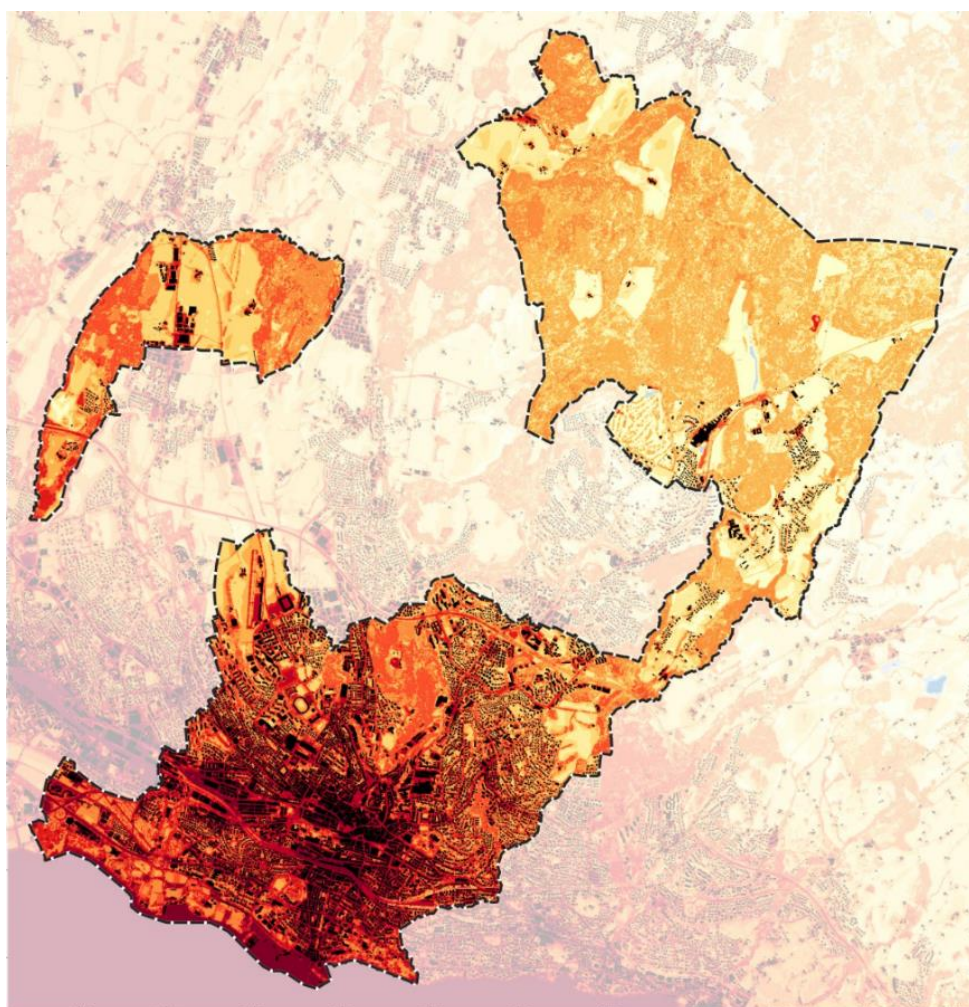


## Modélisation climatique



Rapport de synthèse des résultats de la modélisation  
climatique sur le territoire lausannois



## 1 Introduction

Ce rapport présente de façon synthétique les résultats de la modélisation climatique pour les états actuel et futur réalisée en 2023 par un mandataire externe, 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.

## 2 Contexte

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 (2024) et celui de demain (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.

Le projet a été mené par le Bureau climat et durabilité du département logement, environnement et architecture, avec la collaboration du service des parcs et domaines et du service d'urbanisme. La modélisation a été réalisée par GEO-NET Umweltconsulting GmbH. Le Canton de Vaud a réalisé une étude similaire avec les mêmes mandataires sur le territoire vaudois, étude sur laquelle la Ville a pu se baser pour affiner le cadre d'étude sur son territoire. Une étroite coordination a donc eu lieu entre la Ville de Lausanne et le Canton de Vaud afin que ces études soient complémentaires et les résultats comparables.



## 3 Méthodologie

### 3.1 Hypothèses

La Ville de Lausanne et l'État de Vaud avaient la même volonté de réaliser une modélisation climatique sur leur territoire respectif. Aussi, une coordination a eu lieu entre les deux administrations, afin d'obtenir des résultats complémentaires et comparables. Les éléments suivants ont notamment été choisis de manière conjointe :

- Horizon futur : La période 2045- 2074 (ou « 2060 ») a été pris en considération. Cette période englobe 2050, soit l'année butoir pour 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 le mieux les changements climatiques tels que presentis à ce jour.

En revanche, les hypothèses pour les scénarios de mesures étaient sensiblement différentes. Les scénarios de la Ville sont présentés dans le chapitre suivant. Le Canton a quant à lui choisi de modéliser l'effet de l'urbanisation sur les différents critères climatiques. Le modèle choisi par le Canton a ainsi considéré la situation où toutes les zones de développement actuellement légalisées seraient urbanisées selon les contraintes en vigueur. Les effets de l'urbanisation étant ainsi modélisés dans le cadre du projet cantonal, la Ville a préféré tester une mesure d'adaptation aux changements climatiques à l'échelle communale, à savoir la conversion de revêtement des places de parc privées de bitume à perméable, avec ou sans végétation et arborisation. Le bâti reste donc inchangé dans le modèle lausannois, par rapport à la situation observable en 2024.

Au vu de la superficie des différentes modélisations et des temps de calculs associés, la résolution choisie pour l'étude cantonale est de 10 m × 10 m, tandis que celle de l'étude communale est de 5 m × 5 m.



## 3.2 Portée et limites du modèle

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. 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, 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.

## 3.3 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 et permet 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 m<sup>2</sup>. 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<sup>3</sup>/(s × 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.

## 4 Scénario

Deux mesures d'adaptation aux changements climatiques ont été modélisées. Ces dernières sont présentées ci-après.

La modélisation évalue l'effet de ces mesures à l'échelle territoriale sur les différents critères climatiques, par rapport à l'état actuel, ainsi qu'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.

#### 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.

##### 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, l'emplacement des nouveaux pixels « arbres » tient compte des contraintes suivantes, de manière équivalente :

— pour ½ : ajout de nouveaux arbres  
reprise des arbres du scénario « conversion des places de parc privées »  
nouveaux arbres hors zone de restriction (autoroute, CFF, agriculture, ...)

— pour ½ : croissance des arbres existants  
nouveaux pixels arbres accolés à des arbres existants

#### 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 son 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

Dans le cadre de ce projet, il a été choisi de modéliser l'impact d'une telle mesure si le revêtement des places de parc privées existantes était converti en surfaces perméables, végétalisées ou arborisées.

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  $\frac{1}{3}$  : surface perméable ;
  - pour  $\frac{1}{3}$  : surface végétalisée ;
  - pour  $\frac{1}{3}$  : surface arborisée.





## 5 Résultats

Dans ce résumé, seuls les critères climatiques de température (ressentie et nocturne) sont présentés pour les deux horizons temporels. En complément, les effets des mesures d'adaptation par rapport à l'état futur sont également exposés. En effet, l'arborisation et la désimperméabilisation ont un impact particulier sur la PET et la température de l'air, de sorte que ces deux paramètres climatiques sont considérés en priorité.

### 5.1 Température de l'air nocturne

A l'état actuel déjà, des surchauffes estivales induisant des nuits tropicales sont identifiées, notamment autour du plateau de la gare, au centre-ville et au bord du lac. En 2060, les zones observant des nuits tropicales (>20 °C) seront significativement plus étendues et l'ensemble du territoire urbain subira des surchauffes. Les territoires forains ne seront pas épargnés. Des mesures d'adaptation sont donc nécessaires pour la santé et le bien-être de la population.

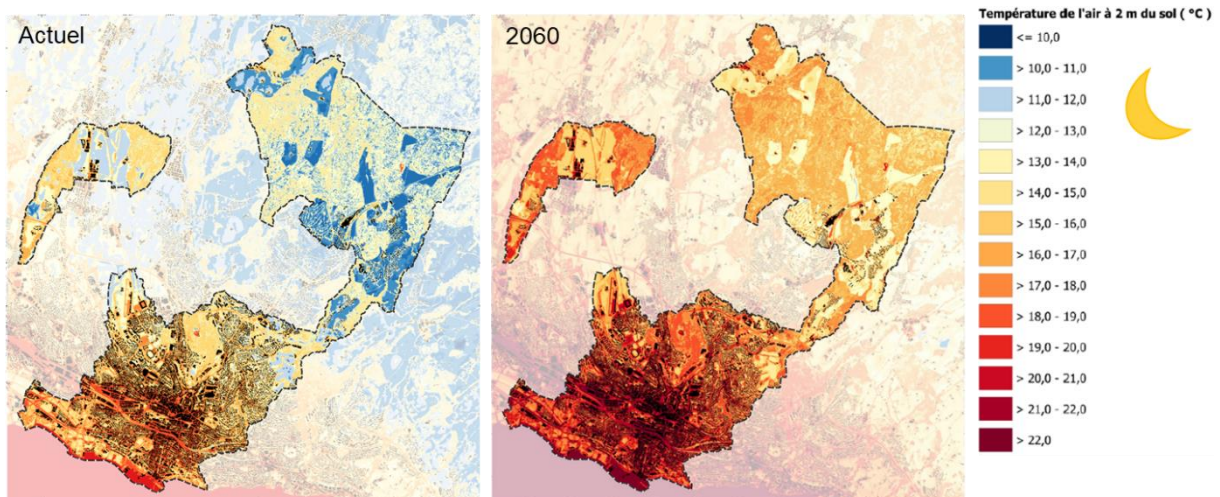


Figure 1 Température de l'air nocturne (4h) à l'état actuel et l'état futur sans mesure d'adaptation



### 5.2 PET (température physiologiquement équivalente)

Une nette dégradation du confort thermique est observée à l'état futur. Une grande partie du territoire urbain se trouve en stress fort de chaleur, avec des conséquences non négligeables sur la santé de l'ensemble de la population.

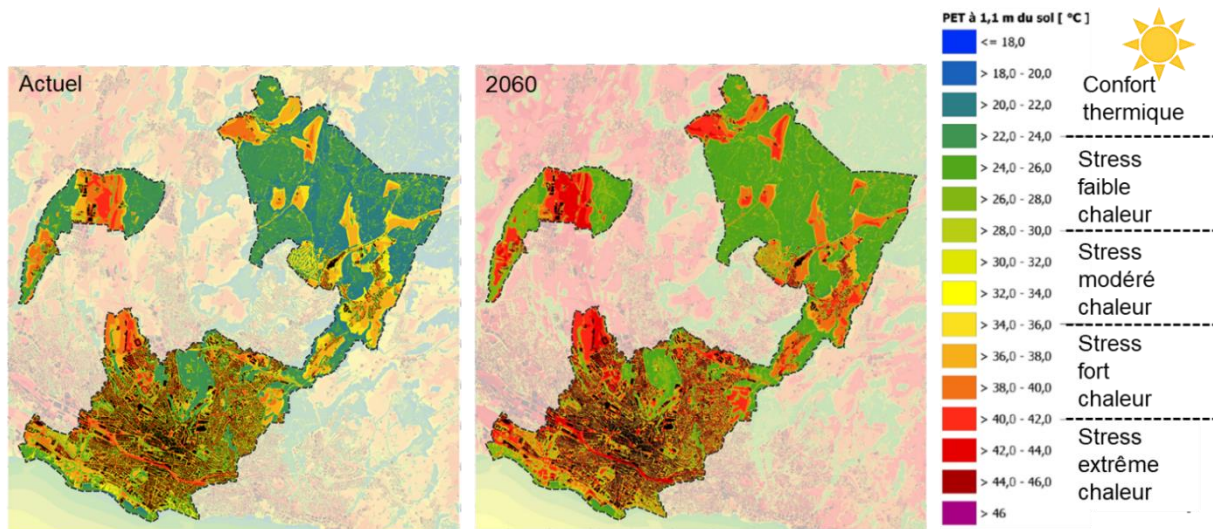


Figure 2 PET (14h) à l'état actuel et à l'état futur sans mesure d'adaptation

### 5.3 Arborisation

L'arborisation a un effet significatif sur la PET (Figure 3). De jour, le confort thermique s'améliore de plusieurs degrés, compensant même les changements climatiques. En d'autres termes : de jour, la situation est améliorée en 2060 en comparaison aux étés actuels, grâce au déploiement d'Objectif canopée.

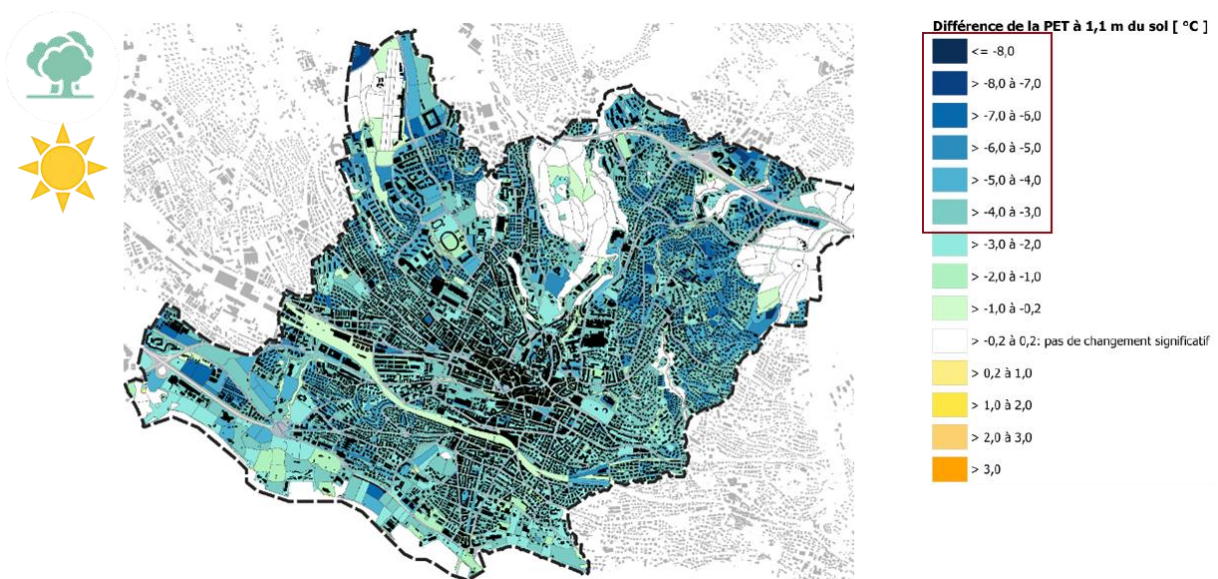


Figure 3 Effet de l'arborisation sur la PET de jour par rapport à l'état futur sans mesure d'adaptation





De nuit, l'arborisation améliore la température au centre-ville à l'état futur (Figure 4). En revanche, la densité de la couverture de canopée peut entraver la ventilation et diminue donc le rafraîchissement nocturne. L'arborisation, telle que modélisée, pèjore donc légèrement la situation future de nuit dans les lieux déjà arborés actuellement.

Afin de minimiser cet effet négatif, des dispositions peuvent être prises lors de la plantation (par exemple choix et mixité des essences, distances de plantation, prise en compte des brises nocturnes). Les cartes issues de ce rapport permettront d'affiner l'implantation de futurs arbres.

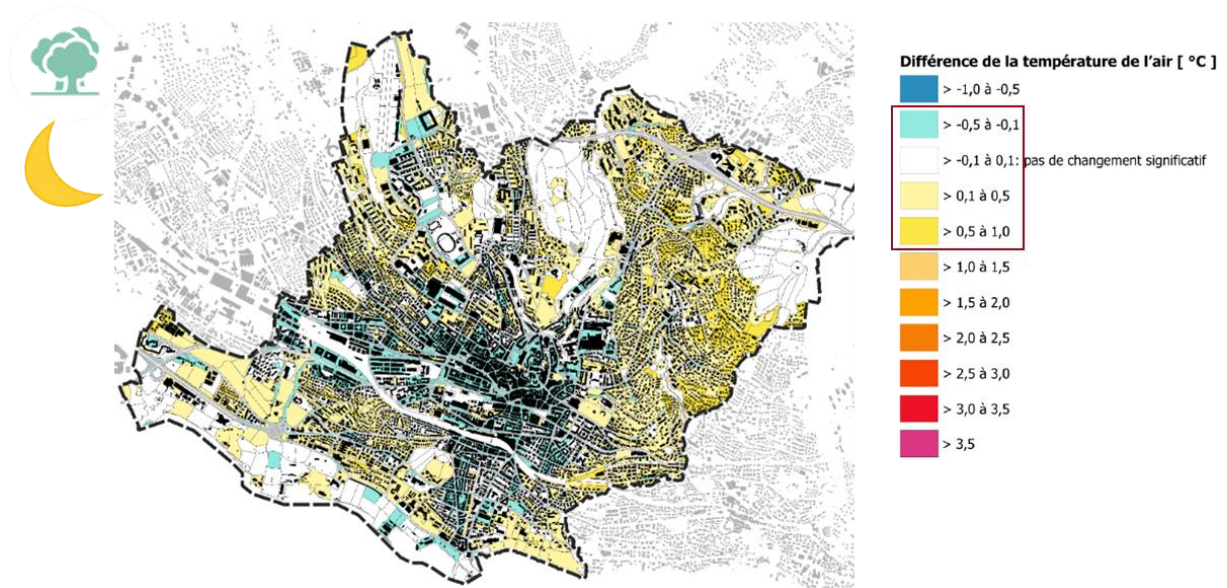


Figure 4 Effet de l'arborisation sur la température nocturne par rapport à l'état futur sans mesure d'adaptation



### 5.4 Désimperméabilisation de places de parc privées

De jour, la conversion de ces surfaces revêtues en surfaces perméables, végétalisées ou arborisées a un impact positif significatif sur la PET pour l'ensemble du territoire urbain (Figure 5), plus spécifiquement sur et aux abords des surfaces bâties et routières.

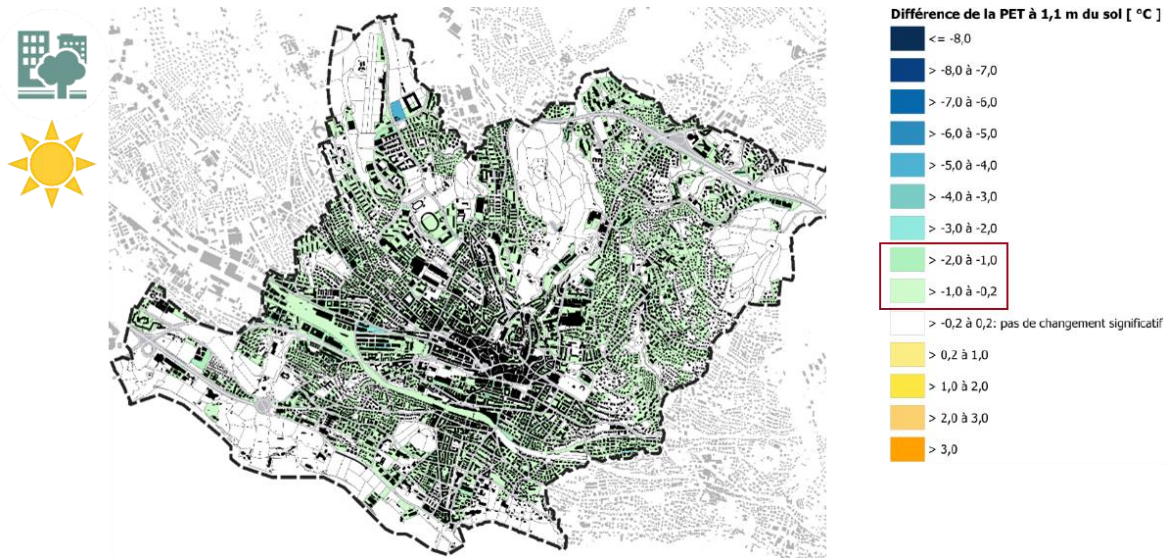


Figure 5 Effet de la conversion de places de parc privées sur la PET de jour par rapport à l'état futur sans mesure d'adaptation

De nuit, la conversion de ces surfaces revêtues en surfaces perméables, végétalisées ou arborisées a un impact positif significatif sur la température de l'air dans l'ensemble du territoire urbain (Figure 6), plus spécifiquement sur et aux abords des surfaces bâties et routières.

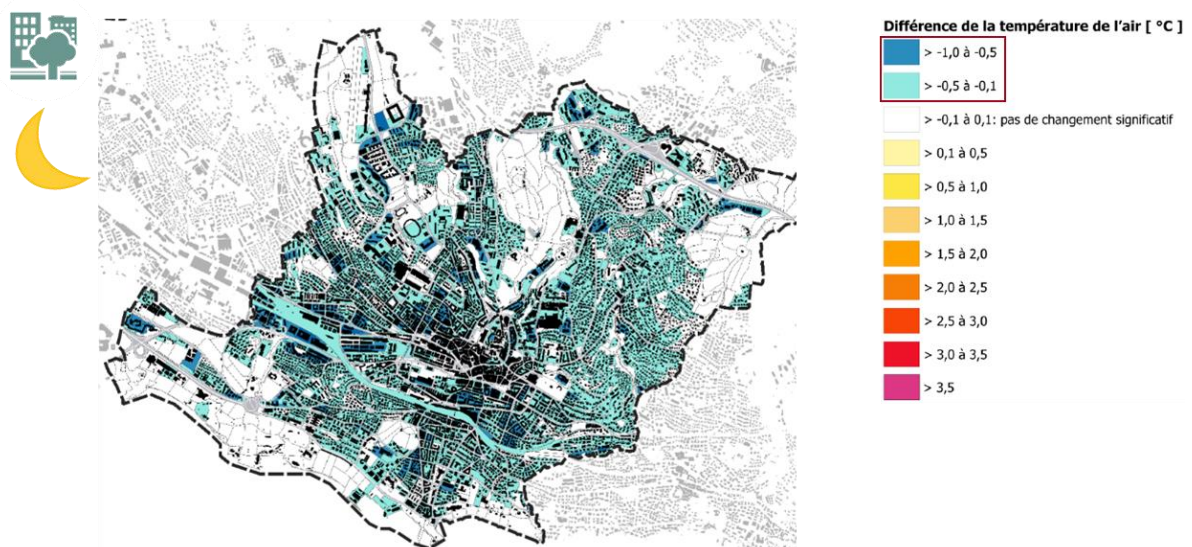


Figure 6 Effet de la conversion de places de parc privées sur la température nocturne par rapport à l'état futur sans mesure d'adaptation



## 6 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.

La mesure d'arborisation, telle que modélisée dans ce travail, induit un confort thermique de jour significativement supérieur. Ce confort thermique sera même meilleur en 2060 en considérant la mise en œuvre d'Objectif canopée, qu'avec le climat actuel sans mesure d'adaptation. En revanche, de nuit, seule la situation au centre-ville sera améliorée. Des péjorations ont été identifiées par le modèle dans les zones moins densément bâties. Ces dernières peuvent être atténuées, voire éliminées, par la mise en œuvre de bonnes pratiques de choix d'emplacement pour la plantation.

Arboriser, végétaliser et perméabiliser les surfaces bitumées sont des mesures efficaces lorsqu'elles sont déployées à large échelle pour rafraîchir les secteurs environnants. En effet, la mesure de conversion du revêtement de 60% des places de parc privées améliore significativement la situation future de nuit sur l'ensemble du territoire. Elle a également des bénéfices locaux de jour. En outre, la conversion de ces espaces bitumés permet la création de nouveaux sites de plantation et végétalisation.

Au vu de ce qui précède, ces deux mesures améliorent significativement la situation future, tenant compte de certains éléments durant leur déploiement. De plus, elles se complètent bien, tant d'un point de vue de l'amélioration du confort thermique de jour et de la température de nuit, que d'un point de vue de mise en œuvre des mesures. Un milieu dense et urbain peut ainsi être adapté face aux changements climatiques si des espaces verts et arborisés qualitatifs sont conservés ou aménagés.

Ce rapport ne définit pas de nouvelles politiques publiques, mais valide scientifiquement les bénéfices de politiques publiques déjà en cours. Ainsi, cette modélisation sera valorisée dans le cadre du catalogue de mesures d'adaptation aux changements climatiques. En effet, outre le diagnostic de l'état actuel et la prédiction de l'état futur, ces résultats valident les mesures phares d'adaptation aux changements climatiques que sont la désimperméabilisation et la végétalisation. Cela appuie le développement et le déploiement de telles mesures sur le territoire urbain en toute occasion, et plus particulièrement au centre-ville.