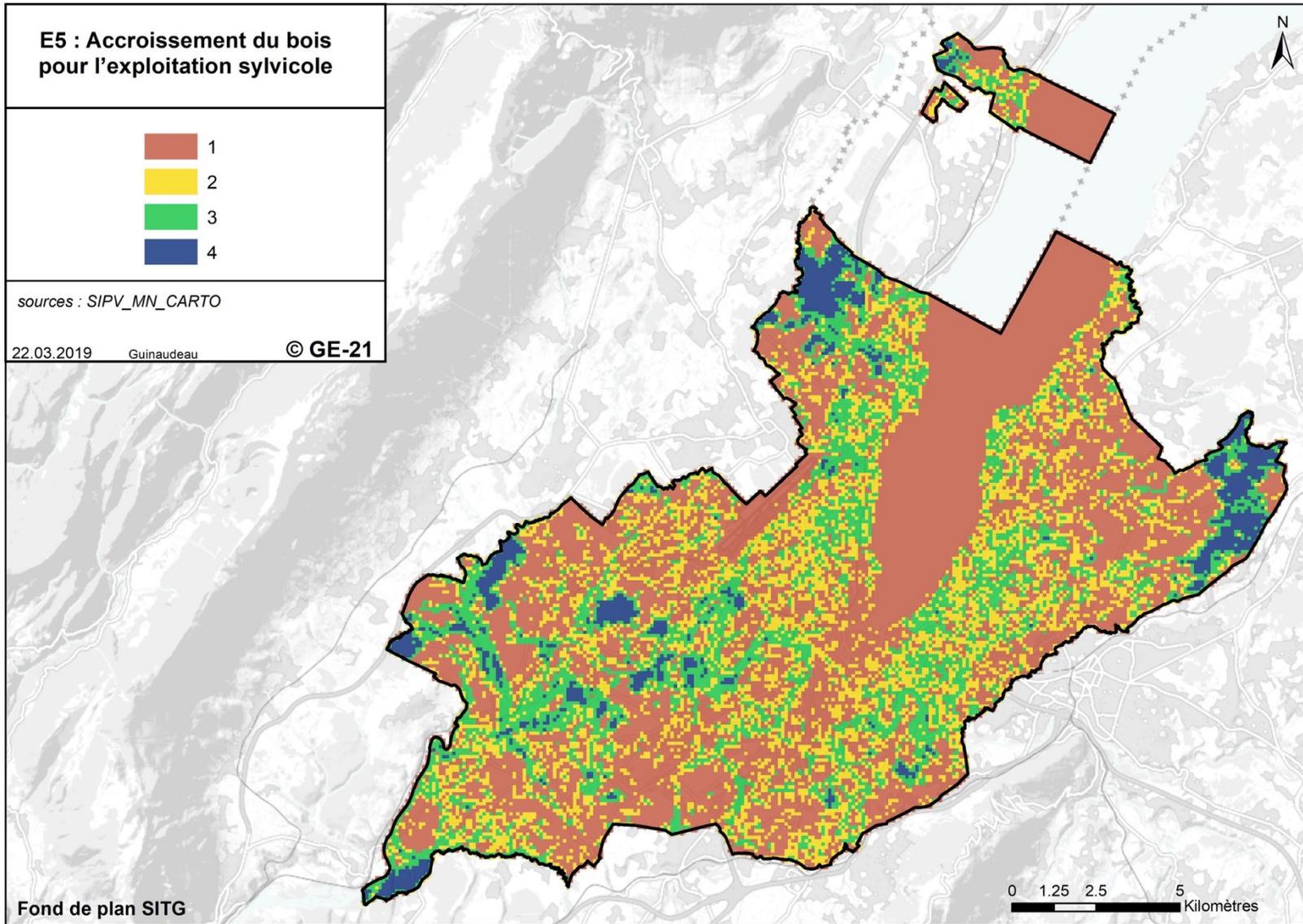


Figure 33: Les résultats peuvent être multiples selon la donnée utilisée. On peut choisir l'utilisation des statistiques de la superficie (à droite). Ces données sont avantageuses car présentes sur l'ensemble de la Suisse. Toutefois, localement, il arrive que la donnée ne soit pas suffisamment précise. On pourrait également utiliser la carte de l'aptitude des sols qui elle aussi est disponible pour la Suisse entière. Finalement, à Genève, des données plus précises concernant les surfaces d'assolement et des forêts productives existent (à gauche). La plupart des agriculteurs pratiquent la rotation des cultures et ne produisent donc pas les mêmes aliments d'une année à l'autre sur une parcelle particulière. Utiliser la carte de l'aptitude des sols ne permet donc actuellement pas de montrer les différences de qualité de production. Cependant, depuis peu, les producteurs peuvent rentrer les cultures effectuées sur leurs exploitations. Ces données seront géoréférencées et disponibles via l'OFAG courant 2019. Il pourra alors être intéressant d'utiliser ces informations plus précises.

N°	E4		
Prestation écosystémique finale (PEF)	Plantes fourragères et engrais organiques pour l'exploitation agricole		
Indicateurs proposés	Valeur production agricole en CHF par an	Estimation de la quantité (en tonnes) de pâturages et d'aliments pour l'agriculture	Estimation de la quantité (en tonnes) d'engrais organique utilisé en agriculture
Base de données	Association d'agriculteurs	Rapport OCDE sur le bilan des éléments nutritifs	/
Récupération des données	/	/	/
Lien spatial	Non	Non	Non
Lien temporel	Oui	Non	Non
Lien LU/LC	Oui	Oui	Oui
Peut être cartographié	Non	Non	Non
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Non		
Lien théorique entre indicateur et FEG	Non		
Facilité d'interprétation cartographique	Non		
Remarques - ressenti GE-21	Grande difficulté à trouver des informations sur l'utilisation de plantes fourragères et engrais organiques ainsi que leur cartographie		
Pertinence au projet	Oui		
Indicateur initial utilisé	Non		
Indicateur proposé par GE-21	/		
Pertinence pour l'OFEV	Cette prestation n'est pas à réaliser en priorité malgré son importance. Elle pourrait certainement être rattachée à la prestation E3 et apporter un caractère qualitatif à ladite prestation.		

N°	E5		
Prestation écosystémique finale (PEF)	Accroissement du bois pour l'exploitation sylvicole		
Indicateurs proposés	Accroissement du bois	Accroissement du bois net (accroissement du bois moins l'exploitation et la mortalité)	Quantité de bois utilisé (exploitation annuelle)
Base de données	Inventaire forestier national: IFN 2 et IFN 3		
Récupération des données	Le relevé continu du quatrième inventaire (2009–17) a commencé en 2009. Pour obtenir des données ou pour toute question technique, contacter christian.ginzler@wsl.ch, <a href="https://www.lfi.ch/resultate/resultateauswahl-fr.php?p=theme?p=theme">https://www.lfi.ch/resultate/resultateauswahl-fr.php?p=theme?p=theme</a>		
Lien spatial	Non		
Lien temporel	Oui		
Lien LU/LC	Non		
Peut être cartographié	Non		
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Non		
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui		
Facilité d'interprétation cartographique	Oui		
Remarques - ressenti GE-21	Présenté sous forme de cartes et de tableaux, l'inventaire forestier national suisse (IFN) recense l'état et l'évolution de la forêt suisse, récoltant à cet effet des données sur un réseau systématique d'échantillonnage. Les données sont agrégées à l'ensemble du canton. Les forestiers cantonaux ont été questionnés afin de savoir s'il existait une cartographie de l'exploitation forestière, il semble qu'elle ne soit pas encore réalisée. Il est cependant possible de faire une carte des forêts productives (cela comprend quasiment tout le cadastre forestier).		
Pertinence au projet	Non - n'est pas spatial		
Indicateur initial utilisé	Non		
Indicateur proposé par GE-21	Forêt productive : utilisation de la carte des Milieux naturels de Genève pour déterminer la forêt productive au sein du cadastre forestier, toutefois ne sera pas utilisé ici car redondant avec E3		
Pertinence pour l'OFEV	Les données Tlm3d représentant les forêts (TLM_BODENBEDECKUNG, TLM_NUTZUNGSAREAL) pourraient être utilisées. Encore une fois, cette prestation correspond à l'aspect qualitatif de la prestation E3 sol fertile pour les forêts.		



*Figure 34: Représentation des forêts productives du canton (cela correspond aux milieux naturels forestiers de la carte des milieux). Cette donnée ayant déjà servi pour la prestation E3, nous ne l'avons pas conservée dans l'analyse finale.*

N°	E6			
Prestation écosystémique finale (PEF)	Gibier et poisson pour l'exploitation commerciale			
Indicateurs proposés	Rendement annuel total de la pêche professionnelle en Suisse sur les lacs (tonnes de poissons).	Rendement des pêcheurs professionnels suisses dans la consommation totale de poissons suisses.	Rendement annuel total du gibier (venaison) en Suisse, en tonnes de viande.	Proportion de gibier sauvage en Suisse dans la consommation totale de gibier sauvage en Suisse
Base de données	Statistique pêche OFEV		Statistique chasse OFEV	Estimations du pourcentage de gibier vendu
Récupération des données	<a href="https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/agriculture-sylviculture/chasse-peche-pisciculture/peche.html">https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/agriculture-sylviculture/chasse-peche-pisciculture/peche.html</a>		OFEV, <a href="http://www.schweizerfleisch.ch">www.schweizerfleisch.ch</a>	/
Lien spatial	Non			
Lien temporel	Oui			
Lien LU/LC	Non			
Peut être cartographié	Non			
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Non			
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui			
Facilité d'interprétation cartographique	Oui	Non	Non	Non
Remarques - ressenti GE-21	Difficile d'avoir accès aux données détaillées par cours d'eau. Les spatialiser est encore plus difficile.			
Pertinence au projet	Non - n'est pas spatial ; Données difficiles à obtenir			
Indicateur initial utilisé	Non			
Indicateur proposé par GE-21	Utilisation de l'emprise du lac et des principaux cours d'eau			
Pertinence pour l'OFEV	Dans un premier temps, pourquoi ne pas utiliser l'emprise du lac et des principaux cours d'eau pour la pêche.			

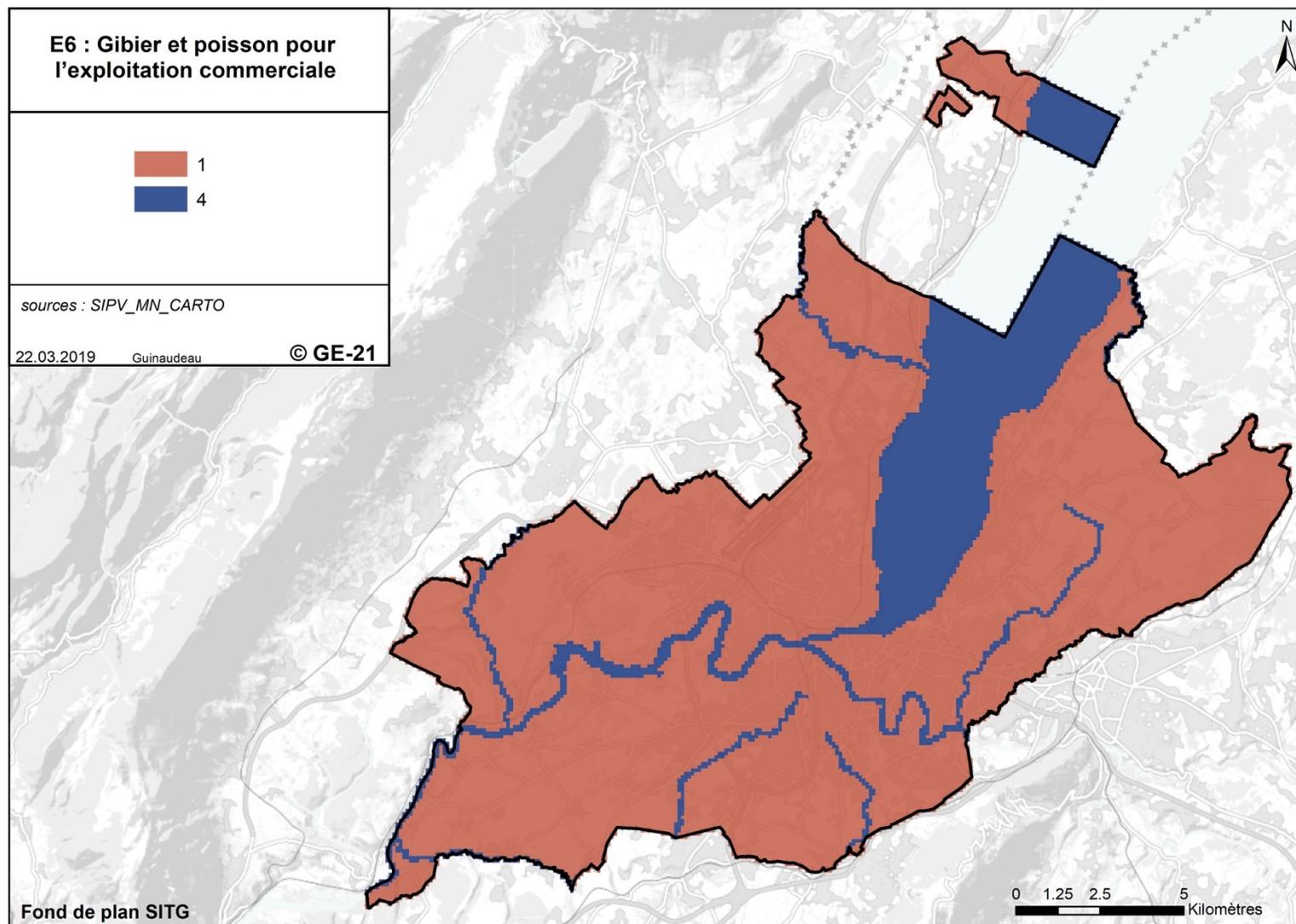


Figure 35: Bien qu'il soit loin de représenter la réalité de terrain, nous pensons que cet indicateur redonne du poids aux écosystèmes aquatiques souvent délaissés dans les autres prestations. Il reste désormais à apporter un aspect quantitatif en distinguant les localités les plus piscicoles. Les carnets de pêches disponibles pour le canton ne permettent pas de produire des statistiques suffisamment pertinentes.

N°	E7		
Prestation écosystémique finale (PEF)	Paysages naturels et culturels à valeur touristique		
Indicateurs proposés	Transports de personnes sur les chemins de fer suisses de montagne		Complément d'indicateur n° 2: cars postaux (dans les régions touristiques) et bateaux (sur les cours d'eau suisses)
Base de données	Remontées mécaniques suisses (RMS)	Union des transports publics (UTP), Commission trafic touristique	Association suisse des entreprises de navigation (AESN)
Récupération des données	Rapport « Fait & Chiffres 2015 », contacter Susanne Widmer pour des données SIG ou maurice.rapin@remontees-mecaniques.ch	<a href="https://www.voev.ch/fr/association/organes-utp/commissions/ctt">https://www.voev.ch/fr/association/organes-utp/commissions/ctt</a> Contact: patrik.sieger@utp.ch	<a href="http://www.astra.admin.ch/verkehrsdaten/00297/index.html?lang=fr">http://www.astra.admin.ch/verkehrsdaten/00297/index.html?lang=fr</a> Comptage de la circulation routière en Suisse <a href="http://www.portal-stat.admin.ch/ssvz/index.html">http://www.portal-stat.admin.ch/ssvz/index.html</a> <a href="http://www.astra.admin.ch/verkehrsdaten/00299/00303/index.html?lang=fr">http://www.astra.admin.ch/verkehrsdaten/00299/00303/index.html?lang=fr</a>
Lien spatial	Non		
Lien temporel	Non		
Lien LU/LC	Non		
Peut être cartographié	Non		
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Non		
Lien théorique entre indicateur et FEG	Non		
Facilité d'interprétation cartographique	Non		
Remarques - ressenti GE-21	L'OFEV propose de contacter les sociétés de car postaux et de trains, mais ces derniers ne sont pas en mesure de distinguer les touristes des pendulaires par exemple.	Idem	Pas d'informations pertinentes sur le site internet
Pertinence au projet	Non - n'est pas spatial ; Données difficiles à obtenir		
Indicateur initial utilisé	Non		
Indicateur proposé par GE-21	/		

Pertinence pour l'OFEV	C'est une prestation très difficile à quantifier, proche de Sa4. C'est certainement par l'utilisation mutuelle de l'approche contingente des coûts de déplacement et d'enquêtes qu'il serait le plus facile d'obtenir des résultats. Cette étape pourrait être rattachée au projet WaMos du WSL.
------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

N°	E8	
Prestation écosystémique finale (PEF)	Energies renouvelables: énergie hydraulique, énergie éolienne, biomasse, énergie solaire	
Indicateurs proposés	Quantité absolue et part d'énergie renouvelable dans la consommation finale d'électricité	Montant absolu et part d'énergie renouvelable dans l'énergie de consommation finale sans énergie électrique
Base de données	Statistiques suisses sur les énergies renouvelables	
Récupération des données	Annexe C4, Numéro 4, <a href="http://www.bfe.admin.ch/index.html?lang=fr">http://www.bfe.admin.ch/index.html?lang=fr</a>	
Lien spatial	Non	Non
Lien temporel	Oui	Oui
Lien LU/LC	Non	Non
Peut être cartographié	Non	Non
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Non	
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui	
Facilité d'interprétation cartographique	Non	
Remarques - ressenti GE-21	Le potentiel thermique et solaire et les quantités d'énergie renouvelable produites à Genève sont connus, mais pas la localisation précise des productions. Cette prestation risque d'entrer en conflit avec la préservation des milieux naturels.	
Pertinence au projet	Non - n'est pas spatial	
Indicateur initial utilisé	Non	
Indicateur proposé par GE-21	Utilisation de l'intérêt éolien, zone sous réserve de coordination, <a href="https://wind-data.ch/windkarte/index.php?lng=fr">https://wind-data.ch/windkarte/index.php?lng=fr</a>	
Pertinence pour l'OFEV		

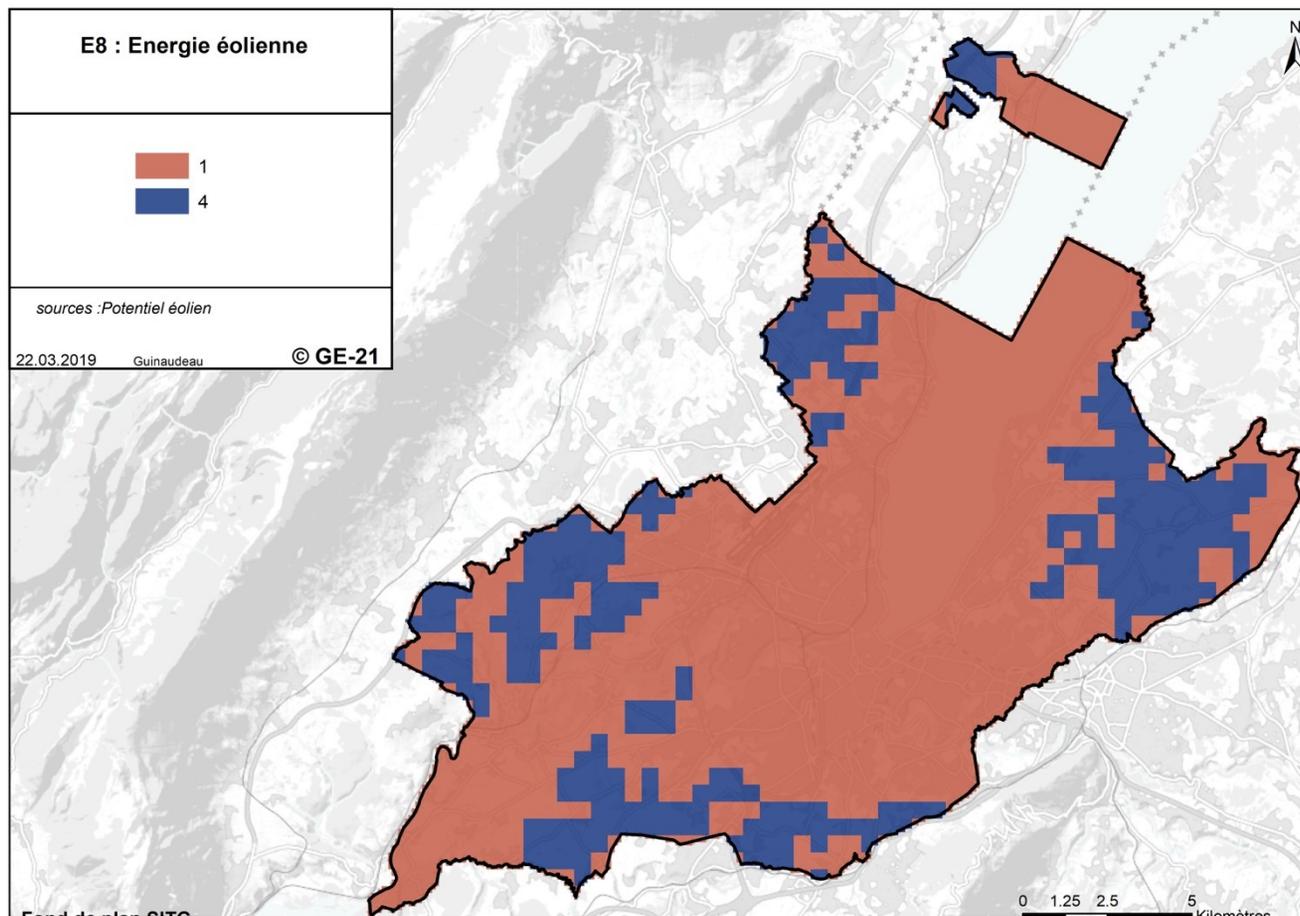


Figure 36: Le challenge réside en la cartographie des résultats. Faut-il cartographier le lieu de production de l'énergie ? Le lieu où elle est consommée ? Ou bien l'environnement favorable à la production de cette énergie ? La plupart du temps, le processus de création de l'énergie est réalisé à travers un édifice anthropique. Nous proposons un indicateur de potentiel d'énergie renouvelable. Comme nous n'avons pour le moment aucune donnée, nous proposons d'utiliser le potentiel éolien (carte) qui a l'avantage d'être disponible pour toute la Suisse.

N°	E9
Prestation écosystémique finale (PEF)	Soutien à la production de biens: capacité de refroidissement
Indicateurs proposés	Besoin en eau de refroidissement pour des bâtiments en millions de m <sup>3</sup> par an
Base de données	/
Récupération des données	/
Lien spatial	/
Lien temporel	/
Lien LU/LC	/
Peut être cartographié	/
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Non
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui
Facilité d'interprétation cartographique	Non
Remarques - ressenti GE-21	Comme pour le FEG E1, utilisation des nappes phréatiques d'où sont tirés les m <sup>3</sup> d'eau pour refroidir.
<b>Pertinence au projet</b>	
Indicateur initial utilisé	Oui
Indicateur proposé par GE-21	Nappes phréatiques utilisées pour pomper l'eau pour refroidir les bâtiments
Pertinence pour l'OFEV	

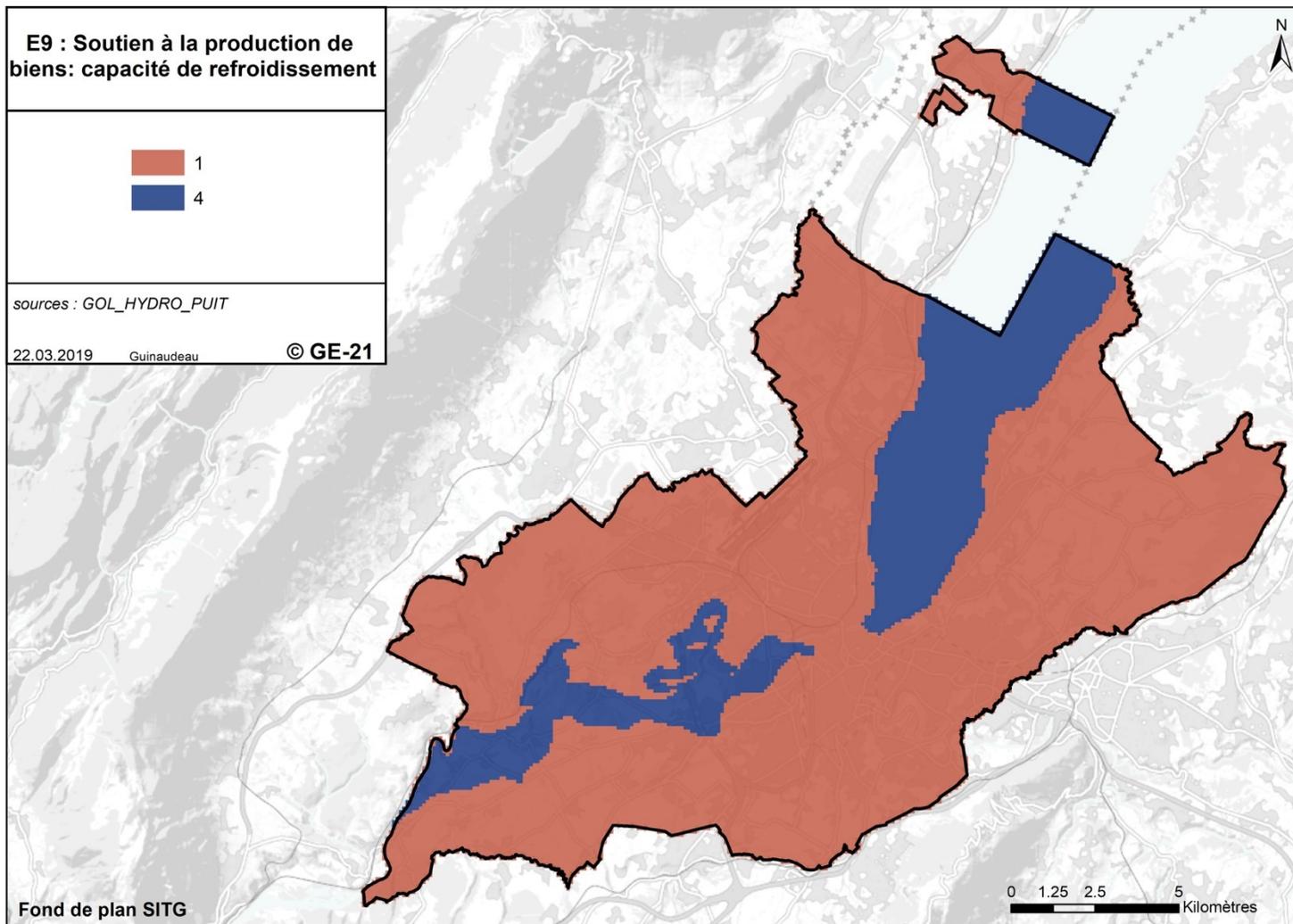


Figure 37: Utilisation de la couche des puits de captage (GOL\_HYDRO\_PUIT) afin de déterminer la nappe phréatique dans laquelle est pompée l'eau. Il s'agit de la nappe Rhône à Peney. Et utilisation de la carte du lac. À terme, il existe une couche du potentiel géothermique des nappes phréatiques qu'il serait intéressant d'utiliser : GOL\_NAPPES\_POT\_GEOTHERMIE

N°	E10
Prestation écosystémique finale (PEF)	Ressources génétiques et substances actives biochimiques
Indicateurs proposés	Nombre d'isolats de bactéries pour la production
Base de données	/
Récupération des données	/
Lien spatial	/
Lien temporel	/
Lien LU/LC	/
Peut être cartographié	/
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Non
Lien théorique entre indicateur et FEG	Oui
Facilité d'interprétation cartographique	Non
Remarques - ressenti GE-21	Complexité de l'indicateur, peu parlant pour le grand public
Pertinence au projet	/
Indicateur initial utilisé	Non
Indicateur proposé par GE-21	/
Pertinence pour l'OFEV	Cette prestation n'est pas à réaliser en priorité.

N°	E11
Prestation écosystémique finale (PEF)	Soutien à la production de biens: réduction et stockage des résidus
Indicateurs proposés	/
Base de données	/
Récupération des données	/
Lien spatial	/
Lien temporel	/
Lien LU/LC	/
Peut être cartographié	/
Facilité d'accès aux données cartographiques précises	Non
Lien théorique entre indicateur et FEG	Non
Facilité d'interprétation cartographique	Non
Remarques - ressenti GE-21	Complexité de l'indicateur, peu parlant
Pertinence au projet	/
Indicateur initial utilisé	Non
Indicateur proposé par GE-21	/
Pertinence pour l'OFEV	Cette prestation n'est pas à réaliser en priorité.