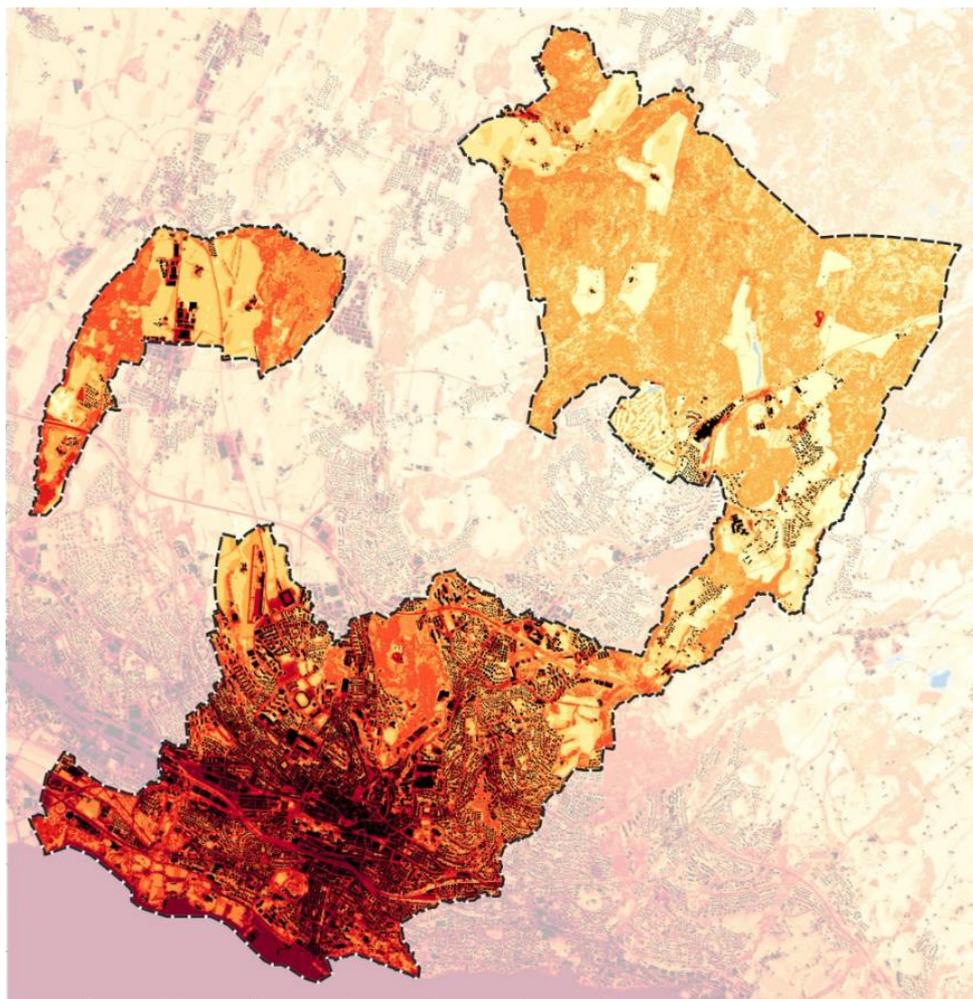


Modélisation climatique



Guide d'utilisation des résultats cartographiques de la
modélisation climatique du territoire lausannois



1 Introduction

Ce document facilite la compréhension et l'utilisation des résultats de la modélisation climatique pour le territoire lausannois réalisée en 2024. Cette étude, réalisée en 2023 par un mandataire externe, a modélisé des paramètres climatiques pour les états actuel et futur, ainsi que les bénéfices de la mise en œuvre de deux mesures d'adaptation aux changements climatiques, soit l'arborisation et la désimperméabilisation de surfaces bitumées. Le rapport complet (GEO-NET, 2024) peut être consulté sur la [page web](#) dédiée au climat et les cartes des états actuel et futur consultées sur le [guichet cartographique de la Ville](#) dédié au public. Les autres cartographies sont disponibles sur le [guichet cartographique interne](#) pour la consultation par les collaborateurs et collaboratrices de la Ville. Une fiche de métadonnées est liée à chacune de ces cartes et accessible sur [viageo](#).

Ce guide s'est inspiré du « [Guide utilisateur](#) » élaboré par l'État de Genève en 2021 afin d'accompagner la publication des résultats de leur modélisation climatique.

2 Contexte

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

Dans le cadre de son Plan climat ([Rapport-préavis N° 2020/54](#)), la Ville de Lausanne a énoncé les grands principes concernant l'adaptation du territoire lausannois aux changements climatiques. Une modélisation climatique des états actuel et futur, ainsi que de scénarios de mesures constitue l'un des diagnostics nécessaires pour élaborer un catalogue de mesures à ce sujet. Les cartes issues de cette modélisation permettent d'évaluer le climat d'aujourd'hui et celui de demain (période 2060). Ces cartes constituent une donnée de base importante pour la mise en œuvre des mesures d'adaptation. En outre, cette étude a permis d'évaluer les effets de deux mesures d'adaptation aux changements climatiques, l'arborisation et la désimperméabilisation (retrait des matériaux de recouvrement des surfaces et remplacement par une surface perméable), et constitue une base de données importante pour leur mise en œuvre.



3 Méthodologie

3.1 Portée et limites du modèle

3.1.1 Modèle

Il existe différentes méthodes d'analyse du climat urbain. La modélisation climatique permet d'examiner non seulement un état actuel, mais aussi des états futurs possibles. Il est ainsi possible d'étudier, entre autres, le changement climatique et la mise en œuvre de mesures. Le présent travail se base sur les résultats de la modélisation avec le modèle de climat urbain FITNAH-3D. Ce dernier répond aux questions de climatologie urbaine en comblant les écarts spatiaux et temporels entre les mesures, en calculant d'autres variables météorologiques et en déterminant précisément les champs des vents et de température. Très complet et précis, il permet d'intégrer les champs des vents et de température avec une résolution spatiale de 5 m x 5 m, mais aussi de modéliser les situations diurnes, où l'irradiation est la plus élevée (14 h), et nocturne, où les températures sont les plus basses (04 h). Un autre de ses avantages est qu'il donne des résultats très précis pour la zone de résidence humaine (2 m du sol), essentiels pour évaluer le climat urbain également sous l'effet du ressenti et de la charge thermique.

3.1.2 Données de base

Le modèle se base sur des données météorologiques d'une journée estivale représentative, caractérisée par un ciel sans nuage et un vent synoptique qui ne se superpose que très faiblement, induisant des caractéristiques climatiques locales particulièrement prononcées. La résolution choisie pour l'étude est de 5 m x 5 m. En outre, les données de base sur l'occupation des sols, le relief et la hauteur des structures sont nécessaires. Les géodonnées concernant ces éléments représentent l'état actuel. L'état futur ne prend pas en compte l'évolution du tissu urbain (invariabilité du bâti), mais uniquement les changements climatiques. Ainsi, l'analyse des résultats permet notamment de mettre en évidence l'évolution des différents paramètres climatiques entre deux situations spécifiques (état actuel et futur, avec ou sans mesure). De plus, elle permet d'identifier des secteurs plus fortement exposés aux aléas climatiques à l'état actuel ou futur.

3.2 Critères climatiques, définitions

Chaque modélisation retourne plusieurs cartes illustrant les critères et variables suivants :

- PET ou température physiologique équivalente ; il s'agit d'une mesure du confort thermique de jour à 1.1 m du sol, tenant compte de nombreux paramètres (la température de l'air, l'humidité de l'air, la vitesse du vent, la température de rayonnement) ; modélisé à 14h ; en °C, ses valeurs varient de «stress extrême de froid» à «stress extrême de chaleur» ;
- température de l'air nocturne ; il s'agit de la mesure de température de l'air de nuit à 2 m du sol permettant notamment d'identifier des zones subissant des nuits tropicales (>20°C); modélisé à 4h ; en °C ;
- débit d'air froid nocturne ; il décrit la quantité d'air froid qui circule chaque seconde à travers une section d'1 m². Contrairement au champ d'écoulement, le débit d'air froid tient donc



également compte des mouvements d'écoulement au-dessus de la couche proche du sol ;
modélisé à 4h ; unité $m^3/(s \times m)$;

- vents nocturnes : ils représentent la vitesse du vent à 2 m du sol, tenant compte du relief et du différentiel de température ; modélisé à 4h ; en m/s.

3.3 Hypothèses

- Horizon futur : La période 2045- 2074 (ou « 2060 ») a été prise en considération. Cette période englobe 2050, soit l'année butoir pour atteindre les objectifs fixés par les Plans climat cantonaux et communaux.
- Changements climatiques : Le scénario *business as usual* (ou RCP 8.5) du GIEC a été pris en compte. En effet, à l'heure actuelle les modèles estiment que l'infléchissement de la tendance n'est pas encore atteint, les effets des mesures d'atténuation n'étant pas encore visibles. Aussi, ce scénario reflète au mieux les changements climatiques tels que pressentis à ce jour.

3.4 Scénario

Deux mesures d'adaptation aux changements climatiques ont été modélisées. La modélisation évalue l'effet de ces mesures à l'échelle territoriale sur les différents critères climatiques, par rapport à l'état actuel, ainsi que par rapport à l'état futur. Ces deux mesures ont été modélisées de façon distinctes, afin d'évaluer pour chacune les bénéfices et limites. Cela permet de valider chaque mesure, et de pointer les effets secondaires à prendre en compte lors de leur déploiement.

3.4.1 Scénario arborisation

Le Plan climat a initié l'élaboration d'[Objectif canopée](#) - Stratégie d'arborisation de la Ville de Lausanne (Préavis N° 2021/15). Ce dernier a pour objectif d'atteindre 30% de couverture foliaire d'ici 2040 et 40% à long terme sur le territoire urbain. Il décrit également les mesures et moyens pour y arriver.

Cette politique est en cours de mise en œuvre et de mise à jour. Une modélisation des effets de cette mesure sur le climat urbain permet de valider son bien-fondé et d'estimer l'ampleur des effets et leur variabilité spatiale.

Hypothèse de travail

La répartition spatiale des arbres a été faite de manière « aléatoirement cadrée ». Afin de compléter la canopée existante et d'atteindre 40% de couverture sur l'aire urbaine, l'emplacement des nouveaux pixels « arbres » tient compte des contraintes suivantes, de manière équivalente :

- pour 1/2 : ajout de nouveaux arbres
 - reprise des arbres du scénario « conversion des places de parc privées »
 - nouveaux arbres hors zone de restriction connue (autoroute, CFF, agriculture, ...)
- pour 1/2 : croissance des arbres existants
 - nouveaux pixels arbres accolés à des arbres existants



3.4.2 Scénario de désimperméabilisation de places de parc privées

La désimperméabilisation de surfaces bitumées a de multiples bénéfices climatiques. Les principaux sont une meilleure gestion des eaux de ruissellement et un rafraîchissement des alentours.

Lors d'une analyse du recensement 2019 réalisée conjointement par les services de la mobilité et aménagement des espaces publics ainsi que de l'urbanisme, il est apparu que la surface des plus de 97'000 places de parc en territoire urbain représente un carré d'environ 1.5 km de côté, soit 13 % du territoire. On dénombre environ 31'000 places de parc privées en surface. Dans le cadre de la modification partielle du Plan général d'affectation (MPGA), de nouvelles règles ont été élaborées pour répondre rapidement aux enjeux d'adaptation aux changements climatiques. Cela inclut notamment une limitation du nombre de places de parc privées par logement et l'obligation d'utiliser des revêtements perméables ou de les végétaliser.

Aussi, dans ce second scénario, la Ville de Lausanne a souhaité innover et tester l'efficacité de la désimperméabilisation de places de parc privées en remplaçant le revêtement bitumineux par de la végétation, de l'arborisation ou un revêtement perméable.

Cela permet de démontrer le potentiel de ces mesures de désimperméabilisation lorsqu'elles sont déployées à grande échelle. Par ailleurs, les résultats étant transposables à la conversion de tout type de surface imperméable, cela permet de valider toutes les mesures de désimperméabilisation, même de faible ampleur.

Hypothèses de travail

L'hypothèse pour cette mesure est d'atteindre un taux de conversion minimal de 60%. La conversion des pixels s'est appuyée sur les caractéristiques suivantes :

- identification des places :
 - sur le territoire urbain ;
 - places de parc privées en surface ;
 - conversion de 60% minimum des places existantes par parcelle ;
- conversion des places sur l'ensemble du territoire urbain :
 - pour 1/3 : en surface perméable ;
 - pour 1/3 : en surface végétalisée ;
 - pour 1/3 : en surface arborisée.



4 Interprétation des résultats

Deux groupes de cartes sont issus de cette modélisation. Le premier met en évidence le climat actuel et son évolution. Il permet d'identifier les secteurs les plus touchés et les critères climatiques majeurs à prendre en compte dans le développement du territoire urbain. Le second valide les mesures d'adaptation et met en évidence les éléments à prendre en compte dans leur déploiement. L'interprétation et l'utilisation de ces deux groupes de résultats sont décrites ci-après.

4.1 Changements climatiques et développement territorial

Les cartes climatiques de l'état actuel et futur constituent un outil adapté et efficace, sur lequel les aménagistes et concepteurs des milieux bâtis doivent s'appuyer pour développer des projets résilients et adaptés aux changements climatiques.

La température ressentie à l'état actuel présente un confort thermique de « stress modéré de chaleur » sur la quasi-totalité de la zone urbaine, tandis que la température nocturne avoisine l'équivalent d'une nuit tropicale au centre-ville uniquement. A l'état futur, le confort thermique se dégrade le jour avec une augmentation des secteurs subissant un stress fort de chaleur en zone urbaine, et les nuits tropicales se répandent sur l'ensemble de la zone urbaine.

Ainsi, la première recommandation est de développer le réflexe d'utiliser les cartes durant la conception de tout projet de développement urbain, quelle que soit la taille ou le secteur concerné. Cela permet de bien comprendre la situation climatique de la zone et de prendre en compte les problématiques observées. Il conviendra alors de préserver les éléments favorables au rafraîchissement identifiés sur ces cartes, par exemple les couloirs d'écoulement de vents nocturnes, l'arborisation ou les surfaces perméables existantes. Il est également recommandé de développer de telles mesures pour améliorer le confort thermique partout où l'on intervient. Cette préservation et amélioration sont possibles par exemple via le choix de l'implantation des bâtiments, du type, de la perméabilité et des couleurs de revêtements, des matériaux de construction, ou encore des taux de végétalisation et d'arborisation.

4.2 Validation de mesures d'adaptation

Arboriser, végétaliser et perméabiliser les surfaces bitumées sont des mesures efficaces, lorsqu'elles sont déployées à large échelle, pour rafraîchir les secteurs environnants. Selon les résultats du modèle, les deux scénarios analysés améliorent significativement la situation future, tenant compte de certains éléments durant leur déploiement. Il convient notamment de prendre des dispositions lors de la plantation des arbres, comme le choix et la diversité des essences, les distances de plantation, et la prise en compte des brises nocturnes.

Ainsi, l'arborisation et la désimperméabilisation doivent être intégrées partout où cela est possible, même lorsque leur emprise est restreinte. En effet, c'est la multiplication de ces mesures et leur déploiement sur l'ensemble du territoire qui garantit une nette amélioration de la situation sur le périmètre communal.



5 Conclusion

Les changements climatiques vont induire une nette baisse du confort thermique de jour comme de nuit, avec des conséquences sur la santé de la population.

Les cartes de l'état actuel et de l'état futur permettent de prendre en compte les critères climatiques dans le développement de projets d'urbanisation. Cela peut être fait par la préservation des éléments favorables au rafraîchissement et leur développement partout où cela est possible, dans le but d'améliorer la résilience du territoire face à ces défis.

L'évaluation des bénéfices des scénarios de mesures d'adaptation valide quant à elle que les mesures d'arborisation et de désimperméabilisation qui ont un effet favorable sur le confort thermique et sur la température de l'air nocturne.

Un milieu dense et urbain peut ainsi être adapté face aux changements climatiques si les critères climatiques sont pris en compte dans le développement urbain, ainsi que grâce à la conservation et à l'aménagement d'espaces verts et arborisés qualitatifs.



6 Récapitulatif

Ce mandat a donné lieu à 4 modélisations, pour lesquelles différents critères climatiques ont été analysés. Les résultats de ces modélisations ont été comparées entre elles, lorsque pertinent, afin d'évaluer l'évolution de ces critères. Ainsi, les cartes issues de cette étude peuvent être listées de la manière suivante :

1. Etat actuel

- a. PET: de jour, 14h
- b. Température nocturne, 4h
- c. Vents nocturnes, 4h
- d. Débit d'air froid nocturne, 4h

2. Horizon « 2060 » avec changements climatiques selon le scénario RCP 8.5 du GIEC

- a. PET: de jour, 14h
 - i. Modélisation
 - ii. Différence avec l'état actuel
- b. Température nocturne, 4h
 - i. Modélisation
 - ii. Différence avec l'état actuel
- c. Vents nocturnes, 4h
- d. Débit d'air froid nocturne, 4h

3. Horizon « 2060 » avec changements climatiques et **scénario d'arborisation**

- a. PET: de jour, 14h
 - i. Modélisation
 - ii. Différence avec l'état actuel
 - iii. Différence avec l'horizon 2060
- b. Température nocturne, 4h
 - i. Modélisation
 - ii. Différence avec l'état actuel
 - iii. Différence avec l'horizon 2060

4. Horizon « 2060 » avec changements climatiques et **scénario de désimperméabilisation**

- a. PET: de jour, 14h
 - i. Modélisation
 - ii. Différence avec l'état actuel
 - iii. Différence avec l'horizon 2060
- b. Température nocturne, 4h
 - i. Modélisation
 - ii. Différence avec l'état actuel
 - iii. Différence avec l'horizon 2060



6.1 Consultation des résultats

6.1.1 Rapport

Le rapport complet (GEO-NET, 2024) peut être consulté sur la [page web](#) dédiée au climat.

6.1.2 Etats actuel et futurs

Les cartes des critères climatiques aux états actuel et futur, ainsi que de leurs différences peuvent être consultées directement sur le [guichet cartographique de la Ville](#). Les données SIG peuvent être transmises sur demande dans le cadre de projets spécifiques.

6.1.3 Mesures d'adaptation

Les résultats de l'évaluation des mesures d'arborisation et de désimperméabilisation peuvent être consultés dans le rapport GEO-NET 2024. Elles sont également disponibles sur le [guichet cartographique interne de la Ville](#) à destination des collaboratrices et collaborateurs et peuvent être transmises sur demande dans le cadre de projets spécifiques.

6.1.4 Métadonnées

Une fiche de métadonnées, disponible sur [viageo](#), est liée à chacune de ces données.

6.2 Public-cible

- Collaborateurs et collaboratrices de la Ville des services de planification et de construction ou ayant un intérêt à identifier les critères climatiques de certaines portion du territoire ;
- Personnes travaillant dans l'aménagement, la planification, l'ingénierie, l'architecture ou l'environnement, ainsi que tous les corps de métier qui, de par les projets réalisés, impactent le climat en modifiant la nature des sols, l'écoulement de l'air et les effets d'ombrage notamment.

6.3 Echelle

- Résolution de 5 m × 5 m
- Toutes les échelles de projet. Chaque mesure compte, peu importe son emprise.

6.4 Comment les utiliser ?

- Utilisables pour tous les types de projets (échelle, nature), si possible très en amont afin de garantir la prise en compte de la composante climatique dès la conception du projet.