

Cahier 3

COOL CITY

ANNEXES

Mars 2019 – juin 2023



Impressum

Pilotes

Etat de Genève

- Office cantonal de l'agriculture et de la nature (OCAN):

Patrik Fouvry et Yves Kazemi
Rue des Battoirs 7 – 1205 Genève
nature.ocan@etat.ge.ch

- Direction de la durabilité et du climat (DDC):

Rémy Zinder et Delia Fontaine
Rue des Gazomètres 7 – CP 36 – 1211 Genève 8
durabilite-climat@etat.ge.ch

Référent Confédération suisse

- Office fédéral de l'environnement (OFEV):

Guirec Gicquel

Partenaires

- Université de Genève (UNIGE): Martin Schlaepfer
- Hes-so\\Genève, Haute école du paysage d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA): Reto Camponovo

Gestion de projet

- Latitude Durable: Maude Sauvain

Graphisme

- Chatty Ecoffey – atelier de graphisme

Site Web de la démarche

www.ge.ch/document/cool-city

FÉVRIER 2025

Pilote



Soutenu par



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Partenaires



h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

COOL CITY

- Identifier des mesures efficaces pour lutter contre les îlots de chaleur et maintenir des îlots de fraîcheur
- De la planification territoriale à l'action localisée, identification, tests et analyses de mesures de réduction de la chaleur urbaine ressentie à l'échelle des usagères et usagers de l'espace public

ANNEXES

Mars 2019 – juin 2023



Table des matières

1	Définitions	6
2	Bibliographie	10
2.1	Cahier 1	10
2.2	Cahier 2	12
2.3	Références complémentaires	14
3	Acronymes	16
4	Outils climatiques mobilisés par les projets pilotes	18
4.1	Exemples de cahiers des charges	18
	Espace public de Boissonnas – Du parking à l'oasis	18
	Cycle d'orientation de Sécheron – Oasis des cours d'école	19
	École primaire de Pont-Rouge – Une école jardin	19
	La goutte de Saint-Mathieu – Architecture et espaces publics	20
	Bus à haut niveau de service GVZ – Confort climatique et mobilités	21
4.2	Analyse des facteurs d'influence	22
	Espace public de Boissonnas – Du parking à l'oasis	22
	Cycle d'orientation de Sécheron – Oasis des cours d'école	28
	Bus à haut niveau de service GVZ – Confort climatique et mobilités	30
5	Méthodologie d'identification des quartiers prioritaires – UNIGE	34
6	Descriptif de la méthodologie Microclimamètre - HEPIA	38
6.1	Résumé	38
6.2	Méthodologie en rapport avec le dispositif de mesure	38
6.3	Méthodologie en rapport avec les relevés des mesures	44

7	Relevés de terrain et analyse des facteurs d'influence - HEPIA	46
7.1	Clés de lecture	46
7.2	Indicateurs	48
7.3	Synthèse des mesures et résultats	49
	Façade	50
	Eau	51
	Sol	52
	Ombrage	53
	Contexte urbain	54
7.4	Cas d'étude	55
	La façade et son interaction avec l'environnement	56
	Eau	63
	Sol	68
	Ombrage naturel et artificiel	72
	Contexte urbain	80

Les livrables du rapport final de la démarche



1

Définitions



Albédo: L'albédo d'une surface représente sa capacité à réfléchir le rayonnement solaire incident. Il s'exprime par le rapport entre le rayonnement solaire reçu et réfléchi. Sa valeur varie entre 0 et 1. Un albédo de 0 signifie qu'aucun rayonnement n'est réfléchi, alors qu'un albédo de 1 signifie que l'entier du rayonnement est réfléchi¹. Plus la valeur est basse, plus la surface aura tendance à absorber de la chaleur.

Charge thermique: La charge thermique représente la quantité de chaleur emmagasinée par une surface, un bâtiment, un quartier ou l'intégralité de la ville. La journée, le rayonnement solaire « charge » thermiquement les matériaux. La charge thermique représente l'intégralité de cette énergie. Une entité (surface, quartier...) qui accumule une grande charge thermique durant la journée, est susceptible de participer davantage à l'effet d'îlot de chaleur urbain en relâchant cette chaleur la nuit².

Confort climatique / thermique: En intérieur, le confort thermique se concentre principalement sur la température de l'air, car les surfaces intérieures (murs, plafonds, etc.) sont généralement proches de la température de l'air. En revanche, en extérieur, plusieurs facteurs sont pris en compte, tels que le rayonnement solaire, le rayonnement thermique des surfaces, l'humidité de l'air et la vitesse du vent. On parle alors de confort climatique. Un confort climatique optimal correspond à un équilibre entre les besoins individuels et les paramètres environnementaux, créant une ambiance où l'individu peut atteindre un équilibre thermique avec son environnement avec un minimum d'effort³.

Convection: La convection est un mode de transfert de chaleur qui se produit lorsqu'un fluide chaud (air, eau) se déplace et fait circuler la chaleur avec lui⁴.

Espace ouvert: Espace non construit (surfaces privées et publiques), par exemple les parcs, les jardins, les places, les forêts, les zones agricoles, etc⁵. Selon la stratégie cantonale des espaces publics, l'espace public présente de multiples facettes: un lieu ouvert, accessible à toutes et tous et gratuit, en milieu urbain ou villageois. Une mixité d'usages et de fonctions, variables dans l'espace et/ou dans le temps. Les surfaces soumises à autorité publique: le domaine public cantonal et communal. Les espaces privés à vocation publique et/ou accessibles au public, ouverts ou bâtis (p. ex. gares). Les rives urbaines du lac et des cours d'eau. Les parcs, espaces verts, forêts urbaines,

1 Adaptation climatique et projet urbain, Guide méthodologique à destination des collaborateurs et collaboratrices de l'État de Genève, République et canton de Genève, Département du territoire, 2024, <https://www.ge.ch/document/36136/telecharger>

2 Idem

3 Idem

4 Idem

5 Conception cantonale du paysage, Cahier 1 volet stratégique, République et canton de Genève, Département du territoire, 2024

les chemins de randonnées pédestres. Un espace qui s'insère dans un tissu urbain et qui est connecté à un réseau constitué d'autres espaces en relation avec le bâti et le paysage⁶.

Gaz à effet de serre: Constituants gazeux de l'atmosphère, tant naturels qu'anthropiques, qui absorbent et émettent un rayonnement à des longueurs d'onde données du spectre du rayonnement terrestre émis par la surface de la Terre, l'atmosphère et les nuages. C'est cette propriété qui est à l'origine de l'effet de serre. La vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), l'oxyde nitreux (N₂O), le méthane (CH₄) et l'ozone (O₃) sont les principaux gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère terrestre. Il existe également des gaz à effet de serre résultant uniquement des activités humaines, tels que les hydrocarbures halogénés et autres substances contenant du chlore et du brome, dont traite le Protocole de Montréal. Outre le CO₂, le N₂O et le CH₄, le Protocole de Kyoto traite, quant à lui, d'autres gaz à effet de serre tels que l'hexafluorure de soufre (SF₆), les hydrofluorocarbones (HFC) et les hydrocarbures perfluorés (PFC)⁷.

Îlot de chaleur urbain (ICU): L'îlot de chaleur urbain correspond à la différence de température de l'air entre une zone urbaine et ses environs ruraux et forestiers. Cette différence de température est plus importante la nuit, ce qui témoigne de la difficulté de la ville à dissiper la chaleur accumulée durant la journée⁸.

Inertie thermique: L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à stocker de la chaleur. On parle d'inertie faible lorsque le matériau stocke peu de chaleur et d'inertie forte lorsqu'il en stocke beaucoup. Un matériau à faible inertie se réchauffe et se refroidit très rapidement tandis qu'un matériau à forte inertie se réchauffe et se refroidit lentement⁹.

Jour tropical: Un jour tropical est considéré, en Suisse, comme une journée lors de laquelle la température maximale de l'air dépasse les 30°C¹⁰.

Microclimamètre: Développé par l'HEPIA, le microclimamètre se présente sous la forme d'un sac à dos léger et compact qui se porte facilement lors de parcours climatiques réalisés à la vitesse et au niveau du piéton dans n'importe quel endroit en ville. Il est composé de plusieurs capteurs de températures ambiantes (T) et rayonnantes (Tr), humidité (HR) et mouvements d'air (vent), rayonnement solaire (Gh), environnement visuel hémisphérique (vue) dont sont extraits certains indicateurs urbains (sky view), mais aussi la qualité de l'air (CO₂, NO_x, Ozone, PM_{2,5-10}), le bruit et la bande son. Il comporte également une plateforme inertielle, un GPS et un système d'enregistrement des données.

6 Faire ensemble l'espace public, République et canton de Genève, Département du territoire, 2022, <https://www.ge.ch/dossier/faire-ensemble-espace-public>

7 Planton S. (coord.), Glossaire, Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, GIEC, 2013, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_FR.pdf

8 Adaptation climatique et projet urbain, Guide méthodologique à destination des collaborateurs et collaboratrices de l'État de Genève, République et canton de Genève, Département du territoire, 2024, <https://www.ge.ch/document/36136/telecharger>

9 Idem

10 Idem

Microclimat urbain (ou intra-urbain): Le microclimat urbain se réfère aux conditions climatiques spécifiques qui se forment à l'intérieur d'une zone urbaine en raison des caractéristiques propres à l'environnement bâti et des activités humaines. Les matériaux de construction, la densité des bâtiments, les espaces verts, la circulation automobile, les émissions de chaleur et d'autres facteurs modifient les caractéristiques thermiques, hydriques et aérologiques de la zone urbaine¹¹.

Moyenne des températures radiantes (MRT): La MRT est une température intervenant dans le calcul du bilan thermique d'un corps avec son environnement. Elle permet de synthétiser en une seule température la quantité de chaleur que le corps humain reçoit de la part de son environnement proche par rayonnement¹².

Nuit tropicale: Une nuit tropicale est considérée en Suisse, comme une nuit lors de laquelle la température minimale ne descend pas en dessous de 20°C¹³.

PET: La température physiologique équivalente (PET) est un indicateur qui utilise un modèle de bilan thermique du corps humain intégrant les données de température, rayonnement, humidité et vents ainsi que les caractéristiques du sujet tel que l'activité, l'habillement, l'âge et le sexe. Il calcule une température équivalente à la sensation de chaleur dans des conditions environnementales contrôlées, sans rayonnement ni vent¹⁴.

RCP: Les *Representative Concentration Pathways*, ou profils représentatifs d'évolution de concentration en français, sont des scénarios d'émissions des futures trajectoires possibles des émissions anthropiques de gaz à effet de serre et d'aérosols¹⁵.

Scénarios RCP: Il s'agit de scénarios d'évolution de la concentration des gaz à effet de serre liés au climat dans l'atmosphère. Les scénarios du RCP remplacent les scénarios du SRES qui étaient basés sur des facteurs socio-économiques, dans le cinquième rapport d'évaluation du « Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat » (GIEC) des Nations unies. Le chiffre dans la désignation RCP 2.6 (Scénario « Protection du climat »), RCP 4.5 ou RCP 8.5 (Scénario « Poursuite de la politique actuelle ») indique le forçage radiatif supplémentaire en W/m² d'ici l'an 2100 par rapport au niveau préindustriel au milieu du 19^e siècle.

Service écosystémique: Il s'agit des bénéfices que les humains retirent des écosystèmes sans qu'ils aient à agir pour les obtenir¹⁶.

Stress thermique: Le phénomène de stress thermique / bioclimatique se réfère à la chaleur reçue en excès par rapport à celle que le corps peut tolérer sans trouble physiologique¹⁷.

11 Idem

12 Idem

13 Idem

14 Idem

15 Que sont les scénarios d'émissions ?, Office fédéral de météorologie et de climatologie, <https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/changement-climatique-et-impacts/principes-de-base-du-climat/que-sont-les-scenarios-d-emissions-.html>

16 Adaptation climatique et projet urbain, Guide méthodologique à destination des collaborateurs et collaboratrices de l'État de Genève, République et canton de Genève, Département du territoire, 2024, <https://www.ge.ch/document/36136/telecharger>

17 Idem

Température physiologique ressentie: Pour faciliter l'interprétation des différentes grandeurs qui influencent le confort climatique d'un individu, il existe plusieurs indicateurs qui les intègrent et permettent de déterminer ensuite une température physiologique équivalente. Il s'agit d'une température correspondante à l'intérieur d'un bâtiment qui donnerait une sensation thermique comparable. Il existe plus d'une centaine d'indicateurs; les plus couramment utilisés sont la PET et l'UTCI (voir définitions)¹⁸.

UTCI: L'indice de température climatique universel (UTCI) est un indice permettant d'évaluer la température ressentie par une personne dans un environnement thermique complexe. Il intègre les grandeurs physiques telles que la vitesse du vent, l'humidité, la MRT, le rayonnement solaire et la température de l'air. Cet indice permet ainsi de prendre en compte l'ensemble des échanges thermiques entre l'être humain et son environnement en extérieur¹⁹.

18 Idem

19 Idem

2

Bibliographie

 Cahier 1:
Rapport
final de la
démarche

2.1

Cahier 1

Confédération suisse

- ▶ Adaptation aux changements climatiques en Suisse, Objectifs, défis et champs d'action, Office fédéral de l'environnement, Premier volet de la stratégie du Conseil fédéral du 2 mars 2012
- ▶ Adaptation aux changements climatiques en Suisse, Plan d'action 2020–2025, Office fédéral de l'environnement, 2020
- ▶ Adaptation aux changements climatiques, Programme Pilote, Office fédéral de l'environnement, 2013–2023, <https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/mesures/pak.html>, consulté en octobre 2024
- ▶ Adaptation aux changements climatiques, Programme Pilote, Connaissance acquises lors de la phase 2, Office fédéral de l'environnement, 2023, <https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/mesures/pak/projekte-phase2.html>, consulté en octobre 2024
- ▶ CH 2018, Scénarios climatiques pour la Suisse, Office fédéral de météorologie et de climatologie, <https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/changement-climatique-et-impacts/scenarios-climatiques-suissees.html>, consulté en octobre 2024
- ▶ Changement climatique, Office fédéral de météorologie et de climatologie, <https://www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique.html>, consulté en octobre 2024
- ▶ Climat CH2025, Office fédéral de météorologie et de climatologie, <https://www.meteosuisse.admin.ch/portrait/recherche-et-collaboration/projets/2023/climat-ch2025.html>, consulté en octobre 2024
- ▶ Évolution du climat observée en Suisse, Office fédéral de météorologie et de climatologie, <https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/changement-climatique-et-impacts/scenarios-climatiques-suissees/evolution-du-climat-observee-en-suisse.html>, consulté en octobre 2024
- ▶ Impulsion pour une adaptation de la Suisse aux changements climatiques, Conclusions de 31 projets pilotes sur l'adaptation aux changements climatiques, Office fédéral de l'environnement, 2017

- ▶ Impulsion pour une adaptation de la Suisse aux changements climatiques, Conclusions de 50 projets pilotes de la seconde phase du programme pilote adaptation aux changements climatiques, Office fédéral de l'environnement, 2023
- ▶ Quand la ville surchauffe, Bases pour un développement urbain adapté aux changements climatiques, Connaissance de l'environnement, No 1812: 109 S, Office fédéral de l'environnement (éd.), 2018
- ▶ Que sont les scénarios d'émissions ? Office fédéral de météorologie et de climatologie, <https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/changement-climatique-et-impacts/principes-de-base-du-climat/que-sont-les-scenarios-d-emissions-.html>, consulté en novembre 2024
- ▶ Solutions du programme pilote adaptation aux changements climatiques, Résumé phase 2, Office fédéral de l'environnement, 2023
- ▶ Visites sur site : une deuxième édition réussie, Office fédéral de l'environnement, 2022, https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/nouvelles-et-evenements/newsdetail.html/fr/nccs/2022/02/site_visit_2.html, consulté en octobre 2024

République et canton de Genève

- ▶ Adaptation climatique et projet urbain, Guide méthodologique à destination des collaboratrices et collaborateurs de l'État de Genève, République et Canton de Genève, Département du territoire, 2024, <https://www.ge.ch/document/36136/telecharger>
- ▶ Analyse climatique du canton de Genève, Cartographies à l'attention des actrices et acteurs de l'aménagement du territoire, Guide d'utilisateur, République et canton de Genève, Département du territoire, 2021
- ▶ Cartes bioclimatiques Genève, République et canton de Genève, Département du territoire, <https://www.ge.ch/actualite/cartes-bioclimatiques-geneve-18-12-2020>, consulté en octobre 2024
- ▶ Cartes climatiques du canton de Genève, SITG, République et canton de Genève, Département du territoire, <https://ge.ch/sitg/actualites/analyse-climatique-du-canton-de-geneve>, consulté en octobre 2024
- ▶ Feuille de route 2023-2028, République et canton de Genève, Département du territoire, 2024
- ▶ Mon climat, République et canton de Genève, Département du territoire, <https://www.ge.ch/teaser/mon-climat/mon-climat>, consulté en octobre 2024
- ▶ Plan climat cantonal 2030 – 2^e génération, adopté par le Conseil d'Etat le 14 avril, République et canton de Genève, Département du territoire, 2021, <https://www.ge.ch/document/24973/telecharger> et plus spécifiquement: Fiche 4.5 du Plan climat 2030 — Prévenir et lutter contre les îlots de chaleur en milieu urbain
- ▶ Plan climat cantonal 2030, République et canton de Genève, Département du territoire, <https://www.ge.ch/dossier/durabilite-climat/climat/plan-climat-cantonal-2030>, consulté en octobre 2024

Ville de Genève

- Le changement climatique à Genève, Ville de Genève, Service d'urbanisme, <https://www.geneve.ch/actualites/dossiers-information/changement-climatique-geneve/sentier-climatique>, consulté en octobre 2024

Autres

- Cartographier les îlots de fraîcheur en ville, Agence Parisienne du Climat, <https://www.adaptaville.fr/cartographie-des-ilots-de-fraicheur-urbain>, consulté en octobre 2024
- World Health Organization (WHO), 2016. Urban Green Spaces and Health: A review of evidence. Geneva: World Health Organization. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345751/WHO-EURO-2016-3352-43111-60341-eng.pdf> consulté en janvier 2025
- GIEC, <https://www.ipcc.ch/languages-2/francais/>, consulté en octobre 2024
- Îlots de chaleur: Agir dans les territoires pour adapter les villes au changement climatique, CEREMA, <https://www.cerema.fr/fr/actualites/ilots-chaleur-agir-territoires-adapter-villes-au-changement>, consulté en octobre 2024
- Les arbres rafraichissent les villes. Mais à quel point? La Forêt, Le mensuel suisse de la forêt et du bois, numéro 7-8/24, 2024
- MERA – Mesure de l'effet rafraichissant des arbres, LECEA, laboratoire énergie, climat, environnement & architecture, <https://leea.hesge.ch/index.php?article41/mera-mesure-leffet-rafraichissant-arbres>, consulté en octobre 2024
- Rafraîchir les villes: des solutions variées, ADEME, ADEME Editions, 2021



2.2 Cahier 2

République et canton de Genève

- Bernex - Goutte de Saint-Mathieu <https://www.ge.ch/dossier/nouveaux-quartiers/projets-quartier-etude/bernex-goutte-saint-mathieu>
- BHNS-GVZ: expérimentations autour d'un tracé de bus, République et canton de Genève, Département du territoire, <https://www.ge.ch/dossier/concertation/demarches-terminees/bhns-gvz-experimentations-autour-trace-bus>
- BHNS-GVZ: principes d'aménagement généraux, République et canton de Genève, Département de la santé et des mobilités, <https://www.ge.ch/blog/bhns-gvz/bhns-gvz-principes-amenagement-generaux-28-04-2023>, consulté en octobre 2024
- Blog BHNS-GVZ, République et canton de Genève, Département de la santé et des mobilités, <https://www.ge.ch/blog/bhns-gvz>
- Cool City au cycle d'orientation de Sécheron, République et canton de Genève, Département du territoire, <https://www.ge.ch/dossier/faire-ensemble-espace-public/autres-projets-espaces-publics/cool-city-au-cycle-orientation-secheron>
- Cool City, République et canton de Genève, Département du territoire, <https://www.ge.ch/cool-city/projet-cool-city>

- ▶ Inauguration de l'espace public éphémère « Cool City Boissonnas », République et canton de Genève, Département du territoire, <https://www.ge.ch/evenement/inauguration-espace-public-ephemere-cool-city-boissonnas>
- ▶ Luttes contre la surchauffe au cycle de Sécheron, République et canton de Genève, Département du territoire, <https://www.ge.ch/dossier/concertation/demarches-terminees/luttes-contre-surchauffe-au-cycle-secheron>
- ▶ Plan climat cantonal Genève 2030, République et canton de Genève, Département du territoire, <https://www.ge.ch/dossier/reussir-transition-ecologique/elan-generalise/plan-climat-cantonal-geneve-2030>
- ▶ Projet de loi 13074, République et canton de Genève, Grand conseil, 2022, <https://ge.ch/grandconseil/m/memorial/seances/020408/44/13/> et <https://ge.ch/grandconseil/data/texte/PL13074.pdf>
- ▶ Rapport du jury de concours d'architecture « Goutte St-Mathieu » à Bernex, République et canton de Genève, Département du territoire, <https://espazium.s3.eu-central-1.amazonaws.com/files/2021-11/goutte-mathieu-rapport-du-jury.pdf>
- ▶ Rivières, République et canton de Genève, Département du territoire, <https://www.ge.ch/dossier/praille-acacias-vernets-pav/tout-ce-qu-il-faut-savoir-pav/rivieres>

Ville de Lancy

- ▶ École de Pont-Rouge, Ville de Lancy, <https://www.lancy.ch/annuaire/ecole-de-pont-rouge>, consulté en octobre 2024
- ▶ Une école à Pont-Rouge, Ville de Lancy, <https://www.lancy.ch/une-ecole-pont-rouge>, consulté en octobre 2024

Autres

- ▶ Cool City: un projet participatif pour lutter contre les îlots de chaleur, ESPAZIUM, 2022, <https://www.espazium.ch/fr/actualites/cool-city-un-projet-participatif-pour-lutter-contre-les-ilots-de-chaleur>
- ▶ Ecole de Pont-Rouge, Lancy, ESPAZIUM, 2019, <https://competitions.espazium.ch/fr/concours/home/ecole-de-pont-rouge-lancy>
- ▶ Frischknecht L., Lancy inaugure une nouvelle école primaire, Tribune de Genève, 2023, <https://www.tdg.ch/scolarité-a-geneve-lancy-inaugure-une-nouvelle-ecole-primaire-318080449568>
- ▶ Goutte Saint-Mathieu, ESPAZIUM, 2021, <https://competitions.espazium.ch/de/wettbewerb/decisi/goutte-saint-mathieu>
- ▶ Grosjean A., Le Cycle de Sécheron va être végétalisé, Tribune de Genève, 2022, <https://www.tdg.ch/le-cycle-de-secheron-devrait-etre-vegetalise-871077413374>
- ▶ Hernandez M., Une nouvelle école durable inaugurée ce mardi à Pont-Rouge, Radio Lac, 2023, <https://www.radiolac.ch/actualite/geneve/une-nouvelle-ecole-durable-inauguree-ce-mardi-a-pont-rouge/>
- ▶ Monfrini J., Genève: une pépinière voit le jour dans le quartier du PAV, Radio Lac, 2021, <https://www.radiolac.ch/actualite/geneve-une-pepiniere-voit-le-jour-dans-le-quartier-du-pav/>

- ▶ Nos arbres, GE21, <https://ge21.ch/index.php/projets/nos-arbres>, consulté en octobre 2024
- ▶ Schneider A., An oasis for students: investigating the potential co-benefits of schoolyard redesign for climate adaptation [Thèse de mémoire en études environnementales et sciences du développement durable], 2020, <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9011575>

2.3 Références complémentaires

Confédération suisse

- ▶ Adaptation aux changements climatiques – outil en ligne pour les communes, Office fédéral de l’environnement, 2023, <https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/bibliotheque-de-donnees-et-de-medias/donnees/gemeindetool.html#:~:text=L'outil%20en%20ligne%20%C2%AB%20Adaptation,de%20r%C3%A9alisation%20d'autres%20communes>, consulté en octobre 2024
- ▶ Changements climatiques: Comment faire face ? L’environnement, No. 2, Office fédéral de l’environnement, 2023

République et canton de Genève

- ▶ Analyse climatique du canton de Genève, Guide utilisateur, République et canton de Genève, Département du territoire, 2021, <https://www.ge.ch/document/23298/telecharger>
- ▶ Conception cantonale du paysage, Cahier 1 volet stratégique, République et canton de Genève, Département du territoire, 2024
- ▶ Eau en ville, changement de pratiques et applications, République et canton de Genève, Département du territoire, www.ge.ch/c/eau-ville
- ▶ Guide Espaces verts et ouverts, Pistes d’actions et aides pour la planification, l’aménagement et la gestion, Office fédéral de l’environnement, 2019

Autres

- ▶ Adapter l’espace public aux enjeux climatiques: à quel coût et pour quels bénéfices, CEREMA, 2020
- ▶ Allard F., Ghiaus C., Natural Ventilation in the Urban Environment: Assessment and Design, Routledge, 2012
- ▶ Climat, l’urgence à s’adapter, CEREMA, 2022
- ▶ Cochard H., Goxlan M., Réchauffement. Les arbres en première ligne, Science, 2013
- ▶ Gobatti L., Bach P. M., Scheidegger A., Leitão J. P., Using satellite imagery to investigate Blue-Green Infrastructure establishment time for urban cooling, Sustainable Cities and Society, No. 97, 2023
- ▶ Les îlots de chaleur urbains à Paris, Cahier no. 4: influence climatique des revêtements, Apur, Paris, 2017

- ▶ Les îlots de chaleur urbains du cœur de l'agglomération parisienne, Cahier no. 3 : brises thermiques, Apur, Paris, février 2017
- ▶ Marjorie M., L'étude des microclimats urbains : champ de recherche à l'interface entre climatologie, urbanisme et génie-civil, VertigO — la revue électronique en sciences de l'environnement, No. Hors-série 12, 2012
- ▶ Mills G., Luke Howard and The Climate of London, Weather, 2008
- ▶ Moins de surchauffe urbaine, des villes plus vivables, CEREMA, 2023
- ▶ Oke T. R., Mills G., Christen A., Voogt J. A., Urban Climates (1^{re} éd.), Cambridge University Press, Cambridge, 2017
- ▶ Planton S. (coord.), Glossaire, Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, GIEC, 2013, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_FR.pdf
- ▶ Plus fraîche ma ville, ADEME, 2023, <https://plusfraichemaville.fr/>
- ▶ Résilience des cours d'école, CEREMA, 2023
- ▶ Rohinton E., An Urban Approach To Climate Sensitive Design, 1st Edition, Taylor & Francis, 2012
- ▶ Stewart I., Oke T. R., Local Climate Zones for Urban Temperature Studies, Bulletin of the American Meteorological Society, 2012
- ▶ Taha H., Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat, Energy and buildings, No. 25, 1997
- ▶ Territoires résilients, agir maintenant pour transformer demain, CEREMA, 2022
- ▶ Terrin J.-J. (éd.), Villes et changement climatique : îlots de chaleur urbains, Collection La ville en train de se faire, Parenthèses, Marseille, 2015

3 Acronymes



ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AIMP	Accord intercantonal sur les marchés publics
APA	Demande d'autorisation de construire par procédure accélérée
AVP	Avant-projet
BHNS	Bus à haut niveau de service
CEN	Construction et environnement (filiale de l'HEPIA)
CEREMA	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CH	Confédération helvétique
CO	Cycle d'orientation du canton de Genève
DD	Demande définitive d'autorisation de construire
DDC	Direction de la durabilité et du climat
DI	Département des infrastructures
DIP	Département de l'instruction publique, de la formation et de la jeunesse
DPAV	Direction Praille Acacias Vernets
DSM	Département de la santé et des mobilités
DT	Département du territoire
EMS	Établissement médico-sociaux
ESI	Enseignement secondaire I (cycle d'orientation)
ESII	Enseignement secondaire II
FPAV	Fondation Praille Acacias Vernets
FTI	Fondation pour les terrains industriels de Genève
GVZ	Genève-Vernier-Zimeysa
ICU	Îlot de chaleur urbain
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GPS	<i>Global positioning system</i> , ou Système mondial de positionnement en français
HEPIA	Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève

HES-SO	Haute école spécialisée de Suisse occidentale
MERA	Mesure de l'effet rafraichissant des arbres
MO	Maître d'ouvrage
MRT	Moyenne des températures radiantes
OCAN	Office cantonal de l'agriculture et de la nature
OCBA	Office cantonal des bâtiments
OCEau	Office cantonal de l'eau
OCEV	Office cantonal de l'environnement
OCT	Office cantonal des transports
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OU	Office de l'urbanisme
PAP	Procédure d'approbation des plans
PAV	Praille Acacias Vernets
PCC	Plan climat cantonal
PDCn	Plan directeur cantonal
PDCom	Plan directeur communal
PDQ	Plan directeur de quartier
PDZDAM	Plan directeur de zone de développement d'activités mixtes
PDZI	Plan directeur de zone industrielle
PET	<i>Physiological equivalent temperature</i> , ou Température physiologique équivalente
PLQ	Plan localisé de quartier
QGIS	<i>Quantum Geographic Information System</i> , ou Système d'information géographique Quantum en français
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i> , ou Profils représentatifs d'évolution de concentration en français
SIA	Société suisse des ingénieurs et des architectes
SIG	Services industriels de Genève
SITG	Système d'Information du Territoire à Genève
TC	Transport collectif
TPG	Transports publics genevois
UNIGE	Université de Genève
UTCI	<i>Universal Thermal Climate Index</i> , ou Indice universel du climat en français



Outils climatiques mobilisés par les projets pilotes



4.1 Exemples de cahiers des charges

Les contenus des cahiers des charges de différents projets pilotes sont regroupés dans ce chapitre à titre d'exemple.

Espace public de Boissonnas – Du parking à l'oasis

Les paragraphes spécifiques, dédiés à l'adaptation du projet aux changements climatiques, sont repris ci-dessous.

Le cahier des charges pour l'étude et la réalisation est centré sur l'objectif prioritaire de l'adaptation aux changements climatiques.

Les objectifs mis en évidence sont clairs et spécifiquement tournés vers la réponse concrète qui pourra être donnée par le projet :

Le projet d'espace public doit répondre à plusieurs objectifs :

Proposer des aménagements qui offrent un confort climatique pour les usagers de l'espace public. Dans ce sens il devra impérativement proposer un projet qui intègre de la végétation, de l'ombre (par la végétation ou autre), de l'eau (jets, fontaine, brumisateurs, ...), des types de revêtement résilients pour le sol et les aménagements.

- ▶ *Proposer des solutions innovantes dont l'efficacité sera mesurée par un microclimamètre dans le cadre des recherches de l'HEPIA*
- ▶ *Être sobre, en termes de matériaux utilisés, d'évolutivité du projet et des coûts, privilégier les principes de l'économie circulaire (recyclage, réemplois)*
- ▶ *Trouver des solutions pragmatiques et faciles à mettre en œuvre dans les délais impartis*

La situation climatique de ce secteur est actuellement défavorable en termes de confort thermique (référence aux cartes climatiques). Le projet devra, à son échelle et avec ses moyens, apporter des solutions pour répondre à cet enjeu et offrir aux usagers un lieu de répit plus frais en attendant la mise à ciel ouvert de la Drize.

Cycle d'orientation de Sécheron – Oasis des cours d'école

Les paragraphes spécifiques, dédiés à l'adaptation du projet aux changements climatiques, sont repris ci-dessous.

Le cahier des charges pour l'étude et la réalisation se nomme « COOL CITY – Projet pilote OASIS du CO de sécheron » et met précisément la question des enjeux climatiques au cœur de l'objet de l'étude et du programme en fournissant :

- une analyse préliminaire du contexte climatique avec une carte de la situation initiale
- la synthèse des résultats de mesures in-situ réalisées par l'HEPIA.

Les objectifs mis en évidence sont clairs et spécifiquement tournés vers la réponse concrète qui pourra être donnée par le projet :

Le CO du Sécheron étant un des projets pilotes du programme cantonal COOL CITY, il doit être en mesure de penser un espace au regard de l'adaptation aux changements climatiques en y intégrant les principales composantes qui ont prouvé leur efficacité : la végétation (végétalisation des sols, des façades et des toits), l'eau (perméabilité, gestion des eaux à ciel ouvert, utilisation de l'eau comme ressource pour le sol et la végétation, jeux d'eau, fontaines, brumisateurs), les revêtements (des sols et des façades).

Ce projet pilote est une opportunité pour enclencher une nouvelle dynamique dans la conception et la requalification des espaces extérieurs des écoles au niveau cantonal. Plus largement il pourrait servir d'exemple, de vitrine, éventuellement de laboratoire sur la conception d'espaces adaptés aux changements climatiques.

De plus, le cahier des charges donne une vision explicite des données et études à disposition pour s'inspirer des bonnes pratiques théoriques et pratiques.

École primaire de Pont-Rouge – Une école jardin

Les paragraphes spécifiques, dédiés à l'adaptation du projet aux changements climatiques, sont repris ci-dessous :

- Livrables – Planches :
 - *Partie explicative libre décrivant les principes inhérents au concept paysager et aux stratégies développées sur le plan architectural et bioclimatique, ainsi qu'aux concepts appliqués pour minimiser l'impact énergétique, environnemental, les mesures proposées pour créer un îlot de fraîcheur et atteindre les objectifs du développement durable.*
- Critères d'appréciations :
 - *Qualité architecturales et environnementales : L'intégration des principes de durabilité et des principes bioclimatiques.*
- Objectifs du concours :
 - *Porter une attention particulière à la réalisation d'un îlot de fraîcheur afin de palier à la situation microclimatique actuelle du site ;*

- *Climat urbain*: Le projet devra répondre de manière concrète à la thématique du climat en milieu urbain en développant un îlot de fraîcheur. Le document qui peut servir de base de référence sur ce thème est « Quand la ville surchauffe: Bases pour un développement urbain adapté aux changements climatiques », Confédération Suisse, 2018.

La Goutte de Saint-Mathieu – Architecture et espaces publics

Les paragraphes spécifiques, dédiés à l'adaptation du projet aux changements climatiques, sont repris ci-dessous:

- ▶ Livrables – Planches:
 - Une planche A0 exposant les divers choix architecturaux, constructifs et d'exploitation répondant spécifiquement aux exigences en matière énergétique et de durabilité, en forme libre de rendu. Elle renseignera notamment sur les différents choix d'organisation et de mise en œuvre du projet: chantier (par exemple matériaux d'excavation), construction (par exemple choix des matériaux, économie de moyens), exploitation (par exemple énergie, entretien, nettoyage, déchets), déconstruction (par exemple recyclabilité), climat et biodiversité (par exemple indice de canopée, diversité d'essences et de milieux, perméabilité, pleine terre).
- ▶ Critères d'appréciations
 - *Qualité architecturales et environnementales*: L'intégration des principes de durabilité et des principes bioclimatiques.
- ▶ Objectifs du concours:
 - Les maîtres d'ouvrage ambitionnent de placer ces nouvelles réalisations dans une politique fortement engagée face aux enjeux environnementaux, énergétiques, climatiques et sociaux qui se présentent avec toujours plus d'acuité.
- ▶ Objectifs spécifiques: Adaptation au changement climatique et biodiversité
 - La prise en compte de la thématique des îlots de fraîcheur, en application du Plan climat cantonal, constitue un volet environnemental important, notamment pour un projet dédié aux enfants, plus vulnérables en période de canicule, en s'inspirant du projet COOL CITY piloté par le canton de Genève et soutenu par la Confédération (programme pilote d'adaptation aux changements climatiques) <https://www.ge.ch/actualite/cool-city-16-09-2019>. Un document qui peut servir de base de référence sur ce thème est « Quand la ville surchauffe: Bases pour un développement urbain adapté aux changements climatiques », Confédération Suisse, 2018.

Pour répondre à cette demande, le projet devra faire des propositions pour les espaces ouverts (végétalisation, indice de canopée, traitement des revêtements, perméabilité, pleine terre, gestion des eaux en surface), mais également des mesures architecturales.

Dans une perspective d'aggravation des conséquences du changement climatique, l'eau pluviale constitue une ressource qu'il convient de valoriser: Au niveau des bâtiments à des fins de récupération (eaux grises et arrosage par exemple) et d'amélioration thermique (toitures végétalisées par exemple). Au niveau des aménagements extérieurs comme élément indispensable au développement de la végétation, structurant du paysage, mais également à des fins ludiques, pédagogiques et sociales.

Pour cela, l'eau pluviale ne peut plus être considérée comme un déchet. Elle doit être visible en surface, retenue et infiltrée au plus proche de sa source. Le recours à des canalisations doit être limité.

Bus à haut niveau de service GVZ – Confort climatique et mobilités

Les paragraphes spécifiques, dédiés à l'adaptation du projet aux changements climatiques, sont repris ci-dessous :

► Cahier des charges études et réalisation

L'enjeu du climat et de la résilience du projet face aux changements climatiques est présent dans l'ensemble du cahier des charges dans les volets, urbain, paysage et environnement :

De manière générale: *conseils et accompagnement sur les mesures d'aménagement permettant de concevoir un projet adapté aux changements climatiques: valorisation de l'ombrage, des sols perméables, de la pleine terre, des matériaux de surfaces clairs, de l'eau, etc. La réalisation d'un projet qui développe des îlots de fraîcheur.*

De manière spécifique:

Adaptation au changement climatique

Un objectif de ce projet de BHNS est la prise en compte de la thématique des îlots de fraîcheur en application au Plan climat cantonal. En effet, le BHNS est un des projets pilotes du projet COOL CITY piloté par le canton de Genève et soutenu par la Confédération (programme pilote d'adaptation aux changements climatiques) qui a pour objectif d'identifier des mesures efficaces pour maintenir des îlots de fraîcheur.

Dans ce cadre, le projet devra répondre de manière concrète à la thématique du climat en développant une réflexion sur le linéaire global du projet afin d'offrir des îlots de fraîcheur. Le document qui peut servir de base de référence sur ce thème est « Quand la ville surchauffe: Bases pour un développement urbain adapté aux changements climatiques », Confédération Suisse, 2018.

Pour répondre à cette demande, le projet de BHNS devra proposer des actions adéquates et efficaces dans les espaces ouverts (végétalisation, indice de canopée, gestion des revêtements de surfaces, perméabilité, pleine terre, gestion des eaux en surface, etc.). Cette sensibilité à l'adaptation aux changements climatiques devra être portée et valorisée par le groupement et se traduire dans les propositions concrètes de projet.

► Cahier des charges concertation

Objectif du projet test :

Intégrer la question du changement climatique dans le processus d'élaboration du projet et plus spécifiquement du microclimat urbain et du confort à l'échelle humaine dans le processus d'élaboration du projet

Prestations attendues :

Proposer trois projets tests intégrant également des mesures d'adaptation au changement climatique liés à la réalisation d'îlots de fraîcheur

4.2

Analyse des facteurs d'influence

Le détail des relevés réalisés dans le cadre des projets pilotes grâce au Micoclimamètre sont présentés dans leur intégralité dans ce chapitre. L'analyse de ces résultats ainsi que leurs enseignements sont quant à eux intégrés dans le cahier 2, projets pilotes.

Espace public de Boissonnas – Du parking à l'oasis

Bien que les deux séries de mesures aient été réalisées lors de journées d'été de fortes chaleurs, l'analyse de l'impact de l'installation du micro-oasis est étudiée au travers de comparaisons se basant uniquement sur les mesures de 2021. Ceci permet d'éviter d'interpréter à tort d'éventuelles différences de températures entre les deux années. De plus, nous remarquons que les mesures rectilignes réalisées en s'approchant et s'éloignant du micro-oasis présentent le même profil de températures ressenties ayant peu de variations que les mesures de 2020. La comparaison des données 2021 entre des points relevés en dehors ou à l'intérieur de l'aménagement permet donc d'analyser le rôle du micro-oasis sur le confort thermique des piétonnes et piétons.

Quelques situations particulières sont ainsi présentées ci-après, comparant des points de mesures ayant des dispositions contrastées ou singulières relatives au micro-oasis et à ses alentours.

2020 / 2021 : hors aménagement



Figure 1 – Début du parking extérieur, « Entrée sud » du futur micro-oasis (2020)



Figure 2 – Idem, « Entrée sud » du futur micro-oasis: revêtement asphalté (2020)

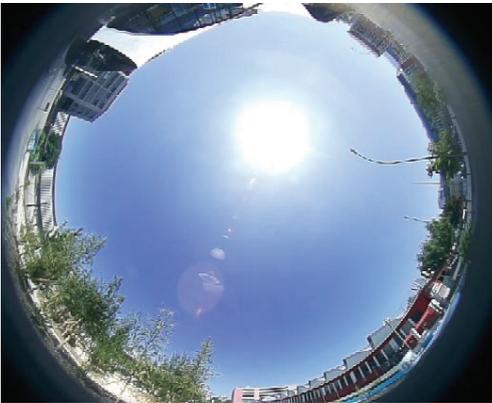


Figure 3 – Entrée sud du micro-oasis (2021)



Figure 4 – Idem, revêtement mixte (2021)

	T air	T sol	Gh	PET	UTCI
Parking, future entrée (2020)	30,7°C	46,8°C	940 W/m ²	36,6°C	35,3°C
Entrée micro-oasis (2021)	28,9°C	44,7°C	852 W/m ²	34,4°C	33,0°C
Δ	1,8°C	2,1°C	88 W/m ²	2,2°C	2,3°C

Ce point se situe au sud de la zone réaménagée. Si la température du sol et le rayonnement solaire global sont très proches (malgré une différence de revêtement en ce qui concerne le sol), la température de l'air présente un écart de 1,8°C, et l'UTCI de 2,3°C. Ces différences ne pouvant être imputées au réaménagement vu la localisation de ce point de mesures, elles pourraient être attribuées à des conditions météorologiques légèrement différentes.

2020 / 2021: dans la zone réaménagée



Figure 5 – Rue Boissonnas (2020)



Figure 6 – Rue Boissonnas: revêtement asphalté (2020)

	T air	T sol	Gh	PET	UTCI
Rue Boissonnas (est du futur oasis) (2020)	30,6°C	46,9°C	950 W/m ²	36,8°C	35,4°C
Est micro-oasis (2021)	30,4°C	33,9°C	862 W/m ²	34,0°C	33,8°C
Δ	0,2°C	13,0°C	88 W/m ²	2,8°C	1,6°C

Cette 2^e comparaison se situe au sein du micro-oasis, sur le bord est. Ici, les paramètres météorologiques sont très similaires, tant en termes de températures de l'air que d'exposition solaire. On remarque toutefois une différence de températures du sol de 13°C, qui fait écho au changement de revêtement opéré lors du réaménagement.

À noter que ce point à l'est du micro-oasis (2021) est utilisé à titre comparatif dans certaines situations ci-dessous, afin de pouvoir mettre en lumière l'impact local de ces aménagements sur le confort climatique, au cours d'une même journée.

2021: ombre



Figure 7 – Dans le micro-oasis: à l'ombre (2021)



Figure 8 – Dans le micro-oasis: entre les arbres à l'ombre (2021)



Figure 9 – Dans le micro-oasis (côté est) (2021)



Figure 10 – Revêtement synthétique clair (côté est) (2021)

	T air	T sol	Gh	PET	UTCI
Situation à l'ombre	29,3°C	25,3°C	466 W/m ²	28,6°C	31,1°C
Est micro-oasis	30,4°C	33,9°C	862 W/m ²	34,0°C	33,8°C
Δ	1,1°C	8,6°C	396 W/m ²	5,4°C	2,7°C

Banc au soleil vs. banc à l'ombre



Figure 11 – Au cœur du micro-oasis : soleil direct (2021)



Figure 12 – Au cœur du micro-oasis : banc au soleil (2021)



Figure 13 – Au cœur du micro-oasis : ombre végétale (2021)



Figure 14 – Au cœur du micro-oasis : banc à l'ombre (2021)

	T air	T sol	Gh	PET	UTCI
Banc au soleil	29,8°C	46,7°C	908 W/m ²	32,9°C	34,2°C
Banc à l'ombre	29,4°C	28,5°C	123 W/m ²	27,1°C	29,8°C
Δ	0,4°C	18,2°C	785 W/m ²	5,8°C	4,4°C

La différence de température ressentie de 4,4°C entre le banc au soleil et le banc à l'ombre souligne l'effet immédiat pour le confort thermique de la présence d'un dispositif bloquant le rayonnement solaire atteignant la piétonne et le piéton.

De par une canopée partiellement ouverte, le micro-oasis urbain sera systématiquement exposé au soleil, mais les parties ensoleillées changeront au cours de la journée, d'où la pertinence de proposer plusieurs installations pour s'asseoir. Les usagers et usagers peuvent ainsi à toute heure bénéficier de l'îlot de fraîcheur.

Intérieur vs extérieur de l'oasis



Figure 15 – Point relevé ayant l'UTCI le plus bas



Figure 16 – UTCI le plus bas: au milieu des arbres installés



	T air	T sol	Gh	PET	UTCI
Point avec la température ressentie mesurée la plus basse	29,0°C	28,2°C	153 W/m ²	25,6°C	28,7°C
Hors du micro-oasis (parking au nord)	29,7°C	42,4°C	875 W/m ²	37,6°C	34,0°C
Δ	0,7°C	14,2°C	722 W/m ²	12,0°C	5,3°C

La différence en termes de températures ressenties atteint plus de 5°C (UTCI) ou 12°C (PET) dans ce cas-ci, entre le point mesuré le plus frais et un point se situant à quelques mètres du micro-oasis, sur un parking (comme l'était précédemment la zone où se situe la nouvelle installation).

Malgré une température de l'air proche, on note ici des différences importantes concernant la température du sol ainsi que le rayonnement solaire global. C'est à nouveau le rayonnement solaire qui est principalement à l'origine du différentiel de ressenti thermique, avec des arbres qui le bloquent en grande partie et protègent ainsi les piétonnes et les piétons du soleil.

En quelques mots:

- ▶ Ces mesures et analyses soulignent la pertinence de ce projet, qui par un réaménagement relativement modeste permet d'obtenir immédiatement une amélioration du confort microclimatique des usagers et usagères de cet espace.
- ▶ L'installation de bancs au sein de ce micro-oasis, qui bénéficieront tour à tour de l'ombre procurée par les arbres, permet un usage prolongé de cet espace urbain, jusqu'alors dévolu uniquement au transit.

Cycle d'orientation de Sécheron – Oasis des cours d'école

Des situations caractéristiques relatives aux espaces extérieurs du Cycle sont présentées ci-dessous, de même que les paramètres physiques clés associés (pour la situation la plus fraîche et la plus chaude), afin de regarder plus finement les mécanismes à l'œuvre dans ces écarts importants de températures ressenties.

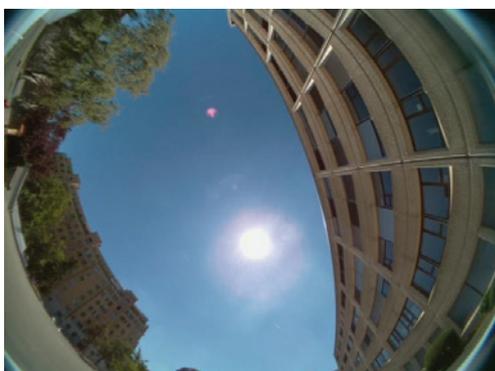


Figure 17 – Exposition directe au soleil dans la cour



Figure 18 – Cour de l'école: revêtement béton



Figure 19 – Exposition directe au soleil entre deux bâtiments scolaires



Figure 20 – Revêtement pavé



Figure 21 – Ombrage végétal



Figure 22 – Ombrage végétal



Figure 23 – Ombrage dû à un bâtiment



Figure 24 – Ombrage dû à un bâtiment

Figure 25 : Comparaison des paramètres physiques relatifs au microclimat :
Cycle d'orientation de Sécheron

	T air	T sol	Gh	MRT	PET	UTCI
Soleil direct	29,3°C	51,4°C	956 W/m ²	36,8°C	39,6°C	35,3°C
À l'ombre	28,6°C	27,5°C	151 W/m ²	27,6°C	24,6°C	27,3°C
Δ	0,7°C	23,9°C	805 W/m ²	9,2°C	15,0°C	8,0°C

En quelques mots :

- La température ressentie (UTCI) est de 8°C inférieure à l'ombre des arbres, comparativement au milieu de la cour qui se trouve en plein soleil, soit un écart très perceptible et un confort climatique connaissant une grande variation d'un point du Cycle à l'autre.
- La différence en termes de température du sol est très élevée, avec un écart entre les deux situations de presque 24°C. Cette différence est corrélée avec la disparité du rayonnement solaire reçu (Gh), ce qui vient à nouveau nourrir le diagnostic autour de l'effet de l'ombre, et des dispositifs relatifs bloquant le rayonnement solaire qui atteint les piétonnes et les piétons.
- De plus, le revêtement pavé présent montre un écart de température du sol de 16,1°C (avec respectivement 53,7°C et 37,6°C). Or cette différence impacte les températures ressenties, l'UTCI relatif à la situation ensoleillée sur les pavés étant 4,6°C supérieurs que sur le même revêtement à l'ombre, soit une différence nettement perceptible à l'échelle piétonne (33,6°C contre 29,0°C).

- ▶ Comme mis en évidence dans la carte ci-dessus, les quelques points de fraîcheur sous les 29°C sont pour le moment rares et très localisés.
- ▶ Ces mesures et analyses soulignent la pertinence d'une réflexion urbanistique et architecturale quant à l'aménagement des espaces extérieurs, afin de prodiguer davantage d'ombrage pour les élèves et autres utilisatrices et utilisateurs de cet endroit.

Bus à haut niveau de service GVZ – Confort climatique et mobilités

Analyse facteurs d'influence – expérimentation pixels: Réalisation de 3 sites d'expérimentation pour comprendre l'effet du revêtement dans l'espace public au regard du confort climatique des usagères et usagers.

Oasis de fraîcheur : 1^{ers} tests réalisés cet été

Place des Charmilles



Pôle Châtelaine



Hôpital de la Tour



Le Microclimamètre (uCM) permet de mesurer de manière objective l'ensemble de la scène environnementale qui entoure la piétonne et le piéton lorsqu'il se déplace. L'idée est de mesurer la situation actuelle sur une série de sites sélectionnés, puis de procéder aux mêmes mesures après l'installation sur ces sites de ce que nous appelons la « première couche » de projet éphémère. Cette double prise de mesures permet de pouvoir comparer les effets des revêtements sur la température et le confort ressenti dans les espaces publics avant et après. Un état des lieux a été réalisé à proximité des futurs arrêts, chaque espace représentant des situations variées en matière de matériaux de surface et de conditions d'ensoleillement. Les mesures sur ces localisations ont fourni un premier niveau de données précieuses pour alimenter le projet.

Protocole de mesure

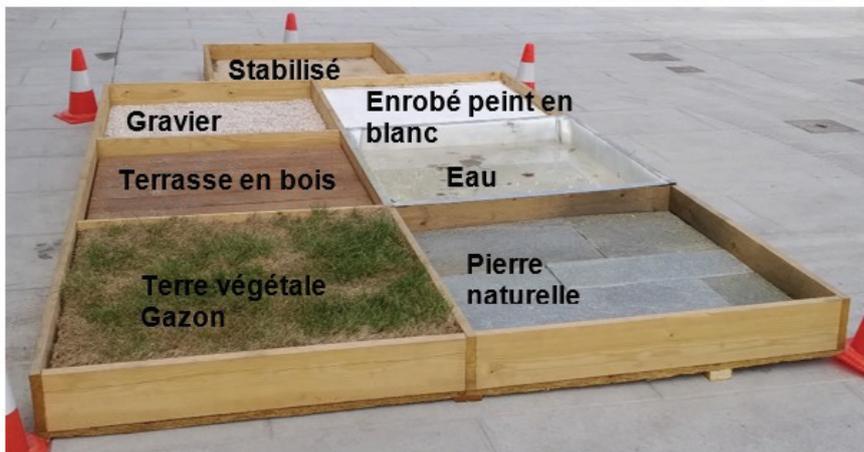
Les mesures ont été réalisées avec des Microclimamètres, par des passages réguliers sur les échantillons par journées bien ensoleillées.

- ▶ sur une même journée et sur un site : parcourir à intervalle de 3 h entre 07 h et 19 h les échantillons de revêtements de sol présents sur le site retenu.
- ▶ sur chacun des 3 sites : parcourir les échantillons de revêtements de sol présents à 3 moments de la même journée : matin, midi, fin de journée.

Ceci a été répété sur 3 jours différents.

Sept surfaces ont été testées pendant l'été 2020 sur 3 sites dont la problématique de zones de fortes chaleurs ponctuelles a été identifiée dans la carte fournie par l'analyse climatique le long du tracé du BHNS.

Sept pixels avec un revêtement différent



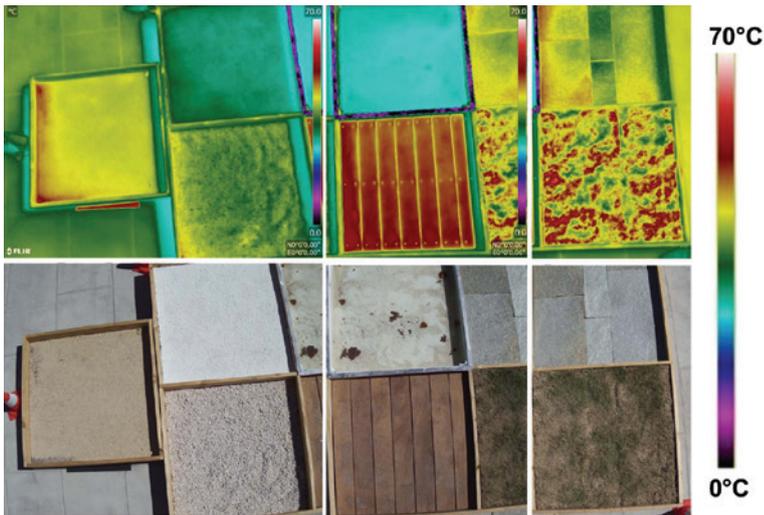
Valeurs mesurées avec le Microclimamètre

Ce test de différents matériaux de surface suggère de grandes différences de température selon le matériel utilisé, avec une variation de 25,2°C à 44,0°C.

- ▶ La surface la plus efficace est l'eau, la seconde est un enrobé peint en blanc
- ▶ La terrasse en bois indique la température la plus élevée.



Images prises avec la caméra infrarouge



Cette expérience a permis d'obtenir des informations précieuses quant à la réaction de ces différents matériaux face à l'exposition directe au soleil.

L'analyse de ces températures ne suffit toutefois pas à faire un choix exclusif quant au matériau à utiliser. Des processus physiques dynamiques entrent également en ligne de compte : il est pertinent de s'intéresser au comportement de ces matériaux une fois qu'ils ne sont plus directement exposés au soleil. Si le bois présente ici la température d'exposition la plus élevée, il s'agit d'un matériau qui une fois à l'ombre se refroidit rapidement. Il convient donc, au moment de faire le choix des matériaux retenus, de bien penser quel levier d'action on veut actionner : un aménagement qui réagit bien à l'exposition directe, mais qui pourra avoir tendance à retenir et diffuser la chaleur une fois le soleil disparu (ce qui favorise l'effet d'ICU), ou au contraire une installation qui aura tendance à rapidement se réchauffer au soleil, mais dont les températures rebaisseront également vite lors de la fin de l'exposition au rayonnement solaire.

5 Méthodologie d'identification des quartiers prioritaires – UNIGE



COOL CITY Étape 1: Élaborer une méthodologie d'identification des quartiers prioritaires nécessitant la mise en place de mesures d'adaptation: établissement d'une cartographie du microclimat urbain.

Par Julie Fahy, Christoph Bachofen, Reto Camponovo, Peter Gallinelli, et Martin Schlaepfer, (HEPIA; EPFL; et Université de Genève).
Version du 12 décembre 2024.

L'objectif de cette étape est de permettre à n'importe quelle ville en Suisse de rapidement identifier les quartiers prioritaires pour des mesures d'atténuation contre les effets indésirables des îlots de chaleur par la production d'une cartographie d'inconfort thermique.

Les effets indésirables des îlots de chaleur urbains peuvent se faire sentir par des piétonnes et piétons en journée, comme de nuit dans les habitations. Les connaissances scientifiques existent surtout sur la question diurne et c'est sur cette problématique que nous nous sommes penchés.

Notre approche s'appuie sur l'existence de données d'inconfort thermique (appelé physiological equivalent temperature ou PET) qui avaient été mesurées dans les rues de Genève pendant les saisons chaudes (juin-août). La PET est calculée sur la base de la température de l'air, l'humidité relative, et la vitesse du vent, entre autres.

Ces mesures ont été faites avec le Microclimamètre (voir Figure 12). Au-dessus de 35°C, la PET est considérée comme très nuisible («strong heat stress») et donc à atténuer.

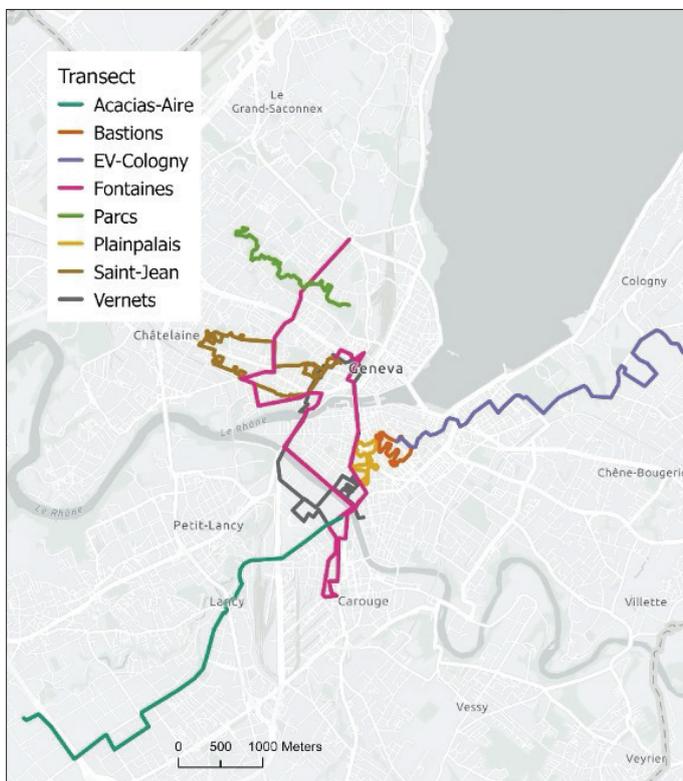
Notre objectif était d'identifier des couches d'informations géographiques qui permettront de construire un modèle statistique capable de reproduire l'inconfort thermique mesuré sur le terrain. Moyennant quelques suppositions (par exemple que le tissu urbain genevois est suffisamment similaire au tissu urbain d'autres villes suisses, et que par conséquent les résultats du modèle sont «exportables»), un tel modèle permettrait de prédire les valeurs de PET à une échelle relativement fine (10 m x 10 m) dans d'autres villes du Plateau Suisse.

Nous avons également identifié 9 sources d'information associées à l'inconfort thermique pour lesquelles des données géomatiques étaient disponibles sur Genève. Nous avons construit des modèles de régression multiple pour prédire la PET mesurée. Quatre-vingts pourcents des mesures PET (espacées les unes des autres de 20 mètres afin d'être considérées comme des mesures indépendantes) étaient utilisées pour construire un modèle, et le reste pour tester la performance du modèle.

Résultats:

Nos observations de PET ont été récoltées sur des transects de plusieurs centaines de mètres dans le tissu urbain de Genève (Figure 26).

Figure 26: Emplacement des transects sur lesquels l'inconfort thermique (PET) a été mesuré sur Genève en 2018 et 2020 (n = 4472 points)



Le meilleur modèle était composé de 6 variables: albédo, LST (température de surface), NDMI (Normalized Difference Moisture Index), couverture de la canopée (%), radiance solaire et LCZ (Local Climate Zones). Ce modèle explique 48 % de la variation observée dans la PET et permet de générer une carte de la PET prédite en journée pour tous les espaces non bâtis d'une ville comme Genève (Figure 27).

Le meilleur modèle linéaire était composé de 4 variables: albédo, LST (température de surface), NDMI (Normalized Difference Moisture Index) et LCZ (Local Climate Zones). Ce modèle explique 47 % de la variation observée dans la PET.

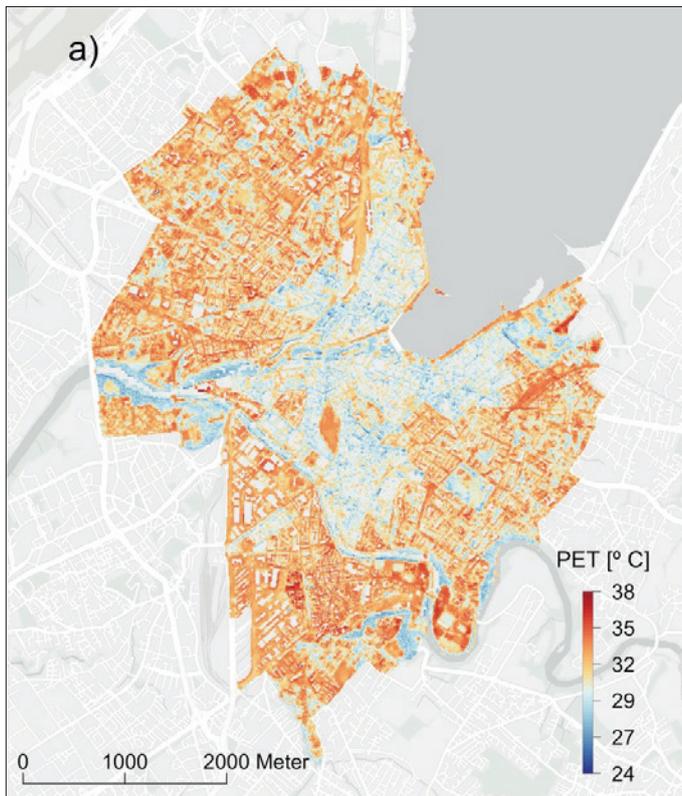
$$\text{PET} \sim 45.97 - 0.177 * \text{LST} - 6.42 * \text{NDMI} + 3.95 * \ln(\text{albedo}) + \text{LCZ}$$

Où:

- ▶ PET est l'inconfort thermique
- ▶ LST est la température de surface (C)
- ▶ NDMI est la Normalized Difference Moisture Index -1, 1
- ▶ LCZ est un facteur de correction en fonction des types LCZ (voir manuscrit et Stewart and Oke (2012) pour définitions des catégories):
 - LCZ 1 (A+G, ≃ arbres denses et eau): 0
 - LCZ 2 (B+BC+BD, ≃ végétation éparse): - 0,146
 - LCZ 3 (D+C, ≃ gazon et végétation basse): + 2,095
 - LCZ 4 (9, ≃ bâtiments éparses): + 0,934
 - LCZ 5 (6+8D, ≃ bâtiments bas): +1,291
 - LCZ 6 (5+2A+2B, ≃ bâtiments hauteur moyenne avec végétation): + 0,641
 - LCZ 7 (4, ≃ bâtiments hauts mais éparses): + 2,199
 - LCZ 8 (1+2, ≃ bâtiments moyens/hauts mais denses): - 1,969
 - LCZ 9 (8+E, ≃ bâtiments industriels et surfaces imperméables): + 0,138

Comme ces couches d'information sont disponibles ou peuvent être calculées, on peut donc s'en servir pour extrapoler une carte de PET prédite dans d'autres lieux. Le module îlot de chaleur urbain du logiciel InVEST a également été testé et sa performance est encore plus faible.

► **Figure 27: Carte prédictive de l'inconfort thermique (PET) dans le tissu urbain de Genève sur la base du meilleur modèle à 6 variables**



Comment alors utiliser cette carte ?

- Les zones identifiées avec une PET > 35°C représentent des surfaces qui ont de grandes chances d'être source d'inconfort thermique à niveau élevé. Ces surfaces à Genève sont généralement composées de surfaces imperméables, sans végétation, et avec un fort ensoleillement à cause d'un espacement entre bâtiments.
- Les meilleurs modèles de PET indiquent que la PET peut être réduite en...
 - Augmentant les surfaces qui sont perméables, végétalisées et avec suffisamment d'eau dans le système racinaire (pour permettre de l'évapotranspiration)
 - Réduisant l'ensoleillement soit avec de la canopée d'arbres ou par l'ombrage des bâtiments.

Contrairement aux autres facteurs prédictifs, l'albédo a probablement des effets contradictoires entre jour et nuit. Le jour il réfléchit la lumière du soleil sur un passant et accentue l'inconfort thermique. Mais il offre l'avantage d'éviter le stockage d'énergie qui pourrait sinon être restitué la nuit et donc il est probablement favorable pour le confort thermique nocturne. Pour cela, nous ne recommandons pas de réduire l'albédo comme on pourrait le penser d'après l'équation prédictive.

Pour valider la portée de ces résultats, la prochaine étape serait de prédire la PET dans une autre ville suisse puis de mesurer la PET sur le terrain. En attendant, les cartes de PET prédite donnent une bonne indication des quartiers prioritaires à cibler pour des actions d'atténuation d'inconfort thermique.

6 Descriptif de la méthodologie Micro- climamètre - HEPIA

CityFeel © HEPIA/LEEA

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

Hes·SO GENÈVE
Haute École Spécialisée
de Suisse occidentale

Groupe de compétences
Energie, Environnement et
Architecture

Contact:
reto.camponovo@hesge.ch

Rue de la Prairie, 4
CH-1202 Genève
Tél. +41 22 546 25



6.1 Résumé

Le microclimamètre permet de mesurer de manière objective l'ensemble de la scène *environ-nementale* qui entoure le piéton lorsqu'il se déplace n'importe où en ville ou ailleurs (rue, place, bordure d'une rivière, proximité d'une fontaine, etc.). Cette scène *environnementale* influence directement le bien-être de la piétonne et du piéton et est la résultante de l'*urbanisme*. Partant de l'échelle de la piétonne et du piéton, les travaux en cours à HEPIA/LEEA ont pour but d'apporter des connaissances fondées sur des situations réelles qui établissent un lien entre les scènes *environnementales* et le ressenti de la piétonne et du piéton avec l'*urbanisme*. Ces connaissances objectives vont enrichir les projets d'aménagement soucieux de prendre en compte le confort des habitantes et habitants dans une perspective d'exacerbation des périodes caniculaires.

6.2 Méthodologie en rapport avec le dispositif de mesure

Le Microclimamètre (μ CM)

L'originalité des travaux réalisés dans le domaine de l'adaptation des villes aux changements climatiques par l'équipe de HEPIA/LEEA depuis de nombreuses années réside dans le fait d'avoir placé l'être humain au centre de ses recherches. Les développements méthodologiques et la mise au point des systèmes de mesure sont tous fondés sur cet axiome.

Pour cette raison, le μ CM a été conçu de telle sorte que l'ensemble des mesures se font depuis la **perspective (hauteur) de l'être humain en déplacement**: il se porte sur le dos et les nombreux capteurs mesurent les grandeurs physiques qui impactent le plus le ressenti physiologique du corps humain (ex. températures rayonnantes, ensoleillement, courants d'air, l'humidité, etc.). Pour bien tenir compte du corps

humain, certains capteurs sont multipliés et orientés dans les 4 directions principales (avant, arrière, droite, gauche, ainsi que haut et bas). **Cette manière de faire permet donc d'établir un lien particulièrement précis entre la grandeur mesurée et la partie de la scène environnementale qui influence le plus la valeur mesurée.**

En complément aux grandeurs « thermiques », le μ CM mesure d'autres grandeurs physiques qui impactent également le bien-être de l'usagère et usager d'un lieu telles l'intensité du bruit (quantité), la bande sons (qualité), la qualité de l'air.



La présence d'un GPS sur le μ CM permet de géolocaliser les mesures alors que deux caméras hémisphériques (2x 180°) enregistrent la scène *environnementale* réelle telle qu'elle se présente précisément au moment de chaque mesure. **Ceci permet une description et une compréhension sans ambiguïté de chaque valeur.** Ce dernier point fondamental distingue ultérieurement la rigueur de la méthodologie appliquée par le LEEA²⁰.

Grandeurs mesurées

Le Microclimamètre (μ CM) mesure 32 grandeurs physiques pertinentes qui impactent le plus le ressenti physiologique du corps humain et qui permettent de caractériser la scène *environnementale* qui entoure la piétonne et le piéton.

Géolocalisation et direction

- GNSS (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU) yc. WAAS
- Compas magnétique

Climat urbain

- Tsèche
- HR
- Patm
- Flux solaire Gh
- 10 températures radiantes, soit:
 - 6 azimut (droite, gauche, avant, arrière), sol, ciel (90°)
 - 2 Spot (droite, gauche) (35°) inclinés vers le haut de 30°
 - 1 Spot sol (10°)
 - 1 Spot ciel (5°)

²⁰ Une erreur très répandue consiste à utiliser des images issues de plateformes comme Google Street View: la temporalité de l'image ne correspond jamais à la temporalité de la prise de mesure et il est donc trompeur de vouloir expliquer des valeurs à partir d'images qui ne correspondent pas à la réalité de la mesure.

- ▶ Anémomètre ultrasons (force, direction vent)
- ▶ Tstratification en 3 points (chevilles, hanches, tête)

Qualité de l'air

- ▶ PM 1 / 2.5 / 10
- ▶ CO, CO₂, SO₂, NO₂, O₃

Ambiance sonore

- ▶ Pression acoustique (dB)
- ▶ Bande son

Scène urbaine (description)

- ▶ 2 caméras hémisphériques 180° (vers le haut, vers le bas)

Intervalle de mesure

- ▶ 1 seconde

Précision des capteurs de mesure

Le domaine de la mesure requiert des compétences et de l'expérience tant au niveau de la mesure en elle-même qu'au niveau de la compréhension des phénomènes physiques à mesurer. Par exemple il est fréquent de confondre précision et résolution d'une mesure.

La qualité des mesures dépend de la **précision des capteurs** et des **conditions de mise en œuvre** de ces derniers.

D'autres facteurs tels que le temps de réponse ou la dérive dans le temps sont également à considérer. Pour les capteurs de qualité de l'air il faut prêter une grande attention aux matériaux utilisés pour canaliser le flux d'air vers les capteurs (éviter des polluants parasites) ainsi qu'à la durée de vie restreinte de la plupart des capteurs de petite taille et à la nécessité d'un étalonnage systématique de ce genre de capteurs. Le LEEA dispose d'une importante expérience dans le domaine de la mesure de qualité qu'il a mis au profit du développement du μ CM.

Caractéristiques des capteurs implémentés dans le µCM (état au 15.06.2020)

Grandeurs	Capteur	Plage	Précision
Position	GNSS reciever	WGS 84	< 1m in normal condition
Direction	Magnetic field sensor	0-359°	1°
Temperature air réf.	Band gap temperature sensor	-40 to 125°C	0,2°C
Températures stratification air	PT100	Max 250°C	0,15°C at 0°C 0,35°C at 100°C
Humidité	Capacitive humidity sensor	0-80 %	1,50%
Températures radiantes surfaces	Digital Non-Contact Infrared Thermometer	-40°C...85°C	0,5°C in range 0...50°C
Rayonnement solaire	Photodiode Pyranometer	Max 2000 W/m ²	non-linearity 0-1000W/m ² < 1% in t range -40 / +80: -0,15 %/°C non-stability <2 % per year
Pression acoustique	Professional Sound level meter	30dBA ~ 130dBA	±1,5dB
Particules fines	Laser sensor	0.35 to 40 um and max 10,000 part per sec	Max coincidence probability: % concentration at 106 particles/L: 0.84 % concentration at 500 particles/L: 0,24
CO ₂	NDIR sensor	0-40000ppm (vol)	30 ppm + 3%
NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , CO	Chemical sensor	NO ₂ : 20 ppm	1 ppb lab condition
		O ₃ : 20 ppm	2 ppb lab condition
		SO ₂ : 100 ppm	1 ppb lab condition
		CO: 1000 ppm	1 ppb lab condition
Vitesse du vent et direction	Ultrasonic anemometer	speed: 0,01m/s to 60 m/s dir: 0-359°	0,01m/s +- 3° to 40 m/s +- 5° to 60 m/s
Images hémisphériques	FishEye Camera module	angle of view: 180°	resolution: 640*480

Résolution spatiale des mesures des températures de surface

Mesure de la température du sol

Le microclimamètre (μ CM) est équipé de deux pyromètres infrarouges orientés vers le sol qui permettent de mesurer la température de ce dernier sans contact. Les deux pyromètres se situent à une distance fixe d'environ 1,3 m du sol et ont deux focales différentes :

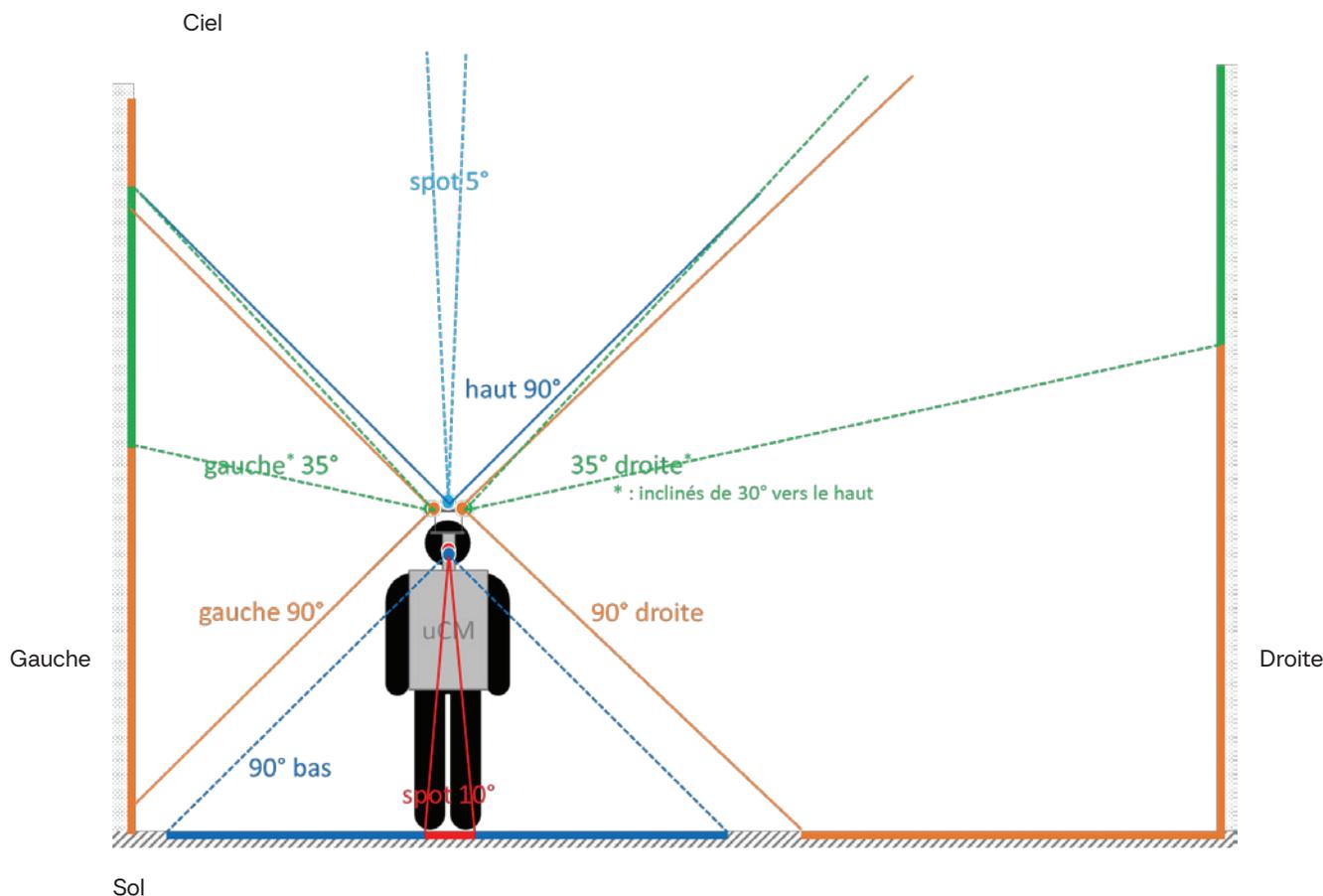
- ▶ un capteur « spot » avec un angle de vision de 10° , ce qui permet d'obtenir une résolution spatiale très fine d'environ 23 cm,
- ▶ un second capteur avec un angle de vision de 90° , auquel correspond une résolution spatiale d'environ 2,6 m.

Mesure de la température du ciel

Deux pyromètres infrarouge orientés vers le ciel permettent de mesurer la température de ce dernier. Pour cette grandeur il n'y a pas de sens de définir une résolution spatiale. Le capteur spot nous permet de distinguer la température du ciel dans les portions non obstruées par des nuages d'altitude, de la température de ce même ciel dans les parties obstruées par les nuages d'altitude.

- ▶ un capteur « spot » avec un angle de vision de 5° ,
- ▶ un second capteur avec un angle de vision de 90° .

Représentation des champs de mesure des pyromètres infrarouge orientés vers le sol, vers le ciel, à gauche et à droite de la piétonne et du piéton (vue depuis l'arrière).



Mesure des températures des surfaces verticales situées à droite et à gauche de la piétonne et du piéton

Deux pyromètres infrarouges pour chacune des deux orientations permettent de mesurer sans contact la température des surfaces verticales situées à droite et à gauche de la piétonne et du piéton. La résolution spatiale est variable puisqu'elle dépend de la distance qui sépare la piétonne et le piéton des façades.

Si on considère une situation courante correspondante à une distance d'environ 2 m d'une façade lorsqu'on se déplace sur le trottoir, les résolutions spatiales sont les suivantes :

- ▶ le capteur « spot » avec un angle de vision de 35° permet d'obtenir une résolution spatiale très fine d'environ 1,3 m. Pour ce spot, la ligne de mire du capteur est inclinée de 30° vers le haut par rapport à l'horizontale pour éviter d'avoir dans le champ de mesure le « socle » du bâtiment (ex. vitrines), ce dernier étant compris dans l'angle de vision à 90° du deuxième pyromètre,
- ▶ le second capteur avec un angle de vision de 90° permet d'obtenir une résolution spatiale d'environ 4 m.

Dans cette même situation, si on admet que la façade opposée se trouve à 6 m de la piétonne et du piéton, dans ce cas les résolutions spatiales sont les suivantes :

- ▶ le capteur « spot » avec un angle de vision de 35° permet d'obtenir une résolution spatiale fine d'environ 3,8 m,
- ▶ le second capteur avec un angle de vision de 90° permet d'obtenir une résolution spatiale de 12 m.

À noter que à cette distance, une portion de la surface du sol sera incluse dans la mesure obtenue avec le capteur avec un angle de vision de 90° ce qui est vraiment représentatif de ce que les surfaces urbaines « renvoient » à la piétonne et au piéton. Bien entendu que si par exemple des arbres ou une haie sont placés entre la piétonne et le piéton et la façade verticale minérale, la température mesurée sera représentative de ces surfaces végétales.

Mesure des températures des surfaces verticales situées à l'avant et à l'arrière de la piétonne et du piéton

Ces deux orientations correspondent au sens de marche, respectivement à son opposé. Dans la plupart des configurations urbaines ça correspond aussi à des champs de vision plus dégagés.

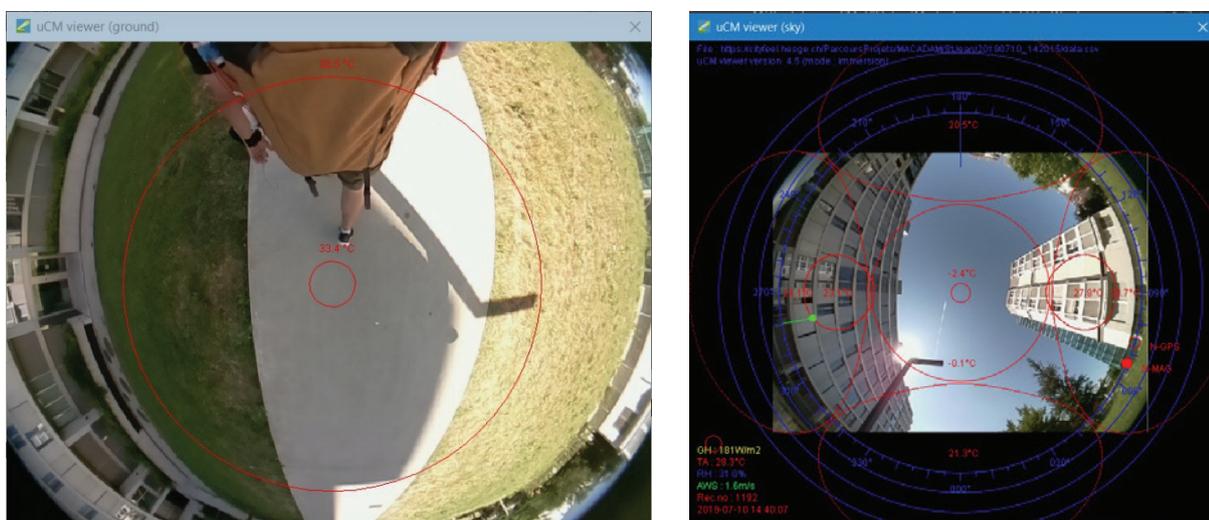
Un pyromètre infrarouge sans contact orienté vers l'avant et un vers l'arrière permettent de mesurer la température renvoyée par les surfaces antérieures et postérieures à la piétonne et au piéton. La résolution spatiale dépend de la distance des surfaces. Les angles des capteurs infrarouges sont les suivants :

- ▶ un capteur vers l'avant avec un angle de vision de 90°,
- ▶ un capteur vers l'arrière avec un angle de vision de 90°.

Trois constats méthodologiques triviaux s'imposent :

1. les résolutions spatiales obtenues correspondent non seulement à la scène environnementale telle que la perçoit réellement la piétonne et le piéton qui se déplace en ville, mais elle correspond aussi à « l'échelle d'intervention urbaine » à laquelle les urbanistes et aménagistes sont confrontés dans leurs projets d'aménagement ou de requalification,
2. les valeurs mesurées correspondent à des valeurs réelles et leur précision est importante,
3. les 6 capteurs pyromètres à 90° orientés dans les 4 orientations cardinales plus en haut et en bas permettent de couvrir l'entier (360° sphérique) de la scène thermique qui entoure la piétonne et le piéton.

Exemple d'affichage des données mesurées.



6.3 Méthodologie en rapport avec les relevés des mesures

L'enjeu étant d'adapter la ville aux changements climatiques et plus particulièrement d'assurer une ville supportable pour ses habitantes et habitants dans la perspective d'une augmentation des températures et d'une augmentation des périodes caniculaires, les relevés des mesures auront d'autant plus de sens s'ils sont réalisés pendant des journées chaudes.

Le μ CM offre une grande souplesse d'utilisation, ce qui permet d'envisager le déroulement des relevés selon deux approches :

- une première plutôt classique, strictement liée à la physique de la ville : géométrie solaire, min. et max. des températures, matérialités, etc. Ce cas est utilisé pour les situations qui nécessitent une compréhension plus pointue des phénomènes physiques en jeu à partir de situations réelles ou pour démontrer des principes.

- ▶ la deuxième est plutôt liée à l'usage de la ville ou d'un lieu particulier par ses usagères et usagers. Dans ce cas c'est vraiment l'usage qui définit les moments de la journée les plus représentatifs pour effectuer les relevés. C'est l'approche privilégiée lorsqu'il s'agit de diagnostiquer par exemple une rue ou une place particulièrement fréquentée et qui présente un important inconfort estival et qu'il s'agit de requalifier en intégrant l'aspect microclimatique.

Les habitudes locales mettent en évidence les périodes suivantes :

- 08 h – 09 h déplacement vers le lieu de travail, à l'école
- 12 h – 14 h pause de midi
- 16 h – 18 h sortie écoles, travail
- 20 h – 22 h sorties du soir

A noter que cette approche respecte bien le cadre méthodologique défini qui place l'usagère et l'utilisateur de la ville au centre des préoccupations. Selon les situations on obtient des informations plus pertinentes à partir des 3 dernières plages d'usage, car le matin est *de-facto* un moment de la journée plus accepté.

7 Relevés de terrain et analyse des facteurs d'influence – HEPIA

h e p i a

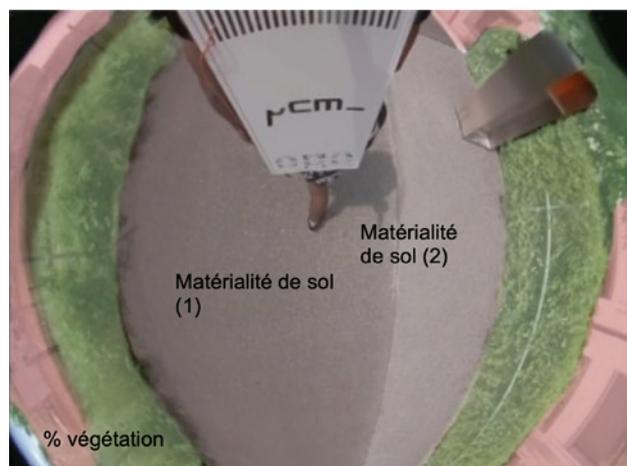
Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève



7.1 Clés de lecture

Chaque situation est illustrée par une photo du ciel et une photo du sol. Ces illustrations permettent de situer le contexte et d'identifier les éléments significatifs dans l'analyse microclimatique.

Ci-dessous, un exemple commenté mettant en évidence les éléments visibles sur les photos.



Facteurs d'influence

Éléments visibles	Rôle dans l'analyse	Données physiques associées
Matérialité des façades	Identifier la matérialité des façades / mise en relation des températures rayonnantes relevées	Températures rayonnantes, MRT
Part de ciel visible/soleil	Le ciel est une surface froide et joue un rôle comme élément rayonnant de température basse (-10°C – 10°C), provenance du rayonnement solaire capté par l'espace urbain	Température rayonnantes, MRT, Gh (W/m ²)
% végétation	Élément constitutif de l'environnement relevé, joue un rôle par son ombrage	Température rayonnantes, MRT
Matérialité du sol	Identifier la matérialité du sol / mise en relation des températures du sol relevées	Température du sol (°C)

7.2 Indicateurs

Les indicateurs mis en évidence et commentés pour chaque cas d'études sont :

Indicateur	Définition	Unité	Remarque
Température de l'air	Température ambiante	°C	La température de l'air intervient dans le calcul de l'UTCI
Température du sol	Température de surface du sol	°C	la température du sol n'intervient pas dans le calcul de l'UTCI
Rayonnement solaire	Mesure du rayonnement solaire	W/m ²	Le rayonnement solaire intervient dans le calcul de l'UTCI
UTCI	<i>Universal thermal comfort index</i> est la température équivalente à la sensation de chaleur dans des conditions environnementales contrôlées, sans rayonnement ni vent	°C	
MRT	La température radiative moyenne (<i>Mean Radiant Temperature</i>) est une température intervenant dans le calcul du bilan thermique d'un corps avec son environnement. Elle permet de synthétiser les échanges thermiques par rayonnement entre le dit corps et son environnement. Elle peut être mesurée avec un thermomètre à globe noir, ou calculée d'après la mesure de l'ensemble des températures des surfaces environnantes	°C	
PET	PET signifie « <i>physiological equivalent temperature</i> ». C'est un indicateur qui intègre les données de température, de rayonnements, d'humidité et de vents ainsi que les caractéristiques du sujet tels que l'activité, l'habillement, l'âge et le sexe. On calcule une température équivalente à la sensation de chaleur dans des conditions environnementales contrôlées, sans rayonnement ni vent. Cet indicateur se veut proche de la sensation de chaleur réelle	°C	

Pour certains cas, il est pertinent d'ajouter également la température du ciel ainsi que la température latérale (façades).

7.3 Synthèse des mesures et résultats

Afin de comprendre les facteurs influençant les zones de fortes chaleurs ponctuelles, plusieurs relevés ont été réalisés avec le microclimamètre. Ils se sont déroulés dans différentes situations urbaines, suivant un protocole de mesures déterminé en amont. L'objectif de ces mesures étant de comprendre un contexte urbain et les facteurs qui influencent le confort climatique et de ce fait de choisir et de qualifier les mesures d'aménagement qui vont permettre de répondre au mieux aux enjeux en présence.

Deux types de mesures ont été réalisées.

- ▶ Les mesures de spot → étudier une situation urbaine particulière
- ▶ Les mesures à travers un ou des parcours → étudier les variations des conditions microclimatiques le matin, à midi et le soir afin d'identifier les facteurs exerçant une influence sur le confort microclimatique à différents moments de la journée et dans des situations urbaines différentes, mais comparables par des conditions de mesures semblables.

Les cas d'études, présentés dans le détail ici, sont tirés de ces deux types de relevés et visent à mettre en évidence les facteurs d'influence de plusieurs situations urbaines. L'analyse est divisée en 5 facteurs d'influence :

1. Les façades
2. L'eau
3. Le sol
4. L'ombrage
5. La morphologie urbaine

Chaque cas d'étude est systématiquement représenté par deux situations comparables. Un texte explicatif ainsi qu'un tableau synthétique permettant de comprendre les facteurs d'influence microclimatiques. Les résultats, pouvant paraître relativement intuitifs, sont analysés en annexe pour comprendre les phénomènes qui influencent les résultats de terrain et donc l'efficacité d'une mesure.

Les facteurs d'influence qui ont le plus d'effet sont mis en évidence et offrent des premières recommandations d'aménagement :

- ▶ **L'ombrage démontre la meilleure efficacité: Privilégier l'ombrage végétal à l'ombrage artificiel**
- ▶ **La présence d'eau et de revêtements clairs améliore le confort climatique**
- ▶ **Les façades vitrées engendrent des phénomènes de surchauffe dans les espaces adjacents**

Façade

N° de cas d'étude	Cas d'étude	Typologie / Situation / Contexte	Situation / Comportement / Phénomène	Impact (effet positif ou négatif)	T air (°C)	Δ T air (°C)	UTCI (°C)	Δ UTCI (°C)	PET (°C)	Δ PET (°C)
1	L'effet du double soleil : Double peau/phénomène de double soleil	Façade vitrée avec revêtement asphalté au sol	Avec l'effet du double soleil	-	29.2	0.2	31.5	2.4	29.5	2.4
			Sans l'effet de double réflexion	+	29.4	29.1	27.1			
2	L'effet du double soleil : Façade à % de vitrage élevé/ phénomène de double soleil	Façade vitrée avec revêtement pavé béton au sol	Avec l'effet de double soleil	-	30.3	0	34.6	1.2	36	2.5
			Sans l'effet de double soleil	+	30.3	33.4	33.5			
3	L'effet de la matérialité des façades sur leur propre température de surface : contexte urbain/environnement périphérique distinct (3 situations différentes)	Façade majoritairement vitrée, foncée, avec revêtement trottoir genevois au sol	Mesure du rayonnement ambiant	-	29.9	0.3	34.0	1.4	38	3.4
			Mesure du rayonnement ambiant	-	30.0	33.5	34.6			
		Environnements arborisés avec revêtement trottoir genevois/asphalte au sol (façade arbre)	+	29.7	32.6	39.1				
		Parc, revêtement stabilisé clair au sol	Environnement entièrement végétal	+	34.6		38.3			

Eau

N° de cas d'étude	Cas d'étude	Typologie / Situation / Contexte	Situation / Comportement / Phénomène	Impact (effet positif ou négatif)	T air (°C)	Δ T air (°C)	UTCI (°C)	Δ UTCI (°C)	PET (°C)	Δ PET (°C)
4	Mesures de températures sur un sol mouillé et un sol sec	Revêtement pierre naturel sèche au sol	Sol sec	-	30.7	0.4	31.6	1.8	30.6	3
		Revêtement pierre naturel mouillée au sol	Sol mouillé	+	30.3		29.8		27.6	
5	Mesures de températures sur un sol mouillé et un sol sec en béton	Revêtement béton au sol	Sol sec	-	34.4	0.2	39.4	2.8	40.7	2.6
		Revêtement béton mouillé au sol	Sol mouillé	+	34.2		36.6		38.1	
6	Mesures de températures sur un sol mouillé et un sol sec, proximité pataugeoire	Abord d'une pataugeoire dans un parc urbain	Sol sec	-	30.0	0.1	34.5	3.2	34.8	6.4
		Proximité plus proche de la pataugeoire	Sol mouillé	+	30.1		31.3		28.4	
		Parc, revêtement stabilisé clair au sol	Environnement entièrement végétal	+	34.6		38.3		39.1	

Sol

N° de cas d'étude	Cas d'étude	Typologie / Situation / Contexte	Situation / Comportement / Phénomène	Impact (effet positif ou négatif)	T air (°C)	Δ T air (°C)	UTCI (°C)	Δ UTCI (°C)	PET (°C)	Δ PET (°C)
7	Mesure de la température du sol, comparaison entre un sol asphalté foncé et un sol stabilisé clair	Revêtement asphalté au sol	Sol asphalté foncé	-	33.5	0.6	37.8	0.7	39.9	1.5
		Revêtement stabilisé clair au sol	Sol stabilisé clair	+	34.1		37.1		38.4	
8	Mesure de la température du sol, comparaison entre un sol foncé synthétique et un sol type «pelouse»	Revêtement synthétique noir au sol	Revêtement synthétique noir	-	33.9	0.4	38.1	2.1	38.7	3
		Revêtement gazon au sol	Revêtement gazon	+	33.5		36		35	
9	Mesure de la température du sol, comparaison entre un sol asphalté et un sol pavé	Revêtement asphalté au sol	Revêtement asphalté	-	37.5	0	40.9	0.4	42	1.4
		Revêtement pavés au sol	Revêtement pavés	+	37.5		40.5		43.4	

Ombrage

Facteurs	N° de cas d'étude	Cas d'étude	Typologie / Situation / Contexte	Situation / Comportement / Phénomène	Impact (effet positif ou négatif)	T air (°C)	Δ T air (°C)	UTCI (°C)	Δ UTCI (°C)	PET (°C)	Δ PET (°C)
Ombrage Végétal	10	Ombrage végétal Arbre isolé	Sans ombrage végétal, revêtement pavés au sol	Sans ombrage végétal	-	37.3	0.1	41	4.2	42.3	6.6
			Avec ombrage végétal, revêtement pavés au sol	Avec ombrage végétal	+	37.2		36.8		35.7	
	11	Ombrage végétal Couverture végétale / forêt urbaine	Sans ombrage végétal, revêtement asphalte au sol	Sans ombrage végétal	-	34.5	0.3	38.4	5.5	39.8	10
			Avec ombrage végétal, revêtement asphalte au sol	Avec ombrage végétal	+	34.2		32.9		29.8	
Ombrage artificiel	12	Relevé sous une marquise et relevé sans marquise	Sans marquise, revêtement trottoir genevois au sol	Sans marquise	-	38.8	3.6	38.8	3.6	41.5	8.1
			Avec marquise, revêtement trottoir genevois au sol	Avec marquise	+	35.2		35.2		33.4	
	13	Mesure sous un couvert translucide en verre (marquise en verre particulièrement épaisse dont la composition bloque une partie du rayonnement)	Sans couvert, revêtement asphalte au sol	Sans le couvert	-	29.9	0.1	34.9	2.7	39.1	2.2
			Sous le couvert, revêtement asphalte au sol	Avec le couvert	+	30.0		32.2		32.6	
14	Ombrage textile	Sans ombrage, revêtement asphalte au sol	Sans ombrage artificiel	-	30.1		33.4		35.9		
		Sous ombrage textile, revêtement asphalte au sol	Avec ombrage artificiel	+	30.2	0.1	30.4	3	31.6	4.3	
		Parc, revêtement stabilisé clair au sol	Environnement entièrement végétal	+	34.6		38.3		39.1		

Contexte urbain

Facteurs	N° de cas d'étude	Cas d'étude	Typologie / Situation / Contexte	Situation / Comportement / Phénomène	Impact (effet positif ou négatif)	T air (°C)	ΔT air (°C)	UTCI (°C)	Δ UTCI (°C)	PET (°C)	Δ PET (°C)
Morphologie urbaine	15	Mesures dans un parc en comparaison à des mesures le long d'une artère très fréquentée	Milieu urbain, revêtement trottoir genevois au sol	Canyon urbain	-	36.3	1.7	40.3	2	41.6	2.5
			Parc, revêtement stabilisé clair au sol	Environnement entièrement végétal	+	34.6		38.3		39.1	

7.4 Cas d'étude

La situation défavorable est toujours illustrée en première position.

Les situations sont toutes illustrées par une photo du ciel et une photo du sol prises au temps t. Elles permettent de se repérer dans l'espace et d'identifier les éléments physiques de la situation.

Chaque situation analysée ci-dessous doit être comprise dans son contexte. Ces exemples illustrent un retour d'expériences et doivent permettre de comprendre quels types d'aménagement sont favorables au confort microclimatique et lesquels agissent de manière défavorable.

Dans la pratique, chaque cas d'étude devrait faire l'objet d'un diagnostic microclimatique propre afin d'identifier les facteurs d'influence qui lui sont propres pour développer des stratégies d'aménagement adaptées en faveur du confort microclimatique.

Ces situations permettent de tirer un ensemble de retours d'expériences qui sont traduits en recommandations en conclusion du rapport.

La façade et son interaction avec l'environnement



<https://www.v2com-newswire.com/fr/salle-de-presse/categories/architecture-residentielle/dossiers-de-presse/1633-05/maison-berri>

La façade fait partie intégrante de l'environnement urbain. Les typologies de façades sont multiples et leur comportement face au microclimat urbain dépend de leur exposition au rayonnement solaire ainsi que de leur matérialité.

Du point de vue de la physiologie du corps humain, la surface du corps est très exposée au rayonnement d'une façade, de par sa verticalité. En raison de la posture naturelle debout de l'être humain, nous exposons la surface du corps au rayonnement de la façade.

Dans les cas d'études ci-dessous, des situations sont illustrées afin de comprendre l'influence de la façade sur la température ressentie par l'être humain.

Cas d'étude n°1 – l'effet du double soleil sur façade vitrée

Situation 1 – Façade vitrée – mesure avec le phénomène de double réflexion



Figure 28 – Photo du ciel, façade vitrée avec l'effet de double soleil



Figure 29 – Photo du sol avec réflexion, revêtement: asphalt

Situation 2 – Façade vitrée – mesure sans le phénomène de double réflexion



Figure 30 – Photo du ciel, façade vitrée sans l'effet de double soleil



Figure 31 – Photo du sol sans réflexion, revêtement: asphalt

Analyse / phénoménologie

Cas d'étude n° 1	T air	T sol	Gh (W/m ²)	MRT	PET	UTCI
Situation 1	29,2°C	44,8°C	654 W/m ²	30,7°C	29,5°C	31,5°C
Situation 2	29,4°C	41,3°C	589 W/m ²	29,1°C	27,1°C	29,1°C
Δ	-0,2°C	3,5°C	65 W/m ²	1,6°C	2,4°C	2,4°C

Les deux photos du ciel et du sol de la situation 1 nous témoignent de la double réflexion par la mise en évidence du double soleil ainsi que des deux ombres au sol.

La réflexion de la façade en verre augmente le rayonnement solaire environnant, de par un effet additif entre le rayonnement solaire direct et le rayonnement qui est réfléchi par la façade. Le corps humain subit ainsi une double exposition lors de ces situations de « double-soleil », ce qui se traduit dans ce 1^{er} cas d'étude par une différence d'ensoleillement reçu de 65 W/m² (Gh) entre les deux situations étudiées.

A noter que ce Gh plus élevé dans la 1^{re} situation atteint non seulement la piétonne et le piéton, mais également l'ensemble de l'environnement comme le sol et la végétation. Les arbres sont ainsi exposés à un stress thermique plus élevé et leur besoin en eau est accru.

On remarque en outre l'incidence sur la température du sol avec une différence de 3,5°C.

Il est important de limiter ce phénomène de façade miroir et de réflexion en prévoyant des dispositifs d'ombrage extérieurs à la façade ou en choisissant des matériaux de construction peu réflecteurs afin de limiter ce rayonnement excessif.

Cas d'étude n°2 – l'effet du double soleil sur façade mixte

Situation 1



Figure 32 – Photo du ciel, façade vitrée avec le phénomène de double soleil



Figure 33 – Photo du sol avec réflexion, revêtement: pavé béton

Situation 2



Figure 34 – Photo du ciel, façade vitrée, sans le phénomène de double soleil



Figure 35 – Photo du sol sans le phénomène de réflexion, revêtement: pavé béton

Analyse /phénoménologie

Cas d'étude n° 2	T air	T sol	Gh (W/m ²)	MRT	PET	UTCI
Situation 1	30,3°C	54,4°C	1246 W/m ²	34,5°C	36°C	34,6°C
Situation 2	30,3°C	52,8°C	985 W/m ²	34,7°C	33,5°C	33,4°C
Δ	0°C	1,6°C	261 W/m ²	-0,2°C	2,5°C	1,2°C

Le phénomène de réflexion concerne non seulement les façades double-peau principalement composées de verre, mais également les façades mixtes avec un pourcentage de vitrage élevé.

Il suffit d'un point pour subir l'impact du double soleil malgré un environnement entouré de façades minérales comme dans l'exemple ci-dessus.

Les mesures relevées illustrent bien cet exemple. Malgré une température de l'air et une température du sol semblable entre les deux prises de mesure, la température ressentie nous démontre **1,2°C** de différence.

Cette différence est liée au rayonnement solaire (Gh, phénomène de double soleil). La différence entre les deux situations est conséquente. On observe une différence de **261W/m²** pour le **Gh**.

Le **MRT** nous montre que la moyenne des températures rayonnante est élevée, + 2,5°C dans la situation 1. Cela signifie que l'ensemble de l'environnement est déjà bien réchauffé par les multiples rayonnements dont le double soleil.

Les deux photos du ciel et du sol nous témoignent de la double réflexion par la mise en évidence du double soleil ainsi que des doubles ombres au sol.

Cas d'étude n°3 – comparaison de trois matérialités latérales (façades et végétation)

Situation 1



Figure 36 – Photo du ciel, façade majoritairement vitrée, foncée mesure du rayonnement ambiant



Figure 37 – Photo du sol, revêtement: trottoir genevois

Situation 2



Figure 38 – Photo du ciel, façade minérale claire, mesure du rayonnement ambiant



Figure 39 – Photo du sol, revêtement: pavés

Situation 3



Figure 40 – Photo du ciel, environnement arborisé



Figure 41 – Photo du sol, revêtement: trottoir genevois/asphalte

Analyse/phénoménologie

Cas d'étude n° 3	T air	T sol	Gh (W/m ²)	T façade	MRT	PET	UTCI
Situation 1	29,9°C	45°C	963 W/m ²	40°C	35,6°C	38°C	34°C
Situation 2	30°C	45,5°C	991 W/m ²	30,5°C	32,9°C	36,3°C	33,5°C
Situation 3	29,7°C	42,7°C	916 W/m ²	24,3°C	31,3°C	34,6°C	32,6°C
Δ (max-min)	0,3°C	2,3°C	75 W/m ²	15,7°C	4,3°C	3,4°C	1,4°C

Analyse des phénomènes suivants: Matérialité et température (°C) de surface des façades, température (°C) de surface et impact sur l'UTCI.

1. L'effet de la matérialité des façades sur leur propre température de surface

La façade 1, (majorité de surface vitrée) est la façade la plus chaude 40°C. La façade 2, une façade minérale claire atteint une température de surface de 30,5°C. La surface arborisée (alignement d'arbres dense) atteint une température de 24,3°C.

On remarque dans cette dernière situation une température de surface très inférieure à la surface des deux autres façades. Cela est dû à l'ombre que l'arbre se fait à lui-même ainsi qu'à la physiologie de la feuille qui se maintient à température basse.

2. L'impact de la température de surface sur le ressenti de la piétonne et du piéton.

Après avoir comparé ces différentes températures de surface, il est important de comprendre l'impact sur le ressenti de la piétonne et du piéton.

Les trois situations ont été comparées en s'assurant que la température du sol soit suffisamment similaire afin d'éviter des erreurs d'interprétation. On remarque une diminution de la température ressentie en fonction de la diminution de la température de surface de la façade.

La 3^e situation montre à quel point il est important d'être entouré de surface fraîche lorsque la température extérieure est élevée. Dans ce cas, la température de surface contribue à diminuer l'UTCI d'environ 1,4 degrés par rapport à la 1^{re} situation.

Eau



<https://www.das-geneve.com/fontaine-place-des-nations-geneve/>

Dans certaines situation, l'eau peut être source de fraîcheur dans l'espace public.

Néanmoins, certaine situation sont plus favorables que d'autres. Il est important que la piétonne et le piéton puisse avoir accès à l'eau. Par exemple, un dispositif de brumisation participera davantage à créer un sentiment de fraîcheur par rapport à un plan d'eau stagnante exposé au soleil.

En effet, les mesures de la température ressentie effectuées aux abords de plans d'eau ne montrent pas de différence concrète par rapport à une situation sans plan d'eau. En revanche, un sol arrosé par un jet de fontaine continu aura tendance à se maintenir à une température plus basse que lorsqu'il est sec. L'eau va contribuer à la diminution de la température du sol et ainsi diminuer la température rayonnante du sol.

L'accès à l'eau est à favoriser dans l'espace public autant pour se désaltérer que pour se rafraîchir en période de canicule.

Cas d'étude n° 4 – comparaison entre un sol sec et un sol mouillé (pierre naturelle)

Situation 1



Figure 42 – Photo du ciel

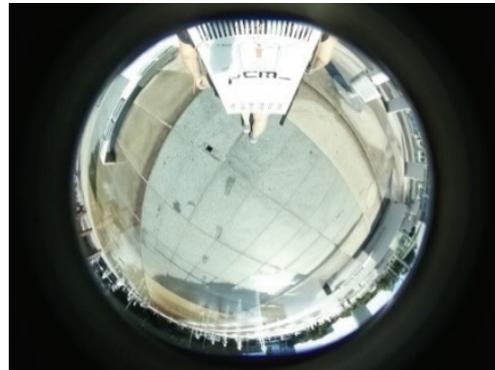


Figure 43 – Photo du sol, revêtement: pierre naturelle sèche

Situation 2



Figure 44 – Photo du ciel



Figure 45 – Photo du sol, revêtement: pierre naturelle mouillée

Analyse / phénoménologie

Cas d'étude n° 4	T air	T sol	Gh (W/m ²)	MRT	PET	UTCI
Situation 1	30,7°C	29,8°C	502 W/m ²	24,7°C	30,6°C	31,6°C
Situation 2	30,3°C	23,5°C	500 W/m ²	23,8°C	27,6°C	29,8°C
Δ	0,4°C	6,3°C	2 W/m ²	0,9°C	3°C	1,8°C

La température du sol mouillé est nettement plus basse que le sol sec (différence: 6,3°C). Malgré une différence relativement importante entre la température du sol entre les deux situations, la différence d'UTCI reste faible (1,8°C).

Ceci est dû au fait que le corps humain perçoit peu la chaleur issue du sol (où de par la posture debout, l'angle solide avec lequel le corps voit le sol est plus petit).

Cas d'étude n° 5 – comparaison entre un sol sec et un sol mouillé (béton)

Situation 1

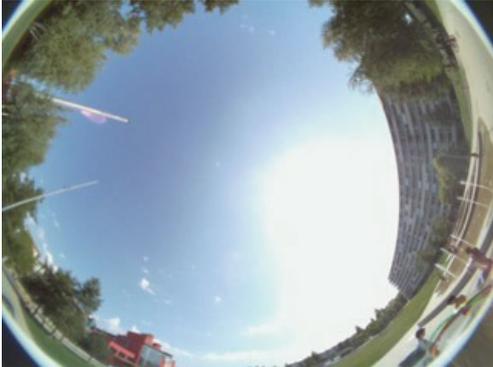


Figure 46 – Photo du ciel



Figure 47 – Photo du sol revêtement: béton sec

Situation 2

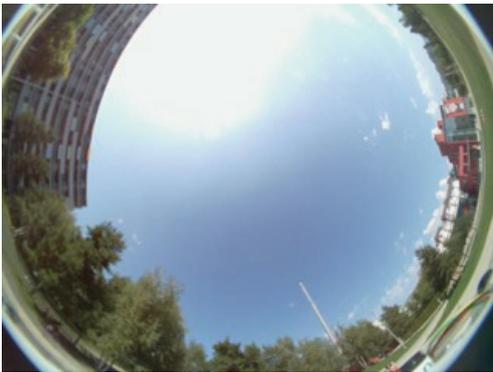


Figure 48 – Photo du ciel



Figure 49 – Photo du sol, revêtement: béton mouillé

Analyse / phénoménologie

Cas d'étude n° 5	T air	T sol	Gh (W/m ²)	MRT	PET	UTCI
Situation 1	34,4°C	46,1°C	754 W/m ²	33,7°C	40,7°C	39,4°C
Situation 2	34,2°C	27,5°C	665 W/m ²	28,9°C	38,1°C	36,6°C
Δ	0,2°C	18,6°C	89 W/m ²	4,8°C	2,6°C	2,8°C

On constate ici également une différence notable de température du sol entre le béton mouillé et le béton sec, avec plus de 18°C d'écart, mais une température de l'air similaire. La différence d'UTCI est plus importante que le cas d'études précédent (qui comparait également sol sec vs sol mouillé).

Dans ce cas précis, la différence de rayonnement solaire est plus importante, et participe de l'augmentation de presque 3°C en termes de températures ressenties entre la situation sur béton sec et celle sur béton mouillé.

Cas d'étude n° 6 – comparaison entre un sol sec et un sol mouillé (proximité pataugeoire)

Situation 1



Figure 50 – Photo du ciel



Figure 51 – Photo du sol : alentours pataugeoire secs

Situation 2



Figure 52 – Photo du ciel



Figure 53 – Photo du sol : alentours pataugeoire mouillés

Analyse / phénoménologie

Cas d'étude n° 6	T air	T sol	Gh (W/m ²)	MRT	PET	UTCI
Situation 1	30,0°C	42,7°C	900 W/m ²	31,2°C	34,8°C	34,5°C
Situation 2	30,1°C	29,1°C	733 W/m ²	26,2°C	28,4°C	31,3°C
Δ	0,1°C	13,6°C	167 W/m ²	57,4°C	6,4°C	3,2°C

Ce dernier cas d'études relatif à l'eau met à nouveau en lumière le bienfait de la présence d'eau au sol en termes de confort microclimatique. Il s'agit ici d'un aménagement récent de pataugeoire, avec une comparaison entre une situation en dehors de toute surface mouillée et une situation au cœur de l'infrastructure des jets et à proximité des petits bassins d'eau.

Comme dans le cas d'études n°5, on remarque une température du sol bien inférieure lorsque celui-ci est mouillé (13,6°C d'écart), et on observe en outre une différence de 3,2°C en matière de températures ressenties (UTCI). Les températures plus faibles induites par l'eau présente sur le sol se ressent donc au niveau des piétonnes et piétons.

Cependant, à noter qu'une fois de plus, il existe une différence de rayonnement solaire (le Gh), qui vient participer de l'augmentation des températures ressenties.

Sol

La température du sol en période de fortes chaleurs varie fortement en fonction de son exposition, de sa couleur et de sa matérialité.

Pour que la température du sol ait un effet sur la température ressentie, l'écart entre la température de l'air et la température du sol doit être important.

Les cas d'études suivants visent à identifier dans quel contexte un certain type de sol peut influencer négativement ou positivement le confort microclimatique.



Cas d'étude n°7 – comparaison entre un sol en asphalte et un sol en stabilisé clair

Situation 1



Figure 54 – Photo du ciel



Figure 55 – Photo du sol, mesure de la température du sol revêtement: asphalte

Situation 2



Figure 56 – Photo du ciel



Figure 57 – Photo du sol, mesure de la température du sol revêtement: stabilisé clair

Analyse / phénoménologie

Cas d'étude n° 7	T air	T sol	Gh (W/m ²)	MRT	PET	UTCI
Situation 1	33,5°C	54,1°C	810 W/m ²	36,8°C	39,9°C	37,8°C
Situation 2	34,1°C	39,5°C	823 W/m ²	31,1°C	38,4°C	37,1°C
Δ	0,6°C	14,6°C	13 W/m ²	5,7°C	1,5°C	0,7°C

Les observations de ces deux cas démontrent que dans une situation semblable, le sol asphalté atteint une température de 54,1°C alors que le sol stabilisé atteint 39,5°C. Cette situation démontre l'importance du choix du sol.

Concernant l'impact sur l'UTCI, une faible variation est constatée malgré une différence de température de 14,6°C entre les deux sols.

Dans la situation 2, la part de ciel visible contribue à diminuer le MRT par sa surface plus dégagée que dans la situation 1.

Cas d'étude n° 8 – comparaison entre un sol en synthétique foncé et un sol en gazon

Situation 1



Figure 58 – Photo du ciel



Figure 59 – Photo du sol, mesure de la température du sol revêtement: synthétique noir

Situation 2

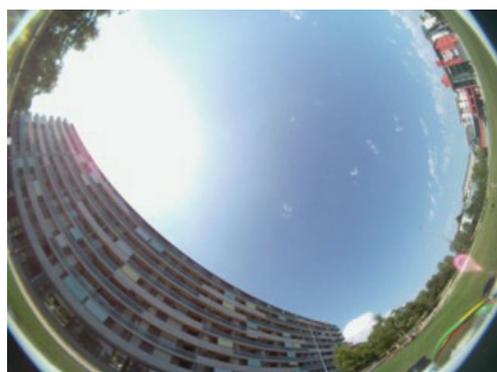


Figure 60 – Photo du ciel



Figure 61 – Photo du sol, mesure de la température du sol revêtement: gazon

Analyse / phénoménologie

Cas d'étude n° 8	T air	T sol	Gh (W/m ²)	MRT	PET	UTCI
Situation 1	33,9°C	66,9°C	664 W/m ²	39,2°C	38,7°C	38,1°C
Situation 2	33,5°C	29,7°C	671 W/m ²	29°C	35,7°C	36°C
Δ	0,4°C	37,2°C	7 W/m ²	10,2°C	3°C	2,1°C

Les deux situations sont situées dans le même parc et relevées dans des conditions similaires.

Ce qui est remarqué ici, c'est l'impact du type de sol sur la température ressentie. Dans le premier cas, le sol atteint une température de 66,9°C alors que dans le deuxième cas, on relève 29,7°C. Un écart de température du sol de 37,2°C et représente une différence de 2,1°C sur la température ressentie (UTCI).

L'écart important entre les deux sols ainsi que la Température du sol « pelouse » inférieur à 30°C joue un rôle important sur l'UTCI.

Cas d'étude n° 9 – comparaison entre un sol en asphalte et un sol en pavés

Situation 1



Figure 62 – Photo du ciel



Figure 63 – Photo du sol, mesure de la température du sol revêtement: asphalte

Situation 2



Figure 64 – Photo du ciel



Figure 65 – Photo du sol, mesure de la température du sol revêtement: pavés

Analyse / phénoménologie

Cas d'étude n° 9	T air	T sol	Gh (W/m ²)	MRT	PET	UTCI
Situation 1	37,5°C	51,3°C	870 W/m ²	35,4°C	42°C	40,9°C
Situation 2	37,5°C	45,1°C	872 W/m ²	33,8°C	43,4°C	40,5°C
Δ	0°C	6,2°C	2 W/m ²	1,6°C	1,4°C	0,4°C

Ce qui est remarqué dans ces deux situations urbaines c'est une différence de **6,2°C** de différence entre la température des deux sols.

Les autres facteurs comme la température de l'air, la température ressentie ainsi que le rayonnement solaire (Gh) sont semblables.

Malgré une différence de **6,2°C** entre les deux situations, on ne remarque qu'une faible diminution de l'UTCI dans la 2^e situation, en raison probablement de l'effet d'angle solide (c'est-à-dire la part du corps humain exposée à la température du sol est faible, de par la position debout).

Ombrage naturel et artificiel



<https://mappingspain.com/fr/le-metropol-parasol-de-seville/>

Du point de vue du microclimat urbain, l'ombrage filtre voire bloque complètement le rayonnement solaire et permet d'offrir des espaces urbains plus confortables, celui-ci impactant très fortement l'UTCI.

L'ombrage protège les surfaces horizontales, mais aussi les façades, ce qui permet d'éviter la surchauffe intérieure ainsi que le double rayonnement. Les arbres ont également besoin d'ombre en période de grosse chaleur afin de protéger leur organisme.

À travers les cas d'études présentés ci-dessous, différents types d'ombrage sont analysés, d'abord des ombrages naturels, puis artificiels.

Cas d'étude n° 10 – étude de l'effet d'un ombrage végétal sur une avenue piétonne (arbre ponctuel)

Situation 1



Figure 66 – Photo du ciel – sans ombrage végétal



Figure 67 – Photo du sol – sans ombrage – revêtement: pavés

Situation 2



Figure 68 – Photo du ciel – avec ombrage végétal



Figure 69 – Photo du sol – avec ombrage végétal – revêtement: pavés

Analyse /phénoménologie

Cas d'étude n° 10	T air	T sol	T ciel	Gh (W/m ²)	MRT	PET	UTCI
Situation 1	37,3°C	48,6°C	9°C	879 W/m ²	36,6°C	42,3°C	41°C
Situation 2	37,2°C	30,6°C	33,6°C	151 W/m ²	32,4°C	35,7°C	36,8°C
Δ	0,1°C	18°C	24,6°C	728 W/m ²	4,2°C	6,6°C	4,2°C

Ce 10^e cas d'études approche la dimension de l'ombre végétale, et met en évidence l'impact que l'arbre a sur le rayonnement solaire (Gh) et à terme sur l'UTCI. Entre ces deux situations, la différence de l'UTCI est en effet considérable: **4,2°C**

L'ombrage joue un rôle important. Il bloque une partie importante du rayonnement solaire et il participe au maintien de la température du sol. On remarque également une différence sur la température du sol, de l'ordre de 18°C.

Cas d'étude n° 11 – comparaison de deux situations; la première à proximité de végétation dense sans ombrage et la seconde à proximité de végétation dense avec ombrage

Situation 1



Figure 70 – Photo du ciel – sans ombrage végétal



Figure 71 – Photo du sol sans ombrage – revêtement: asphalt

Situation 2

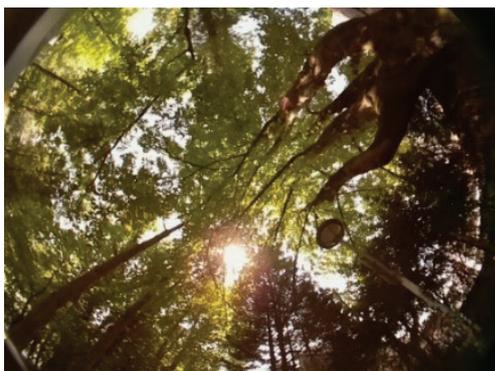


Figure 72 – Photo du ciel – avec ombrage végétal



Figure 73 – Photo du sol – avec ombrage végétal – revêtement: asphalt

Analyse /phénoménologie

Cas d'étude n° 11	T air	T sol	T ciel	Gh (W/m ²)	MRT	PET	UTCI
Situation 1	34,5°C	44,1°C	9,8°C	879 W/m ²	34,3°C	39,8°C	38,4°C
Situation 2	34,2°C	25,6°C	33,6°C	36 W/m ²	28,1°C	29,8°C	32,9°C
Δ	0,3°C	18,5°C	-23,8°C	843 W/m ²	6,2°C	10°C	5,5°C

La densité de la canopée et l'ombre apportée par cette dernière est comparée ici entre une situation présentant une végétation dense, mais sans ombrage, et une situation ayant également une végétation dense, mais cette fois-ci avec ombrage.

Ce qui est constaté ici c'est l'influence de l'arbre sur le rayonnement solaire (Gh) et donc sur la température du sol (**différence: 18,5°C**). La couverture n'est pas de 100 %, mais il y a tout de même une différence de **843 W/m² pour le Gh**.

La combinaison entre un ombrage conséquent et une température du sol très basse engendre **une diminution de l'UTCI de 5,5°C** entre les deux situations.

Ces deux situations permettent également de remarquer que la proximité des arbres (situation 1) ne suffit pas à ressentir une température supportable. L'importance c'est de pouvoir se protéger du rayonnement.

Cas d'étude n° 12 – étude de l'effet de l'ombrage dans une même rue (ombrage minéral type marquise)

Situation 1



Figure 74 – Photo du ciel – sans marquise



Figure 75 – Photo du sol – revêtement: trottoir genevois

Situation 2



Figure 76 – Photo du ciel – avec marquise



Figure 77 – Photo du sol – revêtement: trottoir genevois

Analyse / phénoménologie

Cas d'étude n° 12	T air	T sol	T ciel	Gh (W/m ²)	MRT	PET	UTCI
Situation 1	38,8°C	45,3°C	9,1°C	881 W/m ²	36,7°C	41,5°C	38,8°C
Situation 2	35,2°C	41,4°C	36°C	47 W/m ²	33,9°C	33,4°C	35,2°C
Δ	3,6°C	3,9°C	26,9°C	834 W/m ²	2,8°C	8,1°C	3,6°C

On observe un écart très important du **rayonnement solaire Gh (- 834 W/m²)** et une différence de température ressentie entre les deux situations de **3,6°C**. Cette situation démontre l'importance de la marquise pour bloquer le rayonnement solaire et ainsi agir sur la température ressentie.

Cas d'étude n° 13 – étude de l'effet d'un couvert vitré dans le préau d'une école

Situation 1



Figure 78 – Photo du ciel – sans couvert



Figure 79 – Photo du sol – revêtement: asphalté

Situation 2



Figure 80 – Photo du ciel – sous le couvert



Figure 81 – Photo du sol – revêtement: asphalté

Analyse / phénoménologie

Situation : mesure sous un couvert translucide en verre

Cas d'étude n° 13	T air	T sol	T ciel	Gh (W/m ²)	MRT	PET	UTCI
Situation 1	29,9°C	47,6°C	14,7°C	927 W/m ²	33,6°C	39,1°C	34,9°C
Situation 2	30°C	42,5°C	42,5°C	209 W/m ²	35,8°C	32,6°C	32,2°C
Δ	0,1°C	5,1°C	27,8°C	718 W/m ²	2,2°C	6,5°C	2,7°C

Ce cas d'étude vise à comprendre l'impact d'une marquise en verre. On constate en analysant les données que la marquise en verre participe au blocage du rayonnement solaire et engendre une réduction de **2,7°C** sur la température ressentie.

Attention: ce cas n'est pas applicable à toute situation de marquise en verre. Le verre de ce couvert est particulièrement épais et sa composition permet de bloquer une partie du rayonnement.

Dans cette situation, la température du sol est trop élevée pour avoir une influence sur l'UTCI entre les deux situations.

Malgré une surface horizontale de ciel plus fraîche dans la situation 1, l'UTCI reste tout de même plus favorable sous la marquise (situation 2).

Cette observation nous confirme l'influence du rayonnement solaire (G_h) sur la température ressentie.

Cas d'étude n° 14 – étude de l'effet d'un ombrage textile

Situation 1



Figure 82 – Photo du ciel sans ombrage



Figure 83 – Photo du sol sans ombrage – revêtement: asphalte

Situation 2



Figure 84 – Photo du ciel sous ombrage textile



Figure 85 – Photo du sol – revêtement: asphalte

Analyse/phénoménologie

Cas d'étude n° 14	T air	T sol	T ciel	Gh (W/m ²)	MRT	PET	UTCI
Situation 1	30,1°C	50,8°C	-13,2°C	851 W/m ²	34°C	35,9°C	33,4°C
Situation 2	30,2°C	24,2°C	48,6°C	122 W/m ²	33,4°C	31,6°C	30,4°C
Δ	-0,1°C	26,6°C	61,8°C	729 W/m ²	0,6°C	4,3°C	3,0°C

Une différence considérable de la température du sol ainsi qu'une diminution du rayonnement solaire sont constatés entre les deux situations.

Ces deux phénomènes engendrés par l'ombrage influencent l'UTCI de 3°C entre les deux situations.

Dans cet exemple, il est important de remarquer que la température du « ciel » sous la marquise est de 48,6°C. Cette température ajoute une surface rayonnante supplémentaire.

C'est pourquoi le type d'ombrage et sa capacité à ne pas stocker de la chaleur sont importants.

Contexte urbain



<https://www.mobilservice.ch/fr/actualite/dossiers-dactualite/ca-chauffe-dans-la-rue-lrespace-public-face-a-lurgence-climatique-2439.html>

Dans ce chapitre, la situation analysée met en évidence des différences de ressenti climatiques en fonctions du contexte urbain où les mesures sont relevées.

Cas d'étude n° 15 – comparaison de deux situations urbaines, l'une au centre-ville et l'autre au milieu d'un parc urbain

Situation 1



Figure 86 – Photo du ciel – milieu urbain



Figure 87 – Photo du sol – milieu urbain – revêtement : trottoir genevois

Situation 2



Figure 88 – Photo du ciel – dans un parc



Figure 89 – Photo du sol – dans un parc – revêtements : stabilisé clair

Analyse / phénoménologie

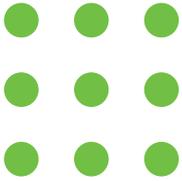
Cas d'étude n° 15	T air	T sol	Gh (W/m ²)	MRT	PET	UTCI
Situation 1	36,3°C	46,4°C	881 W/m ²	33°C	41,6°C	40,3°C
Situation 2	34,6°C	50,6°C	854 W/m ²	32,4°C	39,1°C	38,3°C
Δ	1,7°C	-4,2°C	27W/m ²	0,6°C	2,5°C	2°C

La température de l'air et le Gh sont inférieurs dans l'environnement parc, ce qui engendre une température ressentie (UTCI) inférieure dans la situation 2, de l'ordre de 2°C.

La température du sol dans le parc est supérieure de quelques degrés par rapport à celles dans l'environnement bâti.

Les facteurs influents dans ces deux situations sont le fait que l'environnement du parc est entièrement végétal, soit une faible masse thermique. De plus, la situation bâtie (situation 1) se trouve en situation de canyon urbain : l'évacuation de la chaleur est plus compliquée dans cette 1^{re} situation.

Les façades minérales de la situation 1 ont une masse thermique importante et stockent la chaleur plus facilement qu'un environnement arboré.



www.ge.ch/document/cool-city