



**UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE**

FACULTÉ DES SCIENCES  
DE LA SOCIÉTÉ

# Certificat complémentaire en géomatique

## **Apport de la télédétection dans les plans climats cantonaux** Cas d'étude de Genève

Mémoire de Géomatique présenté par  
Tanja Fenner

Sous la direction du Dr. Gregory Giuliani

Juin 2024

## Résumé

En juin 2023, les citoyens suisses ont voté en faveur de la loi climat pour réduire les gaz à effet de serre. Pour atteindre les objectifs fédéraux, les cantons doivent définir leur plan climat permettant de tendre vers la neutralité carbone d'ici 2050. Les stratégies définies dans les plans climats cantonaux doivent comprendre des outils afin d'évaluer et de suivre l'efficacité des mesures prises. En parallèle à cela, les techniques de télédétection se multiplient. La question qui se pose donc est de savoir quel apport la télédétection peut avoir pour les plans climats cantonaux ? Pour apporter une réponse à cette question, les plans climat des cantons de Genève, Vaud, Neuchâtel Jura, Fribourg ont été étudiés afin d'en ressortir un ensemble d'indicateurs pertinents selon les objectifs fixés. Neuf indicateurs sont proposés, dont deux sont traités, pour mesurer les îlots de chaleur et la part de végétation saine, ont été développés pour servir de cas d'étude. Google Earth Engine a été utilisé pour modéliser ces indicateurs. Il ressort de ce travail que la télédétection présente un potentiel sous-exploité dans le domaine des politiques publiques : d'une part, elle comprend des techniques efficaces pour évaluer les mesures développées dans les plans climats cantonaux notamment pour les indices biophysiques, d'autre part, elle répond à un besoin explicite d'outil de monitoring nécessaire à l'implémentation des plans climats cantonaux.

## Figures

Figure 1 : Méthodologie GEE pour les indicateurs de l'îlots de chaleur et du NDVI .....	13
Figure 2: Time series de la LST, Genève, (2019-2023).....	24
Figure 3: Time series combiné LST-NDVI, Genève, (2019-2023) .....	24
Figure 4 : Time series combiné LST et NDBI, Genève, (2019-2023).....	25
Figure 5 : Cartographie du NDVI, Genève, (2019-2023) .....	25
Figure 6 : Cartographie de la LST, Genève, (2019-2023) .....	25
Figure 7: Cartographie des UHI, Genève, (2019-2023).....	26
Figure 8: Cartographie des UTFVI, Genève, (2019-2023) .....	26
Figure 9 : Série temporelle NDVI, Genève (2017-2019).....	27

## Tableaux

Tableau 1: Résumé des plans climats.....	7
Tableau 2: Valeurs seuils de l'UTFVI (Naim & Kafy, 2021).....	11
Tableau 3 : Caractéristiques Landsat 8 .....	15
Tableau 4 : Caractéristiques temporelles et spatiales Landsat 8 et Sentinel 2 .....	15
Tableau 5 : Caractéristiques Sentinel 2 .....	20
Tableau 6 : Développement des indicateurs des plans climats .....	22

## Abréviations

BT : Brightness Temperature

COP : Convention des parties

EVI : Enhanced vegetation index

FV : Fraction of vegetation

GEE : Google Earth Engine

GES : Gaz à effet de serre

LAI : Leaf Area Index

LiDAR : Light Detection and Ranging

LST : Land Surface Temperature

MNDWI : Modified Normalized Difference Water Index

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

NDBI : Normalized Difference Built Index

NDWI : Normalized Difference Water Index

OLI : Operational Land Imager

PC : Plan Climat

SITG : Les systèmes d'information du territoire à Genève

UHI : Urban Heat Island

UTFVI : Urban thermal field variance index

# Table des matières

Résumé.....	2
Figures.....	3
Abréviations.....	4
Table des matières.....	5
1. Introduction.....	6
1.1 Contexte.....	6
1.2 Les plans climats cantonaux.....	6
1.3 Problématique.....	9
2. Concepts théoriques.....	9
2.1 La chaleur en ville.....	9
2.2 Télédétection & monitoring.....	11
3. Matériels et méthodes.....	12
3.1 Cas d'étude.....	12
3.2 Modélisation des indicateurs.....	14
3.2.1 Développement des indicateurs.....	14
3.2.2 Google Earth Engine.....	14
3.2.3 Modélisation des îlots de chaleur.....	15
3.2.4 Végétation en ville.....	19
3.3 Traitement sur ArcGIS.....	20
4. Résultats.....	21
4.1 Production d'indicateurs.....	21
4.1.1 Energie.....	21
4.1.2 Eau.....	23
4.1.3 Environnement et biodiversité.....	23
4.2 Îlots de chaleur.....	23
4.3 NDVI par Sentinel 2.....	26
5. Discussion.....	27
5.1 Apports.....	27
5.2 Limites.....	28
6. Conclusion.....	29
7. Bibliographie.....	30
8. Annexes.....	32

# 1. Introduction

## 1.1 Contexte

Le réchauffement climatique anthropique est déjà grandement enclenché et il ne fait plus de doute que les températures continueront à augmenter. Il est important de limiter cette augmentation en mettant en place des moyens de réduction et d'adaptation. En 2015, lors de la 21ème convention des parties (COP) à Paris, il a été décidé de limiter la hausse globale des températures à 1.5°C en moyenne. En Suisse, les températures moyennes ont déjà atteint le seuil des 2°C et les émissions de gaz à effet de serre (GES) continuent d'augmenter. Cela peut s'expliquer par la topographie du territoire et par son paysage montagneux qui permet une plus grande accumulation de chaleur. Les terres se réchauffent bien plus rapidement que les océans n'arrangeant en rien l'augmentation des températures (OFEV et al., 2020).

Le réchauffement climatique est donc devenu un aspect central dans la mise en place des politiques environnementales qui répondent aux besoins et à l'envie d'endiguer le phénomène. En Suisse, en 2019, le Grand Conseil déclare l'urgence climatique<sup>1</sup>. Il décide de mettre en place des mesures pour limiter et réduire les émissions de GES de 60% sur son territoire d'ici 2030 (par rapport aux émissions de 1990) et de viser la neutralité carbone en 2050. La COP21 à Paris en 2015, peut donc être perçue comme le point de départ à la mise en place de politique de réduction et de limitation des émissions de GES. Elles sont aussi la réponse à l'envie de la part des citoyens d'aller dans le sens d'une réduction des GES. Dans ce sens, les citoyens suisses ont voté en juin 2023 une loi climat pour réduire les GES. Les politiques se doivent donc de prendre en compte les effets de leur politique sur le climat, mais également le fait qu'il est impératif de réduire ces émissions. Pour atteindre les objectifs fédéraux, c'est aux cantons de définir leurs objectifs et les mesures à mettre en place pour tendre vers la neutralité carbone d'ici 2050.

## 1.2 Les plans climats cantonaux

Il incombe donc aux cantons de développer leur propre stratégie dans le sens des objectifs fédéraux. Chaque canton définit un plan climat selon différents axes et différents objectifs. Leur temporalité est également définie par les cantons. C'est pourquoi actuellement, tous les cantons ne sont pas au même niveau dans l'élaboration de leur plan climat (PC). C'est le cas du canton du Valais qui développe son PC en s'appuyant sur les objectifs de développement durables (ODD) de 2030. Toutefois, cela ne reste qu'une feuille de route sur les ambitions futures. Concernant les PC ayant abouti à une liste de mesures, il est possible de citer ceux de Genève, de Vaud ou encore de Fribourg. Il en va de même quant au budget alloué pour ces derniers. Il diffère selon les cantons, notamment Genève qui a beaucoup investi contrairement au canton de Fribourg dont le budget alloué est moindre. En effet, alors que Genève alloue 6 milliards sur 10 ans, ce qui représente « 1200 francs par habitant, par année »<sup>2</sup>. Concernant Fribourg, le budget est de 22,8 millions CHF sur 6 ans, c'est-à-dire environ 605 CHF par habitant.

Les différents PC ont été élaborés par chacun des cantons en fonction de leurs besoins et de leurs secteurs prioritaires. Néanmoins, ils suivent une tendance semblable. Leur stratégie est fixée selon 2 thèmes principaux la réduction et l'adaptation. Ils ont tous développé des marches

---

<sup>1</sup> <https://www.ge.ch/document/communique-presse-du-conseil-etat-du-4-decembre-2019#extrait-18390>

<sup>2</sup> <https://www.rts.ch/info/suisse/13801771-plans-climat-a-chaque-canton-sa-cuisine.html>

à suivre plus ou moins détaillées selon les cantons. De nombreuses mesures mises en place sont tournées autour de la réduction des GES par la consommation ou par un changement dans les pratiques des citoyens. C'est pourquoi pour ce travail, il a été question de regrouper les différentes mesures en fonction de deux volets et qui nécessitent la création d'indicateurs sociaux et des indicateurs scientifiques.

Tous les cantons n'ont pas les mêmes problématiques tant leur topographie peut être différentes et ils ne font pas tous face aux mêmes défis (Tableau 1). Par exemple, les cantons fortement urbanisés telle que Genève ou le canton de Vaud, n'ont pas les mêmes priorités que le Valais. Ce dernier, en l'état actuel, ne fait pas état de la problématique de la chaleur en ville et des effets des îlots de chaleur. Il va au contraire mettre en avant la préservation des espèces animales sur son territoire et le défi face au tourisme.

Tableau 1: Résumé des plans climats

Plan climat	Axes	Domaines d'action	Objectifs
<b>Genève</b> <b>(République et canton de Genève, 2021)</b>	Réduction, Adaptation, Accompagnement	- 7 domaines d'action (Energie et bâtiments, mobilité, biens de consommation, espaces naturels et biodiversité, aménagement du territoire, santé, accompagnement) - 41 mesures	- Réduire la dépendance des bâtiments aux énergies fossiles et promouvoir les énergies renouvelables - Favoriser une mobilité sobre en carbone - Promouvoir des modes de consommation énergétiquement plus sobres - Prendre en compte les changements climatiques dans le développement territorial - Protéger la population des effets néfastes des changements climatiques - Protéger la biodiversité, l'agriculture et les forêts face aux changements climatiques
<b>Vaud<sup>3</sup></b> <b>(Conseil d'État vaudois, 2020)</b>	Réduire, adapter, documenter	- 7 domaines (Mobilité, Energie, Agriculture, Aménagement du territoire, Ressources et milieux naturels, Santé, Dangers naturels) - 115 mesures	Réduction de 60% des GES d'ici 2030 et neutralité carbone en 2050 -> Vision sur le long terme
<b>Neuchâtel</b> <b>(République et canton de Neuchâtel, 2022)</b>	Réduction, adaptation, accompagnement	- 14 domaines d'interventions (Energie et bâtiments, transports, alimentation et agriculture, gestion des déchets, puits de carbone, fortes chaleurs, sécheresse, crues, Mouvements de terrain, limite des chutes de neige, qualité de l'eau, des sols et de l'air, Paysages, milieux naturels et diversité des espèces, organismes)	- Réduire les émissions de gaz à effet de serre - Compenser les émissions territoriales restantes via des projets de protection climatique - Renforcer la protection de la population face aux impacts des changements climatiques - Prendre en compte les changements climatiques dans le développement territorial et économique du canton - Soutenir la résilience des écosystèmes afin de préserver l'eau, la biodiversité, l'agriculture et les forêts du canton

<sup>3</sup> Premier plan climat adopté en 2020, réévaluation en cours devant être adoptée en 2024.

		nuisibles, maladies et espèces exotiques) - 80 mesures	
<b>Jura</b> <b>(République et canton du Jura, 2023)</b>	Réduction, Adaptation	7 domaines d'action (énergie, mobilité, agriculture et production alimentaire, économie circulaire, cadre de vie, accompagnement au changement, gouvernance) - 110 mesures	-Diviser les émissions territoriales par 4 -Décarboner l'électricité consommé -Diviser les émissions indirectes par 4 -Doublé le stockage carbone dans les infrastructures et les écosystèmes -Initier le stockage technique de carbone dans le canton
<b>Fribourg</b> <b>(République et canton de Fribourg, 2021)</b>	Adaptation, atténuation	- 7 domaines d'action (Biodiversité, mobilité, agriculture et alimentation, territoire et société, consommation et économie, énergie et bâtiment, transversal) - 115 mesures	- Gérer la ressource en eau de manière à la rendre disponible pour les différents usages et besoins dans le canton - Accompagner la mutation de la biodiversité et d'accroître la résilience des écosystèmes face aux changements climatiques - Réduire la vulnérabilité et de favoriser l'adaptabilité du territoire, des activités qui s'y déploient et de la population qui y vit face aux impacts des changements climatiques et aux dangers naturels - Réduire l'impact carbone lié au secteur des transports en tenant compte de la situation régionale (urbaine, rurale) - Accroître l'efficacité énergétique et de réduire la consommation des combustibles fossiles - Réduire l'impact climatique de l'agriculture et de la consommation alimentaire tout en promouvant ce secteur économique de très grande importance. - Réduire les émissions indirectes du canton de Fribourg, ainsi que les émissions liées à l'industrie et à la construction
<b>Valais<sup>4</sup></b>	Atténuation, adaptation, accompagnement	7 domaines d'action (Aménagement du territoire et mobilité, gestion de l'eau, biodiversité, sols et forêts, bâtiments et construction, industrie, énergie et tourisme, dangers naturels et santé humaine, agriculture et sécurité alimentaire)	- Atteindre zéro émission directe nette d'ici 2040 : en réduisant les émissions directes de gaz à effet de serre de 50% d'ici 2030 par rapport à 1990 puis de 32% d'ici 2040 ; en développant les puits de carbone naturels et techniques pour absorber les 18% d'émissions restantes - Accroître les capacités d'adaptation du territoire face aux changements climatiques ; - Accompagner la transition par des mesures de gouvernance, de soutien aux communes, d'économie circulaire, d'information et de formation.

<sup>4</sup> <https://www.vs.ch/documents/6667253/15303479/Programme+de+de%CC%81veloppement+durable+2024.pdf/b96f6031-32a0-df95-8156-a4bca72c06ed?t=1713340653522&v=1.0>

Il est important de noter que le plan climat vaudois est en pleine restructuration. Le premier PC n'a pas donné entière satisfaction concernant les mesures édictées pour atteindre les objectifs du zéro net carbone en 2050. D'après un rapport de l'EPFL<sup>5</sup>, les émissions de GES n'auraient diminué que de 8%. Les mesures phares du prochain PC qui devrait être publié dans le courant de l'année 2024 vont dans le même sens que les mesures adoptées dans le PC actuel mais en renforçant les mesures et en allouant un budget plus conséquent, 209 millions de francs.

Par conséquent, structuré selon des thèmes similaires, il est possible de ressortir l'énergie, la mobilité, la biodiversité, la santé, l'aménagement du territoire, la consommation ainsi qu'un focus sur l'accompagnement et le support aux différents acteurs. Il est donc possible de définir des axes tournés vers le changement de comportement et d'habitude et des axes que l'on pourrait appeler écologique. Dans le cadre de ce travail, seul les mesures impliquant l'environnement dans le sens large seront prises en compte. De la lecture des plans climat, il est possible de ressortir des indicateurs permettant par la suite de mesurer l'efficacité des mesures développer dans les PC, mais également à comparer dans notre cas les différents cantons ayant des mesures et des objectifs similaires. Ils peuvent être de nature quantitative ou qualitative ainsi que mesurables ou descriptives (Dupont, 2020).

### 1.3 Problématique

Les PC sont donc définis par chaque canton mettant en avant leur spécificité territoriale et des objectifs différents. Ce qui pourrait être perçu comme un manque de cohérence et une difficulté d'adaptation à l'échelle fédérale doit pouvoir être surveillé et comparé dans le temps entre tous les cantons. La télédétection comprend un ensemble de techniques potentiellement utiles pour le monitoring et le contrôle. Ainsi, nous pouvons nous demander : Quel est l'apport de la télédétection dans les plans climats cantonaux ?

## 2. Concepts théoriques

### 2.1 La chaleur en ville

Un défi important mis en avant dans différents PC (Genève, Fribourg, Vaud) est le fait de lutter contre les îlots de chaleur. Les îlots de chaleur sont très présents dans les zones fortement urbanisées et faible en végétation. Grâce à la télédétection, il est possible de les cartographier et de déterminer les zones les plus vulnérables en termes d'îlots de chaleur. L'analyse du bâti et de la végétation sont de bons indicateurs pour amener au développement des îlots de chaleur et à leur situation (Asad et al., 2023).

La notion d'îlots de chaleur urbain (Urban Heat Island, UHI) est abondamment étudiée dans la littérature, avec une attention particulière à leur intensification due aux changements de paysage ainsi qu'à une urbanisation croissante. Ce phénomène fait référence au fait que la température est plus élevée en zone urbaine qu'en zone rurale (Kim & Brown, 2021). Conceptualisé pour la première fois par Howard au XIXe siècle et approfondi par Oke en 1973 dans son œuvre

---

<sup>5</sup>[https://www.vd.ch/fileadmin/user\\_upload/themes/environnement/climat/fichiers\\_pdf/Rapport\\_d\\_audit\\_du\\_plan\\_climat\\_vaudois\\_1e%CC%80re\\_ge%CC%81ne%CC%81ration\\_titre-combin%C3%A9\\_1.pdf](https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/climat/fichiers_pdf/Rapport_d_audit_du_plan_climat_vaudois_1e%CC%80re_ge%CC%81ne%CC%81ration_titre-combin%C3%A9_1.pdf)

pionnière « City size and the urban heat island », ce phénomène est devenu crucial pour comprendre les corrélations entre les effets du réchauffement climatique ainsi que l'impact de la couverture du sol et les UHI (Oke, 1973). En effet, l'expansion continue des zones urbaines au détriment des zones rurales exacerbe les îlots de chaleur, aggravée par des politiques de bétonisation négligeant l'arborisation. Différents facteurs présents dans les milieux urbains contribuent à ce phénomène, notamment la forte capacité thermique du béton, la faible capacité de ventilation dû aux immeubles ainsi que la chaleur émise par les véhicules (Kim & Brown, 2021). Les UHI posent aujourd'hui des enjeux majeurs pour les villes, ayant des températures de plus en plus élevées. Cette problématique est également devenue une question de santé publique (République et canton de Genève, 2021).

Il est donc nécessaire d'identifier les zones urbaines faisant face à de forte chaleur. Pour contrer ce phénomène, les PC cantonaux ont développé différentes mesures. Il est question dans un premier temps d'investir dans la végétalisation de l'espace urbain en s'appuyant sur le triptyque Eau-Sol-Arbre (République et canton de Genève, 2021). Après une exploration de la littérature sur le sujet et notamment sur la cartographie des îlots de chaleur, il est ressorti que deux éléments sont à prendre en compte, la végétation et le bâti.

Le *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) est l'un premier indicateur à avoir été utilisé dans la télédétection (Huang et al., 2021). Il est aujourd'hui encore un des indicateurs le plus utilisé et le plus analysé (Asad et al., 2023; Guha et al., 2020). Sa popularité vient du fait qu'il peut être calculer à partir de n'importe quel capteur multispectral dont la bande proche infrarouge est visible ainsi qu'une bande rouge (Huang et al., 2020). Il permet de calculer la santé de la végétation, la densité ainsi que sa croissance. Les valeurs vont de -1 à 1, -1 étant l'eau et les valeurs positives représentant la végétation saine (Huang et al., 2021). Son attrait a été reconnu dans les années 1970 avec l'avènement des données satellitaires et le lancement des différents satellites contenant les bandes nécessaires à la production du NDVI à différentes résolutions spatiales et temporelles (Huang et al., 2021). Les nombreuses études ont montré l'importance de cet indice pour différencier les différents types de végétations comme les forêts denses, les champs agricoles et les zones non forestières. De plus, il permet également d'analyser les caractéristiques liées aux différentes propriétés de la végétation. En effet, grâce au NDVI, l'indice de surface foliaire, le *Leaf Area Index* (LAI), la biomasse, ainsi que la concentration de chlorophylle dans les feuilles et la couverture végétale fractionnelle, *fraction of vegetation* (FV) peuvent être déduit du NDVI et seront nécessaire dans le cadre de ce travail (Huang et al., 2021).

Grâce au NDVI, il est également possible de déterminer la *Land Surface Temperature* (LST). En effet, la LST est corrélée avec la couverture terrestre et différents facteurs peuvent l'influencer tels que l'humidité au sol, la végétation ou l'emplacement géographique.

Ainsi, l'*urban thermal field variance index*, (UTFVI) est un indice pour déterminer les effets des UHI, selon 6 seuils (Tableau 2). Le pourcentage de zone se trouvant avec un niveau de UTFVI bas était très faible au début des années 1988, seulement 1,69%, mais n'a cessé d'augmenter depuis en atteignant 27,53% en 2018 (Naim & Kafy, 2021). Ces UHI ont un impact sur différentes métriques tels que les schéma des vents locaux, l'humidité, la qualité de l'air mais également en termes de confort dans les zones urbaines ainsi qu'une augmentation du taux de mortalité dû à la chaleur (Cevik Degerli & Cetin, 2023). A Genève, une étude a été

réalisée par l'EPFL<sup>6</sup> pour estimer les coûts des UHI sur la santé et a montré que l'endiguement de ces phénomènes pourrait limiter les décès ou au contraire les accroître. Le confort en ville, notamment dû à la chaleur est un point essentiel dans tous les PC. La santé des habitants en ville en cas de forte chaleur est un élément important.

Tableau 2: Valeurs seuils de l'UTFVI (Naim & Kafy, 2021)

Type de phénomènes	UTFVI
<b>Aucun</b>	< 0
<b>Faible</b>	0-0.005
<b>Moyen</b>	0.005-0.010
<b>Fort</b>	0.010-0.015
<b>Plus fort</b>	0.015-0.020
<b>Le plus fort</b>	> 0.020

Ces différents niveaux ont été défini et développé par Zhang et al. dans leur étude datant de 2006. Identifier ces zones de chaleur extrême permet de savoir les zones prioritaires d'intervention. De plus, le monitoring par la télédétection permettrait d'avoir un suivi des mesures développé dans les PC pour limiter le phénomène ainsi qu'évaluer l'efficacité des mesures. En effet, les images satellitaires peuvent être un bon moyen pour étudier les UHI, notamment grâce à leurs larges couvertures spatiales et à leurs bandes thermiques (Brou et al., 2024).

Pour finir, deux indices pertinents pour analyser les îlots de chaleur sont le *Normalized Difference Built Index* (NDBI) ainsi que le *Normalized Difference Water* (NDWI). Les valeurs du NDBI sont comprises entre -1 à 1 où le -1 représente l'eau ou la neige et les valeurs positives indiquent les zones urbanisées où les surfaces bâties (Zha et al., 2003). Il permet donc, grâce à ces bandes et la réflectance de celles-ci, de distinguer les zones bâties des zones non bâties. Quant au NDWI, il permet de comprendre l'évolution des eaux dans différentes zones mais également l'eau dans la végétation et dans l'agriculture (McFeeters, 1996). Dans le cadre de ce travail, il ne sera utilisé que pour permettre une meilleure analyse du bâti.

## 2.2 Télédétection & monitoring

Grâce à l'acquisition de données de télédétection toujours de plus en plus importante, il est possible d'avoir à l'échelle de la Suisse un monitoring du réchauffement climatique. Il est également un bon outil pour comprendre les changements amenés par le réchauffement climatique (Giuliani et al., 2017).

Le principe même de la télédétection réside dans le rayonnement réfléchi par un objet. Par la suite, des systèmes de traitement exploitent les données pour les rendre accessible pour tous. L'intérêt est de percevoir à l'œil nu les caractéristiques non perceptibles. Les données sont acquises par radars ainsi que par télédétection optiques, c'est-à-dire par des images satellitaires. Ces deux éléments sont des moyens complémentaires permettant l'analyse la plus fine possible (Tran et al., 2022). Un principe clé est l'émission de l'objet. Les différents objets reflètent des niveaux variables d'énergie et se trouvent donc sur plusieurs plages du spectre électromagnétiques. Cela est le résultat de la caractéristique de l'objet, c'est-à-dire la

<sup>6</sup> <https://actu.epfl.ch/news/les-ilots-de-chaleur-ont-un-cout-sur-la-sante/>

composition chimique, physique ou encore la nature du matériau et de la texture de la surface (Snyder et al., 1998). C'est également le résultat des caractéristiques du rayonnement, c'est-à-dire de son intensité, l'angle sous lequel il frappe et la longueur d'onde correspondante.

Ainsi, la télédétection est « définie comme l'ensemble des techniques utilisées pour collecter les informations sur les objets à distance ; en particulier, l'observation de la Terre utilise un instrument (le capteur), embarqué à bord d'une plateforme (satellite, avion, drone, etc.) pour caractériser la surface de la Terre (les surfaces continentales, les océans ou l'atmosphère). Les exemples typiques de télédétection incluent l'utilisation de l'imagerie satellitaire ou de la photographie aérienne » (Tran et al., 2022, p. 12-13).

Les méthodes utilisées varient en fonction de l'information nécessaire ainsi que de la donnée recueillie. En effet, l'information peut être acquise par satellites tels que Landsat et Sentinel, les deux collections principalement utilisées dans ce travail, mais également par capteurs aériens comme les avions récoltant des données LiDAR ou encore des drones permettant des observations à haute résolution. On observe une expansion de la télédétection dans divers domaines de par l'accès de plus en plus aisé à certaines données. La généralisation de ces différentes méthodes permet donc un accès à un large corpus de données (Tang & Shao, 2015).

En ce qui concerne la gestion des ressources en eau, la télédétection permet d'évaluer différentes variables telles que la précipitation, l'évaporation, l'évapotranspiration, l'humidité du sol, la végétation et la couverture du sol, le niveau des eaux de surface, la couverture de la neige et de la glace, et dans certain cas, les eaux souterraines (Sheffield et al., 2018).

### 3. Matériels et méthodes

Pour répondre au potentiel de la télédétection dans l'évaluation des plans climat, ce travail développe dans un premier temps des indicateurs faisant usage de la télédétection en s'appuyant sur une analyse des PC. Puis, dans second temps, ces indicateurs sont testés en prenant pour cas d'étude Genève et utilisant Google Earth Engine (GEE) (Figure1).

#### 3.1 Cas d'étude

C'est en 2012 que le Grand Conseil se prononce sur le fait que la réduction des GES passe par la mise en place de politiques publiques développées par l'Etat (République et canton de Genève, 2021). En 2015, un premier volet du plan climat est dévoilé avec comme objectif une réduction de 40% d'ici 2030 des GES. Après la COP 21, ces objectifs ont été revus à la hausse pour permettre de respecter les accords de Paris mais également en réponse au rapport du Groupe d'experts intergouvernementale sur l'évolution du climat (GIEC) en 2018 et aux protestations toujours plus grandes des citoyens suisses s'inscrivant dans un mouvement européen des marches pour le climat.

C'est dans ce contexte que Genève a développé son plan climat actuel en 2021 selon sept axes : énergie et bâtiments, mobilité, biens de consommation, aménagement du territoire, santé, espaces naturels et biodiversité. Pour aller dans ce sens, 41 mesures ont été développées pour permettre aux différents acteurs du territoire de contribuer et d'aller dans le sens des objectifs du plan climat.



Sélection de la région d'intérêt : Genève  
Dates de début et de fin : 01.01.2019 – 31.12.2023  
Traitement des images (facteurs d'échelle/ Cloud mask)

Filtrer seulement les mois d'été  
Juin-septembre (06-09)  
.filter(ee.Filter.calendarRange(6, 9, 'month'))

Landsat 8  
LANDSAT/LC08/C02/T1\_L2

Calcul NDVI, NDBI, LST, UHI,  
UTFVI

Time series combiné :  
• NDBI – LST  
• NDVI – LST

Visualisation sur ArcGIS

Sentinel 2  
Copernicus/S2\_SR\_HARMONIZED

Calcul NDVI

Time series NDVI

Figure 1 : Méthodologie GEE pour les indicateurs de l'îlots de chaleur et du NDVI

## 3.2 Modélisation des indicateurs

### 3.2.1 Développement des indicateurs

Les indicateurs se basent sur la lecture et la synthèse des plans climats de Genève, Vaud, Fribourg, Neuchâtel et du Jura. Le choix s'est porté sur ces cinq cantons du fait de la barrière de la langue. Un regroupement par thème similaire s'est opéré pour permettre une meilleure lecture des PC et de permettre le développement des indicateurs le plus exhaustif possible (Tableau 6). Après la lecture des différents PC, il est possible de définir deux types d'indicateurs : les indicateurs pouvant être mis dans la case indicateurs sociaux et des indicateurs que l'on pourrait définir comme bio-physiques. Ce travail s'attarde uniquement sur les indicateurs bio-physiques de par la plus grande facilité à les cartographier grâce à la télédétection. C'est pourquoi les thèmes de la mobilité, de la consommation et économie ainsi que les axes transversaux n'ont pas été traités. Par la suite, pour faciliter la lecture, une sélection d'indicateur a été faite en fonction de la possibilité ou non de les cartographier grâce à la télédétection et plus particulièrement grâce à l'acquisition de données plus ou moins facilement.

Le développement de ces indicateurs répond aux besoins explicites des PC comme celui de Genève qui n'ont pas développé d'indicateurs précis contrairement à d'autres cantons comme Vaud ou encore le Jura. Pour faciliter la lecture, un code a été attribué à chaque mesure (Annexe 1). La première lettre correspond à la catégorie dans laquelle la mesure prend place. Par exemple E\_ pour l'énergie, A\_ pour agriculture, W\_ pour l'eau, B\_ pour biodiversité et T\_ pour territoire et biodiversité. Ensuite, les deux lettres font référence à l'abréviation du canton, GE pour Genève, FR pour Fribourg, VD pour Vaud, NE pour Neuchâtel et JU pour Jura. La suite du code n'a pas été modifié et reste la numérotation de chaque PC. En somme, si on fait référence à la séquestration carbone dans le canton de Genève, le code pour cette mesure est A\_GE.6.5.

### 3.2.2 Google Earth Engine

Google earth engine (GEE) est une plateforme utilisant le cloud pour l'analyse géospatiale (Gorelick et al., 2017). Un catalogue de données satellitaire est disponible directement sur la plateforme permettant ainsi un accès relativement rapide à tout type de données par le biais de l'interface de programmation d'application (API). Concernant le catalogue de données, celui-ci est alimenté par des images satellitaires et aériennes avec des longueurs d'ondes optiques et non optiques et diverses données sur les prévisions climatiques, météorologiques ainsi que des données concernant l'occupation des sols ou encore des données topographiques (Gorelick et al., 2017).

GEE a été privilégié dans ce travail car la disponibilité et le libre accès des données est un atout. D'autres méthodes auraient pu être mobilisées mais le traitement des données aurait été bien plus lourd et dans ce cas précis, le traitement des données peut se faire presque intégralement sur GEE. Par ailleurs, cela ne nécessite pas un grand espace de travail car le téléchargement des données n'est pas nécessaire et donc le matériel utilisé n'a pas besoin d'être puissant (Gorelick et al., 2017). De nombreux domaines sont étudiées au travers de GEE, comme le changement global des forêts, la distribution de l'eau ou encore la cartographie des milieux urbains (Gorelick et al., 2017). GEE permet également d'avoir en temps réel accès à la donnée contrairement à d'autres structures.

### 3.2.3 Modélisation des îlots de chaleur

Une des mesures revenant à deux reprises dans le PC de Genève, dans celui de Vaud et Neuchâtel est la lutte contre les îlots de chaleur. Pour cartographier les îlots de chaleur grâce à la télédétection, trois indices sont utilisés. Le premier est le NDVI, le second le NDBI et le troisième la LST qui découle du NDVI.

Pour réaliser l'analyse, le satellite Landsat 8 (Tableau 3) avec son capteur *Operational Land Imager* (OLI) a été sélectionné. Ce choix a été fait car, contrairement à Sentinel 2 (Tableau 5), Landsat 8 dispose d'une bande thermique nécessaire pour cartographier la LST.

Concernant les dates, le choix s'est porté sur l'analyse de la dernière décennie. Ce choix se justifie par le fait que la prise de décision afin de limiter la hausse des températures à 1.5° intervient en 2015 après les accords de Paris. Le PC a lui été mis en place à la suite de ces accords en 2019. Pour analyser les îlots de chaleurs, il est important de regarder ce phénomène en été, c'est pourquoi il a été décidé de produire les différents indicateurs sur les 4 mois où les températures sont les plus chaudes, de juin à septembre.

Tableau 3 : Caractéristiques Landsat 8

<b>Bandes</b>	<b>Wavelength (micrometers)</b>	<b>Resolution (meters)</b>
<b>Bande 1 – Coastal aerosol</b>	0.43-0.45	30
<b>Bande 2 – Blue</b>	0.45-0.51	30
<b>Bande 3 – Green</b>	0.53-0.59	30
<b>Bande 4 – Red</b>	0.64-0.67	30
<b>Bande 5 – Near Infrared (NIR)</b>	0.85-0.88	30
<b>Bande 6 – Shortwave Infrared (SWIR) 1</b>	1.57-1.65	30
<b>Bande 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2</b>	2.11-2.29	30
<b>Bande 8 – Panchromatic</b>	0.50-0.68	15
<b>Bande 9 – Cirrus</b>	1.36-1.38	30
<b>Bande 10 – Thermal Infrared (TIRS) 1</b>	10.60-11.19	100 (rééchantillonné à 30)
<b>Bande 11 – Thermal Infrared (TIRS) 2</b>	11.50-12.51	100 (rééchantillonné à 30)

Tableau 4 : Caractéristiques temporelles et spatiales Landsat 8 et Sentinel 2

<b>Satellite</b>	<b>Granularité temporelle</b>	<b>Couverture temporelle</b>	<b>Couverture spatiale</b>	<b>Résolution</b>
<b>Landsat 8 OLI/TIRS</b>	16 jours	2013 – aujourd'hui	Global	30 m
<b>Sentinel 2a msi</b>	5 jours	2015 – aujourd'hui	Global	10/60 m

Pour le traitement des images sur GEE, il a fallu dans un premier temps définir la zone d'étude qui est dans ce cas-là est le canton de Genève. Le processus commence par le téléchargement d'une couche shapefile découpée de tous les cantons de la Suisse. De là, un filtre peut être appliqué pour ne garder que le ou les cantons utiles. Cette couche est disponible sur la page de l'Office Fédéral de la topographie swisstopo<sup>7</sup>. Il est donc possible de choisir comme zone d'intérêt le canton que l'on souhaite étudier.

Sur GEE, une couche est déjà disponible pour calculer la *Land Surface Temperature*. Les données proviennent du *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) qui a un retour d'1 à 2 jours ce qui est très pertinent pour étudier les effets de la chaleur en ville. Cependant, en fonction des bandes la résolution de ce satellite varie entre 250-1000m. La bande thermique utilisée (LST\_Day\_1km) à une résolution de 1000m. Dans le cadre d'étude d'îlots de chaleur, une résolution si grande ne permet pas une analyse fine. C'est pourquoi, le choix s'est porté sur Landsat 8 OLI qui possède une bande thermique (Bande 10). Il faut tout de même garder à l'esprit la temporalité de ce satellite est de 16 jours (Tableau 4), mais dont le rééchantillonnage de la bande à 30m est un atout.

Avant de commencer à calculer les différents indicateurs, trois pré-traitements ont été nécessaire. Les deux premiers sont l'amélioration de la qualité de l'image grâce à un traitement sur les bandes thermiques et optiques. Cela permet une analyse plus cohérente et comparable. Le troisième est un traitement des nuages sur l'image.

```
// Appliquer les facteurs d'échelle.
function applyScaleFactors(image) {

// Facteurs d'échelle et d'offset pour les bandes optiques
var opticalBands = image.select('SR_B.').multiply(0.0000275).add(-0.2);

// Facteurs d'échelle et d'offset pour les bandes thermiques
var thermalBands = image.select('ST_B.*').multiply(0.00341802).add(149.0);

// Ajouter les bandes mises à l'échelle à l'image d'origine
return image.addBands(opticalBands, null, true)
.addBands(thermalBands, null, true);
}

// Fonction pour masquer les nuages et les ombres de nuages dans les images Landsat 8
function cloudMask(image) {

// Définir les masques de bits pour les ombres de nuages et les nuages (Bits 3 et 5)
var cloudShadowBitmask = (1 << 3);
var cloudBitmask = (1 << 5);

// Sélectionner la bande Quality Assessment (QA) pour les informations sur la qualité des
pixels
var qa = image.select('QA_PIXEL');
```

<sup>7</sup> <https://www.swisstopo.admin.ch/en/landscape-model-swissboundaries3d#swissBOUNDARIES3D---Download>

```

// Créer un masque binaire pour identifier les conditions claires (bits d'ombre de nuages et de
nuages à 0)
var mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitmask).eq(0)
.and(qa.bitwiseAnd(cloudBitmask).eq(0));

// Mettre à jour l'image d'origine, masquant les pixels affectés par les nuages et les ombres de
nuages
return image.updateMask(mask);
}

```

L'utilisation de la fonction *applyScaleFactors* permet de convertir les valeurs brutes de pixels en des données plus facilement interprétables, c'est-à-dire que pour les bandes optiques, ce sont les données de réflectance qui sont rendues interprétables et pour les bandes thermiques, la fonction permet de convertir les valeurs brutes en valeur de température en Kelvin. Ces valeurs seront par la suite reconverties en degré Celsius. Cette fonction permet donc de standardiser les données pour permettre des comparaisons spatiales et temporelles. Le facteur d'échelle doit être donc appliqué à chaque pixel puis un décalage est ajouté (USGS, 2024). En ce qui concerne l'offset, celui-ci permet d'ajuster la réflectance permettant ainsi de standardiser un peu plus les valeurs.

Pour masquer les nuages, la fonction *CloudMask* a été utilisée et elle sélectionne la bande de qualité pour filtrer les pixels nuageux.

En identifiant par la suite les pixels contenant les nuages et les ombres, il est possible de masquer les nuages notamment à l'aide de la création d'un masque qui va identifier les pixels où le bit 3 et le bit 5 sont égaux à 0.

La cartographie des îlots de chaleur urbains passe par plusieurs étapes nécessaires. Différents indicateurs sont utilisés et calculés sur GEE.

NDVI :

Le calcul du NDVI (1) s'exprime comme suit :

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

LST :

Pour analyser la LST, un calcul est nécessaire ainsi que l'utilisation d'autres indicateurs (Guha et al., 2020).

Dans un premier temps, le calcul se base sur le *fraction of vegetation* (FV) (2) qui se calcule selon le NDVI minimum et le NDVI maximum.

$$FV = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (2)$$

Par la suite, il est nécessaire de calculer l'émissivité de la surface terrestre ( $\epsilon$ ) (3) en utilisant la FV.

$$\epsilon = 0.004 * FV + 0.986 \quad (3)$$

Le 0.004 représente la variation de l'émissivité due à la végétation et le coefficient de 0.986 représente quant à lui l'émissivité de base pour les autres surfaces (Pal & Ziaul, 2017).

A partir de ces deux équations, il est possible de calculer la LST (4).

$$LST = \left( \frac{BT}{\left\{ 1 + \left[ \frac{\lambda BT}{1.4388} \right] * \log(\epsilon) \right\}} \right) - 273.15 \quad (4)$$

BT correspond à la Brightness Temperature c'est-à-dire à la température de brillance mesurée par le capteur thermique en Kelvin (°K). C'est la température telle quelle est perçue par le capteur.  $\lambda$  est la longueur d'onde moyenne de la bande thermique (bande 10) et est égale à  $1.15 * 10^{-3}$  ainsi que  $\log(\epsilon)$  qui est le logarithme naturel de l'émissivité. 1.4388 représente une constante pour convertir la température de brillance en température de surface en tenant compte des propriétés spectrales du capteur et des lois de la thermodynamique tout comme  $\lambda$ . Dans cette formule, la température est en Kelvin, il est donc nécessaire de la convertir en degré Celsius (C°).

Concernant les îlots de chaleur il est possible également de cartographier les zones qui sont concernées par ces derniers. Pour se faire, il est nécessaire de faire le calcul suivant (Liu & Zhang, 2011) (5) :

$$UHI = \frac{(LST - LST_{mean})}{LST_{std}} \quad (5)$$

Pour finir, cela amène au développement du *urban thermal area variance index* (UTFVI) (6).

$$UTFVI = \frac{(LST - LST_{mean})}{LST} \quad (6)$$

La LST correspond à la LST du pixel alors que le LSTmean correspond à la moyenne de la température sur la zone étudiée.

Pour analyser les îlots de chaleur, il est nécessaire d'analyser le bâti. Le NDBI (7) est un indicateur clé permettant de séparer les terres stériles de zones urbaines dans une certaine mesure.

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \quad (7)$$

Pour le NDBI, pour faciliter le processus, un masque d'eau a été appliqué pour ne pas prendre en compte le lac Léman ainsi que le Rhône et l'Arve. Il est alors nécessaire de prendre la bande 3 et la bande 5 pour calculer le Normalized Difference Water Index (8).

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (8)$$

Pour le mask water voici le code :

```
// Calculer l'indice de l'eau normalisée (NDWI)
var ndwi = 18Mean.normalizedDifference(['SR_B3', 'SR_B5']).rename('NDWI');

// Définir un seuil pour le masquage de l'eau
var ndwiThreshold = ndwi.gte(0.0);

// Fonction pour calculer l'indice de bâti par différence normalisée (NDBI) avec le masque d'eau
var calculatendbi = function(image) {

// Appliquer le masque d'eau
var waterMasked = image.updateMask(ndwiThreshold.not());

// Calculer le NDBI sur l'image masquée
var ndbi = waterMasked.normalizedDifference(['SR_B6', 'SR_B5']).rename('NDBI');

return ndbi.copyProperties(image, ['system:time_start']);

};
```

Ce code permet donc en sélectionnant les bandes utiles pour calculer le NDWI de créer un masque pour enlever tous les pixels d'eau et faire le calcul du NDBI sans qu'il soit parasité par les pixels d'eau.

### 3.2.4 Végétation en ville

Dans un second temps, le NDVI a été développé en utilisant, cette fois-ci, les images satellite de Sentinel 2 du programme de l'ESA, Copernicus dont la résolution est plus précise. En orbite depuis 2016, la mission permet de récolter un corpus d'image large avec une résolution plus précise par rapport aux missions précédentes et cela grâce à son capteur MSI comportant 13 bandes (Tableau 5). Le choix de la collection s'est porté sur la collection d'image SR\_HARMONISED. Il est recommandé par GEE d'utiliser cette collection car pour les collections COPERNICUS/S2 et COPERNICUS/S2\_SR les données avant janvier 2022 ont été affecté par un décalage entre différentes bandes. Pour ce satellite, le temps de retour est de 5 jours (Tableau 4).

Tableau 5 : Caractéristiques Sentinel 2

<b>Bandes</b>	<b>Wavelength (micrometers)</b>	<b>Resolution (meters)</b>
<b>Bande 1 – Coastal Aerosol</b>	0.443	60
<b>Bande 2 – Blue</b>	0.490	10
<b>Bande 3 – Green</b>	0.560	10
<b>Bande 4 – Red</b>	0.665	10
<b>Bande 5 – Vegetation Red Edge</b>	0.705	20
<b>Bande 6 – Vegetation Red Edge</b>	0.740	20
<b>Bande 7 - Vegetation Red Edge</b>	0.783	20
<b>Bande 8 – NIR</b>	0.842	10
<b>Bande 8A – Vegetation Red Edge</b>	0.865	20
<b>Bande 9 – Water Vapour</b>	0.945	60
<b>Bande 10 – SWIR – Cirrus</b>	1.375	60
<b>Bande 11 – SWIR 1</b>	1.610	20
<b>Bande 12 – SWIR 2</b>	2.190	20

Comme pour Landsat 8, un traitement a été effectué pour supprimer les nuages et ne garder que les images contenant moins de 10% de nuages.

L'analyse du NDVI sur Sentinel 2 permet d'avoir une analyse plus précise du NDVI la résolution étant de 10 m pour ces bandes. Les bandes utilisées sont la bande 4 et la bande 8. La période choisie est de 2017 à 2024 et un *time series* a également été fait pour voir l'évolution de la santé de la végétation dans le canton de Genève. Choisir de recalculer le NDVI avec un satellite plus précis se justifie par son rôle central dans de nombreuses mesures détaillées dans les différents PC.

Néanmoins, il est à prendre en compte, que l'analyse du NDVI peut être complété par d'autres indices tels que le *Enhanced Vegetation Index* (EVI) ou le *Leaf Area Index* (LAI). Ces deux indicateurs sont des bons compléments. Le EVI, l'indice de végétation normalisé et peut être utilisé pour quantifier la verdure de la végétation et la biomasse. Le LAI permet de calculer l'indice de la surface foliaire, c'est-à-dire de la surface au sol de l'arbre.

### 3.3 Traitement sur ArcGIS

A la fin du traitement sur GEE, les images ont été exportées sur ArcGIS en utilisant la fonction *export* sur google drive. Lors du téléchargement et de l'export de l'image dans ArcGIS, le canton de Genève est entouré d'un rectangle. Pour le retirer, l'outil *Clip Raster* a été utilisé pour redécouper l'image aux bordures du canton.

## 4. Résultats

### 4.1 Production d'indicateurs

Après une revue de la littérature des différents PC une liste d'indicateur a été définie de façon non-exhaustive (Tableau 6). Au total, 9 indicateurs sont proposés qui permettraient l'évaluation et/ou le monitoring selon 7 actions, regroupées en 3 sous-thèmes qui sont l'énergie, la biodiversité et environnement ainsi que l'eau.

#### 4.1.1 Energie

Le volet de l'énergie a pour objectif de réduire les émissions de GES, en identifiant dans un premier temps les pertes énergétiques. En effet, grâce à la télédétection, il est possible d'identifier les bâtiments affectés par des pertes d'énergie. Les systèmes d'information du territoire à Genève (SITG) ont développé une couche représentant la thermographie des bâtiments, à l'aide d'une caméra infrarouge acquises à 500m d'altitude.

La réduction des émissions de GES passe également par le développement d'énergie renouvelable et la promotion de ces dernières. Ainsi, à Genève, le Plan Directeur met en avant la valorisation des ressources renouvelables notamment à travers l'installation de système de production solaire thermique et de production solaire voltaïque. La télédétection joue un rôle intéressant dans ce contexte-là, car elle permet d'identifier les toits disponibles pour l'installation de panneaux. De plus, au fil du temps, les techniques de télédétection peuvent être utilisées pour suivre l'avancement de cette installation et évaluer le nombre de toits disponibles à mesure que les années passent. Par exemple, l'utilisation de données LiDAR (*light detection and ranging*) est une technique possible pour détecter les toits disponibles en fonction de l'irradiation. Cette technique pourrait également être utilisée pour la détection de toit pouvant être végétalisé et répondant au besoin d'une plus grande végétalisation en milieu urbain. Une étude a été menée dans le canton de Genève en 2012 pour connaître l' « Application du LiDAR pour élaborer le cadastre solaire à Genève » (Desthieux et al., 2018) permettant ainsi d'avoir une idée des toits disponibles.

Pour finir, couplé à la connaissance de la disponibilité des toits, connaître et cartographier le nombre de surface pourvu de panneaux solaires, que ce soient les toits ou encore les terrains permet de suivre l'évolution d'installation photovoltaïque. Sentinel 2 est un bon moyen pour cette analyse, grâce à sa résolution relativement fine. Cet indicateur permet donc de répondre au besoin de développer la dépendance aux énergies fossiles ainsi qu'aux exportations d'énergie.

Tableau 6 : Développement des indicateurs des plans climats

	<b>Objectifs</b>	<b>Action</b>	<b>Indicateurs</b>	<b>Méthodes</b>	<b>Datasets</b>	<b>Mesures</b>
<b>Energie</b>	Réduire les émissions de GES des bâtiments	Identifier les pertes thermiques	Réduction de la consommation des bâtiments en kWh/m <sup>2</sup> /an	Thermographie des bâtiments. Une couche SITG existe	SITG	E_GE.1.1 E_FR.E.3.1 E_NE.R3 E_VD.1
	Développer les énergies renouvelables		Les toits disponibles pour les panneaux solaires	Photos satellites, analyse des toits disponibles pour accueillir. Mise en corrélation avec la couche des SITG « Potentiel photovoltaïque (PV) par bâtiment. Acquisition de données LiDAR acquise en 2017 pour Genève	LiDAR	E_GE.1.1 E_FR..2.2 E_NE.R2 E_JU.A3.2 E_JU.A1.3
<b>Environnement et biodiversité</b>	Développer et préserver la végétation	Gestion de la végétation en ville	Nombres de surfaces installées de panneaux solaires (toits, terrains)	Analyse d'image satellitaire du pourcentage de panneaux solaires, des terrains accueillant des panneaux solaires	Sentinel 2	E_GE.1.1 E_FR..2.2 E_NE.R2 E_JU.A3.2 E_JU.A1.3
	Développer et préserver la végétation en ville	Gestion de la végétation en ville	Part de la végétation saine en ville	Analyse du NDVI, du EVI, évapotranspiration, Solil moisture Land use /Land cover Avec méthode de combinaison de bandes	Sentinel 2 / Landsat 8	B_GE.6.1 B_FR..5.1 B_VD.14 B_VD.16 B_NE_A7
			Estimation de la biomasse	Calcul du NDVI Modèle de régression entre les mesures de terrains et le NDVI	Sentinel 2 / Landsat 8	B_JU_E1 B_JU_E2
			Part de la canopée	Traitement des nuages de points LiDAR. Couche SITG existante « modèle numérique de surface de canopée – état 2019 »	LiDAR	T_GE.4.5 T_FR.1.3 T_NE.A1
	Gestion des sols		Nbr d'hectares de parcelles agricoles pratiquant l'agriculture de conservation	Acquisition de données de parcelles agricoles Analyse du NDVI / classification temporelle des cultures → Utilisation du modèle In VEST pour la cartographie des stocks	Landsat 8 / Sentinel 2 / InVEST	A_GE.6.5 A_FR.1.1 A_VD.9 A_NE.R23 A_JU. C.3.1
	Réduire la chaleur en ville	Identifier les îlots de chaleur	Cartographier les îlots de chaleur	Analyse du LST, du NDVI, du NDBI, du HUI et UTFVI	Landsat 8 / MODIS	T_GE.4.5 T_FR.1.3 T_NE.A1
<b>Eau</b>	Gestion de l'eau	Suivi des sécheresses/crues	Niveau de l'eau des lacs, cours d'eau	NDWI, MNDWI	Landsat 8, Sentinel 2	W_GE.5.3 W_FR.1.2 W_FR.5.2 W_NE.A.4

#### 4.1.2 Eau

La gestion de l'eau dans les PC est un élément important. Différents cantons doivent faire face à la sécheresse, mais également aux crues sur leur territoire. Contrôler le niveau des lacs, des rivières et des cours d'eau est un indicateur permettant le suivi des cours d'eau, que ce soit en termes de sécheresse ou de crues. Le NDWI et le *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI) sont deux indicateurs qui permettent, grâce aux images satellitaires, de monitorer le niveau de l'eau. Par exemple, dans le cas de lac ou de cours d'eau qui aurait tendance à s'assécher lors des périodes chaudes. Produire un *time series* du NDWI ou du MNDWI permettrait facilement de monitorer le niveau de l'eau.

#### 4.1.3 Environnement et biodiversité

Le thème de l'environnement et de la biodiversité a une grande importance dans les différents PC. Il est question de préserver et de développer la végétation urbaine dans les cantons grandement urbanisés et de développer les couloirs écologiques. De plus, l'estimation de la biomasse est également un élément que l'on retrouve dans les différents PC étudiés. Cela peut se faire grâce au NDVI et à EVI qui permettent de modéliser la végétation dans un canton.

La part de canopée est un indicateur important s'inscrivant dans la gestion de la végétalisation en ville. Une couche est déjà développée par les SITG qui ont utilisé le traitement des nuages par points grâce aux données LiDAR.

La totalité des PC étudiés mettent la gestion des sols et notamment dans l'agriculture avec la généralisation de l'agriculture de conservation permettant d'augmenter la séquestration de carbone. La séquestration de carbone est un objectif important pour les cantons pour atteindre le zéro net carbone. Pour estimer la séquestration dans les parcelles agricoles, une analyse des cultures par télédétection peut être faite. De nombreuses données concernant les terres agricoles sont disponibles et permettent de qualifier les sols et le type de culture pour permettre une estimation de la séquestration des terres. Par la suite, un modèle InVEST peut être utilisé pour cartographier la séquestration carbone.

Pour des raisons écologiques mais également de santé, les îlots de chaleur sont un fléau dans les villes à la fois pour des raisons écologiques et sanitaires. Ils exercent une influence sur la qualité de vie des personnes, notamment les personnes âgées qui sont le plus impactées. C'est pourquoi la cartographie des îlots de chaleur permet de repérer les zones prioritaires sur lesquelles intervenir. Les différents indices permettent de mettre en relation la température du sol, la densité de la végétation ainsi que l'urbanisation du territoire.

## 4.2 Îlots de chaleur

Un des effets du changement climatique se faisant ressentir le plus facilement est l'augmentation des températures dans le canton (Figure 2). Ce *time series* des températures de surface annuel (2019-2023) permet une mise en contexte concernant l'augmentation générale des températures dans le canton de Genève. On voit que les températures au sol se situent principalement au-dessus de zéro avec des pics négatifs à  $-8^{\circ}\text{C}$  au minimum en hiver pour

atteindre +45°C en août 2023. La courbe de tendance linéaire et positive ( $y = 2.84 \cdot 10^{-3}$ ) et indique donc une légère augmentation de la LST dans le temps à l'année.

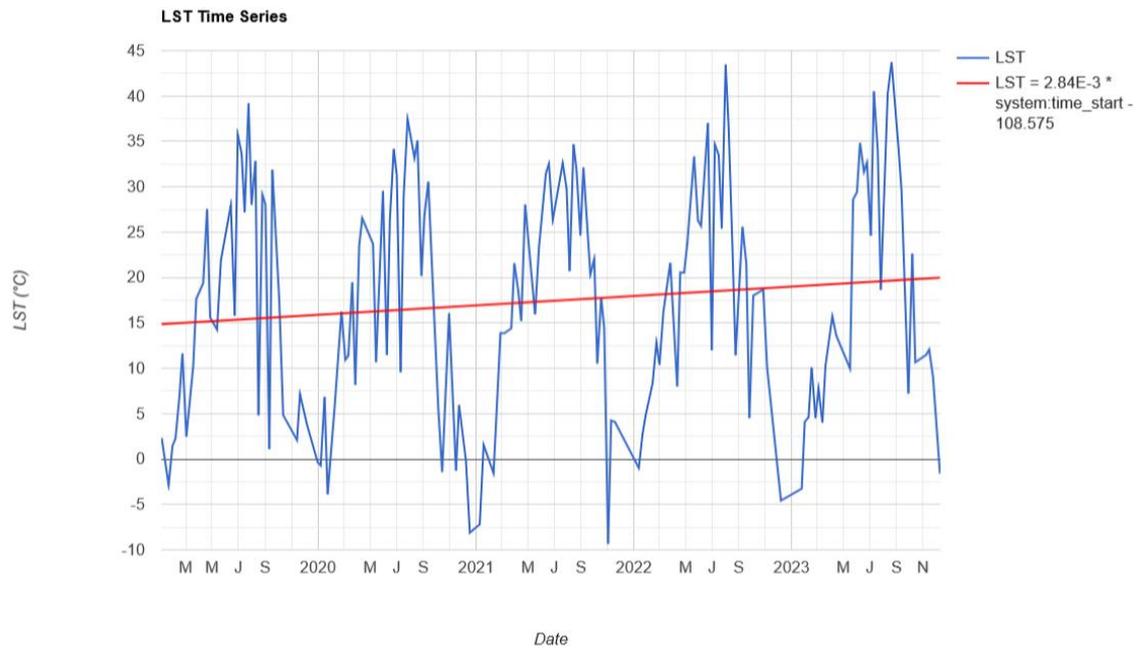


Figure 2: Time series de la LST, Genève, (2019-2023)

Dans le *time series* combiné du LST et du NDVI (Figure 3), on peut voir que lorsque le NDVI est faible, la LST est élevée. Une relation inverse apparaît entre ces deux indices si les valeurs aberrantes sont exclues.

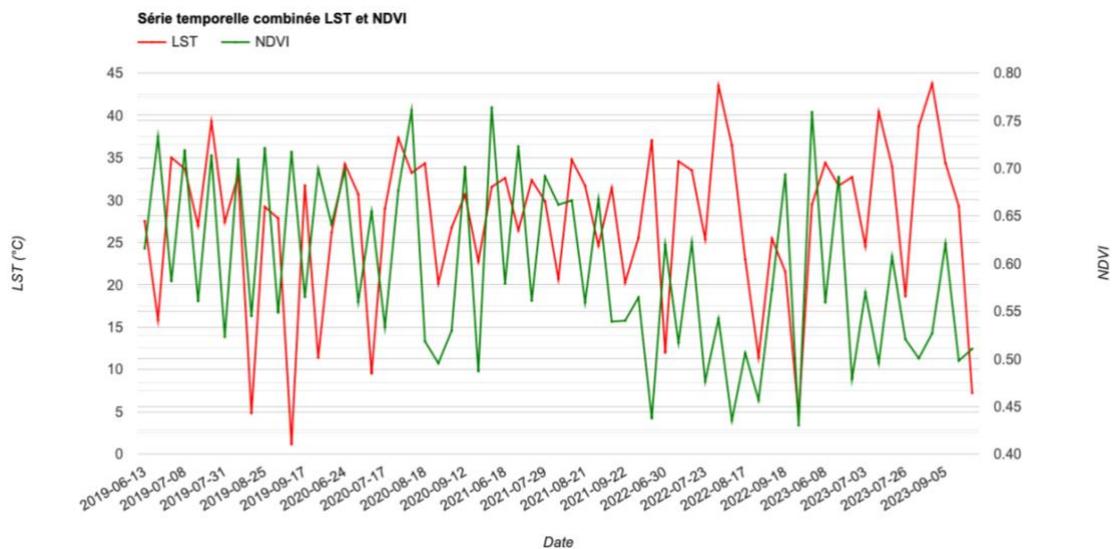


Figure 3: Time series combiné LST-NDVI, Genève, (2019-2023)

En regardant également le *time series* (Figure 4) combinant la LST et le NDBI, nous voyons que le NDBI et la LST suivent dans l'ensemble la même tendance visuelle. Lorsque la LST est élevée, le NDBI présente également des pics de valeurs élevées, bien que les valeurs moyennes restent négatives.

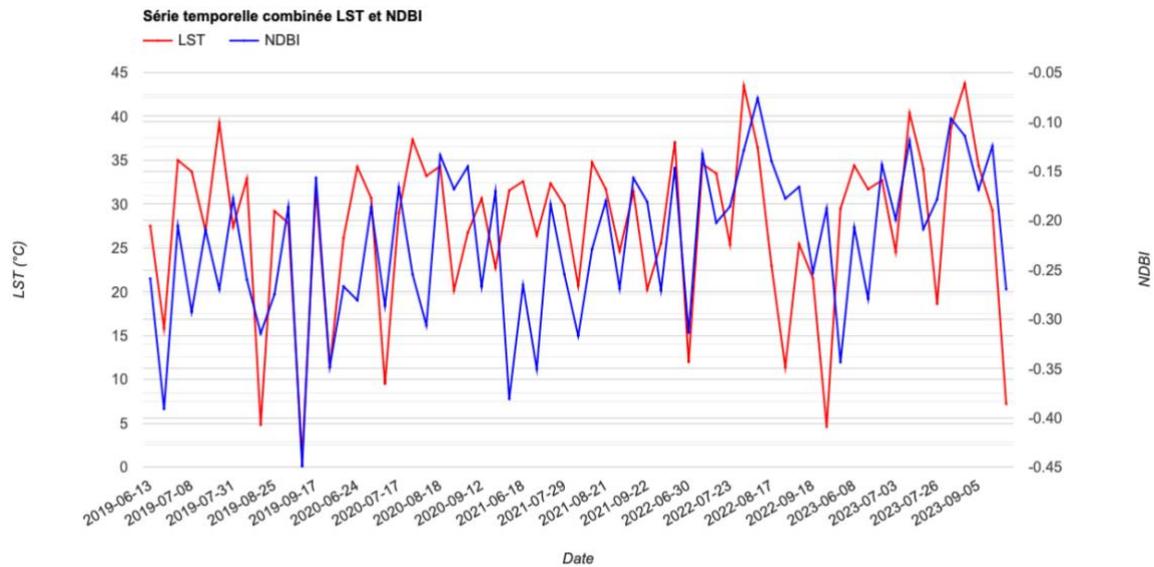


Figure 4 : Time series combiné LST et NDBI, Genève, (2019-2023)

L'observation de ces deux graphiques (Figure 3 et Figure 4) conjoints montre que le NDVI a une relation négative avec la LST alors que le NDBI à une relation positive avec la LST. Les zones les plus bâties sont également les zones les plus chaudes. A l'inverse, les zones les plus végétalisées sont également les zones les où la LST en été est la plus faibles.

D'un point de vue visuel, il a été possible de cartographier les îlots de chaleur. Visuellement, les zones les plus chaudes sont les zones où la végétation est faible. Au contraire, les zones où la végétation est dense, la LST est plus faible.

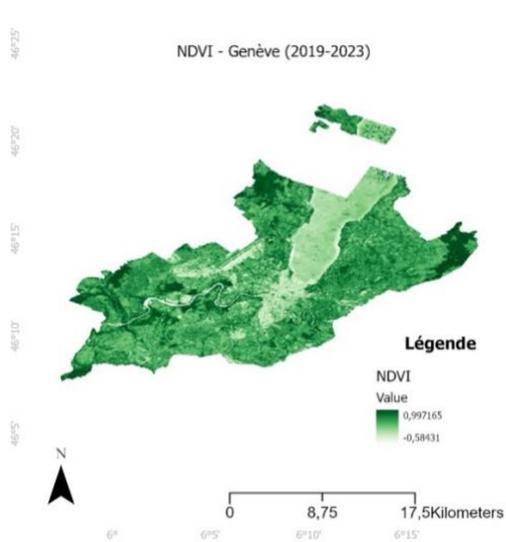


Figure 5 : Cartographie du NDVI, Genève, (2019-2023)

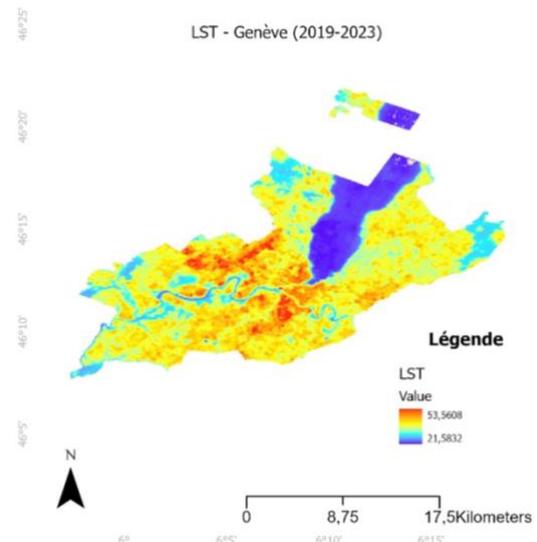


Figure 6 : Cartographie de la LST, Genève, (2019-2023)

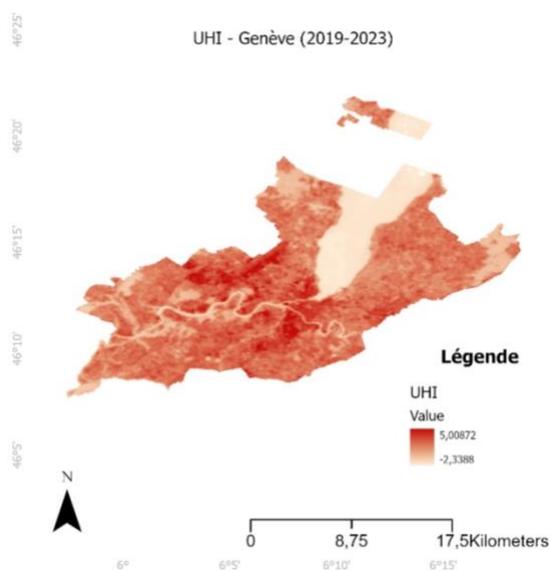


Figure 7: Cartographie des UHI, Genève, (2019-2023)

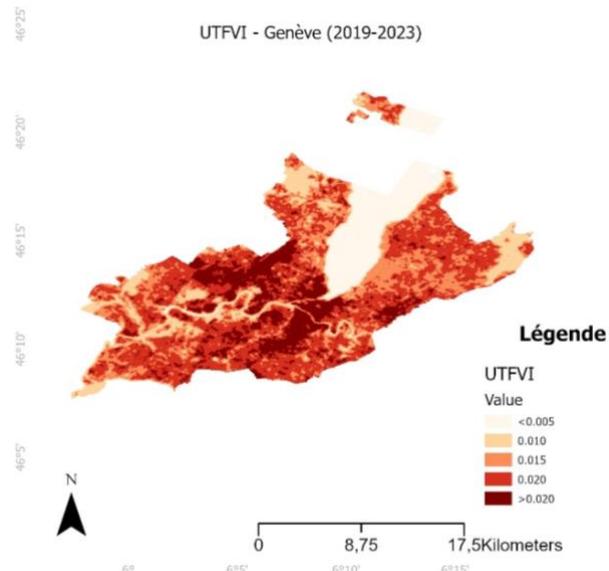


Figure 8 : Cartographie des UTFVI, Genève, (2019-2023)

Il est possible de voir que dans les zones les plus densément végétalisées comme les forêts (Figure 5), notamment les bois de Jussy tout à l'Est du canton, la LST (Figure 6) est plutôt faible, comparé aux autres zones du territoire densément urbanisées. Ce sont donc également les zones où les effets des îlots de chaleur est moindre (Figure 7). En effet, dans cette zone, la température est plus fraîche que dans les zones rurales. Au contraire, on observe que dans les zones fortement urbanisées, la LST est plus élevée et a donc un fort effet d'îlot de chaleur (Figure 6). Cela montre le fort effet de l'urbain sur l'augmentation de la température de surface avec de nombreuses zones où le UTFVI (Figure 8) est élevé.

### 4.3 NDVI par Sentinel 2

Le NDVI (Figure 9), basé sur les images de Sentinel 2, montre une évolution dans le temps de la végétation. Entre 2016 et 2024. La courbe de NDVI varie en fonction des saisons et une légère baisse est notable. Sur une année, la courbe de tendance montre une diminution de  $-8.699 \cdot 10^{-6}$ , ce qui est relativement faible, mais cumulé à de nombreuses années cela pourrait indiquer une tendance de baisse significative. Globalement, le NDVI se situe entre 0.1 et 0.6. Le pic à zéro est exclu s'agissant vraisemblablement d'un problème sur les bandes permettant le calcul du NDVI. Le pic en septembre octobre de 0.1 pourrait être une anomalie. Nous pouvons donc noter qu'en moyenne le NDVI varie entre 0.2 et 0.6 montrant que la végétation est considérée comme moyennement dense à Genève.

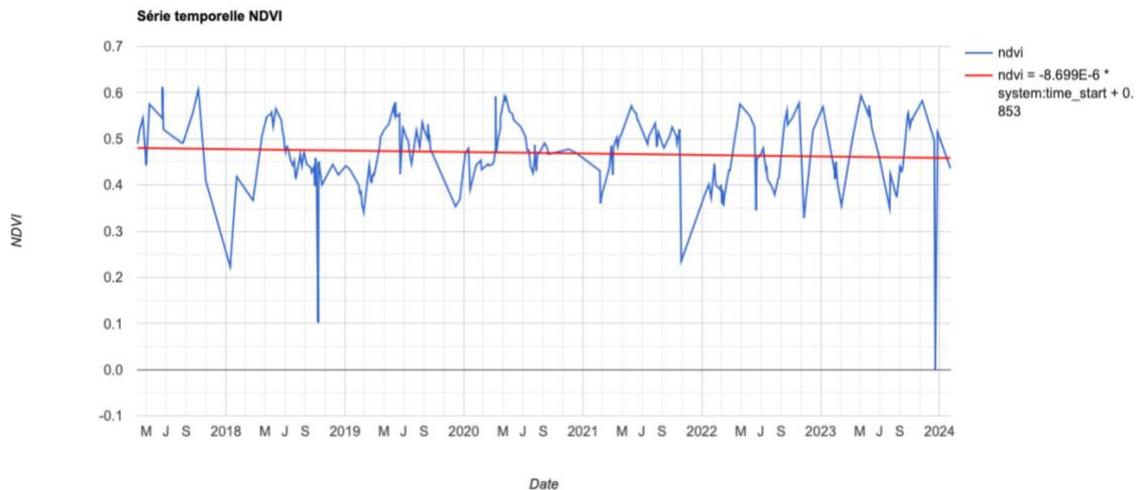


Figure 8 : Série temporelle NDVI, Genève (2017-2019)

## 5. Discussion

### 5.1 Apports

Comme l'a démontré la littérature scientifique (Asad et al., 2023; Dissanayake et al., 2019; Liu & Zhang, 2011; Tariq et al., 2020) et le confirment les différents *times series* (Figure 3, Figure 4), les îlots de chaleur et la couverture du sol sont corrélés. Une urbanisation plus intense entraîne une augmentation de la LST, ce qui génère des îlots de chaleur et dégrade la qualité de vie, comme l'illustrent visuellement les cartes des îlots de chaleur et de confort thermique. Dans ce contexte, la télédétection constitue un outil efficace pour surveiller la pertinence des mesures adoptées par les PC. De plus, ces observations par imagerie satellitaire pourraient être complétées par des mesures de terrain plus détaillées, qui non seulement corroboreraient les données satellitaires mais fourniraient également des informations plus précises. Avec la figure 4, il est également possible d'observer une corrélation positive visuelle entre la LST et le bâti. En effet, la LST est élevée dans les zones où le NDBI est élevé et au contraire, elle est plus basse dans les zones où le NDVI est élevé. L'attrait de la télédétection dans cette analyse vient du fait qu'assez facilement, il est possible d'avoir accès à des données et de comparer dans le temps, mais aussi spatialement les UHI dans les différents cantons. Une comparaison d'image dans le temps permet de voir dans le canton de Genève que les effets des îlots de chaleur sont devenus un phénomène qui augmente avec le temps, corrélé avec le fait que les températures moyennes augmentent mais aussi car l'urbanisation tant à s'étaler et à toucher de plus en plus de zones rurales.

Il serait intéressant, à l'échelle des villes, d'analyser les îlots de chaleur pour regarder si les nouveaux quartiers, qui tendent à favoriser la végétation dans leur plan directeur, sont soumis aux effets des îlots de chaleur. La résolution de Landsat 8 peut manquer de précision pour analyser les UHI à l'échelle d'un quartier. Pour ce faire, une analyse plus fine peut être faite grâce aux données LiDAR, comme l'ont amené Boccalatte et al. (2023) dans leur étude sur les îlots de chaleur à Genève.

Un des axes stratégiques du canton de Genève mais également présent dans les autres plans climats cantonaux est l'accompagnement et le soutien des acteurs. La télédétection, comme vu dans la littérature, peut être un bon moyen pour monitorer les différents indicateurs et permettre d'accompagner les cantons dans leur transition.

Par ailleurs, il est pertinent de questionner la conception des PC. Certains, comme ceux de Neuchâtel et du canton de Vaud, ont élaboré des indicateurs pour évaluer l'efficacité des mesures mises en œuvre. Cependant, l'utilisation de la télédétection pour un suivi est rarement mentionnée. Dans le PC de Genève, l'importance des indicateurs est reconnue, mais n'est pas développée, cela reste une mesure à mettre en place pour évaluer l'efficacité des différentes mesures. À Fribourg, par exemple, le PC a été développé à travers un processus collaboratif entre différentes parties prenantes. Ce type de processus peut parfois omettre certains facteurs nécessaires pour un suivi efficace des mesures, comme le souligne la littérature sur les processus participatifs (Steg et al., 2015). En effet, ces processus impliquent souvent des participants de divers horizons professionnels, qui peuvent ne pas posséder toutes les connaissances nécessaires pour comprendre entièrement les enjeux de monitoring.

Bien que certains aspects de suivi soient abordés dans divers PC, notamment à Fribourg avec la proposition d'un « monitoring des impacts des fortes chaleurs sur la santé » (T\_FR.1.1) qui analyse les données des hospitalisations dû aux fortes chaleurs ainsi que le taux de mortalité, la télédétection reste une dimension sous-exploitée dans le suivi des mesures climatiques. Il serait donc judicieux d'intégrer de manière plus systématique des techniques de télédétection pour enrichir et affiner le suivi des indicateurs déjà existants.

De plus, dans une grande partie des mesures des différents PC cibles, les enjeux sociaux font appel à un changement dans le comportement et dans les habitudes des individus, que ce soit en termes de consommation, de report modal ou encore d'utilisation des ressources. Ces éléments sont plus difficiles à cartographier car ils ne font pas appel à des caractéristiques biophysiques permettant d'être analysés par télédétection.

Avec la mise en place des différentes mesures mettant la végétation au cœur des objectifs des PC, la tendance générale du NDVI devrait s'inverser et être à la hausse. La série temporelle sur GEE est donc un bon moyen pour monitorer la végétation et un bon indicateur de l'efficacité des mesures.

## 5.2 Limites

L'utilisation de la télédétection/GEE présente de nombreux avantages mais aussi plusieurs limites. D'une part l'accessibilité des données reste limitée, ce qui pose une difficulté pour produire des indicateurs nécessitant un degré de précision/résolution élevée. La taille des données peut être un facteur limitant dans l'utilisation de GEE. Le temps de traitement peut être long et donc ne pas aboutir (Gorelick et al., 2017). Sur GEE, une limite de temps est définie en fonction de la complexité du calcul. Cela amène une limite dans le traitement des données qui peut être fait dans le cadre de ce travail. Cela peut néanmoins être contourné en modifiant les zones d'études et en divisant les calculs. Dans le cas de ce travail, cette limite a pu être contournée en filtrant par canton et en ne gardant que Genève. Cependant, pour un canton de la taille de Fribourg, le test s'est avéré plus complexe et la lenteur du calcul pour les *time series* combinés n'a pas pu aboutir à cause du temps limite mis en place par GEE.

La LST, qui est déterminée à partir du NDVI, montre une corrélation avec le degré d'urbanisation. Plus les zones sont urbanisées, plus les îlots de chaleur sont prononcés. Connaître la couverture végétale des sols dans les différents cantons est crucial pour comprendre ces phénomènes. Par conséquent, de nombreuses études ont étudié la relation entre le *land use* et le *land cover*

Il serait par exemple possible, grâce à cet indice et à l'indicateur de toits disponibles de mettre, en place des mesures d'atténuation des îlots de chaleur. Cet indice permet également d'identifier les zones où la température diffère par rapport à la température naturelle et la température urbaine. Néanmoins, l'utilisation de GEE est donc limitée notamment pour les îlots de chaleur. Il est possible grâce à des modèles paramétriques de microclimat qui utilisent des principes de transferts d'énergie et des équations du bilan thermique au sein de la canopée urbaine, de cartographier les îlots de chaleur de façon plus précise. Divers processus physiques sont pris en compte et analysés tels que le rayonnement solaire, le rayonnement thermique ainsi que la conduction et la convection (Boccalatte et al., 2023). L'adaptation aux îlots de chaleur passe donc par la combinaison de plusieurs indicateurs bio-physiques tels que le *land use* et le *land cover*, la LST mais également la canopée des arbres.

## 6. Conclusion

En conclusion, la télédétection est un outil essentiel pour évaluer l'efficacité des mesures développées dans les plans climats notamment pour les indicateurs bio-physiques. En offrant un accès facile à des données variées et un large spectre d'observation, en particulier avec l'utilisation de l'outil Google Earth Engine, les outils de télédétection sont un bon moyen de monitorer, comme démontré dans l'étude sur les îlots de chaleur à Genève. Le succès de l'apport de la télédétection dans le monitoring réside dans la robustesse des indicateurs développés, mais également dans les outils utilisés.

De plus, dans le cas des plans climats cantonaux, ces techniques présentent un potentiel largement inexploité qui répondraient aux besoins d'évaluation et de suivi des objectifs fixés. En effet, les indicateurs proposés dans les PC ne font pas usages de la géomatique, bien que la littérature démontre son utilité. Ce travail illustre cela en proposant 9 indicateurs qui répondraient à une multitude d'objectifs.

Par ailleurs, un aspect essentiel et non traité dans ce travail, mais à prendre en compte, est l'aspect de sensibilisation auprès du grand public que pourrait avoir la cartographie des indicateurs. Les cartes peuvent, au travers leur représentation visuelle, prendre une dimension communicationnelle. Elles peuvent donc être utilisées comme outil de sensibilisation et questionner la population non initiée au changement climatique et à la pertinence ou non des mesures mises en place par les plans climats. Les *storymaps* pourraient ainsi être un bon moyen pour transmettre et représenter l'évolution des mesures.

En somme, la télédétection est un outil essentiel pour la surveillance, la planification, et la gestion des impacts climatiques à l'échelle cantonale. Elle offre une base de données solide pour informer les décisions et renforcer la résilience face aux défis climatiques.

## 7. Bibliographie

- Asad, A., Ullah, K., Butt, M. J., & Labban, A. B. H. (2023a). Analysis of urban heat island effects in high altitude areas of Pakistan. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 32, 101071. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101071>
- Boccalatte, A., Fossa, M., Thebault, M., Ramousse, J., & Ménézo, C. (2023). Mapping the urban heat Island at the territory scale : An unsupervised learning approach for urban planning applied to the Canton of Geneva. *Sustainable Cities and Society*, 96, 104677. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104677>
- Brou, T. Y., Rwanyiziri, G., & Uwayezu, E. (2024). Dynamique urbaine et développement d'îlots de chaleur urbains à Kigali, Rwanda. *Les Cahiers d'Afrique de l'Est*, 59. <https://doi.org/10.4000/estafrica.4500>
- Cevik Degerli, B., & Cetin, M. (2023). Evaluation of UTFVI index effect on climate change in terms of urbanization. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(30), Article 30. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27613-x>
- Conseil d'État vaudois. (2020). *Plan climat vaudois – 1ère génération*. Département de l'environnement et de la sécurité (DES), Direction générale de l'environnement, Division Air, climat et risques technologiques (DGE-ARC).
- Desthieux, G., Carneiro, C., Camponovo, R., Ineichen, P., Morello, E., Boulmier, A., Abdennadher, N., Dervev, S., & Ellert, C. (2018). Solar Energy Potential Assessment on Rooftops and Facades in Large Built Environments Based on LiDAR Data, Image Processing, and Cloud Computing. Methodological Background, Application, and Validation in Geneva (Solar Cadaster). *Frontiers in Built Environment*, 4, 14. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2018.00014>
- Dissanayake, Morimoto, Ranagalage, & Murayama. (2019). Land-Use/Land-Cover Changes and Their Impact on Surface Urban Heat Islands : Case Study of Kandy City, Sri Lanka. *Climate*, 7(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/cli7080099>
- Dupont, P. (2020). *Observatoire GE-EN-VIE : Système d'indicateurs DPSIR et outils de communication sur la biodiversité du canton de Genève*.
- Giuliani, G., Dao, H., De Bono, A., Chatenoux, B., Allenbach, K., De Laborie, P., Rodila, D., Alexandris, N., & Peduzzi, P. (2017). Live Monitoring of Earth Surface (LiMES) : A framework for monitoring environmental changes from Earth Observations. *Remote Sensing of Environment*, 202, 222-233. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.05.040>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine : Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Guha, S., Govil, H., Gill, N., & Dey, A. (2020). Analytical study on the relationship between land surface temperature and land use/land cover indices. *Annals of GIS*, 26(2), Article 2. <https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1754291>

- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), Article 1. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>
- Kim, S. W., & Brown, R. D. (2021). Urban heat island (UHI) intensity and magnitude estimations : A systematic literature review. *Science of The Total Environment*, 779, 146389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146389>
- Liu, L., & Zhang, Y. (2011). Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data : A Case Study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3(7), 1535-1552. <https://doi.org/10.3390/rs3071535>
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Naim, Md. N. H., & Kafy, A.-A. (2021). Assessment of urban thermal field variance index and defining the relationship between land cover and surface temperature in Chattogram city : A remote sensing and statistical approach. *Environmental Challenges*, 4, 100107. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100107>
- OFEV et al. (2020). *Changement climatique en Suisse. Indicateurs des causes, des effets et des mesures. Etat de l'environnement Nr.2013:105 S.*
- Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment (1967)*, 7(8), 769-779. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6)
- Pal, S., & Ziaul, Sk. (2017). Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(1), Article 1. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.11.003>
- République et canton de Fribourg. (2021). *Plan climat cantonal : Stratégie et plan de mesures 2021-2026*. Givisiez : État de Fribourg.
- République et canton de Genève. (2021). *Plan climat cantonal 2030* (p. 120).
- République et canton de Neuchâtel. (2022). *Plan Climat Neuchâtel : Stratégie climatique cantonale, 2022-2027*.
- République et canton du Jura. (2023). *Plan Climat Jura : Stratégie cantonale*.
- Sheffield, J., Wood, E. F., Pan, M., Beck, H., Coccia, G., Serrat-Capdevila, A., & Verbist, K. (2018). Satellite Remote Sensing for Water Resources Management : Potential for Supporting Sustainable Development in Data-Poor Regions. *Water Resources Research*, 54(12), 9724-9758. <https://doi.org/10.1029/2017WR022437>
- Snyder, W. C., Wan, Z., Zhang, Y., & Feng, Y.-Z. (1998). Classification-based emissivity for land surface temperature measurement from space. *International Journal of Remote Sensing*, 19(14), Article 14. <https://doi.org/10.1080/014311698214497>
- Steg, L., Perlaviciute, G., & Van Der Werff, E. (2015). Understanding the human dimensions of a sustainable energy transition. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00805>

Tang, L., & Shao, G. (2015). Drone remote sensing for forestry research and practices. *Journal of Forestry Research*, 26(4), 791-797. <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0088-y>

Tariq, A., Riaz, I., Ahmad, Z., Yang, B., Amin, M., Kausar, R., Andleeb, S., Farooqi, M. A., & Rafiq, M. (2020). Land surface temperature relation with normalized satellite indices for the estimation of spatio-temporal trends in temperature among various land use land cover classes of an arid Potohar region using Landsat data. *Environmental Earth Sciences*, 79(1), Article 1. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8766-2>

Tran, A., Daudé, É., & Catry, T. (2022). *Téledétection et modélisation spatiale*. éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-3629-9>

USGS. (2024). *Landsat 8-9 Collection 2 Level 2 Science Product Guide*.

Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), Article 3. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>

## 8. Annexes

	<b>Genève</b>	<b>Fribourg</b>	<b>Vaud</b>	<b>Neuchâtel</b>	<b>Jura</b>
<b>Energie</b>	GJE1.1 Mettre en œuvre le Plan directeur de l'énergie (PDE)	FR.1.1 Etude du potentiel de l'hydraulique sur le territoire cantonal	VD.1 Accélérer la mise en œuvre de la Conception cantonale de l'énergie	NE.R1 Augmenter le taux d'assainissement du parc neuchâtelois de bâtiments	JU.A1.1 Accélérer l'efficacité énergétique du tissu industriel
<i>E_</i>	FR.1.2 Communication sur les contraintes légales en matière de production de chaleur et de froid	FR.1.2 Communication sur les contraintes légales en matière de production de chaleur et de froid		NE.R2 Subventionner les installations solaires photovoltaïques sur de grands toits	JU.A1.2 Relancer les audits énergétiques PEIK pour les petites entreprises
	FR.1.3 Réduction des émissions induites par l'électricité	FR.1.3 Réduction des émissions induites par l'électricité		NE.R3 Soutenir la recherche et l'innovation dans le domaine de l'isolation, du stockage de l'énergie et du solaire dans le domaine des bâtiments	JU.A1.3 Accélérer le développement du solaire photovoltaïque
	FR.1.4 Analyse portant sur la réserve partielle du crédit pour les mesures de rénovation	FR.1.4 Analyse portant sur la réserve partielle du crédit pour les mesures de rénovation		NE.R4 Intégrer la planification énergétique dans les Plans d'aménagement locaux	JU.A1.4 Soutenir des projets d'agrivoltaïsme
	FR.1.5 Informations sur les aides à la pose de panneaux photovoltaïques	FR.1.5 Informations sur les aides à la pose de panneaux photovoltaïques			JU.A1.5 Promouvoir les installations solaires "plug & play"
	FR.2.1 Soutien aux communes dans leur planification énergétique	FR.2.1 Soutien aux communes dans leur planification énergétique			JU.A1.6 Poser des panneaux solaires photovoltaïques sur des annexes de la Transjurane
	FR.2.2 Soutien à la recherche dans le domaine des énergies renouvelables	FR.2.2 Soutien à la recherche dans le domaine des énergies renouvelables			JU.A1.7 Réaliser et coordonner les stratégies cantonales liées aux technologies Power-to-X et énergies renouvelables
	FR.2.3 Optimisation des systèmes de production de chaleur	FR.2.3 Optimisation des systèmes de production de chaleur			JU.A2.1 Augmenter les moyens du Programme Bâtiments
	FR.2.4 Encouragement à la végétalisation des toitures et façades	FR.2.4 Encouragement à la végétalisation des toitures et façades			JU.A2.2 Contribuer à la qualité des contrôles d'exécutions dans le bâtiment
	FR.2.5 Soutien à la démarche d'un quartier exemplaire vers le zéro net carbone de blueFACTORY	FR.2.5 Soutien à la démarche d'un quartier exemplaire vers le zéro net carbone de blueFACTORY			JU.A2.3 Concrétiser les planifications énergétiques territoriales de chaque commune
	FR.3.1 Assainissement énergétique du parc immobilier de l'Etat	FR.3.1 Assainissement énergétique du parc immobilier de l'Etat			JU.A2.4 Diffuser les programmes incitatifs de la Confédération
	FR.3.2 Limitation de la température de chauffage des locaux de l'Etat	FR.3.2 Limitation de la température de chauffage des locaux de l'Etat			JU.A2.5 Renforcer les compétences et la disponibilité de la main d'œuvre dans le domaine du bâtiment et de l'électricité
	FR.4.1 Elargissement des entraprises ciblées par la loi fédérale sur l'énergie	FR.4.1 Elargissement des entraprises ciblées par la loi fédérale sur l'énergie			JU.A3.1 Assainir tous les bâtiments de l'Etat d'ici à 2040
	FR.4.2 Obligation d'affichage de l'étiquette CECB des biens immobiliers	FR.4.2 Obligation d'affichage de l'étiquette CECB des biens immobiliers			JU.A3.2 Installer d'ici 2030 des panneaux solaires photovoltaïques sur tous les bâtiments cantonaux qui le permettent
					JU.A3.3 Permettre à la population de cofinancer les panneaux solaires des bâtiments publics

	<p>FR.5.1 Réduction des émissions de GES des STEPS</p> <p>FR.5.2 Conseil en rénovation et assainissement pour les propriétaires</p> <p>FR.6.1 Projet pilote "bâtiment à faible impact climatique"</p>	<p>FR.1.1 Sensibilisation au transfert modal</p> <p>FR.1.2 Réflexion autour d'un stratégie pour l'électromobilité dans le canton</p> <p>FR.2.1 Soutien aux parc-relais et à leur développement</p> <p>FR.2.2 Soutien aux plans de mobilité</p> <p>FR.2.3 Encouragement au développement de moyens de transport bas carbone</p> <p>FR.2.4 Soutien au développement du vélo dans le canton</p> <p>FR.2.5 Soutien aux développement des transports publics</p> <p>FR.3.1 Encouragement à réduire les déplacements professionnels en avion pour le personnel de l'Etat</p> <p>FR.3.2 Suppression de l'avantage donné à la voiture lors des déplacements du personnel de l'Etat</p> <p>FR.3.3 Limitation des déplacements pendulaires du personnel de l'Etat et incitation à l'utilisation des transports publics</p> <p>FR.4.1 Taxation des véhicules légers fortement émetteurs</p> <p>FR.4.2 Encouragement à la mise en place de bornes de recharge pour voitures électriques</p> <p>M.4.3 Encouragement à</p>	<p>GE2.1 Renforcer le transfert modal vers la mobilité douce</p> <p>GE2.2 Renforcer le transfert modal vers les transports en commun</p> <p>GE2.3 Mettre en œuvre des services de mobilité (Smart Mobility)</p> <p>GE2.4 Remplacer 100% du parc de véhicules diesel des transports en commun</p> <p>GE2.5 Accélérer le développement de l'électromobilité</p> <p>GE2.6 Réduire les émissions du transport des marchandises</p> <p>GE2.7 Promouvoir les plans de mobilité pour les entreprises et collectivités publiques</p> <p>GE2.8 Mettre en oeuvre une tarification</p> <p>GE2.9 Réduire les émissions des GES dues au trafic aérien des résidents genevois-es</p>	<p>VD.1. Mettre en place une politique active de report modal</p> <p>VD.2. Modifier les pratiques de mobilité individuelle</p> <p>VD.3. Améliorer le bilan énergétique de la construction et de l'exploitation des infrastructures de transport</p> <p>VD.4. Rendre plus efficient le transport de marchandises</p> <p>VD.5. Augmenter la part de véhicules privés et publics à faibles émissions</p>	<p>NE.R5 Elaborer et mettre en œuvre le Programme d'agglomération de 4ème génération</p> <p>NE.R6 Réviser les dispositions relatives au stationnement privé des véhicules</p> <p>NE.R7 Développer la mobilité électrique dans les transports publics urbains</p> <p>NE.R8 Promouvoir l'hydrogène d'origine renouvelable pour le transport routier de marchandises</p> <p>NE.R9 Promouvoir les transports publics auprès des jeunes adultes</p> <p>NE.R10 Promouvoir une tarification TP favorable au transfert modal</p> <p>NE.R11 Poursuivre le soutien au développement de la mobilité cyclable</p>	<p>JU.A3.4 Développer le solaire photovoltaïque en façade</p>	<p>JU.B1.1 Réduire le trafic pendulaire individuel</p> <p>JU.B1.2 Développer les zones 30 km/h nocturnes sur les routes cantonales traversant les localités</p> <p>JU.B1.3 Concrétiser les mesures prioritaires du plan sectoriel des itinéraires cyclables</p> <p>JU.B1.4 Réaliser une action sur la mobilité douce auprès des enfants et leurs parents</p> <p>JU.B2.1 Etudier les étapes, modalités et coûts de la décarbonisation des transports publics</p> <p>JU.B2.2 Financer les infrastructures permettant la décarbonisation des transports publics</p> <p>JU.B2.3 Réduire et décarboner la flotte des véhicules de l'Etat</p> <p>JU.B3.1 Mettre en œuvre et optimiser le plan de mobilité de l'Administration</p> <p>JU.B3.2 Mettre en œuvre des mesures d'exemplarité dans les déplacements de l'Administration</p> <p>JU.B3.3 Modifier le décret sur l'imposition des véhicules</p> <p>JU.B3.4 Réaliser un bilan carbone des infrastructures de mobilité dans le canton du Jura</p>
--	---	--	--	---	---	---	---

l'immatriculation de véhicules  
 mus exclusivement par  
 l'énergie électrique ou  
 l'hydrogène ou dotés d'une  
 motorisation hybride  
 FR5.1. Définition d'objectifs de  
 réduction des émissions dans le  
 secteur des transports

<b>Agriculture</b>	<p>GE6.4 Gérer les besoins          d'irrigation du secteur agricole          GE6.5 Séquestrer du carbone          grâce à la généralisation de          l'agriculture de conservation des          sols</p>	<p>FR.1.1 Sensibilisation aux          bonnes pratiques visant à          favoriser le stockage carbone          dans les sols agricoles          FR.2.1 Promotion de la          réduction des émissions de gaz          à effet de serre de l'agriculture          FR.2.2 Récupération de chaleur          pour les séchoirs en grange          FR.2.3 Encouragement aux          énergies renouvelables pour la          production sous serre          FR.2.4 Promotion de circuits          courts et soutien à la          consommation locale          FR.3.1 Encouragement à une          alimentation bas carbone et          équilibrée          FR.5.1 Soutien et valorisation          des installations de biogaz dans          le canton de Fribourg          FR.5.2 Limitation des pertes de          CO2 des terres humifères          FR.6.1 Réalisation d'un projet          pilote portant sur les méthodes          d'épandage d'engrais permettant          de diminuer l'impact pour le          climat</p>	<p>VD. 9. Séquestrer le Carbone          organique dans les sols          VD.10. Réduire les émissions de          l'agriculture          VD.11. Adapter l'agriculture aux          changements climatiques</p>	<p>NE.R12 Soutenir la pose de          panneaux solaires sur les          bâtiments agricoles          NE.R13 Valoriser le potentiel          cantonal de production de          biogaz à partir de déchets          agricoles          NE.R14 Soutenir la          couverture des fosses à purin          NE.R15 Elaborer un projet en          faveur des circuits-courts dans          la restauration collective          NE.R16 Evaluer le potentiel          de reconversion de surfaces          de grandes cultures          fourragères vers des cultures          dédiées à l'alimentation          humaine          NE.R17 Informer, inciter et          sensibiliser à une alimentation          durable          NE.A2 Adapter le vignoble et          les cépages cultivés et lutter          contre les organismes          émergents nuisibles à la          viticulture          NE.A15. Adapter la          sylviculture pour garantir la          multifonctionnalité des          milieux forestiers          NE. R23 Etudier le potentiel          de captation du CO2 dans les          sols agricoles</p>	<p>JU.C1.1 Assurer la part de          financement cantonal des          programmes fédéraux de          protection des ressources et de          réduction des GES          JU.C1.2 Promouvoir les mesures de          l'ordonnance sur les améliorations          structurelles          favorables au climat          JU.C1.3 Adapter la loi cantonale          sur les améliorations structurelles          JU.C.1.4 Adapter les indicateurs          dans les outils généraux de conseil          agricole          JU.C.1.5 Améliorer le bilan          carbone de l'emballage des balles          rondes          JU.C.2.1 Réduire les émissions          dans les étables          JU.C.2.2 Composter les fumiers          stockés en plein champ          JU.C.2.3 Couvrir toutes les fosses à          lisier          JU.C.2.4 Epancher les lisiers avec          des techniques de type « pendillards          »          JU.C.2.5 Optimiser l'efficacité          alimentaire des ruminants          JU.C.3.1 Mesurer l'empreinte          carbone d'un maximum          d'exploitations agricoles et soutenir          des actions de séquestration de          carbone dans les sols          JU.C.3.2 Surveiller l'utilisation du          biochar          JU.C.3.3 Soutenir les projets          d'agroforesterie          JU.C.4 La production de fruits,</p>
--------------------	--	---	---	--	--

				légumes, légumineuses pour le marché local double d'ici 2030 JU.C.5. Les circuits courts sont soutenus et développés
<b>Consommation / économie</b>				JU.D1. L'économie circulaire est renforcée dans l'industrie JU.D.2. L'économie circulaire est renforcée dans la construction JU.D.3. L'économie circulaire citoyenne est développée et structurée JU.D.4 Le gaspillage alimentaire est réduit de moitié d'ici à 2030 JU.F3 Appliquer les recommandations relatives aux institutions financières de la charte climat
<b>C_</b>				
	GE3.1 Promouvoir et soutenir une alimentation bas carbone, saine et équilibrée GE3.2 Adapter et promouvoir des outils d'évaluation des gaz à effet de serre pour les achats professionnels responsables GE3.3 Développer la sobriété en matière de consommation et réduire la production de déchets GE3.4 Promouvoir la sobriété numérique GE3.5 Elaborer et mettre en œuvre des prescriptions pour la construction et la rénovation bas carbone des bâtiments GE3.6 Améliorer le bilan carbone et prendre en compte l'impact des changements climatiques lors de la construction et de l'exploitation des infrastructures de transport et de leurs parties intégrantes et accessoires (talus, murs, arbres...)	FR.1.1 Soutien à la communication des organisations faitières dans le domaine de la réduction des émissions de GES FR.1.2 Promouvoir des projets de réductions des émissions exemplaires dans les entreprises FR.1.3 Sensibilisation de la population à l'impact climatique lié à la consommation FR.2.1 Soutien à la Fondation Carbon Fri et encouragement aux entreprises à effectuer un bilan carbone FR.2.2 Soutien à la promotion et à la valorisation de la ressource bois FR.2.3 Soutien aux contrôles des installations à fluides frigorigènes FR.2.4 Soutien au tourisme local et aux produits du terroir FR.3.1 Renforcement des investissements et des flux financiers en faveur du climat FR.3.2 Renforcement des critères climatiques dans les investissements publics et les appels d'offres publics de l'Etat FR.4.1 Encouragement au recyclage des huiles usées pour produire du biocarburant		
<b>Eau</b>	GE5.3 Elaborer et mettre en œuvre un plan transfrontalier de prévention des crues de l'Arve GE5.4 Renforcer les mesures liées au concept de l'Eau en Ville GE5.5 Gérer les eaux en vue d'un partage équitable et durable de la	FR.1. Evaluation des conséquences des scénarios Hydro-CH2018 sur les ressources en eau FR. 1.2 Suivi des eaux superficielles intégrant les effets des changements climatiques (suivi		NE.A4 Mettre en place une gestion quantitative des eaux prélevées NE.A5 Mettre en place la gestion intégrée des eaux par bassin versant NE.A6 Adapter la mise sous protection et la surveillance
<b>W_</b>				

<p>ressource à l'échelle transfrontalière du bassin versant</p>	<p>hydrométrique-quantitatif et prévisions)  FR.1.3 Suivi et gestion des eaux souterraines intégrant les effets des changements climatiques  FR.1.4 Surveillance des paramètres climatiques des eaux superficielles  FR.1.5 Surveillance des paramètres climatiques des eaux souterraines  FR.1.6 Concept de gestion de l'eau Fribourg  FR.1.7 Réalisation d'actions de sensibilisation à une utilisation parcimonieuse de l'eau  FR.2.1 Soutien aux mesures garantissant la sécurité d'approvisionnement en eau dans les alpages  FR.4.1 Mise en place d'une gouvernance adaptée pour faciliter les projets d'irrigation et concilier la protection des eaux et l'agriculture  FR.5.1 Prise en compte des scénarios climatiques dans les projets d'aménagement et d'entretien des cours d'eau (protection contre les crues et revitalisation)  FR.5.2 Mise en place d'un outil de gestion des conflits liés aux usages de l'eau  FR.5.3 Soutien à la réalisation de mesures d'entretien des cours d'eau et étendues d'eau visant l'adaptation aux changements climatiques  FR.5.4 Optimisation du suivi des périodes de sécheresse pour les eaux superficielles  FR.5.5 Mise en œuvre d'actions visant à limiter les apports de polluants dans les milieux récepteurs vulnérables en</p>	<p>des eaux souterraines  NE.A8 Augmenter les capacités d'adduction en eau dans les zones rurales  NE.A11. Adapter les traitements des eaux potables en fonction des nouveaux défis posés par les changements climatiques  NE.A18. Promouvoir la récupération et le stockage d'eaux pluviales</p>
---	---	---

période d'étiage  
 FR.5.6 Mise en place d'un suivi des périodes de sécheresse pour les eaux souterraines  
 FR.5.7 Effet des changements climatiques sur la force hydraulique

<b>Biodiversité</b>	GEG.1 Renforcer la résilience des écosystèmes et les capacités de migration des espèces GEG.2 Promouvoir la futaie irrégulière auprès des propriétaires privés de forêts GEG.3 Lutter contre les ravageurs (insectes)	FR.1.1 Réalisation d'actions de sensibilisation aux services écosystémiques FR.1.2 Prise en compte des besoins des milieux humides dans les projets influençant le régime des lacs et des cours d'eau FR.1.3 Recherche sur les impacts des changements climatiques sur la biodiversité au niveau local FR.1.4 Réalisation de mesures visant la réduction de la pression humaine sur les milieux naturels sensibles aux changements climatiques FR.5.1 Amélioration de l'infrastructure écologique dans le tissu et périurbain FR.5.2 Création et renaturation de zones humides FR.5.3 Soutien aux projets de revitalisation de cours d'eau FR.5.4 Intégration des enjeux climatiques dans les fondements légaux et stratégiques favorisant la conservation de la biodiversité FR.5.5 Lutte contre la propagation des espèces non-indigènes FR.6.1 Réalisation de projets pilotes visant la mise en réseau de biotopes	VD.13. Préserver les milieux forestiers et renforcer l'utilisation du bois VD.14. Préserver et renforcer la biodiversité VD.15. Préserver et optimiser la gestion de la ressource en eau VD.16. Préserver et renforcer les sols humides	NE.A7 Promouvoir et former à la préservation des sols NE.A16. Adapter la carte des forêts à fonction protectrice NE.A20 Revitaliser et créer un réseau de biotopes humides	JUE1 : Les forêts sont adaptées au dérèglement climatique JUE.1.1 Augmenter les moyens dévolus aux mesures de diversification des forêts JUE.1.2 Encourager les adaptations des régimes sylvicoles dans les communes JUE.1.3 Se préparer à l'augmentation des risques d'incendies forestiers JUE2 : Les capacités de stockage de carbone des écosystèmes sont améliorées JUE.2.1 Accélérer la régénération des tourbières JUE.2.4 Renaturer les lits de petites rivières JUE3 : Les zones urbaines sont adaptées au dérèglement climatique JUE.3.1 Assurer la prise en compte des aspects climatiques dans les démarches d'aménagement du territoire des communes JUE.3.4 Accélérer la végétalisation des rues, toits et façades
<b>Territoire / société</b>	GEG.1 Proposer un projet de territoire cantonal compatible	FR.1.1 Monitoring des impacts des fortes chaleurs sur la santé	Santé : VD.17. Prévenir les risques et prendre	Gestion des déchets : NE.R18 Informer et	JUF4 : La population, la société civile et les institutions s'engagent

<p>avec la neutralité carbone à l'horizon 2050</p> <p>GJE4.2 Intégrer des aspects opérationnels relatifs au climat dans les plans directeurs et les projets énergétiques territoriaux des communes genevoises</p> <p>GJE4.3 Agir au niveau des projets de quartiers en vue de la réduction des émissions de CO2, de l'adaptation au changement climatique et d'une habitabilité renouvelée (sociale, économique et environnementale)</p> <p>GJE4.4 Evaluer l'impact carbone des plans, programmes et projets qui ont une incidence sur l'aménagement du territoire</p> <p>GJE4.5 Prévenir et lutter contre les îlots de chaleur en milieu urbain</p> <p>Santé : GE5.1 Promouvoir la santé en période de forte chaleur</p> <p>GE5.2 Prévenir les infections et surveiller les vecteurs de maladies</p>	<p>FR.1.2 Réalisation d'actions de sensibilisation visant à renforcer les compétences en santé de la population face aux enjeux climatiques</p> <p>FR.1.3 Cartographie des îlots de chaleur dans les zones urbanisées du canton et conseil en adaptation</p> <p>FR.1.4 Réalisation et implémentation d'un programme de sensibilisation aux enjeux climatiques auprès des professionnel-le-s de l'urbanisme et des constructions</p> <p>FR.1.5 Sensibilisation à la thématique du climat auprès des architectes et futurs-e-s architectes</p> <p>FR.1.6 Réalisation d'actions d'information et de sensibilisation sur les dangers naturels</p> <p>FR.1.7 Adaptation des recommandations en matière de gestion forestière et d'information auprès des propriétaires forestiers</p> <p>FR.1.8 Développement de nouvelles prestations d'assurance pour les agriculteurs/trices</p> <p>FR.1.9 Demande d'adaptation du plan d'étude des futur-e-s agriculteurs/trices</p> <p>FR.1.10 Réalisation d'action visant à limiter l'érosion des terres agricoles</p> <p>S.1.11 Réalisation d'outils de communication sur les bonnes pratiques en matière d'adaptation aux changements climatiques dans le secteur agricole</p> <p>FR.2.1 Réalisation de projets d'adaptation aux fortes chaleurs</p>	<p>en charge les effets négatifs des changements climatiques sur la santé</p> <p>VD.18. Favoriser la réduction des émissions des GES du système socio-sanitaire</p> <p>VD.19. Promouvoir la santé et adapter le système de santé aux effets des changements climatiques</p> <p>VD.20. Gestion des risques et stratégies de préventions des dangers naturels</p> <p>VD.21. Déploiement de la prévention et planification de l'intervention</p>	<p>sensibiliser à la réduction et à la gestion des déchets</p> <p>NE.R19 Mieux valoriser les matériaux minéraux</p> <p>NE.R20 Augmenter le taux de valorisation en matière des déchets</p> <p>NE.R21 Maintenir le potentiel de valorisation thermique en lien avec l'incinération des déchets</p> <p>Captation carbone :</p> <p>NE.R22 Revitaliser les marais d'importance nationale du canton</p> <p>NE.R24 Encourager les maîtres d'ouvrage à construire en bois</p> <p>NE.R25 Etudier le potentiel pour un projet pilote d'émissions négatives sur le canton</p> <p>NE.R26 Orienter les investissements publics vers plus de durabilité</p> <p>NE.R27 Evaluer, organiser, informer et sensibiliser sur les enjeux de la compensation volontaire</p> <p>Danger naturel : NE.A9.</p> <p>Protéger les biens immobiliers et les infrastructures contre le phénomène de subsidence</p> <p>NE.A10. Adapter la sylviculture pour limiter les risques d'incendie sur les stations sensibles</p> <p>NE.A12. Compléter et adapter la cartographie des dangers naturels et développer une gestion basée sur les risques</p> <p>NE.A13. Créer et adapter les bases de données liées aux dangers naturels</p> <p>NE.A14. Préciser la mise en</p>	<p>pour la protection du climat</p> <p>JU.F4.1 Informer sur les besoins en énergie renouvelable en hiver</p> <p>JU.F4.2 Freiner l'éco-blanchiment</p> <p>JU.F4.3 Organiser un événement par année sur un aspect du consumérisme</p> <p>JU.F4.4 Sensibiliser les consommateurs à l'alimentation durable</p> <p>JU.F4.5 Sensibiliser les enfants à l'alimentation durable</p> <p>JU.F4.6 Planter 10'000 arbustes à petits fruits en libre cueillette au cœur des localités</p> <p>JU.F.4.7 Soutenir des projets en lien avec Fourchette verte</p> <p>JU.F.4.8 Privilégier la consommation d'eau du robinet</p> <p>JU.F4.9 Lutter contre le suremballage</p> <p>JU.F.4.10 Inciter à l'utilisation de contenants réutilisables</p> <p>JU.F4.11 Mettre en place des budgets participatifs</p> <p>JU.F4.12 Créer un lieu de démonstration de la transition énergétique et climatique</p> <p>JU.F4.13 Sensibiliser les employés de la fonction publique</p> <p>JU.F4.14 Identifier et mettre en place des formations pour bonnes pratiques</p> <p>Santé : JU.F2 Les effets du dérèglement climatique sur la santé sont connus et contenus</p> <p>JU.F2.1 Renforcer le plan canicule</p>
---	---	---	--	--

FR.2.2 Soutien à la surveillance des vecteurs de maladies infectieuses favorisées par les changements climatiques  
FR.2.3 Renforcement du réseau d'observation du taux d'humidité des sols  
FR.3.1 Prise en compte des risques des changements climatiques sur la santé dans la politique du personnel de l'Etat  
FR.4.1 Intégration de la thématique des phénomènes météorologiques extrêmes dans les bases légales  
FR.4.2 Renforcement de l'intégration des enjeux climatiques dans les bases légales et stratégie concernant le tourisme fribourgeois  
FR.4.3 Intégration des enjeux climatiques dans le Plan directeur cantonal  
FR.5.1. Réalisation de mesures pour lutter contre le développement de légionnelle favorisé par les fortes chaleurs  
FR.5.2 Intégration des enjeux climatiques dans la stratégie immobilières du Sbat et lors de la planification et de la rénovation des bâtiments de l'Etat  
FR.5.3 Prise en compte des changements climatiques dans la protection contre les dangers naturels liés aux avalanches et aux instabilités du terrain  
FR.5.4 Prise en compte des changements climatiques dans la protection contre les dangers naturels liés aux eaux  
FR.5.5 Adaptation aux changements climatiques dans les écoles  
FR.5.6 Réalisation de mesures

œuvre des zones de danger dans l'aménagement du territoire et sur les projets constructifs  
Santé : NE.A1 Localiser et lutter contre les flots de chaleur  
NE.A2 Formaliser et diffuser le Plan canicule  
NE.A17 Favoriser le développement d'offres touristiques de quatre saisons  
NE.A.19 Développer le tourisme responsable

visant à améliorer le confort estival dans les bâtiments  
FR.5.7 Coordination de l'intégration des événements météorologiques extrêmes dans les politiques sectorielles  
FR.5.8 Renforcement des mesures de prévention contre les incendies de forêt  
FR.5.9 Soutien aux mesures sylvicoles d'adaptation des massifs forestiers aux changements climatiques  
FR.5.10 Réalisation de mesures d'accompagnement vers une agriculture résiliente aux changements climatiques  
FR.5.11 Encouragement de l'agroforesterie pour augmenter l'adaptabilité de l'agriculture face aux changements climatiques  
FR.5.12 Organisation de journées "climat" destinées aux agriculteurs-trices

Axe transversal	Accompagnement au changement et soutien des acteurs :	FR.1.1 Objectifs de réduction des émissions pour chaque secteur	VD.22. Etat employeur VD.23. Etat propriétaire VD.24. Etat partenaire VD.25. Etablir des conditions cadres pour la mise en œuvre du Plan climat VD.26. Accompagnement au changement de la collectivité VD.27. Accompagnement des communes VD.28. La formation, moteur du changement VD.29. Evaluer la mise en œuvre du Plan climat vaudois VD.30. Analyser l'impact des changements climatiques sur le territoire	NE.1. Créer une fonction transversale de "délégué(e) climat" NE.2. Modifier les comportements en lien aux enjeux climatiques NE.3. Valoriser la mobilisation des jeunes NE.4. Intégrer les thématiques du développement durable et du climat dans la formation continue de l'État NE.5. Monitorer les effets du Plan climat NE.6. Accompagner la population vers les nouveaux métiers induits par la transition énergétique et les changements climatiques	JU.F1 : Les milieux scolaires, sportifs et culturels agissent pour le climat JU.F.1.1 Soutenir les mesures climatiques présentes dans le Réseau écoles21 JU.F.1.2 Renforcer l'attrait des métiers de la transitions énergétiques JU.F.1.4 Renforcer la durabilité des manifestations sportives et culturelles JU.G1 Les ressources permettent la mise en œuvre des mesures du Plan Climat Jura JU.G1.1 Renforcer le pilotage de la politique climatique JU.G.1.2 Trouver de nouveaux modèles de financement des mesures
<b>AT_</b>	Accompagnement au changement et soutien des acteurs publics GE7.1 Exemplarité des acteurs publics GE7.2 Accompagnement aux changements des acteurs du territoire GE7.3 Communication et sensibilisation aux enjeux climatiques GE7.4 L'enseignement et l'éducation, moteurs de changement GE7.5 Formation et emploi de demain GE7.6 Une économie compatible avec les enjeux climatiques GE7.7 Cohésion sociale, insertion et intégration	FR.1.2 Mobilité douce et santé FR.1.3 Accompagnement au changement (sensibilisation et engagement) FR.2.1 Soutien aux mesures climatiques présentes dans le Réseau écoles21 FR.4.1 Base légale cantonale pour le climat FR.5.1 Renforcement de la thématique du climat dans l'enseignement FR.6.1 Réalisation d'un projet pilote pour un bâtiment adapté aux enjeux climatiques FR.6.2 Soutien au concours "le climat et moi"			

<p>GE7.8 Des investissements financiers compatibles avec les enjeux climatiques Compensation et captation GEC.1 compenser une partie des émissions de GES GEC.2 Capturer, utiliser et stocker le CO2</p>	<p>FR.6.3 Assurer le fonctionnement et la mise en œuvre du Plan Climat cantonal --&gt; monitoring</p>	<p>NE.7. Atténuer les conséquences sociales découlant des changements climatiques NE.8. Accompagner les PME et les ONG neuchâteloises vers la transition énergétique et la durabilité NE.9. Élaborer les nouvelles étapes du Plan climat</p>	<p>JU.G1.3 Créer un outil permettant la contribution à la neutralité carbone nationale JU.G.2. La durabilité se renforce dans les processus décisionnels de l'Etat JU.G.2.1 Examiner le budget de l'Etat sous l'angle des impacts sur le climat JU.G.2.2 Evaluer les dossiers importants sous l'angle des objectifs climatiques JU.G.2.3 Renforcer la coordination entre les cantons pour mettre en œuvre la politique climatique JU.G3. De nouveaux outils permettent de piloter la politique climatique cantonale JU.G3.1 Réaliser et mettre en œuvre le bilan carbone de l'Etat JU.G.3.2 Bénéficiaire de données énergétiques précises pour les bâtiments JU.G.3.3 Mettre à jour un tableau de suivi des mesures</p>
--	---	--	---