



**SOLENEOS**  
RAFRAICHISSONS NOS VILLES

# Étude d'impact Îlot de Chaleur

Îlot République, Châtillon

Juillet 2024

# Sommaire

- 1. Objectif de cette étude**
- 2. Description de l'outil de simulation**
- 3. Description du cas d'étude**
- 4. Période de simulation initial**
- 5. Résultats**
- 6. Conclusion**

# 1. Objectif de cette étude

L'objectif de cette étude est de quantifier la contribution d'un projet d'aménagement au phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) sur la base de simulations numériques. L'ICU est un phénomène complexe qui décrit les élévations des températures maximales et moyennes observées dans les zones urbanisées ou aménagées, particulièrement et principalement durant la période nocturne. Il s'agit d'un phénomène macroscopique qui est produit à l'échelle de l'agglomération urbaine et génère des anomalies de températures. Dans les zones urbanisées des plus grandes agglomérations, la température de l'air est en moyenne 3 à 4 °C supérieure à celle de la campagne environnante et cette différence peut atteindre jusqu'à 10 °C durant les nuits de période caniculaires.

Cette étude s'applique au réaménagement de l'îlot « Vecteur Sud » situé au 70 avenue de la république, au croisement de l'avenue de la République et de la rue Perrotin à Châtillon (92).

Pour cela, deux configurations seront évaluées : la situation actuelle du quartier et celle du quartier après la mise en œuvre du projet d'aménagement, avec les conditions météorologiques d'une canicule. L'influence du projet sur la contribution à l'effet d'îlot de chaleur en est déduite.

## 2. Description de l'outil de simulation

SOLENE-*microclimat* est un outil de simulation numérique, qui permet de modéliser finement le climat urbain à l'échelle d'un quartier. La représentation des phénomènes physiques régissant le climat urbain (ensoleillement, vent, transferts de chaleur,...) permet de pouvoir évaluer l'influence de l'environnement bâti sur l'effet d'îlot de chaleur urbain, le confort thermique et les consommations énergétiques des bâtiments. La quantification de l'efficacité des solutions de rafraîchissement urbain (végétation, surface d'eau, forme urbaine, choix des matériaux, ...), la comparaison de diverses solutions d'aménagement, ainsi que la considération de scénarios prospectifs considérant le changement climatique sont quelques unes des applications phares de l'outil. Cet outil est issu de la recherche académique et a fait l'objet de diverses évaluations et publications scientifiques permettant de valider sa capacité à correctement restituer les phénomènes physiques régissant le climat urbain.

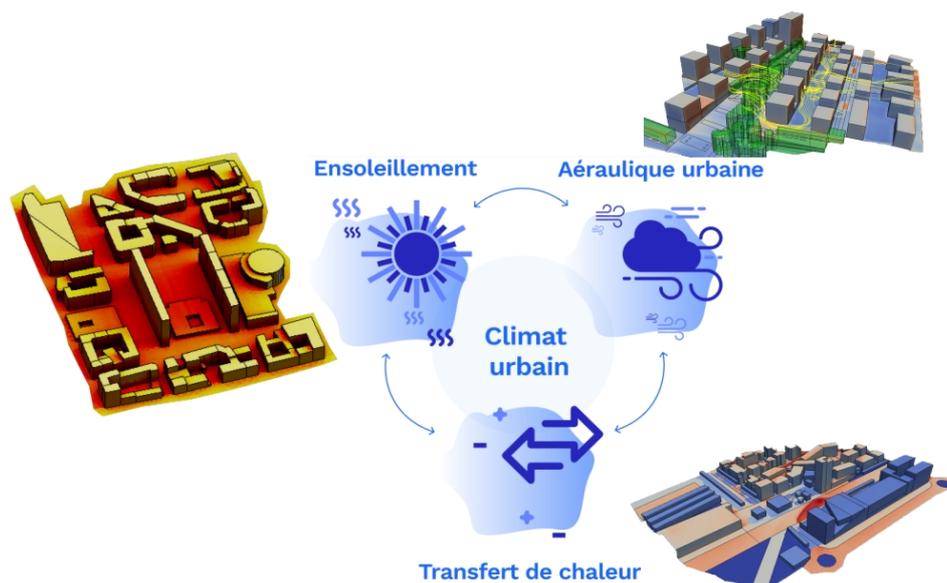


Figure 1 : SOLENE-*microclimat* : couplage d'outils de simulation numérique du climat urbain.

Ce modèle réalise le couplage entre un outil de calcul d'ensoleillement (SOLENE), des modèles thermiques de paroi, un modèle de thermique du bâtiment, et un outil de mécanique des fluides numériques (CFD) Code\_Saturne (Figure 1). Utilisé à l'échelle du quartier, il permet de calculer avec une résolution très fine (de l'ordre du m<sup>2</sup>) la distribution de l'ensemble des paramètres climatiques : ensoleillement, température de surface, température d'air, humidité, etc.

Les calculs d'ensoleillement (Figure 2) prennent en compte précisément le rayonnement direct et le rayonnement diffus. Considérant les albédos des surfaces, les calculs d'ensoleillement prennent également en compte les multiples réflexions du rayonnement solaires entre les diverses surfaces urbaines. Les modèles thermiques des parois permettent de reproduire les phénomènes de stockage et de restitution de la chaleur au sein des surfaces urbaines (Figure 3), ainsi que l'évolution de la température au sein des bâtiments.

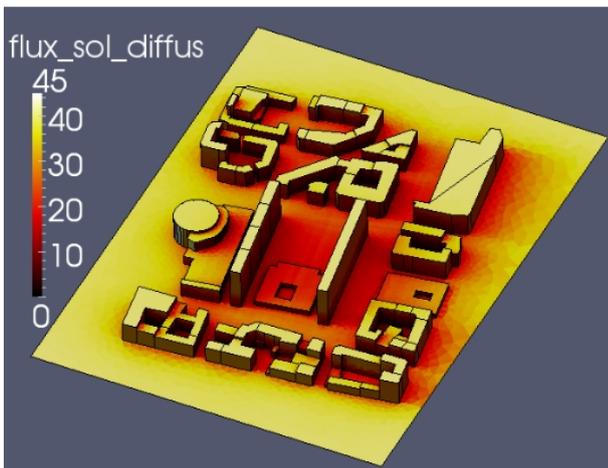


Figure 2 : Distribution des flux solaires diffus sur un quartier de la Part Dieu à Lyon. Simulation pour le 21 juin à 12h réalisée avec SOLENE-microclimat.

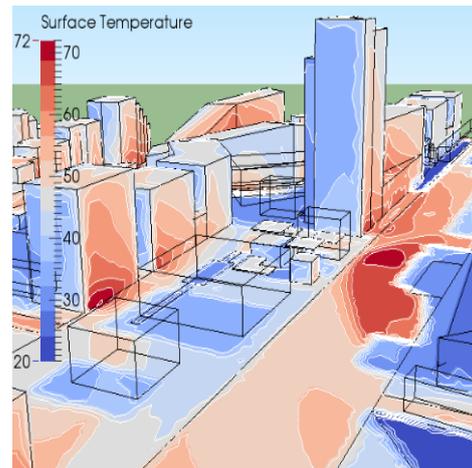
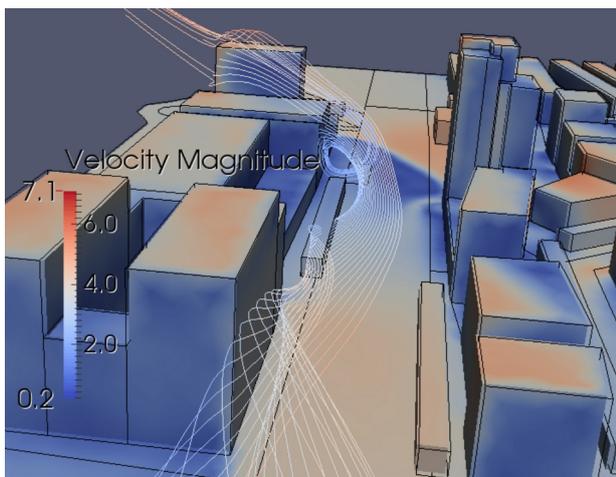
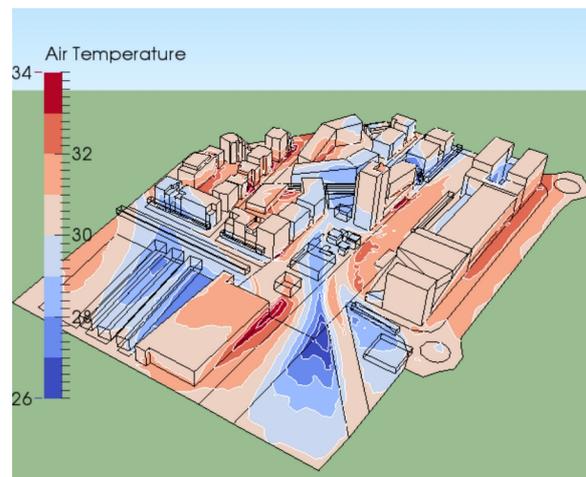


Figure 3 : Distribution des températures de surface dans la ZAC Montaudran à Toulouse. Simulation pour le 20 août réalisée avec SOLENE-microclimat.

Enfin, la résolution des équations de mécanique de fluides permet de connaître les écoulements du vent dans la scène urbaine (Figure 4a) et donc de pouvoir évaluer les échanges de chaleur entre les surfaces urbaines et l'air ainsi que la dispersion de la chaleur (Figure 4b) et de l'humidité de l'air.



(a)



(b)

Figure 4 : Distribution des vents (a) et des températures d'air (b) dans la ZAC Montaudran à Toulouse.

SOLENE-microclimat intègre des modèles de végétation représentant les arbres, les toitures et façades végétalisées ainsi que les surfaces enherbées. Ces modèles permettent d'estimer la capacité de différents types de végétation à rafraîchir l'espace urbain ou à réduire les consommations énergétiques mais permettent également d'évaluer la consommation en eau du végétal.

Des modèles de surfaces humidifiées ont également été développés. Ils donnent la possibilité de pouvoir quantifier la propension des divers dispositifs utilisant de l'eau à rafraîchir l'espace urbain tout en évaluant leurs consommations en eau.

### 3. Description du cas d'étude initial

Le projet est situé dans la commune de Châtillon, à l'intersection de l'avenue de la République, de la rue Perrotin, et de la coulée verte. Ces axes, d'une largeur variant entre 12 et 17 mètres, sont bordés de larges alignements d'arbres, notamment le long de l'avenue de la République et de la rue Perrotin. Le site présente une topographie légèrement marquée, avec un dénivelé de 3 mètres entre les points les plus bas et le point le plus haut. Cette topographie n'est pas considérée ici sans que ça n'ait d'impact sur les résultats.

Le quartier se caractérise par un tissu bâti hétérogène avec une densité variable :

- Au nord, le long de l'avenue de la République, le tissu est principalement industriel à ce jour, mais la zone est destinée à être remplacée par la ZAC des Arues qui sera par conséquent modélisée dans les deux scénarios (état existant et futur) pour ne tenir compte que de l'impact du présent projet.
- À l'est, de l'autre côté de la rue Perrotin, se trouve un bâtiment relativement bas mais très étendu, dédié à l'entretien des wagons SNCF. Le dénivelé entre la rue Perrotin et cet espace ne sont également pas pris en compte.
- Au sud, de l'autre côté de la coulée verte, se trouve le campus Orange, un ensemble de bâtiments de bureaux variant entre R+6 et R+9.

Le projet s'implante sur une parcelle précédemment occupée par un bâtiment de bureaux/activités en R+2 modélisé dans l'état existant. Un alignement d'arbres à protéger se situe le long de la rue Perrotin, et un emplacement réservé d'un mètre de large est prévu le long de l'avenue de la République. Les arbres et les places de parking existants en bordure du terrain ne seront ni supprimés ni déplacés.

Les deux situations urbaines modélisées dans l'état existant et le projet futur sont présentées dans les Figures 5 à 8. Ces modélisations ne se limitent pas qu'à l'emprise au sol du projet mais considèrent également l'environnement urbain dans un périmètre de 50 mètres autour des bâtiments. Ce dernier a une influence sur le projet d'un point de vue thermique. Les bâtiments situés au-delà sont pris en compte de part les masques solaires et de l'obstacle fait à l'écoulement du vent qu'ils génèrent. La zone du projet d'aménagement étant impacté, en toute rigueur, il est alors pertinent de tenir compte de l'impact de son environnement.

Il est à noter que la coulée verte a été modélisée dans son état actuel dans la modélisation de l'état actuel comme dans l'état futur du fait du manque d'informations arrêtées sur son devenir. A minima, cet espace restera végétalisée (surface enherbée au minimum), ce qui n'impactera pas largement les analyses du présent rapport.





Figure 7: Modélisation de la zone à aménager (état existant).



Figure 8: Modélisation de la zone à aménager (état futur).

La figure 9 synthétise la répartition des différents types de surfaces et met en évidence les changements prévus entre l'état existant et le projet futur, notamment en ce qui concerne les surfaces bâties, les volumes construits, les surfaces minérales, les surfaces naturelles et les surfaces arborées.

ÉTAT EXISTANT			PROJET FUTUR		
	Surface Bâtie	3 152 m <sup>2</sup>		Surface Bâtie	3 178 m <sup>2</sup> <span style="color: blue;">+ 1 %</span>
	Volume Bâti	36 180 m <sup>3</sup>		Volume Bâti	119 929 m <sup>3</sup> <span style="color: blue;">+ 231 %</span>
	Surfaces Minérales	2 219 m <sup>2</sup> <i>33 % de la surface total</i>		Surfaces Minérales	619 m <sup>2</sup> <span style="color: blue;">- 72 %</span> <i>9 % de la surface total</i>
	Surfaces Naturelles	1 292 m <sup>2</sup> <i>19 % de la surface total</i>		Surfaces Naturelles	2 891 m <sup>2</sup> <span style="color: blue;">+ 124 %</span> <i>43 % de la surface total</i>
	Surface Arborée	420 m <sup>2</sup>		Surface Arborée	1 264 m <sup>2</sup> <span style="color: blue;">+ 201 %</span>
	Volume Arborée	2 814 m <sup>3</sup>		Volume Arborée	7 294 m <sup>3</sup> <span style="color: blue;">+ 159 %</span>

Figure 9: Aire (m<sup>2</sup>) et volume (m<sup>3</sup>) des différentes surfaces constituant la zone à aménager.

L'occupation au sol du bâti n'augmente presque pas, en comparaison à l'état initial, mais en raison des hauteurs plus importantes des bâtiments du projet d'aménagement, le volume bâti (et par conséquent la surface urbaine) a augmenté de moitié. Cela peut affecter le comportement thermique du quartier par plusieurs aspects que l'on abordera par la suite.

Le projet présente une augmentation notable de la quantité de végétation au niveau du quartier. La surface naturelle a augmenté d'un tiers de sa surface initiale, passant de 19 à 43 % de la surface totale et profitant ainsi de la réduction des surfaces minéralisées (-72%). Cette diminution va de pair avec une réduction de l'imperméabilisation du sol, favorisant ainsi l'infiltration des eaux pluviales et la régulation thermique du site. Il faut aussi noter l'effort de végétalisation des toitures, dont la surface totalise une aire 400 m<sup>2</sup> sur les quelques 3200m<sup>2</sup> de surface de toit modélisé dans la zone d'étude, soit l'équivalent de 14 % la surface de végétation présente au sol.

La surface et le volume des arbres, augmentent également entre l'état existant et le projet futur, respectivement d'un facteur 3 et 2,6. Les choix futurs concernant la coulée verte pourraient légèrement altéré ce constat concernant les arbres.

Ces premiers éléments d'analyse indiquent donc que les choix réalisés sur l'aménagement du sol vont plutôt dans le bon sens pour lutter contre le phénomène d'îlot de chaleur. Il reste à évaluer si leur contribution est suffisante pour contrebalancer l'effet de la densification de l'îlot.

## 4. Période de simulation

Une analyse sur les données climatiques des 20 dernières années sur le territoire de Châtillon est menée à partir des ressources disponibles sur le service de météorologie européen Copernicus. Les différentes périodes de canicules sont identifiées en mettant en avant les périodes au cours desquelles la température dépasse les 30°C (Figure 10).

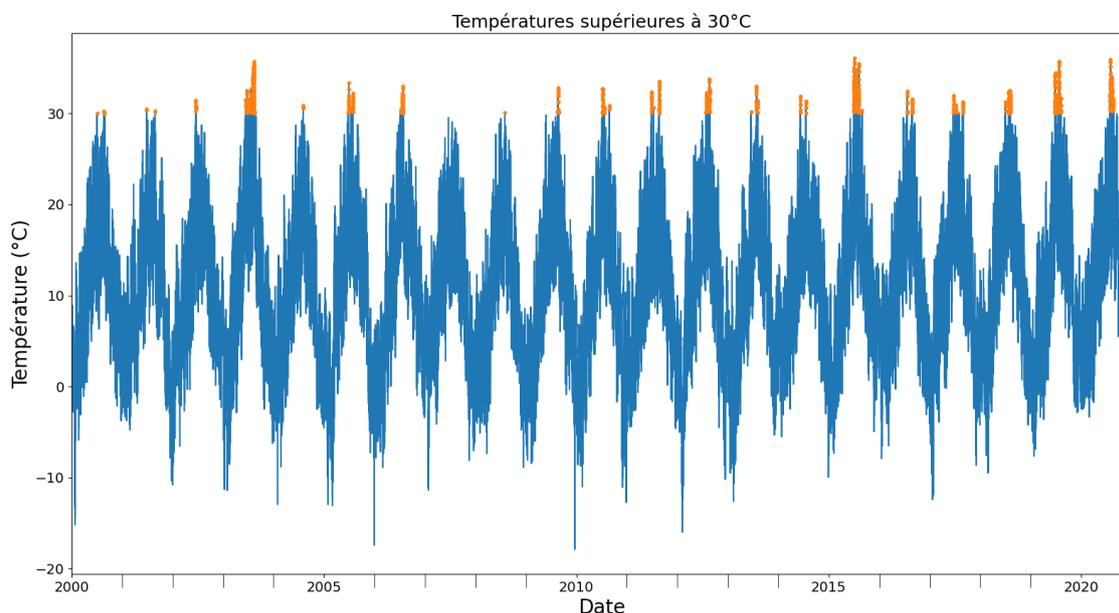


Figure 10: Evolution temporelle de la température de l'air.

Les simulations réalisées sont menées sur une période de 8 jours au pas de temps horaire. La période retenue est la période caniculaire la plus longue et sévère pour le territoire de Châtillon sur la période 2000-2020, à savoir la période du 28 juin au 07 juillet 2015.

La Figure 11 illustre l'évolution temporelle de la température de l'air au cours de cette période. On observe une augmentation progressive de la température qui dépasse les 32°C le 1er juillet et les quatre jours suivants. Pendant la nuit, au cours des 4 derniers jours de cette période, la température ne descend pas en dessous de 21°C.

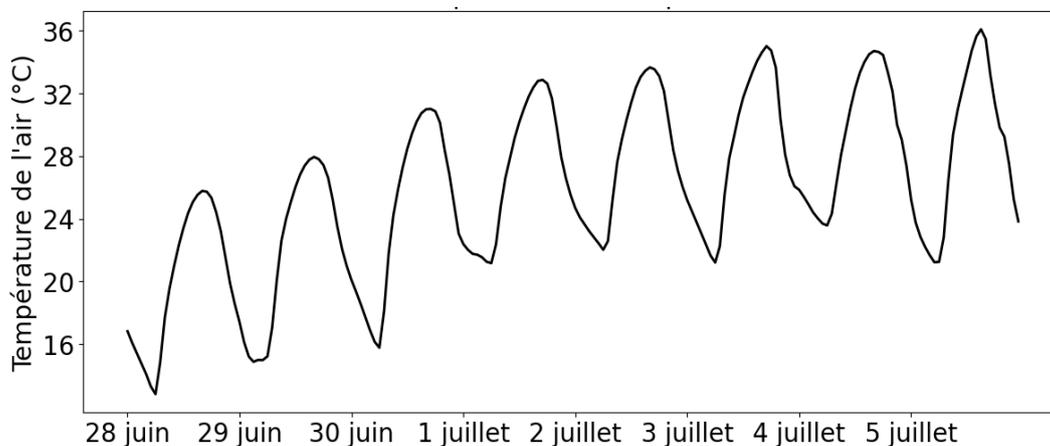


Figure 11: Evolution temporelle de la température de l'air.

Les journées de cette période sont des journées pleinement ensoleillées au cours desquelles l'ensoleillement est maximum (Figure 12).

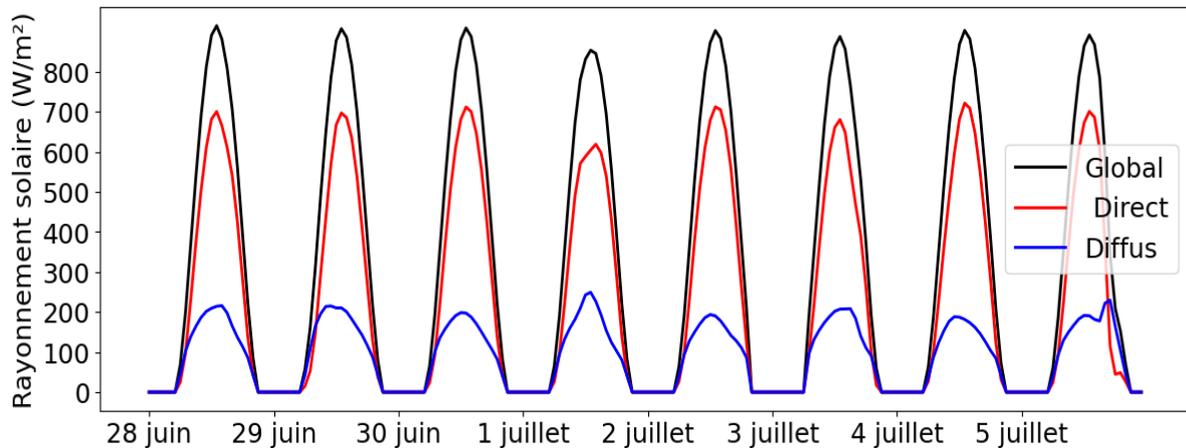


Figure 12: Evolution temporelle du rayonnement solaire.

Les conditions météorologiques sont donc les plus propices à l'établissement d'un phénomène d'îlot de chaleur particulièrement prononcé. Au fil de ces journées chaudes et ensoleillées, les surfaces urbaines vont au fur et à mesure stocker de la chaleur durant la journée et la restituer la nuit, induisant un moindre rafraîchissement nocturne et donc une différence de température entre une zone urbanisée et son environnement rural.

L'analyse des résultats des simulations menées à l'échelle d'une période de 7 jours doit donc porter une attention plus particulière en fin de période là où les surfaces urbaines se sont chargées en chaleur du fait de leur inertie.

Parallèlement, les roses des vents sont produites pour l'intégralité de la période 2000-2020 (Figure 13) ainsi que pour les étés de la même période (Figure 14). On remarque que globalement la tendance à une provenance des vents du nord/nord-est. En été les vents provenant du sud sont plus fréquents.

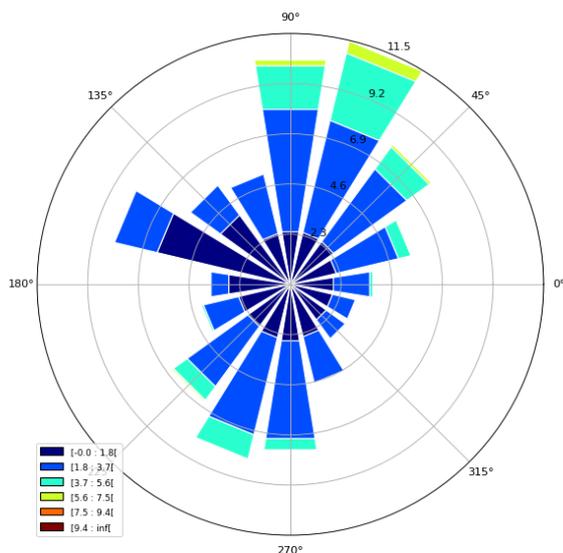


Figure 13: Rose des vents sur la période 2000-2020 à Châtillon.

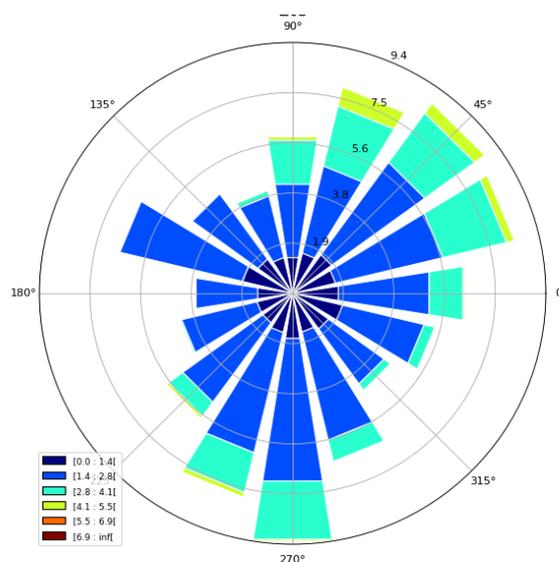


Figure 14: Rose des vents pour les étés sur la période 2000-2020 à Châtillon.

Si on limite l'analyse aux périodes où la température dépasse 30°C (Figure 15), alors les deux directions qui ressortent fortement sont la direction nord/nord-est et la direction sud. L'analyse des roses des vents pour chacune des périodes de canicule identifiées sur la Figure 10 montre que la canicule la plus marquante présentant cette tendance en terme de direction du vent est la canicule de juillet 2015 (Figure 16). La direction du vent retenue pour la simulation est donc nord/nord-est soit 22,5°.

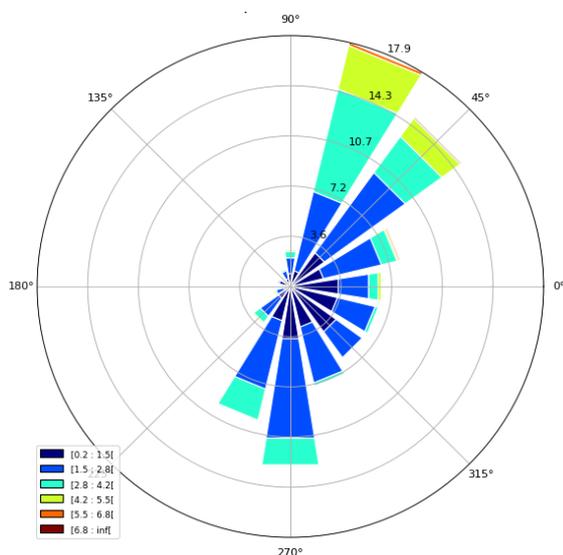


Figure 15: Rose des vents sur la période 2000-2020 lorsque la température dépasse 30°C à Châtillon.

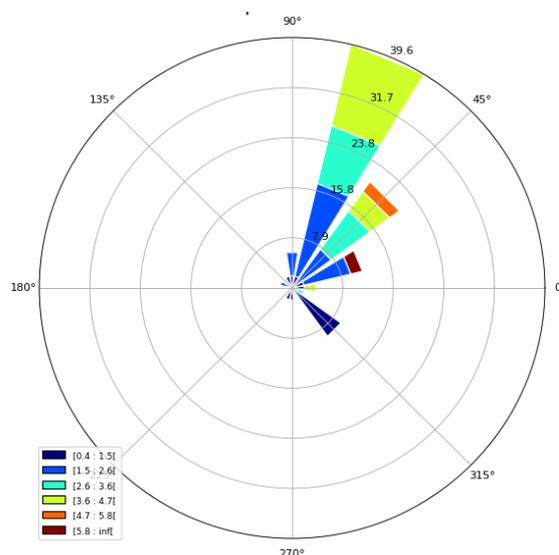


Figure 16: Rose des vents sur la période de canicule de juillet 2015 lorsque la température dépasse 30°C à Châtillon.

## 5. Résultats

### Analyse de la distribution du vent

Dans un premier temps nous nous attacherons à analyser l'impact du nouvel aménagement sur la distribution du vent dans le quartier. Cette analyse est pertinente car la vitesse du vent permet une meilleure dissipation de la chaleur stockée par les surfaces en journée. Les zones sujettes à des îlots de chaleur intenses sont plutôt celles qui sont soumises à un ensoleillement élevé et une vitesse de vent faible. La Figure 17 présente les vitesses de vent à 1,5 m du sol, tandis que la Figure 18, présente les lignes de courant remarquables (passant en dessous des 10 m dans le cœur de la zone) afin d'évaluer la qualité de la ventilation. La configuration du projet futur sera pertinente du point de vue aérodynamique, si elle permet une ventilation suffisante et homogène des espaces.

Les observations montrent que les vitesses au sol se situent principalement entre 0,2 et 2 m/s, à l'exception du Nord-Ouest de la zone où l'écoulement dépasse les 2,5 m/s. Cela s'explique par la grande distance entre les bâtiments le long de la coulée verte. Les zones de faibles vitesses, identifiées par les couleurs bleues, se trouvent autour des bâtiments, ce qui est typique dans les milieux urbains denses où les structures architecturales bloquent ou dévient les courants d'air. En revanche, les zones de plus fortes vitesses se localisent dans les couloirs de vent, notamment là où la section se réduit dans le sens de l'écoulement, provoquant une accélération par effet de Venturi.

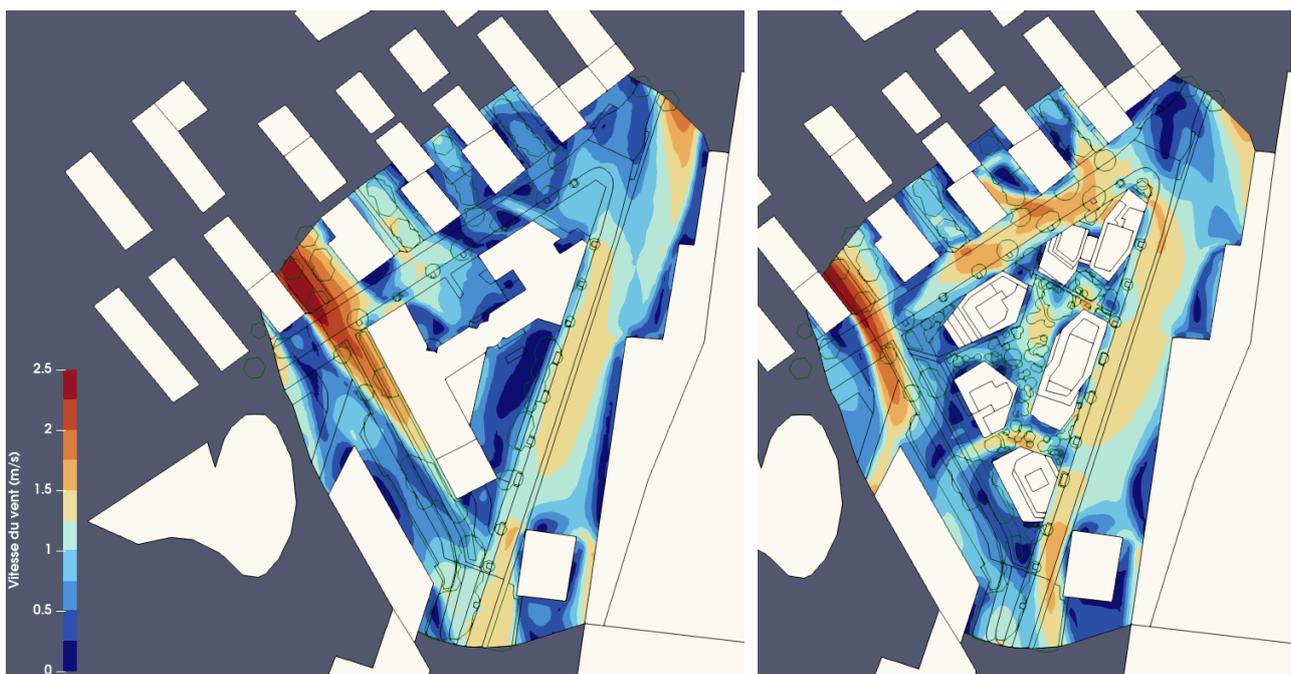


Figure 17: Vitesses à 1,5m du sol pour l'état existant (à gauche) et le projet futur.

En comparant l'état existant avec le projet futur, plusieurs modifications notables dans l'intensité et la répartition des flux d'air sont observées. Globalement, on observe une plus grande homogénéité dans la distribution spatiale de l'écoulement qui signifie une amélioration qualitative de la ventilation de l'espace. Le projet futur montre par exemple une meilleure ventilation le long de l'Avenue de la République, attribuable à la hauteur des bâtiments, qui favorise la canalisation du flux dans la rue.

Quant à la circulation en cœur d'îlot, la présence d'un bâtiment unique et allongé dans l'état existant empêche la circulation de l'air dans les zones enclavées au Nord et au Sud, créant des zones de recirculation. Dans le projet futur, la circulation de l'air est nettement améliorée dans l'îlot grâce aux multiples ouvertures sur l'espace et à la forme des bâtiments. Les décrochements des bâtiments permettent de diriger le flux des rues principales vers le cœur de l'îlot, tandis que l'orientation des façades vers des espaces ouverts, plutôt que vers des obstacles, optimise la circulation du vent. De plus, la forme pentagonale des bâtiments (voire hexagonale pour certains), réduit la traînée de forme grâce à ses angles moins marqués. Tout cela contribue à améliorer globalement la ventilation de l'espace.

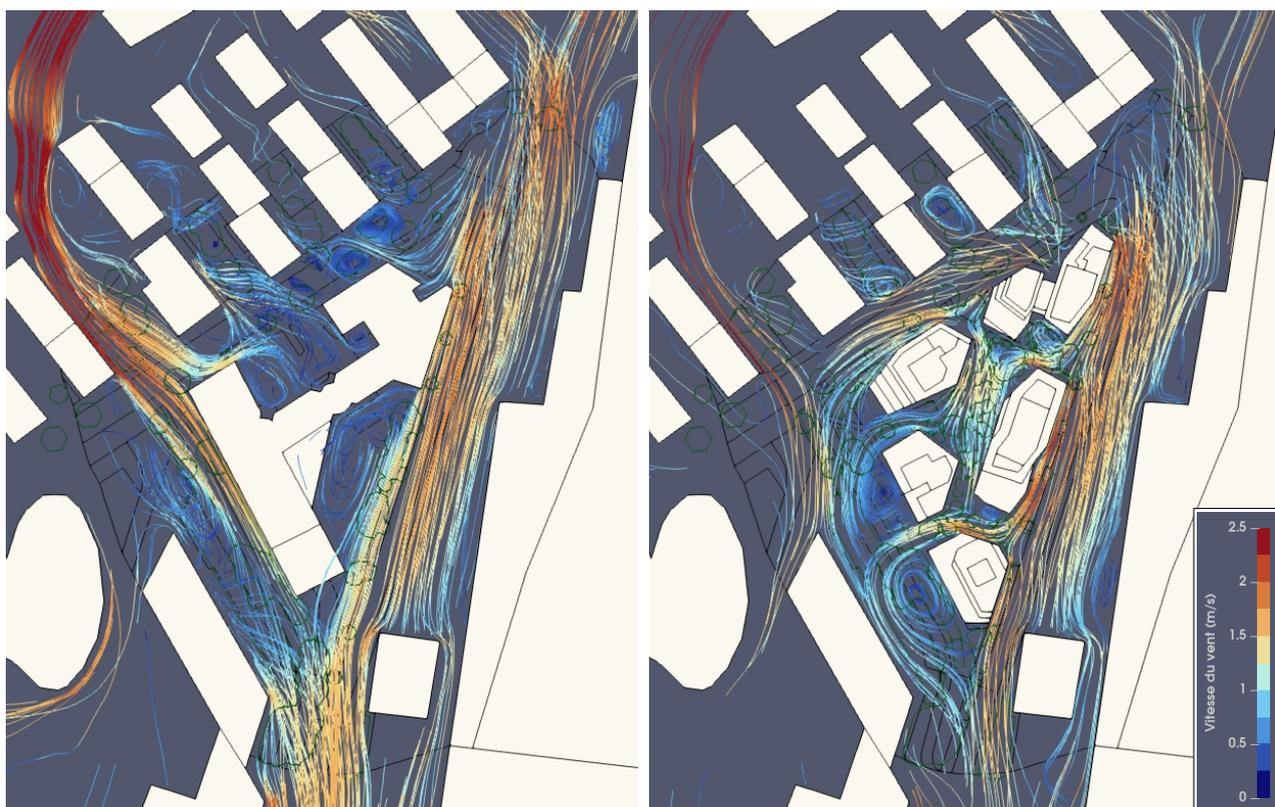


Figure 18: Lignes de courant du vent passant en dessous de 10 mètres dans la zone d'étude pour l'état existant (à gauche) et le projet futur.

### Ventilation le long de l'Avenue de la République

La Figure 19 témoigne de l'impact de grands bâtiments ouverts sur la ventilation du quartier. Ceux-là dévient et canalisent l'écoulement dans l'avenue. La Figure 20 montre notamment la pertinence de l'orientation des façades pour diriger l'écoulement vers des espaces ouverts non contraignants pour l'écoulement.

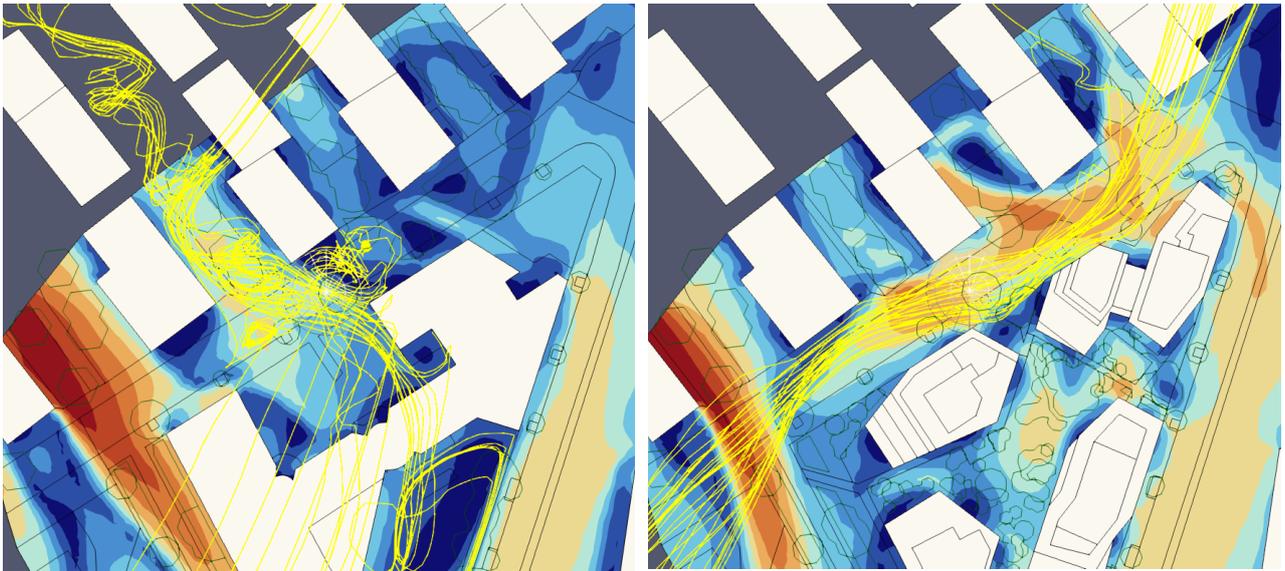


Figure 19: Lignes de courant dans l'Avenue de la République.

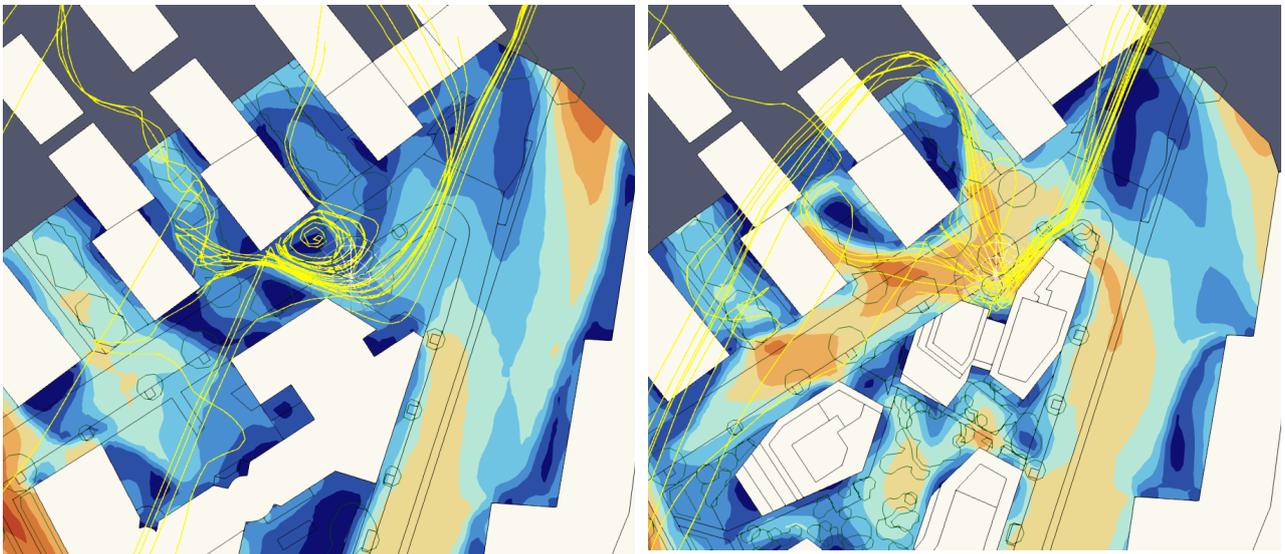


Figure 20: Lignes de courant dans l'Avenue Verdier.

### Écoulement en cœur d'îlot

La Figure 21 témoigne de la pertinence d'ouvrir les espaces, comme mentionné précédemment. L'enclavement des zones au Nord et au Sud du bâtiment de l'état existant résulte en des espaces de moindre ventilation où l'on observe plutôt des boucles de recirculation de l'air. On observe encore quelques phénomènes de recirculation en aval des grands bâtiments de l'état futur (Figure 22), notamment aux abords de la coulée verte à cause de la forme anguleuse des bâtiments à cet endroit.

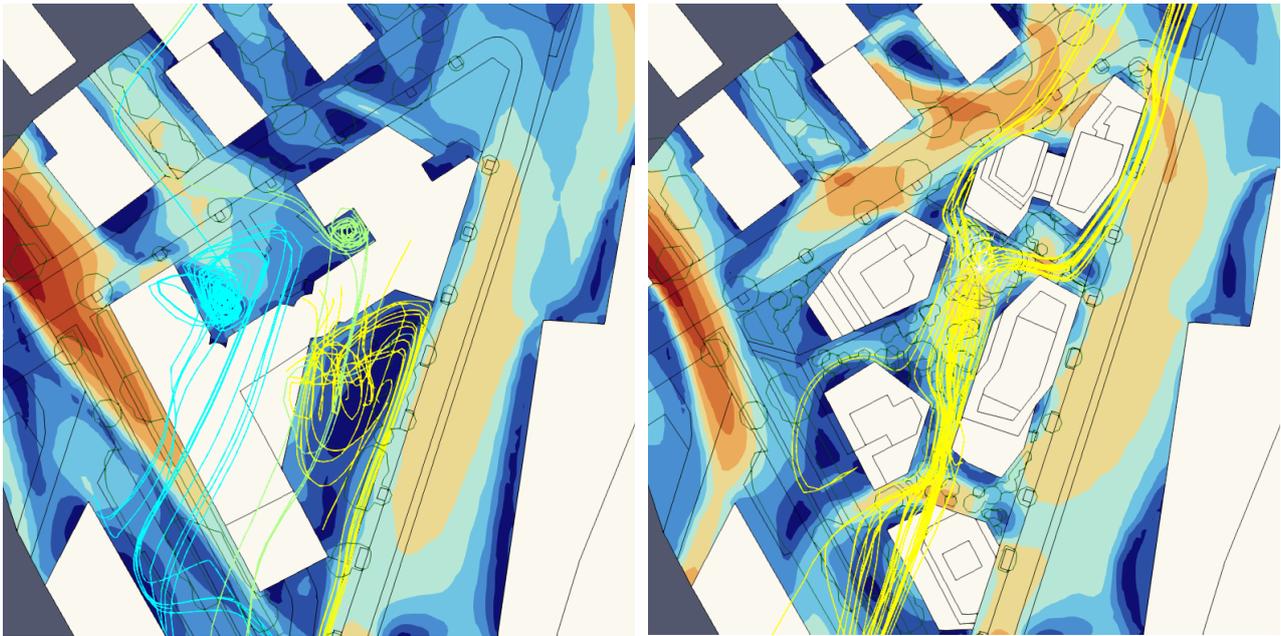


Figure 21: Lignes de courant significatives en cœur d'îlot

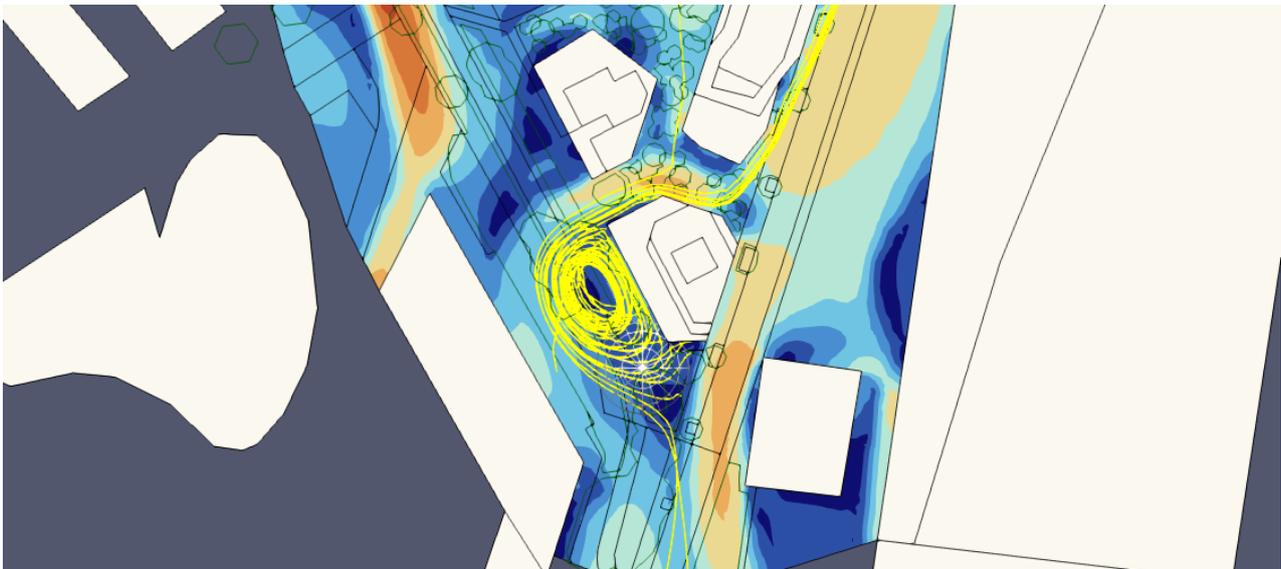


Figure 22: Boucles de recirculation en aval des immeubles (état futur)

### Circulation dans la coulée

La Figure 23 suit ce qui précède et nous permet de comprendre les changements observés dans l'écoulement le long de la coulée verte. La ventilation est permise dans l'état futur par l'incursion du flux issus du cœur d'îlot. La recirculation en aval des bâtiments déstabilise l'écoulement à cet endroit.

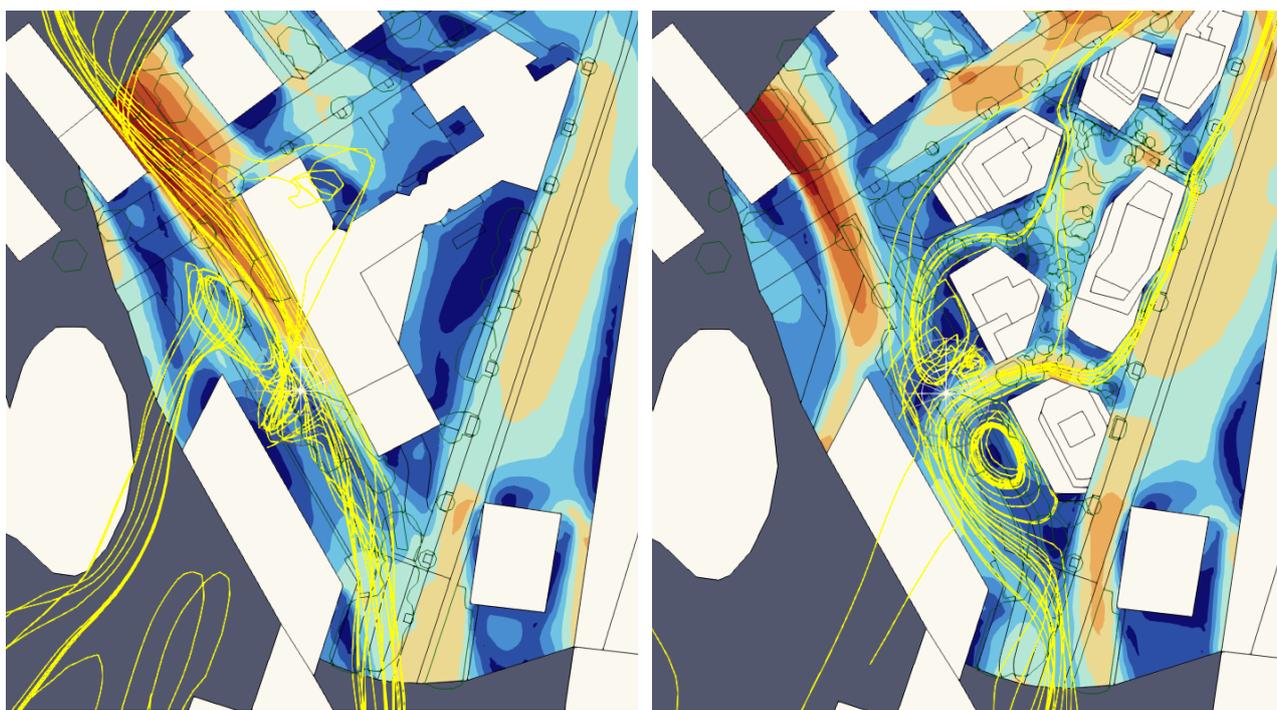


Figure 23: Écoulement le long de la coulée verte

### Analyse de l'ensoleillement

En observant maintenant la répartition de l'ensoleillement dans la zone d'étude avec la Figure 24, on peut dresser plusieurs constats et quelques évolutions notables entre l'état existant et le projet futur.

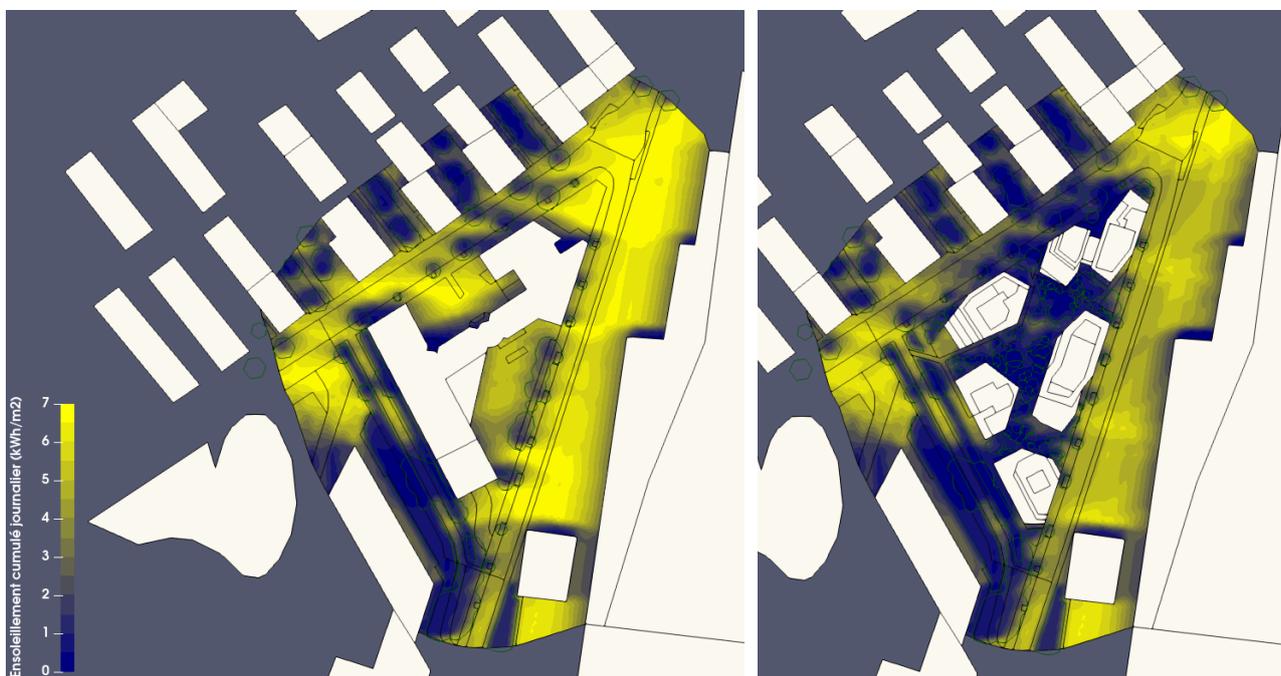


Figure 24: Cartographies du cumul d'ensoleillement journalier moyen (sur la durée de l'étude) dans l'état existant (à gauche) et le projet futur.

En ce qui concerne l'état existant déjà, les zones les plus exposées au soleil sont principalement des surfaces minéralisées, telles que le rond-point au nord-est et la voirie à l'ouest, à

proximité de l'intersection avec la coulée verte. D'autres zones exposées incluent le parking situé au nord du bâtiment principal, les voiries le long de la rue Perrotin, et les voies ferrées adjacentes. En revanche, on observe un léger ombrage le long de l'avenue de la République, tandis que la coulée verte est bien protégée grâce à une couverture dense d'arbres.

Une des évolutions principale qui concerne la zone d'aménagement est que le centre de la zone d'étude, où le bâtiment principal a été remplacé, bénéficie désormais d'une couverture arborée substantielle et d'une végétalisation au sol. A minima au sol, on observe significativement moins de surfaces minéralisées découvertes dans la zone à aménager, un changement particulièrement positif qui aura un effet très bénéfique sur le climat local. Plus largement autour de la zone d'aménagement, les ombres portées dues à la hauteur des nouveaux bâtiments sont nettement visibles, s'étendant sur un rayon de plus de 20 mètres autour de ces structures. Cette nouvelle disposition permet de réduire l'ensoleillement au sol, notamment le long de la rue Perrotin, et de l'Avenue de la République (où l'exposition initiale est plus modérée), de quelques 2 à 3 kWh/m<sup>2</sup> par jour, soit un tiers à un demi de l'ensoleillement initiale.

### Analyse des températures de surfaces

La température moyenne des surfaces sur la journée du 5 juillet (période de 24 heures) pour les deux scénarios de simulation est illustrée dans la Figure 25. L'analyse des températures de surface, qui suit logiquement les observations précédentes, met en évidence que les zones minérales exposées au soleil, en particulier à l'ouest à proximité de l'intersection avec la coulée verte, au niveau du carrefour au nord de la zone, et le long de l'avenue Perrotin, présentent des températures de surface élevées, dont la moyenne dépasse les 40°C. Dans les zones moins ensoleillées comme les parkings autour du bâtiment de l'état existant, l'accumulation de chaleur est exacerbée à cause du manque de ventilation. À l'inverse, plusieurs points plus frais se trouvent dans les zones végétalisées et/ou ombragées, telles que la coulée verte, où les températures de surface restent en dessous de 30°C, voire en dessous de 25°C sous les arbres.

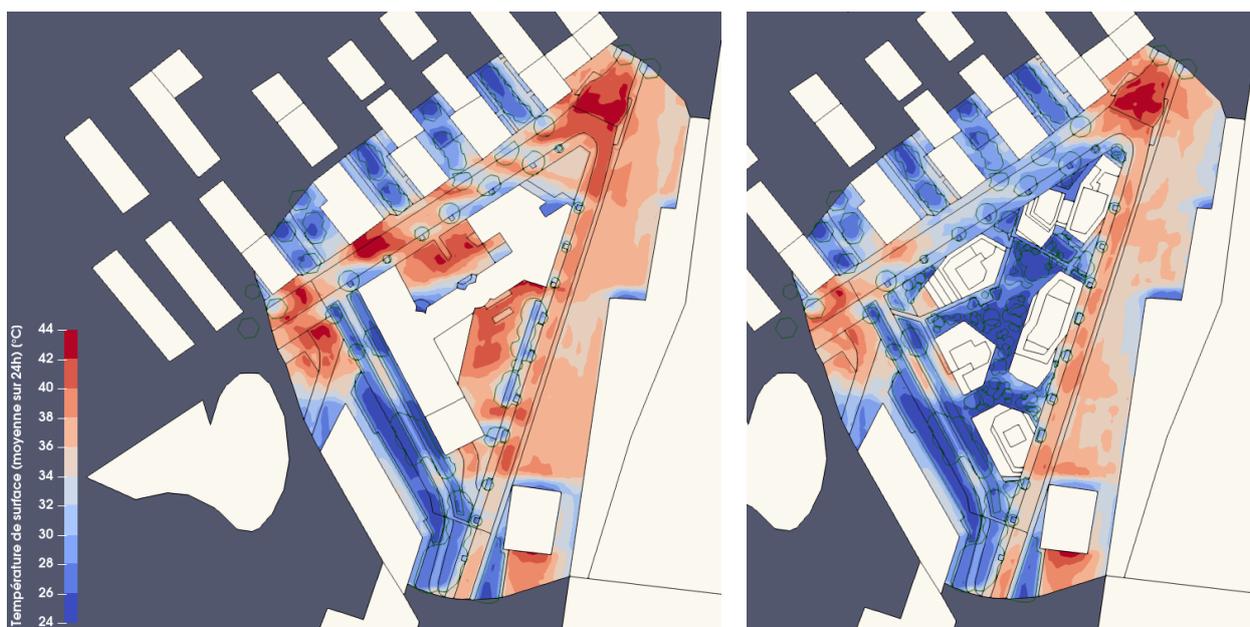


Figure 25: Cartographies de la moyenne des températures de surface au cours la journée du 5 juillet, pour l'état existant (à gauche) et le projet futur.

En passant de l'état existant au projet futur, on observe une résorption significative des zones de haute température, notamment au cœur et au nord de l'îlot le long de l'Avenue de la République. Cette amélioration est principalement attribuable à la réduction de l'ensoleillement des surfaces minérales (voiries) et à la végétalisation massive en cœur d'îlot. La végétation au sol dans ce dernier et la couverture arborée entraîne une diminution marquée des températures de surface, passant de 40°C dans l'état existant (parkings) à 24°C dans l'état futur. Sur l'avenue de la République, on observe une baisse d'environ 5°C à proximité du carrefour, où les maxima de température restent inchangés mais perdent en espace, et jusqu'à 10°C plus à l'ouest. L'évolution est cependant moins prononcée mais plus uniforme à l'intersection de la coulée verte ainsi que le long de la rue Perrotin, avec une réduction de l'ordre de 1 à 2°C en moyenne au sol. Notons également que dans la zone ferroviaire à l'est, la température a diminué de l'ordre de 2 à 4°C principalement à proximité du bâtiment. Cela est probablement dû à l'ombrage des nouveaux immeubles sur les façades ouest, qui réduit le potentiel de réflexion vers les sols alentours.

Afin de se focaliser sur la problématique d'îlot de chaleur (exacerbée la nuit), il est pertinent d'étudier les températures de surface moyennes sur la période nocturne (Figure 26). On peut faire l'observation que la répartition des températures suit la même tendance qu'à la moyenne sur 24h. Les surfaces minérales (à faible albédo) qui sont exposées au soleil la journée absorbent et stockent beaucoup d'énergie, et restent à haute température la nuit.

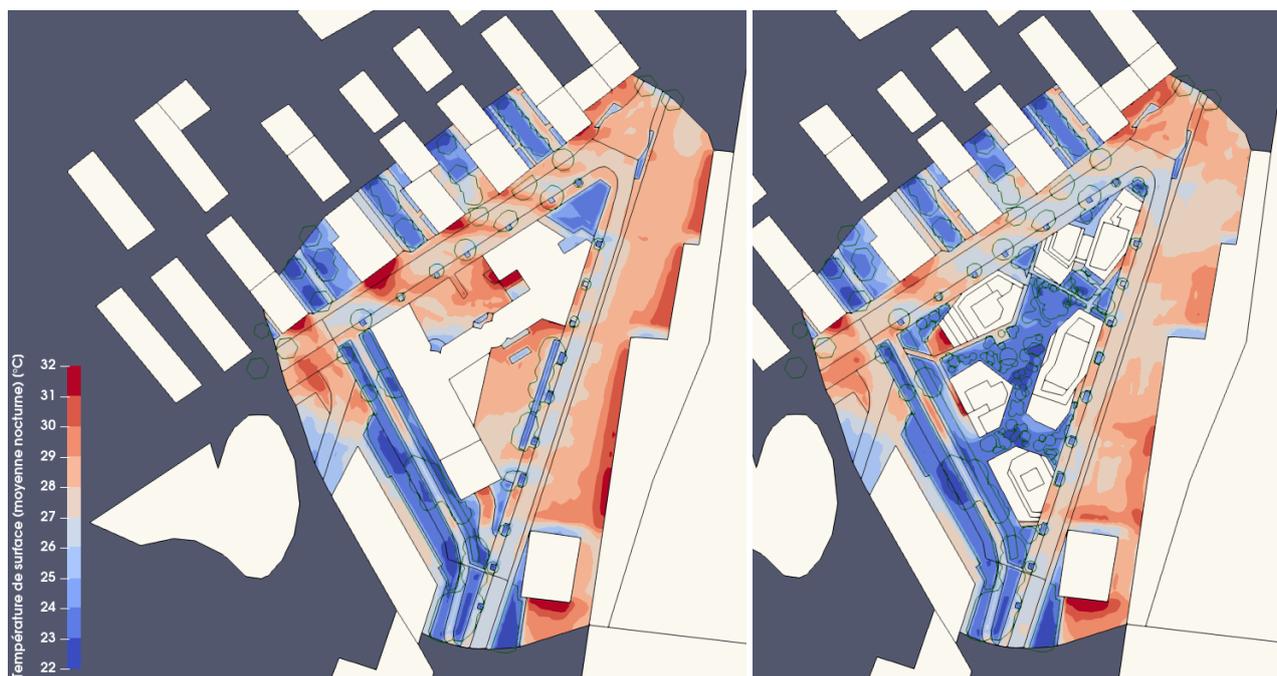


Figure 26: Cartographie de la moyenne des températures de surface au cours la nuit du 4 juillet au 5 juillet, pour l'état existant (à gauche) et le projet futur.

En prenant en compte l'ensemble des surfaces du quartier maintenant (sols et bâtiments), on peut analyser l'évolution temporelle de la température moyenne des surfaces (Figure 27). On observe que sur toute la période d'étude, la température moyenne des surfaces est plus faible dans l'état futur avec un écart variable au cours de la journée. Cet écart est presque nul au cours de la

nuit et augmente au début de la journée pour culminer à environ 5°C au niveau maximum de température journalière.

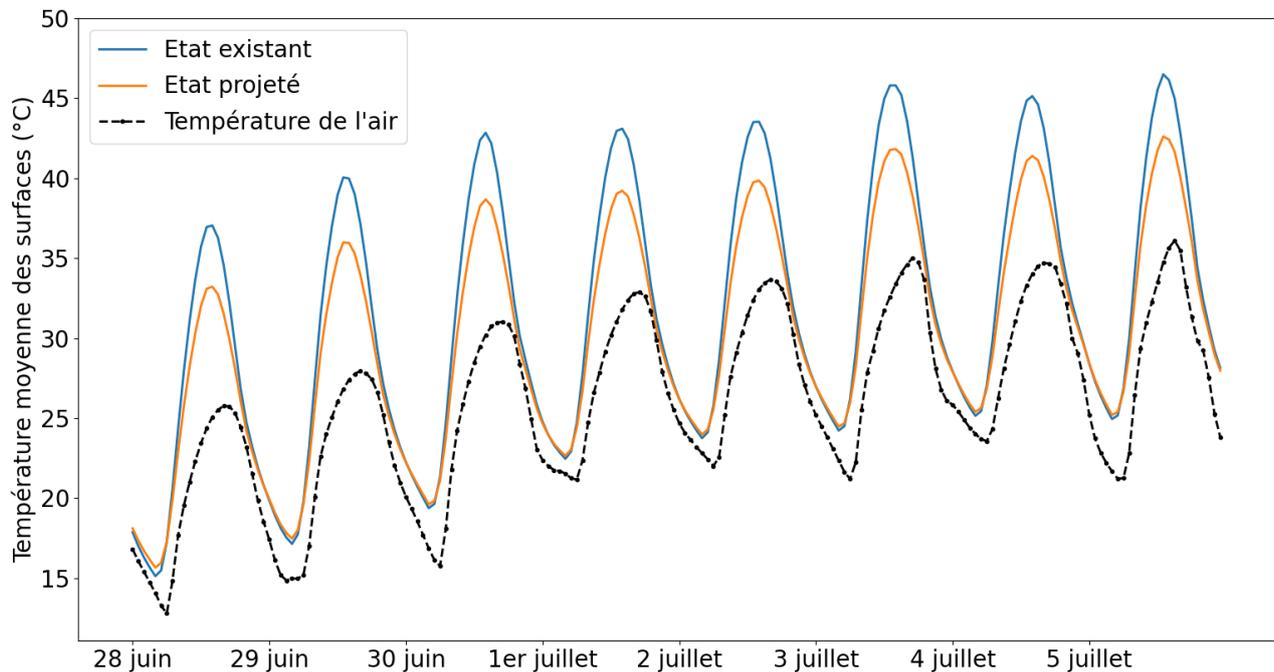


Figure 27: Evolution temporelle de la moyenne des températures de surface.

Ces observations viennent globalement conforter les observations faites sur le sol précédemment qui montrent une diminution moyenne des températures de surface. Il est en tout cas très important de noter que dans les deux situations, la température de surface reste supérieure à la température de l'air sur la période nocturne. Le quartier, dans son état actuel comme dans son état futur contribue donc à réchauffer l'air et donc à produire un effet d'îlot de chaleur urbain.

### Impact sur la température de l'air

La température des surfaces influence la température de l'air, mais elles ne sont pas suffisantes pour quantifier la contribution à l'effet d'îlot de chaleur urbain dans chacun des scénarios de manière scientifiquement rigoureuse. Pour cela, il est nécessaire de se pencher sur la quantification de la chaleur transmise à l'air par les surfaces. Ce flux dépend proportionnellement de l'écart entre les températures de surface et les température d'air, de la vitesse locale du vent (qui refroidit mieux les parois à haute vitesse), mais aussi et surtout de la surface d'échange en contact avec l'air.

La Figure 28 présente l'évolution du flux de chaleur sensible moyen sur l'ensemble du la zone à aménager pour les deux cas de simulations considérés. Ici, la variation du flux convectif, donc de la contribution à l'îlot de chaleur, due au projet d'aménagement est notable sur la période considérée, ce qui est assez contre-intuitif vis-à-vis des observations précédentes.

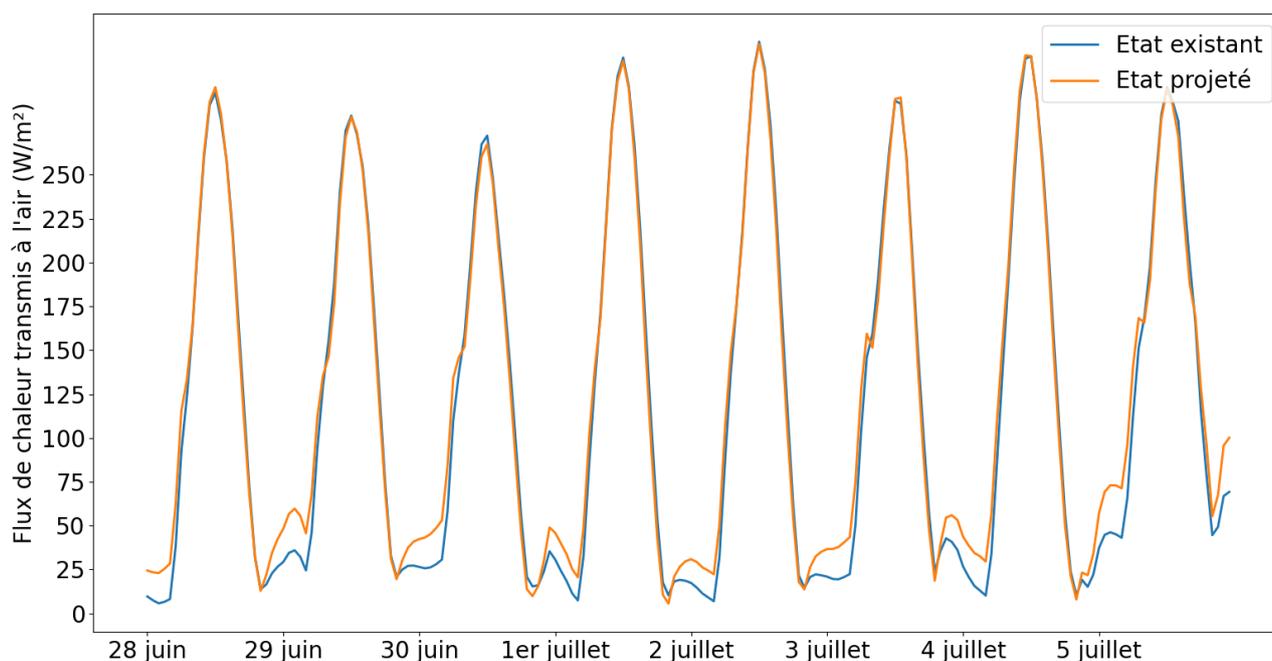


Figure 28: Evolution temporelle du flux de chaleur transmis à l'air sur l'ensemble de la zone

Le jour moyen présenté à la Figure 29 permet d'avoir une vision plus claire de l'évolution du flux de chaleur sensible au cours d'une journée. Après le levé du soleil, les parois exposées s'échauffent et retransmettent leur chaleur à l'air de manière identique dans les deux cas. En soirée, ce flux atteint un minimum puis recroît après 20h (heure solaire) du que l'écart entre la température d'air et la température des surfaces s'accroît (car la température d'air chute plus rapidement que la température des surfaces) après le coucher du soleil. C'est là que l'on observe clairement l'effet du nouveau projet sur la contribution au phénomène d'îlot de chaleur urbain. L'écart se creuse entre les deux scénarios et témoigne d'un déstockage de chaleur nocturne plus important dans le nouveau projet.

En regardant plus précisément sur les périodes intéressantes à l'appréhension du phénomène d'îlot de chaleur, les flux convectifs moyens (sur les 4 derniers jours) pour la période 22h – 4h sont de :

- **28 W/m<sup>2</sup>** dans l'état existant ;
- **46 W/m<sup>2</sup>** dans le projet futur.

Cette augmentation, qui peut paraître contre-intuitive au vue la diminution des températures de surface peut s'expliquer par le fait que la surface d'échange entre les surfaces et l'atmosphère est plus conséquente (conjointement au volume bâti) dans le projet futur. Les températures sont plus faibles certes, mais cette réduction est contrebalancée par l'augmentation la surface d'échange, si bien que le flux de chaleur transmis reste assez élevé.

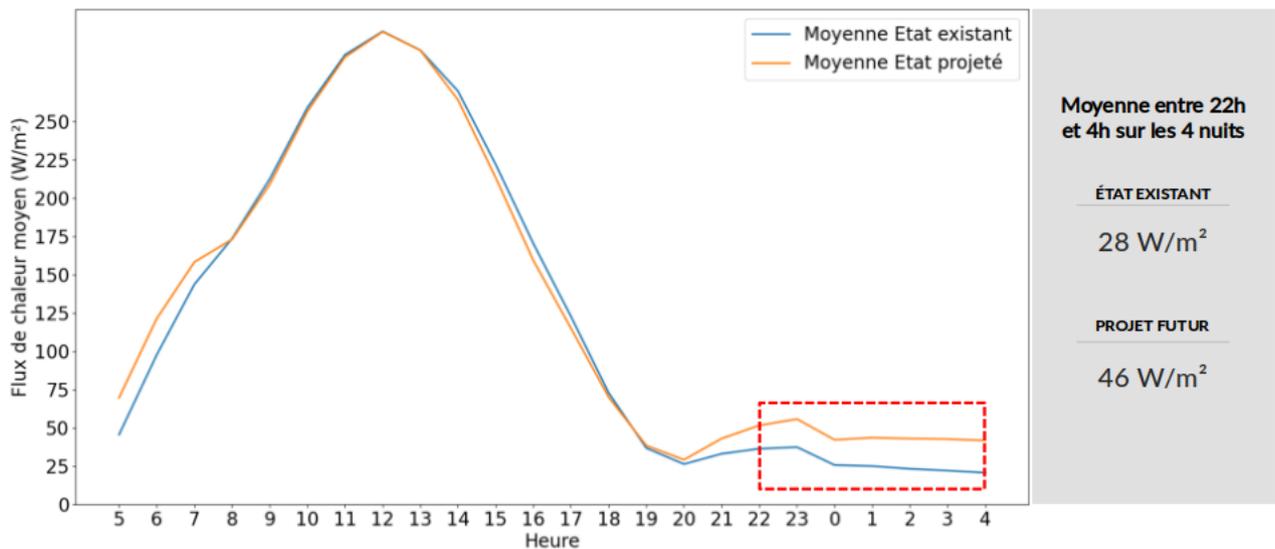


Figure 29: Evolution du flux de chaleur transmis à l'air (moyenne des 4 derniers jours)

Même si la différence de contribution à l'ICU dans les deux situations est plutôt défavorable au projet. On peut, comme précédemment, avancer l'impact positif de l'aménagement du sol. La Figure 30, présentant la cartographie du flux de chaleur sensible moyenné sur la nuit, démontre une amélioration sensible de l'usage des sols. L'augmentation des ombrages (bâtiments et arbres) réduit le potentiel de stockage des surfaces minérales, et la déminéralisation des surfaces, en cœur d'îlot offrent des espaces « rafraîchissants ». Le flux y est négatif, témoignant d'un refroidissement de l'air au-dessus de ces surfaces. Malgré le masque que la végétation haute crée la nuit (qui entrave le refroidissement radiatif), son effet est au global positif pour réduire le phénomène d'ICU.

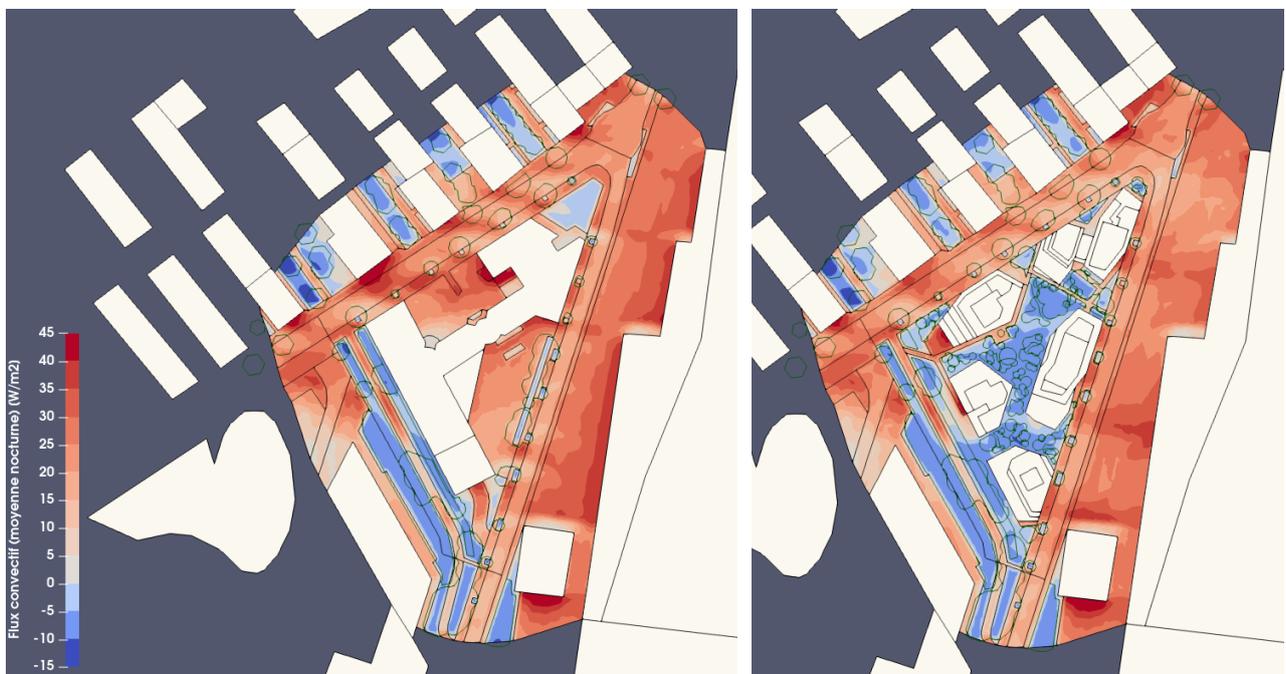


Figure 30: Cartographie du flux de chaleur sensible (transmise à l'air) moyenné sur période 22h – 6h, avant et après projet

## 9. Conclusion

Le projet d'aménagement envisagé dispose d'une proportion de surfaces végétales notablement plus importante dans le projet futur. **La végétalisation des toitures vient renforcer cette dynamique.** Quant à la végétation haute, une conception idéale telle que celle envisagée dans cette étude est sans nul doute bénéfique au climat du quartier. La présence des arbres au-dessus des surfaces minérales (très sensibles à l'échauffement) permet de l'ombrage et réduit leur potentiel de stockage de chaleur. Au-dessus des surfaces végétales du cœur d'îlot, elle permet d'assurer des zones de fraîcheur. La ventilation du quartier s'est nettement améliorée et contribue également au microclimat local. Les incertitudes concernant l'avenir de la coulée au sud ouest du projet ont conduit à conserver son état actuel dans la modélisation de l'état futur. A minima cette zone sera constituée de surfaces enherbées. Ces choix n'auront donc pas d'incidence notable sur les résultats obtenus.

**En moyenne sur toutes les surfaces (sols et bâtiments), la température de surface est plus faible.** On peut attribuer cette évolution à la végétalisation importante du projet au sol et de l'ombrage créé par les bâtiments plus hauts et la végétation haute. Néanmoins, **ces gains sont compensés par la densification de l'îlot (augmentation du volume bâti).** Les résultats de simulation pour l'état actuel et futur du projet d'aménagement font état d'un emballement du phénomène d'îlot de chaleur urbain à l'échelle de la zone à aménager, le flux de chaleur sensible (transmis à l'air) **passant de 28 à 46 W/m<sup>2</sup>** la nuit, au cours de la période de canicule simulée. Sachant qu'un quartier urbain dense peu végétalisé contribue à hauteur de 55W/m<sup>2</sup> alors qu'un quartier résidentiel peu dense contribue à moins de 10W/m<sup>2</sup>, cette dernière valeur se situe dans une fourchette correspondant aux **20 % des quartiers les plus contributeurs au phénomène d'îlot de chaleur** dans les conditions météorologiques caniculaire auxquelles est exposée la ville de Châtillon.