



ANALYSE CLIMATIQUE DU CANTON DE GENÈVE

CARTOGRAPHIES À L'ATTENTION
DES ACTEURS DE L'AMÉNAGEMENT
DU TERRITOIRE

GUIDE
UTILISATEUR

01.09.2021 – VERSION FINALE

*Représentation de l'effet d'îlot de chaleur,
sur la base de température ressentie (PET)*



PRÉAMBULE	3	BASES CLIMATIQUES ET MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE	6
INTRODUCTION	4	Îlot de chaleur	
Objet de l'étude		Température physiologique équivalente (PET)	
Démarche		Période de référence et périodes futures	
Cadre institutionnel		Scénarios climatiques	
Structure du document		Augmentation des températures	
		Méthodologie d'analyse	
		CARTOGRAPHIES	9
		A Cartes des paramètres climatiques	
		B Cartes d'analyse climatique nocturne	
		C Cartes indicatives de planification	
		PERSPECTIVES	16
		Mesures favorables au microclimat urbain	
		Application des mesures	
		MÉMO POUR L'UTILISATION DES CARTES EN LIGNE	18
		Informations pratiques	
		Récapitulatif des cartes	



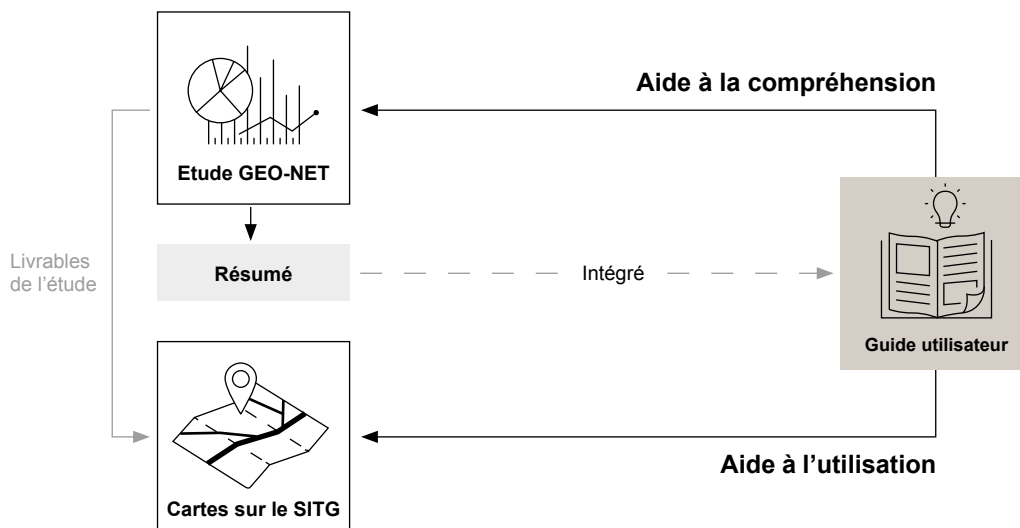
Avec l'urgence climatique décrétée par le Conseil d'État en 2019, l'État met en place des stratégies permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'adapter le territoire aux changements climatiques. Dans une perspective de transition écologique, il se doit aussi d'avoir une attitude anticipatrice et proactive, afin de préserver le bien-être de la population, notamment lors des épisodes caniculaires dont l'occurrence augmentera ces prochaines années.

L'étude et les cartes climatiques s'inscrivent dans une démarche globale, avec le Plan climat cantonal en clef de voûte, pour limiter efficacement le phénomène d'îlot de chaleur urbain et préserver les espaces importants pour la ventilation et le rafraîchissement des milieux bâtis.

Destinées à devenir la référence en la matière, les cartes facilitent l'identification des zones problématiques ou à préserver, en regard de leur situation ou de leur importance bioclimatique. Leur analyse permet de tirer de précieux enseignements au niveau du climat genevois actuel et futur, de différencier les portions du territoire en fonction de leur charge thermique et de leur importance bioclimatique, mais aussi d'estimer l'effet des développements urbains futurs dans le canton. Leur accès en

ligne, libre et gratuit, permet à tout ingénieur, architecte, aménagiste et planificateur exerçant dans une collectivité publique ou dans le milieu privé de les utiliser. De plus, ces représentations cartographiques ont l'avantage de pouvoir être un support important pour dialoguer facilement de la question climatique avec les porteurs de projets et nourrir ainsi la réflexion pour garantir la qualité des projets au regard du besoin de préservation du confort climatique urbain.

Le présent document a une double fonction: celle de faciliter la compréhension de l'étude technique disponible sur le site de l'État de Genève, mais aussi l'utilisation des cartes en ligne.



Afin de bien comprendre la portée de l'étude et des cartes climatiques réalisées, il est nécessaire d'introduire l'objet de l'étude, la démarche ainsi que le cadre dans lequel elles s'inscrivent. C'est l'objet de cette partie introductive.

OBJET DE L'ÉTUDE

Le réchauffement climatique est une problématique transversale dont les effets impactent autant la nature que l'être humain. La ville est particulièrement touchée par l'augmentation des températures et de la fréquence des épisodes estivaux de canicule durant lesquels le milieu bâti dense peine de plus en plus à se rafraîchir. La nuit, cette surchauffe peut provoquer un stress sur l'organisme et affecter le bien-être et la capacité de récupération de la population résidant dans les zones concernées.

Pour lutter contre l'amplification du phénomène d'îlot de chaleur urbain, il est essentiel d'adopter une approche holistique. C'est précisément le but de l'étude qui lie qualité du climat et charge thermique. Grâce à une compilation de données météorologiques, climatiques, géographiques et physiologiques, elle permet d'identifier les zones problématiques et celles importantes à protéger pour maintenir la capacité de la ville à se rafraîchir et préserver le confort de la population, de jour comme de nuit. Cette étude a été réalisée avec l'expertise du bureau GEO-NET, spécialisée dans les analyses climatiques.

DÉMARCHE

Cette démarche vise à donner des outils de mise en œuvre des mesures d'adaptation aux changements climatiques du Plan climat cantonal.

Pour créer un tel outil qui permette d'intégrer la composante climatique dans la planification urbaine, le premier pas a été de réaliser un diagnostic précis du climat actuel, des zones où le phénomène d'îlot de chaleur est problématique et de celles qui, au contraire, participent activement à la régulation du climat urbain.

Il s'agit également de considérer les évolutions potentielles du climat durant ces prochaines décennies, au regard de différents scénarios de réchauffement. En conservant la

projection la plus réaliste, à savoir le scénario RCP 8.5 (cf. scénarios climatiques p.7), il est possible d'identifier les zones où l'effet d'îlot de chaleur aura tendance à s'accroître et à affecter le confort de la population genevoise.

Ainsi, en ayant des informations de base sur le climat actuel et futur, il devient possible de définir des recommandations concrètes et différenciées, pour l'aménagement des espaces d'action (zones de peuplement et de circulation) et la préservation des espaces de compensation (espaces verts et ouverts).

Pour permettre à chaque acteur concerné par le développement de projets urbains de s'appuyer sur cet outil d'analyse et d'aide à la décision et, in fine, de promouvoir activement un climat urbain le plus agréable possible, l'État de Genève a souhaité mettre à disposition sur le site du Système d'information du territoire genevois (SITG), les cartes issues de cette démarche.

CADRE INSTITUTIONNEL

Le cadre institutionnel de l'étude doit être rattaché au Plan climat cantonal, car la lutte contre les îlots de chaleur urbains et l'atteinte de la neutralité carbone d'ici 2050 sont des problématiques éminemment liées. En effet, les facteurs à l'origine des émissions de gaz à effet de serre (et de polluants) sont les mêmes qui aggravent le phénomène d'îlot de chaleur et affectent le confort de la population: forte minéralisation des sols, émissions liées au trafic motorisé, au chauffage fossile et à l'industrie notamment.

Pour atteindre la neutralité carbone et adapter le territoire aux changements climatiques, la planification urbaine constitue l'un des domaines d'action clefs avec de nombreux leviers. Étant donné ses prérogatives en la matière, l'État se doit de proposer un projet de territoire qui soit compatible avec la neutralité carbone à l'horizon 2050 et qui réponde aux enjeux d'adaptation aux changements climatiques. L'étude technique et ses produits, à savoir les cartes présentées au travers de ce guide utilisateur, en constituent un des jalons importants.

ZONE DE PEUPLEMENT

Il s'agit de zones densément construites, c'est-à-dire toutes les zones résidentielles, les zones industrielles et commerciales tout comme les zones mixtes. Avec l'espace de circulation, la zone de peuplement forme l'espace d'action.

ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les rapports et recommandations des Organisations internationales font état d'une situation de plus en plus alarmante et insistent sur la nécessité d'agir dès à présent, de manière rapide et significative, pour limiter le réchauffement planétaire à 1,5°C et adapter le territoire et nos modes de vie aux impacts de l'évolution du climat.

STRUCTURE DU DOCUMENT

Ce guide d'aide à la compréhension de l'étude et à l'utilisation des cartes sur le SITG présente de manière succincte les enseignements principaux de l'analyse climatique et les différentes cartes disponibles en ligne. Le contenu est structuré en 4 chapitres principaux :

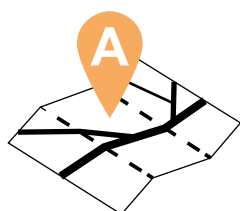
Bases climatiques et méthodologie d'analyse

Dans ce premier chapitre, sont compilés les différents éléments importants à connaître pour bien comprendre l'étude climatique, à savoir les bases méthodologiques et les paramètres de la modélisation du climat genevois actuel et futur.

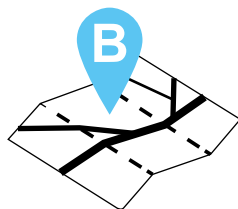
Cartographies

Trois familles de cartes sont en ligne sur le SITG, à savoir les cartes des paramètres climatiques actuels et futurs (A), les cartes d'analyse climatique nocturne (B) et les cartes indicatives de planification (C). Elles sont présentées successivement, toujours de la même manière :

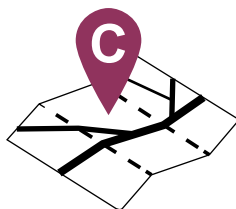
- Une partie descriptive
- Une présentation des recommandations spécifiques tirées de l'analyse
- Des extraits de cartes



FAMILLE A
Cartes des paramètres climatiques actuels et futurs



FAMILLE B
Cartes d'analyse climatique nocturne



FAMILLE C
Cartes indicatives de planification

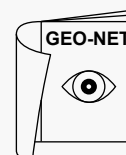
Perspectives

Une synthèse des mesures favorables au microclimat conclut le rapport de GEO-NET. Ces mesures doivent être considérées comme des recommandations générales à suivre, sans qu'elles ne constituent pour autant des directives cantonales.

Mémo pour l'utilisation des cartes en ligne

En fin du présent guide, les utilisateurs des cartes trouveront un récapitulatif des données et éléments utiles à garder en tête, lors de l'usage des cartes en ligne. Il s'agit d'une fiche technique à avoir sous les yeux pour trouver facilement, sur le site du SITG, les données permettant de nourrir et d'optimiser les projets sous l'angle climatique.

Cette petite bulle indique le numéro de chapitre de l'étude de GEO-NET dans lequel se trouvent des éléments plus détaillés sur le sujet concerné.



Pour bien comprendre la question climatique et ce qui est représenté au travers des cartes d'analyse, il est utile de rappeler préalablement certaines notions centrales et les données de base utilisées pour les modélisations cartographiques du climat actuel et futur.

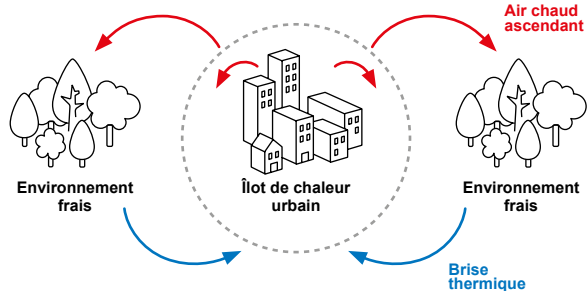


Illustration du phénomène d'îlot de chaleur urbain

ÎLOT DE CHALEUR

Dans les villes, la densité des constructions et des infrastructures, le haut degré d'imperméabilisation des sols et l'aération restreinte engendrent des îlots de chaleur. Dans ces lieux, les températures diurnes et nocturnes sont nettement plus élevées que celles des zones rurales limitrophes relevées à la même heure du jour ou de la nuit. Ceci est dû notamment à l'absence de facteurs naturels de régulation de la température tels que la végétation, ainsi qu'à la forte densité des infrastructures urbaines qui absorbent l'énergie solaire sans la réfléchir. Les températures élevées dues à ces îlots de chaleur, ainsi que la concentration de rejets polluants qu'elles favorisent, sont une contrainte plus grande pour les citoyens les plus vulnérables avec des risques accrus de décès prématurés ou encore de maladies cardiovasculaires.

SENSATION THERMIQUE	PET	NIVEAU DE STRESS THERMIQUE
Très froid	4 °C	Stress de froid extrême
	8 °C	
Confortable	13 °C	Pas de stress thermique
	18 °C	
	20 °C	
	23 °C	
	29 °C	
Extrêmement chaud	35 °C	Stress de chaleur extrême
	>41 °C	

Sensations et niveaux de stress thermique pendant la journée en fonction de la PET

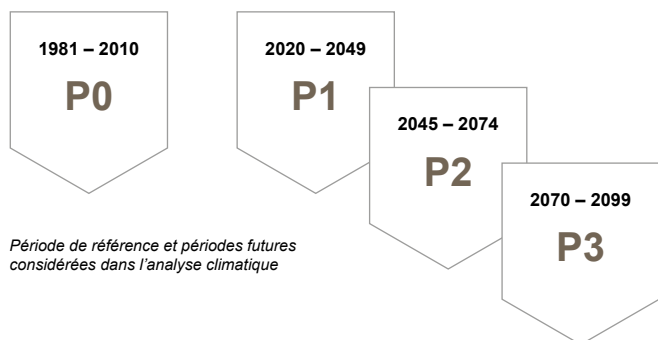
TEMPÉRATURE PHYSIOLOGIQUE ÉQUIVALENTE (PET)

Les paramètres météorologiques agissent de concert sur le bien-être de l'être humain. En combinant la température et l'humidité de l'air, la vitesse du vent et les flux de rayonnement solaire, la température physiologique équivalente caractérise la charge thermique ressentie par l'organisme.

Par rapport à des indices comparables, la PET à 1.1 m du sol a l'avantage d'être plus facile à comprendre grâce à l'unité °C et d'être devenue un standard, de sorte que les valeurs peuvent être comparées à celles d'autres villes.

PÉRIODE DE RÉFÉRENCE ET PÉRIODES FUTURES

Afin de décrire les changements climatiques futurs, des observations climatiques d'une période dite de référence sont nécessaires. 1981-2010 est la période standard recommandée par l'Organisation météorologique mondiale (OMM). C'est la période de référence utilisée pour extrapoler les changements climatiques. L'évolution du climat est modélisée pour trois périodes futures, à savoir 2020-2049, 2045-2074 et 2070-2099. Couvrant chacune 30 ans, elles sont ainsi suffisamment longues pour être représentatives des tendances à venir.



Période de référence et périodes futures considérées dans l'analyse climatique

SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Les scénarios de réchauffement climatique publiés en novembre 2018 par MétéoSuisse (National Center for Climate Services CH2018) ont été pris comme références pour évaluer l'augmentation des températures pour la région genevoise pour les trois périodes futures.

Pour la réalisation des cartes d'analyse climatique nocturne et des cartes indicatives de planification, le scénario RCP 8.5 a été pris en compte, car c'est la trajectoire que nous suivons actuellement.

	Température			
	de l'air			de l'eau
	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	
P1 (2020-2049)	+1,2°C	+1,3°C	+1,5°C	+0,75°C
P2 (2045-2074)	+1,3°C	+2°C	+2,6°C	+1,3°C
P3 (2070-2099)	+1,3°C	+2,4°C	+4,6°C	+2,3°C

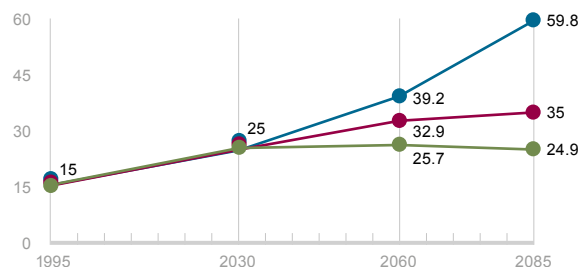
Charge thermique + forte en été.
Îlots de chaleur intensifiés en zone urbaine

Estimation de l'augmentation des températures pour les scénarios RCP 2.6, 4.5 et 8.5

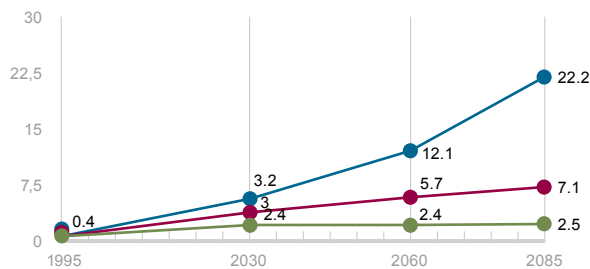
AUGMENTATION DES TEMPÉRATURES

En Suisse, le changement climatique est soutenu, avec un rythme de réchauffement plus élevé que la moyenne mondiale (+2°C depuis 1864 contre +0,8°C). Cette évolution s'observe dans une série de mesures, dont la nette tendance à la hausse des situations tropicales. Auparavant très rares, elles sont devenues une caractéristique du 21^e siècle. Et Genève ne fait pas exception.

L'analyse montre que la température du canton va augmenter progressivement. On peut supposer une forte croissance du nombre de jours tropicaux par rapport à la période de référence (1981-2010) et plus encore des nuits tropicales, bien qu'une part d'incertitude soit ici à souligner.



Évolution du nombre de jours tropicaux pour les trois périodes et selon les trois RCP retenus



Évolution du nombre de nuits tropicales pour les trois périodes et selon les trois RCP retenus

● RCP 2.6 ● RCP 4.5 ● RCP 8.5

MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE

Zone d'étude

Dans le modèle climatique utilisé, la zone d'étude a été définie de manière bien plus large que le périmètre administratif du canton (878,7 km² contre 282,5 km²). Cela permet d'intégrer les différences d'altitude et d'occupation des sols dans la région environnante qui ont une influence sur le climat genevois.

Modèle climatique

Le développement technique et l'amélioration des outils et données est également à souligner au niveau contextuel. En effet, GEO-NET a réalisé la modélisation du climat, d'une précision inédite, grâce à une amélioration des données de base et l'utilisation d'un outil de modélisation puissant (cf. encadré).

FITNAH 3D

Pour réaliser les modélisations, GEO-NET a opté pour le modèle méso-échelle FITNAH 3D. Ce dernier répond aux questions de climatologie urbaine en comblant les écarts spatiaux et temporels entre les mesures, en calculant d'autres variables météorologiques et en déterminant précisément les champs des vents et de température.

Très complet et précis, il permet d'intégrer les champs des vents et de température avec une résolution spatiale de 10 x 10 m, mais aussi de modéliser les situations diurnes, où l'irradiation est la plus élevée (14h), et nocturne, où les températures sont les plus basses (04h). Un autre de ses avantages est qu'il donne des résultats très précis pour la zone de résidence humaine (2 m du sol), essentiels pour évaluer le climat urbain également sous l'effet du ressenti et de la charge thermique.

Données

La qualité et la précision des données est donc un des premiers aspects de la modélisation à souligner. Un autre est celui de la grande diversité des données entrées dans l'outil de modélisation. Grâce au complément des données météorologiques par des paramètres climatiques et d'autres géodonnées, les modélisations obtenues sont d'une fiabilité et d'une précision inédites de 10 mètres.

À noter que les résultats du modèle représentent une journée d'été moyenne, sur une période de 30 ans. Il faut donc tenir compte du fait que des situations nettement plus fraîches ou plus chaudes peuvent également se produire. Il faut également considérer le fait que les données météorologiques proviennent de la seule station de MétéoSuisse dans le canton, celle de Genève Cointrin. Située dans une zone périphérique soumise à un stress thermique plus modéré qu'en centre-ville, elle fournit des données pouvant sous-estimer la situation des zones urbaines très denses.

Perspectives de développement urbain

Les cartes évaluant l'influence du développement urbain genevois sur le climat futur du canton, soit les cartes indicatives de planification, intègrent tous les développements susceptibles d'avoir lieu à court et moyen terme. Ces cartes représentent donc l'occupation des sols telle qu'elle devrait être en tenant compte de tous les projets prévus et planifiés jusqu'en 2035. Dans ce sens, les bâtiments existants, planifiés/validés et issus d'hypothèses d'implantation sont intégrés dans la méthodologie d'analyse et la cartographie.

Les cartes climatiques se classent en trois familles qui donnent des indications précieuses sur différents paramètres relatifs au climat, aux îlots de chaleur et aux espaces de compensation.

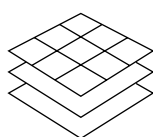
La grande diversité des données de base utilisées pour la modélisation permet de produire différents types de cartes qui offrent des renseignements complémentaires sur la situation climatique actuelle et future du canton de Genève.

La figure ci-dessous résume, dans sa partie supérieure, le type de données utilisées et les paramètres de la modélisation. Le bas de l'image présente les trois familles de cartes réalisées et disponibles sur le SITG. Les lettres (A à C) font référence aux chapitres du guide utilisateur dans lesquels sont présentées les cartes.



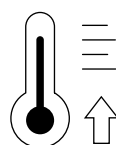
DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

- Vents
- Températures de l'air
- Couverture nuageuse
- Vents régionaux
- Température de l'eau



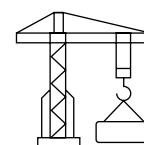
GÉODONNÉES

- Occupation des sols
- Degré d'imperméabilisation
- Hauteur des structures
- Relief



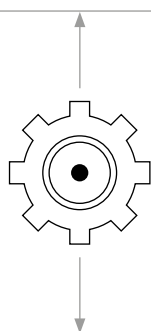
DONNÉES CLIMATIQUES

- Période de référence P0 (1981-2010)
- Scénario climatique RCP 8.5



DÉVELOPPEMENT URBAIN

- Développement → 2035
- Bâtiments existants
- Bâtiments panifiés / validés
- Bâtiments issus d'hypothèses d'implantation



**OUTIL
FITNAH 3D** →

PARAMÈTRES

Résolution spatiale : 10 m x 10 m
Périmètre élargi (>800 km²)
Episode estival autochtone
T°C à 2 m du sol
Carte diurne : 14h, irradiation max.
Carte nocturne : 04h, refroidissement max.
Périodes de calcul: P0, P1, P2 P3



P0 P1 P2 P3

Cartes des paramètres climatiques actuels et futurs



- Carte diurne
Température réelle et température ressentie (PET)



- Carte nocturne
Température réelle, îlot de chaleur, débit d'air froid, vitesse et direction du vent

P0 P1

Cartes d'analyse climatique nocturne



- Carte nocturne
Zones de processus et de génération d'air froid, zones d'impact et débit d'air froid des espaces de compensation, effet d'îlot de chaleur dans l'espace d'action, vitesse et direction du vent

P1

Cartes indicatives de planification

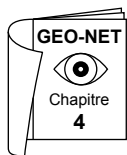


- Carte diurne
Situation bioclimatique des espaces d'action, importance bioclimatique des espaces de compensation



- Carte nocturne
Zones de processus, de génération et d'impact de l'air froid, situation bioclimatique des espaces d'action, importance bioclimatique des espaces de compensation

A CARTES DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES



Phénomène d'îlot de chaleur

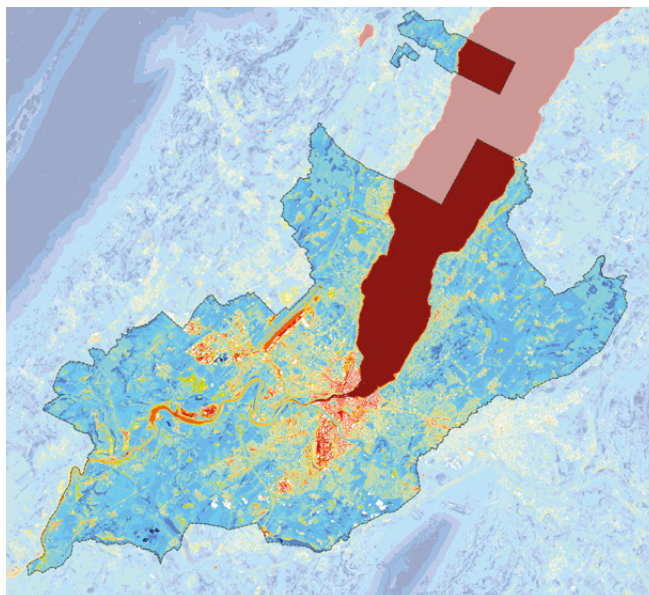
L'îlot de chaleur est avéré dans la zone urbaine du canton de Genève. Il est d'environ 7,7°C, avec des différences marquées selon les portions de territoire. L'analyse démontre qu'il ne se renforcera que faiblement avec le changement climatique.

DESCRIPTION

Pour obtenir cette vision très fine du climat genevois et de la manière dont il est susceptible d'évoluer, une cartographie diurne et nocturne compilant les différentes données de base a été réalisée.

Ces cartes, disponibles pour chaque période de référence, permettent de disposer d'un état des lieux complet du climat actuel et futur du canton de Genève, selon le scénario RCP 8.5.

Les cartes diurnes et nocturnes se présentent de manière similaire, mais considèrent en revanche des indicateurs différents.



Résultat de la modélisation, situation nocturne à 4h, température à 2 m du sol (°C)



La carte de la situation diurne présente deux paramètres : la température réelle et la température physiologique équivalente (PET) pour évaluer la situation bioclimatique du canton et son évolution.



La carte de la situation nocturne se concentre principalement sur d'autres paramètres essentiels de nuit, soit la température réelle, les îlots de chaleur, les débits d'air froid et la vitesse du vent pour évaluer le niveau de charge thermique nocturne dans le canton.

ANALYSE

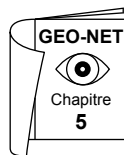
Actuellement, le canton connaît davantage de journées que de nuits tropicales. Ces dernières surviennent principalement lors de situations autochtones, à savoir lorsque le ciel est clair et le vent faible ou nul. Entre juin et août, jusqu'à un tiers des nuits sont tropicales, avec des différences de température marquées entre la périphérie et la zone dense de peuplement où le thermomètre ne descend pas en dessous de 20°C. Cet air ambiant surchauffé cause alors un stress thermique sur l'organisme et affecte sa capacité à récupérer.

Rôle des différents espaces

Selon leurs localisations et leurs caractéristiques, les espaces du canton ont, d'une part, des incidences très différentes sur le climat, avec des espaces verts jouant un rôle plus ou moins marqué d'espace de compensation, et des espaces d'action qui subissent un stress thermique différencié. D'autre part, leur rôle et leur importance peuvent sensiblement varier entre le jour et la nuit. Par exemple, les espaces verts du centre-ville ont une grande importance la journée en raison de leur forte proportion d'arbres apportant ombre et fraîcheur. En revanche, ils n'ont pas d'influence notable la nuit en tant qu'espace de compensation thermique. A l'inverse, les espaces ouverts non imperméables, tels que les terres arables et les prairies, se réchauffent fortement durant la journée et ne constituent pas des espaces frais dans lesquels la population peut trouver refuge en cas de fortes chaleurs. Par contre, ils se refroidissent très vite et génèrent ainsi des courants d'air froid bénéfiques pour la régulation du climat urbain.

Le diagnostic démontre encore l'effet d'obstruction bien réel des bâtiments et des structures végétales qui modifient autant la température de l'air que les vents.

B CARTES D'ANALYSE CLIMATIQUE NOCTURNE



Débit d'air froid dans les espaces de compensation

DESCRIPTION

Les paramètres climatiques de la situation nocturne actuelle et future sont résumés dans deux représentations cartographiques, l'une pour la période de référence P0 (1981-2010) et l'autre pour la période P1 (2020-2049), en se basant sur un horizon de développement allant jusqu'en 2035 (cf. page 8).

Les cartes d'analyse climatique nocturne illustrent, pour l'ensemble du canton, à 4 h du matin lors d'une nuit d'été autochtone, les paramètres suivants : les processus d'air froid, la direction des vents, les zones de processus, de génération ou d'impact de l'air froid. Elles permettent également de modéliser l'effet d'îlot de chaleur urbain et le débit d'air froid, ainsi que l'effet d'îlot de chaleur dans l'espace d'action et le débit d'air froid dans les espaces de compensation.

En dehors du canton, les résultats de la modélisation sont moins détaillés et ne permettent pas une analyse approfondie. D'autres couches cartographiques peuvent être également activées, telles que les bâtiments et les eaux (surfaces et alentours).



Les cartes d'analyse climatique nocturne mesurent et modélisent l'effet d'îlot de chaleur dans les zones d'action et le débit d'air froid dans les espaces de compensation. Elles permettent ainsi de différencier les zones du territoire :

- en fonction de l'intensité du phénomène d'îlot de chaleur pour les espaces d'action
- selon l'importance du débit d'air froid pour les espaces de compensation.

ANALYSE

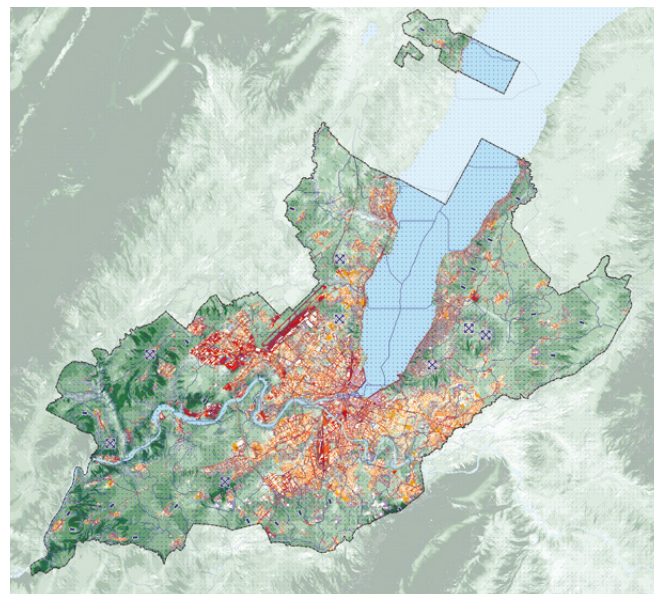
Les cartes mises à disposition permettent de mettre en évidence deux facteurs essentiels en termes de climat nocturne, à savoir les îlots de chaleur et le débit d'air froid.

Phénomène d'îlot de chaleur dans l'espace d'action

Dans l'espace d'action genevois, l'effet de surchauffe nocturne s'accroît avec le temps et la densification prévue jusqu'en 2035.

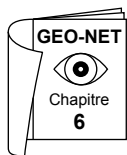
Les modélisations réalisées mettent en évidence de précieuses informations quant au régime de ventilation et aux débits d'air froid. Dans le canton, la moitié de la surface bâtie n'est pas une zone d'impact de l'air froid, un fait qui explique en partie l'effet d'îlot de chaleur particulièrement prononcé dans les zones les plus denses. Dans ces zones, les espaces ouverts remplissent des fonctions essentielles en termes de régulation climatique nocturne, grâce à la création de courants d'air froid, avec des effets bénéfiques très localisés dénommés « vent de parc ». Dans la périphérie, le canton bénéficie d'une bonne aération, grâce à des couloirs libres en pente qui permettent l'écoulement d'air frais.

Dans la carte de la période P1, les débits d'air froid restent identiques à grande échelle. Dans les zones où un développement urbain est prévu, il est donc crucial de maintenir ces écoulements et d'offrir des espaces verts généreux participant à créer des brises locales et une meilleure ventilation.



Carte d'analyse climatique nocturne pour la période 2020-2049, avec illustration du phénomène d'îlot de chaleur et les débits d'air froid

CARTES INDICATIVES DE PLANIFICATION



DESCRIPTION

Les cartes indicatives de planification amènent une meilleure compréhension de l'évolution future du climat diurne et nocturne. Elles mettent en lumière les zones importantes pour la régulation de ce dernier et les périmètres où la situation doit être prioritairement améliorée, grâce à des mesures ciblées.

Les cartes intègrent les développements prévus jusqu'en 2035 et rendent compte des valeurs diurnes et nocturnes obtenues lors d'une situation météorologique estivale autochtone, où le ciel est clair et le vent faible ou nul.

Les cartes indicatives de planification mettent ainsi en avant deux indicateurs importants pour intégrer la question bioclimatique dans la planification urbaine, à savoir :

- L'importance bioclimatique des espaces de compensation, de très grande à aucune selon l'influence de l'espace vert ou ouvert sur la ventilation urbaine et le confort bioclimatique.
- La situation bioclimatique des espaces d'action, de très favorable à très défavorable en fonction du stress thermique ressenti dans l'espace urbain, soit les zones de peuplement et de circulation. Sur le site du SITG, l'espace d'action est décomposé en différentes couches représentant les places et parkings, les rues et l'espace urbain.

ESPACES

DE COMPENSATION

D'ACTION

Importance bioclimatique

Situation bioclimatique

Très grande

Très favorable

Grande

Favorable

Moyenne

Moyenne

Faible

Défavorable

Aucune

Très défavorable



La carte diurne montre la charge bioclimatique du territoire. Elle met en avant la charge thermique élevée de l'espace d'action et l'importance des espaces verts comme espaces refuges.



La carte nocturne illustre les fonctions et les processus d'échange d'air dans toute la zone d'étude. Elle identifie ainsi les portions de l'espace d'action où l'effet d'îlot de chaleur est réel et les espaces verts et ouverts de compensation qui génèrent des courants d'air froid.

ESPACES D'ACTION ET DE COMPENSATION

Espace d'action :

Zone aménagée ou destinée à l'aménagement (zones de peuplement et de circulation) dans laquelle un stress bioclimatique peut se produire.

Espace de compensation :

Espace ouvert ou vert qui contribue à la réduction ou à l'élimination de la charge thermique de l'espace d'action et qui peut offrir, de par sa situation bioclimatique favorable en journée, un îlot de fraîcheur pour la population.

ANALYSE

Importance bioclimatique des espaces de compensation

Les espaces verts qui s'étendent sur le canton sont des espaces de compensation froids dont l'effet sur le climat dépend de nombreux facteurs: localisation, épaisseur de l'espace, présence d'arbres, surface, etc. Les plus vastes et/ou les plus proches peuvent apporter un soulagement au moins localement pour la population en quête de fraîcheur et constituer ainsi des lieux de retraite importants. Les grandes zones forestières ont un faible impact sur le climat urbain en raison de leur localisation périphérique. Néanmoins, elles représentent de précieuses zones de décharge pour la population et ont un rôle central dans la production d'air frais, riche en oxygène et moins pollué.

Quant aux espaces bleus, soit le lac, les fleuves et rivières, ils possèdent également une capacité thermique différenciée en fonction de la température de l'eau notamment. S'ils créent généralement des courants d'air agréables, tous les plans d'eau n'ont pas forcément une influence favorable sur le climat urbain. En effet, en raison de leur forte absorption du rayonnement, ils peuvent même avoir une température nocturne plus élevée que celle de la zone environnante.



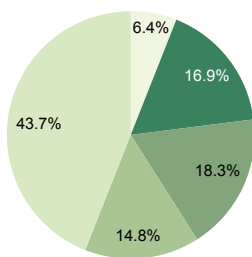
L'extrait de la carte ci-dessus montre le caractère diurne de zone de refuge des parcs urbains, tels que le cimetière de Saint Georges ou le parc des Bastions à l'horizon 2020 – 2049. Très importants la journée pour le confort bioclimatique de la population, ils n'ont en revanche pas de rôle particulièrement bénéfique pour le climat urbain nocturne, car ils ne soutiennent pas la ventilation de ces portions de ville denses soumises à un fort effet d'îlot de chaleur.

Importance bioclimatique

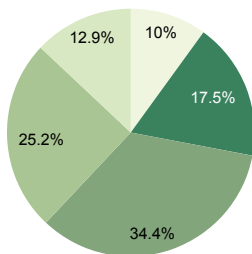


Les espaces verts ayant un bioclimat diurne favorable ont une très grande importance bioclimatique s'ils sont situés à distance de marche des zones d'habitation. En effet, ils offrent facilement ombre et fraîcheur en étant bien plus immédiatement accessibles que les forêts en lisière du tissu urbain.

Près de 15% des espaces verts ont une importance bioclimatique moyenne et donc, un potentiel de valorisation élevé.



Un peu plus de la moitié des espaces verts ont une importance bioclimatique élevée à très élevée durant la nuit. Il s'agit notamment de vastes terres arables qui se refroidissent plus particulièrement la nuit et qui transportent de grandes quantités d'air froid dans la zone de peuplement plus chaude.



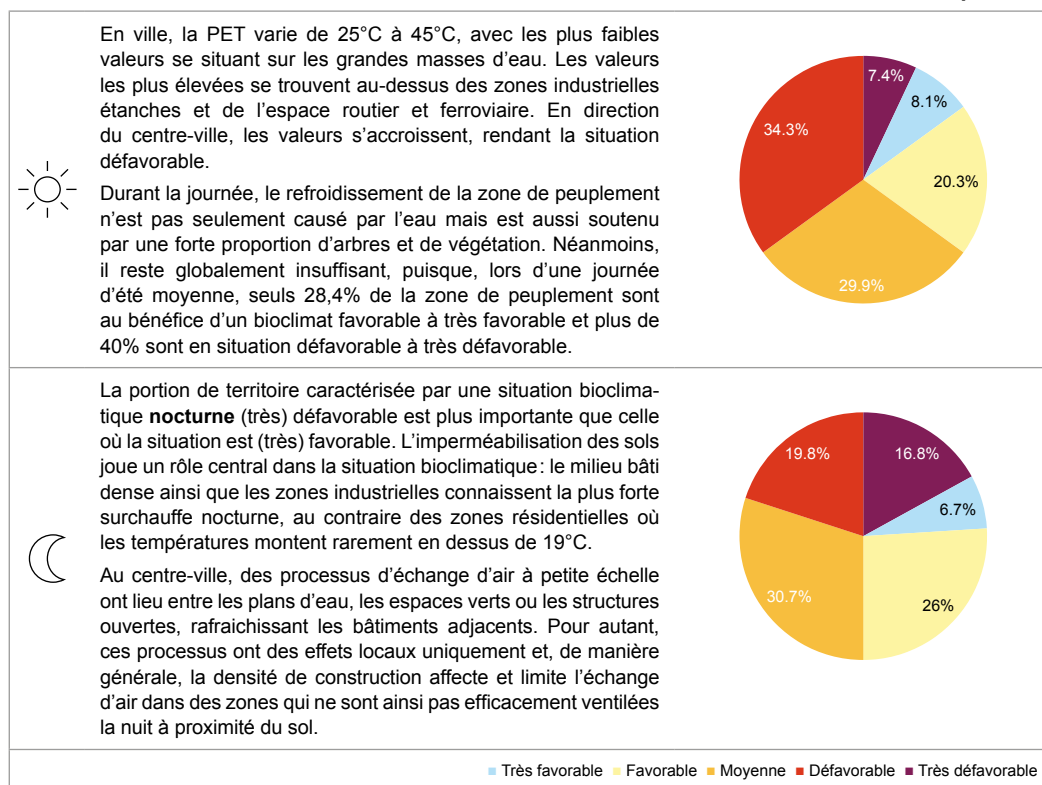
■ Très grande ■ Grande ■ Moyenne ■ Faible ■ Aucune

Situation bioclimatique de la zone de peuplement

L'ampleur de l'écart de température entre le jour et la nuit et entre les différentes zones du canton dépend principalement de la taille de la zone bâtie, la densité des bâtiments, l'influence du relief, la présence d'eau et d'espaces verts. De manière identique, la PET (ou charge thermique) n'augmentera pas uniformément dans le canton et la hausse sera plus grande et fortement ressentie dans les zones les plus densément bâties et minéralisées (zones industrielles).

A noter encore que, dans certaines zones de l'agglomération, de grandes différences en matière de situation bioclimatique se produisent à petite échelle et dans des espaces très restreints.

Situation bioclimatique



RECOMMANDATIONS

Les cartes climatiques constituent un outil adapté et efficace, sur lequel les aménagistes et concepteurs des milieux bâtis doivent s'appuyer pour proposer des projets résilients et adaptés au réchauffement climatique. La première des recommandations est donc de développer le réflexe d'utiliser les cartes durant la conception de projets de développement urbain de toutes tailles, afin de se donner les moyens de bien comprendre la situation climatique et bioclimatique du canton de la zone dans laquelle l'on se trouve.

En se basant sur l'interprétation de la situation bioclimatique de l'espace d'action et l'importance bioclimatique des espaces verts et ouverts donnée dans les cartes indicatives de planification, des recommandations générales peuvent être émises.

- Premièrement et de manière évidente, il est nécessaire de préserver les espaces de compensation et d'en aménager de nouveaux, afin d'atténuer les épisodes de surchauffe urbaine et leurs impacts sur le confort et la santé de la population.
- Deuxièmement, il existe un fort potentiel d'amélioration de la situation bioclimatique dans les zones les plus denses du canton. C'est là où il faut prendre des mesures en priorité, afin de limiter le phénomène d'îlot de chaleur, aider la ville à se rafraîchir et préserver le bien-être de la population, notamment la nuit.

Le tableau ci-dessous, issu de la légende des cartes, résume les recommandations principales qui peuvent être édictées pour la situation et l'importance bioclimatiques.

Situation bioclimatique



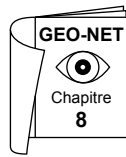
<p>Le bioclimat favorable de l'espace d'action doit être maintenu, voire renforcé</p>	<p>Des mesures pour améliorer le bioclimat de l'espace d'action sont nécessaires et prioritaires</p>
<p>Le bioclimat est confortable et agréable, car la ventilation est satisfaisante et il n'y a pas de stress thermique</p>	<p>L'espace d'action a un bioclimat qui péjore le confort de la population. Des mesures doivent être prises en priorité pour réduire l'effet d'îlot de chaleur, comme l'augmentation de la végétalisation et la désimperméabilisation des sols</p>

Importance bioclimatique



<p>L'espace vert est important et favorable à un bioclimat agréable et offre un espace refuge à la population. Il doit être préservé</p>	<p>L'espace vert n'a pas d'incidence significative sur le climat urbain ou est localisé en périphérie. S'il est au centre, des mesures doivent être prises pour améliorer son importance bioclimatique</p>
<p>Cet espace doit être maintenu et renforcé car il joue un rôle important dans la ventilation, le bilan et la régulation thermique nocturne du climat</p>	<p>Cet espace ne remplit pas de fonction bioclimatique particulière. Aucune recommandation</p>

Couvrant l'ensemble du territoire du canton, les cartes climatiques sont la nouvelle référence genevoise à l'attention de tous les métiers acteurs de l'aménagement du territoire, qu'ils proviennent du giron institutionnel ou privé. Fruit d'une analyse climatique complète et d'une grande diversité de données, elles sont un outil adapté pour évaluer le territoire et les projets de développement à venir, sous l'angle bioclimatique.



MESURES FAVORABLES AU MICROCLIMAT URBAIN

La charge thermique estivale des villes et agglomérations est importante et les épisodes de fortes chaleurs vont augmenter ces prochaines années. Pour tenter de contenir le renforcement de la charge thermique et du stress induit/ressenti, il est essentiel de prendre des mesures d'aménagement pour préserver notamment les espaces verts importants pour le refroidissement nocturne et pour offrir de l'ombrage et de la fraîcheur en journée.

Concernant la lutte contre les îlots de chaleur, un catalogue de 19 mesures a été développé par GEO-NET. Ces dernières visent toutes le même but, à savoir réduire directement ou indirectement le stress thermique de la population dans les zones critiques et à améliorer la situation climatique genevoise.

Les mesures répondent aux trois enjeux centraux en matière de bioclimat urbain que sont :

- Le bien-être thermique dans l'espace extérieur
- L'amélioration de l'aération
- La réduction de la charge thermique à l'intérieur

Leur efficacité est décrite de manière qualitative et se renforce généralement si les mesures sont combinées.

Proportion de verdure

Les espaces verts alimentés en eau et riches en structures arborées, avec des arbres et des buissons, ont un effet positif sur le climat ambiant de par leur évaporation et augmentent la qualité du séjour de la population dans les espaces publics, grâce à l'ombre et la fraîcheur qu'ils procurent.

En comparaison avec les matériaux de construction urbains qui stockent la chaleur, les espaces verts et ouverts se refroidissent beaucoup plus rapidement la nuit et peuvent, au-delà d'une certaine taille, avoir un effet sur leur environnement proche en tant que zones de production d'air froid.

Dans la mesure du possible, la **proportion de verdure** dans la zone urbaine devrait ainsi être augmentée et les espaces ouverts en périphérie préservés de toute construction ou imperméabilisation.

Mesures d'ombrage

Pendant la journée les **mesures d'ombrage** (présence d'arbres) réduisent le stress thermique causé par la lumière directe du soleil. Les routes, sentiers pédestres, pistes cyclables ou parkings ombragés emmagasinent moins de chaleur que les surfaces imperméables exposées au rayonnement solaire. De grandes surfaces d'ombrage peuvent également atténuer l'effet d'îlot de chaleur nocturne et donc, la charge thermique des zones résidentielles adjacentes. Si les bâtiments peuvent également créer des effets d'ombrage sur les voies de circulation piétonnes notamment, l'effet rafraîchissant n'est pas aussi grand que ceux créés par des arbres.

Dans la mesure du possible il faut favoriser la présence de végétation qui offre fraîcheur et ombrage. Si l'augmentation de la canopée est une recommandation générale à suivre, elle n'est en revanche pas souhaitable sur de petits tronçons de route avec un trafic motorisé important, où les polluants doivent pouvoir être évacués. A noter encore qu'il est préférable d'opter pour des arbres à feuilles caduques à grande couronne qui supportent la chaleur et la sécheresse.

Construction adaptée au climat

L'adaptation des projets de construction aux changements climatiques est un levier majeur pour conjointement réduire le stress thermique diurne et ne pas affecter le refroidissement urbain nocturne.

Dans les projets de nouveaux bâtiments, différents critères peuvent être considérés sous l'angle bioclimatique, tels que l'**orientation du bâtiment** qui permet de réduire l'apport direct de chaleur et d'améliorer la ventilation de l'air et l'effet de refroidissement. Des mesures structurelles visant à améliorer le climat intérieur, telles que les toits et les façades végétalisées, les éléments d'ombrage ou la rénovation énergétique, peuvent également être mises en œuvre et offrent souvent des effets de synergie avec la consommation énergétique des bâtiments.

Les **matériaux de construction** jouent également un rôle au niveau de l'incidence du projet sur le climat urbain, avec des capacités thermiques très différentes. Celle du bois, par exemple, est plus faible que l'acier ou le verre et libère moins d'énergie dans l'air ambiant durant la nuit. En outre, l'effet d'albédo varie également, avec une réflexion du rayonnement solaire plus importante sur les surfaces claires et donc, un réchauffement moins marqué que sur des surfaces foncées. En résumé, l'utilisation de matériaux de construction appropriés est donc à promouvoir dans tout projet de nouvelle construction et éventuellement dans les projets de rénovations, selon les cas.

Densification ultérieure

L'adaptation des projets de construction aux changements climatiques est un levier majeur pour conjointement réduire le stress thermique diurne et ne pas affecter le refroidissement urbain nocturne.

Il convient de tenir compte des besoins d'une construction adaptée au climat. En règle générale, la densification verticale est la solution la moins polluante du point de vue du climat urbain. Afin de rendre la densification ultérieure aussi compatible que possible avec le climat, l'accent est mis sur ce qu'on appelle le double développement vers l'intérieur. L'objectif est de développer les réserves foncières dans la zone aménagée non seulement structurellement, mais aussi en vue d'une verdure urbaine. Ainsi, apparaissent également des interfaces avec l'urbanisme, l'aménagement des espaces ouverts, la protection de la nature et de l'air.

APPLICATION DES MESURES

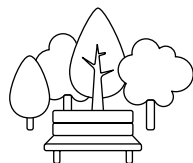
Les mesures favorables au microclimat urbain sont applicables à toutes les échelles d'aménagement.

Elles visent à intégrer correctement la question climatique dans la conception des projets de développement urbain, afin qu'ils répondent pleinement aux enjeux de confort urbain et de recherche d'une plus grande résilience du milieu urbain face aux changements climatiques.

Pour anticiper ces éléments, il est recommandé que les cahiers des charges des projets se réfèrent à l'analyse climatique et demandent à prendre en compte le diagnostic climatique actuel et futur de la zone concernée par le projet.

Exemples de mesures

Développer des synergies entre la gestion de l'eau, la biodiversité et le confort climatique dans les espaces ouverts



Végétaliser et ombrager les espaces ouverts (de l'espace rue, des parkings, des cours intérieures et des arrières cours)

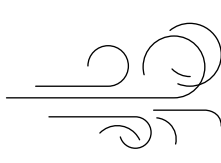
Créer, développer et optimiser des espaces verts publics variés dans l'environnement résidentiel et professionnel

Désimperméabiliser et concevoir des surfaces avec des matériaux adaptés (couleurs claires) dans l'espace extérieur

Maintenir et protéger les parcs, les espaces verts et les forêts existants

Protéger, étendre et créer des surfaces d'eau ouvertes et mobiles

Développer un maillage d'espace ouvert généreux entre le bâti et connecter les espaces verts pour favoriser la ventilation

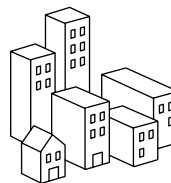
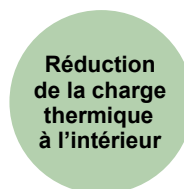


Positionner les bâtiments parallèlement aux flux d'air et/ou espaces libres et veiller à laisser suffisamment d'espace entre eux pour participer à l'effet de ventilation

Éviter de créer des obstacles structurels ou naturels afin de limiter les barrières d'échange d'air et saisir les opportunités de déconstruction pour recréer des flux

Protéger et créer un maillage d'espaces verts à forte importance bioclimatique pour maintenir et développer les flux d'air

Développer un habitat qui participe au confort climatique extérieur et tempère l'intérieur



Végétaliser les toits et les façades pour le confort intérieur et extérieur

Créer des effets d'ombrage pour des bâtiments grâce à de la végétation (arbres ou façades végétalisées). Protéger les bâtiments des rayonnements directs grâce à des mesures structurelles (balcons, verres adéquats)

Rénover, sous l'angle énergétique, les bâtiments pour limiter les émissions de gaz à effet de serre et de polluants

Optimiser les orientations des bâtiments et la localisation des pièces pour bénéficier d'un confort thermique également à l'intérieur

INFORMATIONS PRATIQUES

OÙ LES TROUVER ?

- ▶ Consultation interactive des cartes sur le site du SITG
<https://ge.ch/sitg/carte/climat>
- ▶ Accès au catalogue et à la commande des données sur le catalogue du SITG
<https://ge.ch/sitg/data/climat>

UTILES POUR QUI ?

- ▶ Aménagistes, planificateurs, ingénieurs, architectes
- ▶ Tous les corps de métier qui, de par les projets réalisés, impactent le climat en modifiant la nature des sols, l'écoulement de l'air et les effets d'ombrage notamment

COMMENT LES UTILISER ?

- ▶ Utilisables pour tous les types de projets (échelle, nature), si possible très en amont, afin de garantir la prise en compte de la composante climatique le plus tôt possible dans le processus de conception du projet

POUR QUEL USAGE ?

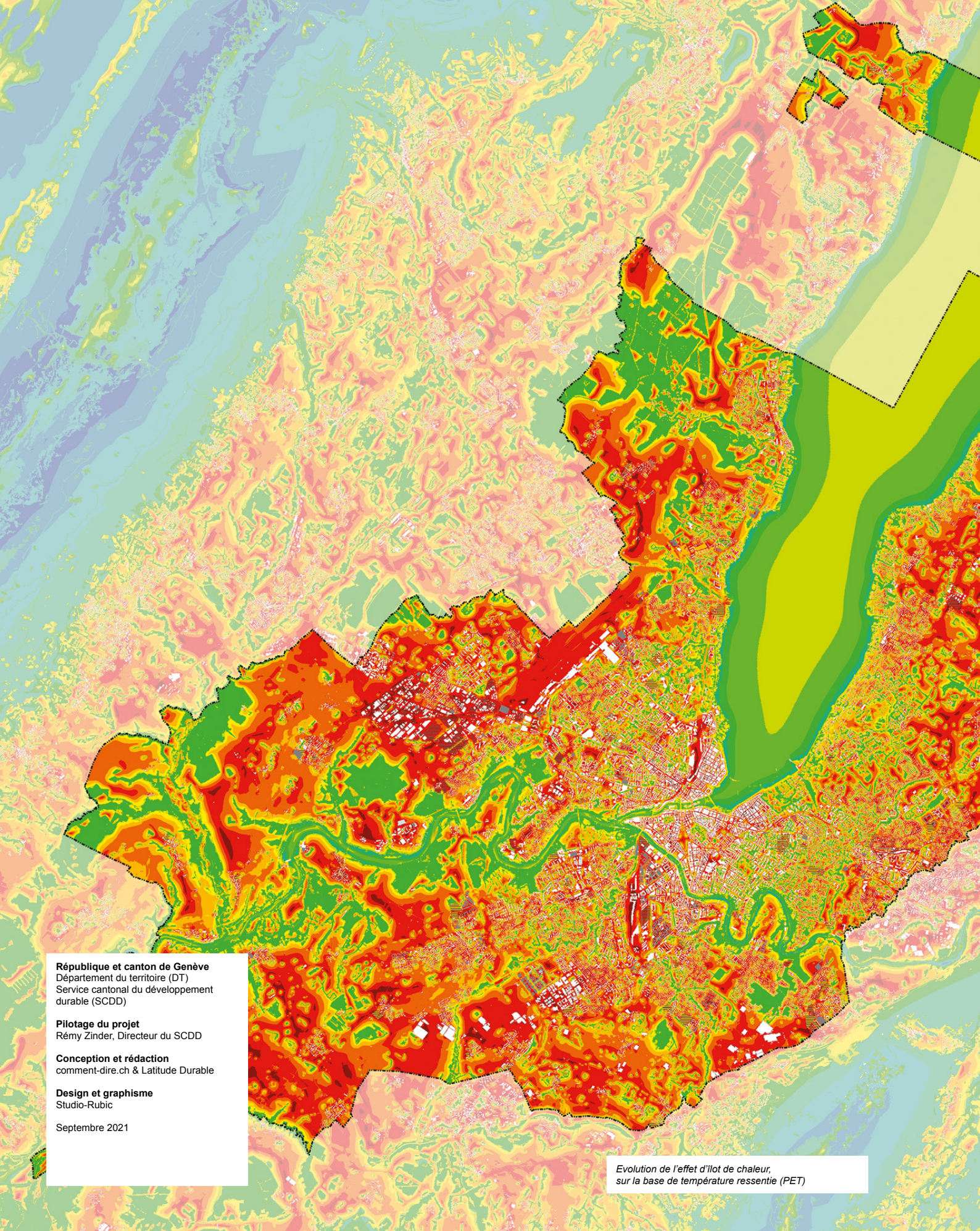
- ▶ Plan directeur cantonal
- ▶ Plans directeurs localisés (Plan directeur communal, plan directeur de quartier et plans directeurs des zones de développement industriel ou d'activités mixtes)
- ▶ Modification des limites de zones
- ▶ Plans localisés de quartier
- ▶ Infrastructures
- ▶ Autorisations de construire (y.c pour la création de nouveaux espaces publics ou la requalification d'existants)
- ▶ Concours

COMMENT VONT-ELLES ÉVOLUER ?

- ▶ Les données climatiques seront actualisées tous les 5 à 10 ans, en fonction de l'augmentation réelle des températures et des projets de développement urbain (nouveaux quartiers, densification ou requalification de sites)

RÉCAPITULATIF DES CARTES

Couches disponibles par carte		Périodes couvertes				
Situation diurne 14 h Situation nocturne 04 h		(1981-2010)	(2020-2049)	(2045-2074)	(2070-2099)	
CLIMAT - PARAMÈTRES CLIMATIQUES		Périodes 1981-2010 2020-2049 2045-2074 2070-2099				
DONNÉES CONTEXTUELLES	<input type="checkbox"/> Bâtiments existants					
	<input type="checkbox"/> Bâtiments planifiés/validés, <input checked="" type="checkbox"/> Bâtiments issus d'hypothèses d'implantation <input type="checkbox"/> Zone de développement/densification	-				
SITUATION DIURNE	Température réelle (°C) Température ressentie (PET) 					
SITUATION NOCTURNE	Température réelle (°C) Effet d'îlot de chaleur (écart en °C avec pelouses) Débit d'air froid (m³/[s*m]) Vitesse du vent (m/s) Flèches de vent, résolution 10 m (m/s) Flèches de vent, résolution 200 m (m/s) 					
CLIMAT - PRODUITS CARTOGRAPHIQUES						
CARTES D'ANALYSE CLIMATIQUE NOCTURNE		Processus d'air froid Flèches de vent, résolution 200 m (m/s) Zone de processus Génération d'air froid Zone d'impact de l'air froid Effet d'îlot de chaleur (écart en °C avec pelouses) Débit d'air froid des espaces de compensation (m³/[s*m]) 			-	-
CARTE INDICATIVE DE PLANIFICATION DIURNE	Espaces d'action : places, parkings et îlots ; rues ; espace urbain (situation bioclimatique) Espaces de compensation : espaces verts et ouverts (importance bioclimatique) 		-		-	-
CARTE INDICATIVE DE PLANIFICATION NOCTURNE		Processus d'air froid Zone de processus Génération d'air froid Zone impact de l'air froid Espaces d'action : places, parking et îlots ; rues ; espace urbain (situation bioclimatique) Espaces de compensation : espaces verts et ouverts (importance bioclimatique) 	-		-	-



République et canton de Genève
Département du territoire (DT)
Service cantonal du développement durable (SCDD)

Pilotage du projet
Rémy Zinder, Directeur du SCDD

Conception et rédaction
comment-dire.ch & Latitude Durable

Design et graphisme
Studio-Rubic

Septembre 2021

*Evolution de l'effet d'îlot de chaleur,
sur la base de température ressentie (PET)*