



SORêga

mai 2024

Rapport d'étude

# Îlot de Chaleur Urbain

## Renouvellement urbain du centre-ville de Saint Denis

Saint-Denis, Seine-Saint-Denis (93)

**TRANS  
FAIRE**



environnement + ville

SAS au capital de 100 000 €

SIRET 438 626 491 00049

3 passage Boutet

94110 Arcueil

Tél : 01 45 36 15 00

Fax : 01 47 40 11 01

contact@trans-faire.net

[www.trans-faire.net](http://www.trans-faire.net)



# Description du projet

## EN BREF

### • Gouvernance

Soreqa, EPT Plaine Commune - Grand Paris, Ville de Saint-Denis.

### • Localisation

Centre-ville de Saint-Denis (93)

### • Contexte

Dans le cadre de programme nationaux de renouvellement urbain, la Soreqa mène un projet dont l'objectif est d'éradiquer l'habitat indigne en grande partie dans le centre ancien de la ville de Saint-Denis. Le projet se décline en 14 îlots déjà urbanisés et doit permettre la construction de diverses typologies de logements (sociaux, accession sociale à la propriété, bail réel solidaire) et d'apporter une requalification architecturale, paysagère, urbaine, patrimoniale, commerciale et environnementale.

### • Procédure

14 opérations sont en cours d'acquisition (4 îlots PNRQAD + 10 îlots du NPNRU).

### • Superficie

1,67 ha cumulés, avec une surface de plancher prévisionnel créée de 29 000 m<sup>2</sup> au total.

### • Programmation

- Action foncière : négociation et acquisition de parcelles.
- Relogements : accompagnement social des ménages.
- Gestion Intercalaire : gestion et entretien des nouveaux immeubles.
- Aménagement : élaboration de fiche de lots (renforcement de la programmation), préparation de démolition, études et diagnostics.

juin 2022

Étude d'impact

Fin des occupations

Livraisons

NPNRU :

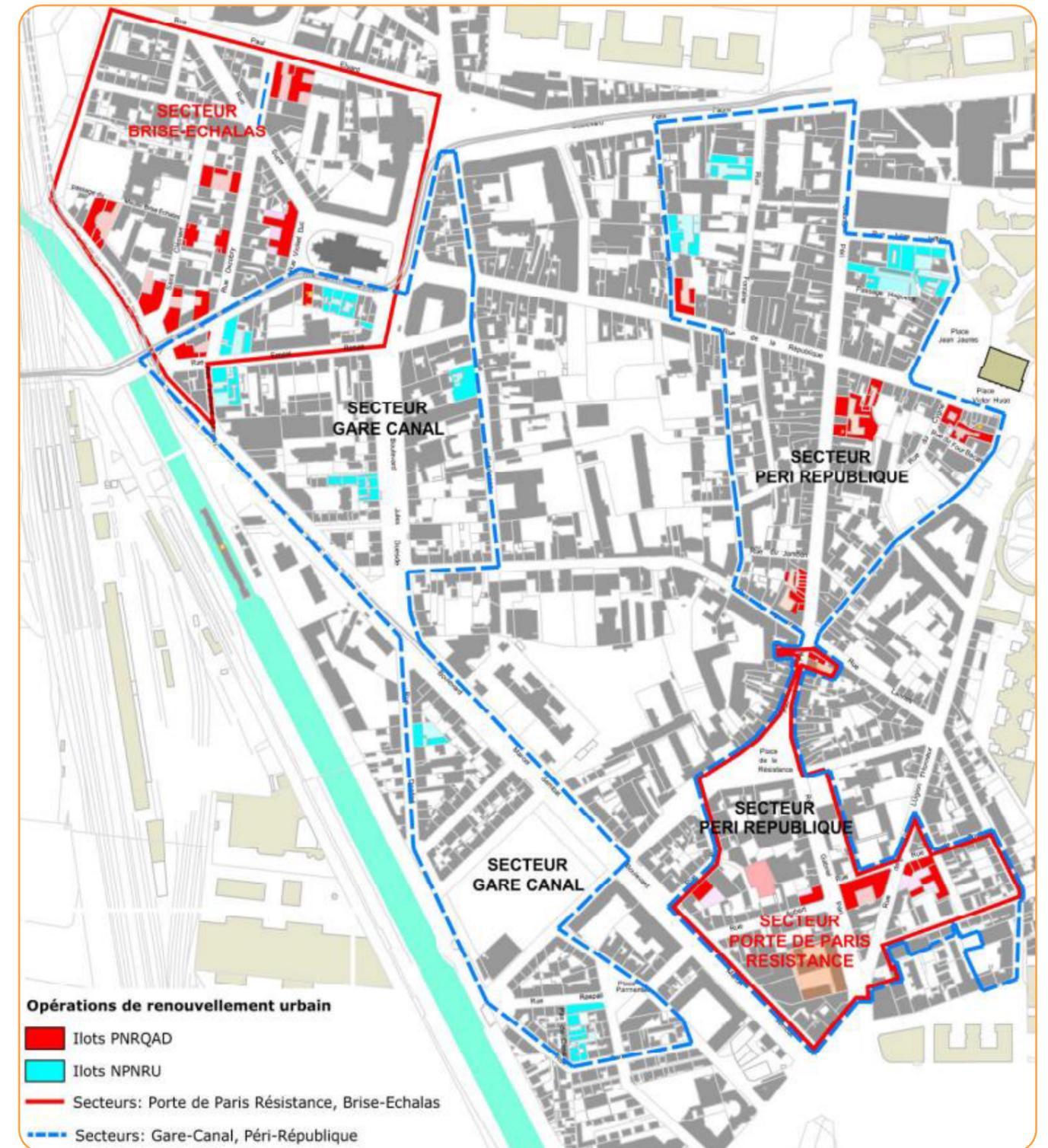
2022

2025 2026 2027 2028 2029 2030

PNRQAD :

Fin des occupations

Livraisons



Plan du secteur d'opération intégrant le PNRQAD et le NPNRU (Soreqa, 2022)

# Contexte et objectifs

## Contexte local

Le projet s'inscrit dans le projet de renouvellement urbain du centre ville de Saint-Denis, cofinancé par l'ANRU dans le cadre du NPNRU et du PNRQAD.

## Objectifs du projet

Les objectifs en terme de développement durable sur ce projet sont les suivants :

- Limiter l'imperméabilisation des sols pour préserver un maximum de pleine terre et limiter l'emprise des bâtiments.
- Réduire l'effet d'îlot de chaleur en été. Dans un contexte fortement urbanisé, il sera essentiel de rendre en compte ce phénomène dans la conception du projet. Seront ainsi privilégiés la conservation de la pleine terre, la végétalisation des espaces et la valorisation de la gestion de l'eau à ciel ouvert pour favoriser l'infiltration, l'évaporation et le rafraîchissement naturel des espaces ouverts. Les revêtements seront également étudiés afin de limiter la chaleur absorbée.
- Construire des bâtiments économes en énergie pour favoriser le confort au sein des logements via des appartements traversant.

# Objet et contenu de l'étude

## Objet de l'étude

La présente étude porte sur le périmètre de projet de renouvellement urbain du centre ville de Saint-Denis, à l'échelle des 14 opérations.

Les objectifs de l'étude d'îlot de chaleur urbain (ICU) sont de :

- Réaliser des simulations de l'effet d'ICU à l'état initial et à l'état projet à horizon 2030 et 2100 selon le scénario RCP 8.5 du GIEC correspondant à l'élévation de +4° à horizon 2100.
- Comparer les résultats des simulations et analyser les impacts du projet sur l'effet d'ICU.
- Formuler des préconisations afin de réduire l'effet d'ICU à l'état projet.

L'effet d'îlot de chaleur urbain représente un enjeu majeur sur cette opération au vu du contexte urbain local et de l'état actuel du secteur largement imperméabilisé et dense.

La volumétrie des bâtiments de projet et les gabarits retenus seront affinés avec le service ABF, et susceptible d'être assujettis à quelques modifications non substantielles dans le cadre de cette étude.

Les préconisations avancées en fin de document serviront de socle pour l'élaboration des fiches de lot qui pourront adapter aux cas par cas les pistes présentées. Ces préconisations sont catégorisées par secteur pour pouvoir agir sur les îlots correspondants lors de la rédaction des fiches de lot.

## Structure de l'étude

L'étude ICU présente la structure suivante :

- Simulation du comportement thermique actuel du secteur, et sa contribution à l'effet d'îlot de chaleur urbain.
- Analyse des incidences que le projet devrait avoir sur l'effet d'îlot de chaleur urbain à l'échelle locale.
- Le cas échéant, formulation de points de vigilance sur des secteurs potentiellement sujets à la surchauffe urbaine à l'état projet.
- Formulation de préconisations visant à réduire l'effet d'ICU du projet.
- Description des méthodes utilisées pour l'étude.

# Effet d'îlot de chaleur urbain

## Définition de l'effet d'îlot de chaleur urbain

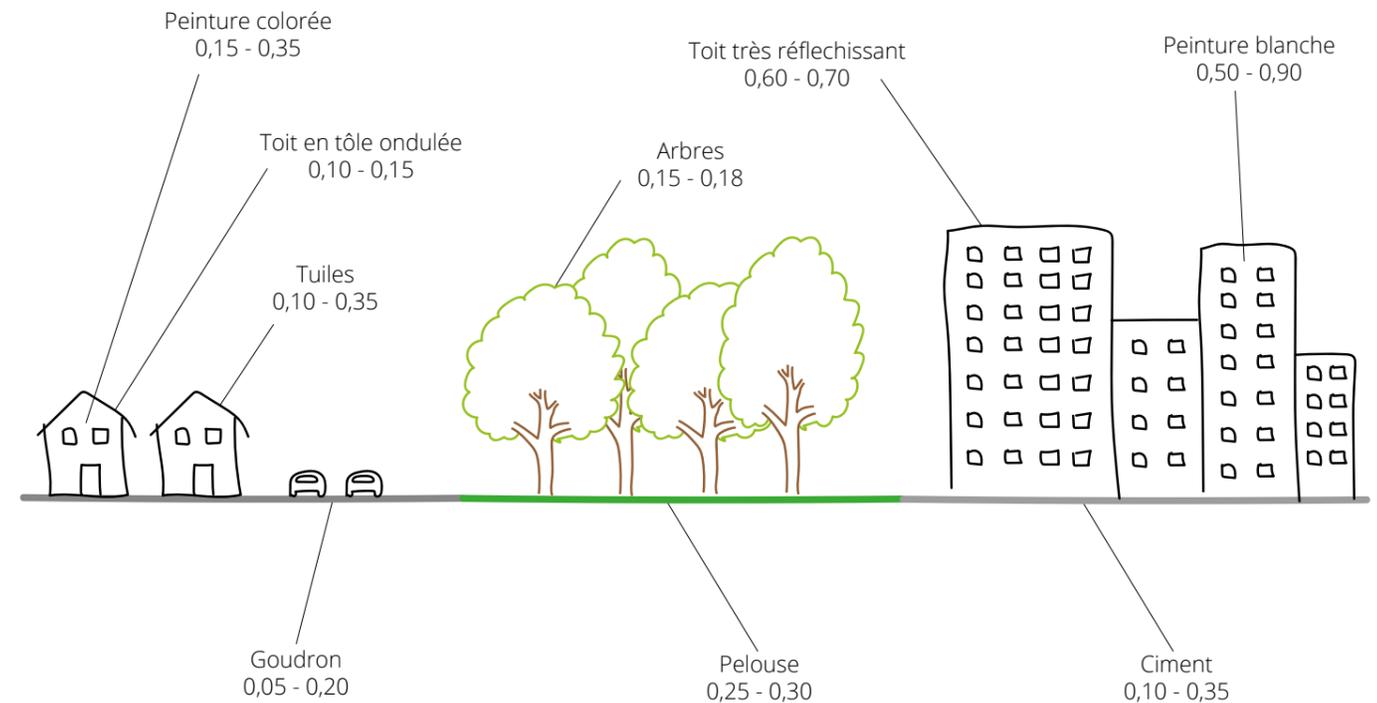
L'Atelier Parisien d'Urbanisme et l'Institut Paris Région sont deux des principaux organismes contributeurs à la documentation sur l'effet d'ICU en Île-de-France. Ils définissent ce phénomène comme<sup>1</sup> :

- La spécificité climatique des villes par rapport aux zones rurales et péri-urbaines avoisinantes.
- Le caractère amplificateur de la ville rendant les épisodes de chaleur plus intenses en milieu urbain.
- Ce qui peut être appelé « *Bulle de chaleur urbaine* ».

## Facteurs d'explication

L'effet d'îlot de chaleur urbain est favorisé par un nombre important de paramètres, certains sont imputables aux conditions météorologiques et d'autres à la constitution du milieu urbain et aux activités qui y sont présentes. Les principaux facteurs d'explication sont les suivants :

- La météo : forte chaleur, ciel dégagé, vent faible.
- L'irradiation des surfaces : absence d'ombrage.
- Les propriétés thermophysiques des surfaces recevant le rayonnement solaire :
  - » Albédo : part de l'énergie solaire réfléchi.
  - » Émissivité : aptitude à réémettre l'énergie solaire reçue par rayonnement.
  - » Coefficient d'évapo-transpiration : coefficient caractérisant les pertes provenant de l'évaporation de l'eau contenue dans le sol et de la transpiration des plantes.
- La morphologie urbaine : voies de circulation importantes, grandes hauteurs des bâtiments, effet "canyon".
- Le dégagement de chaleur issu des activités humaines : moteurs, systèmes de chauffage et de climatisation.



Exemples d'albédo de divers matériaux (source TRANS-FAIRE)

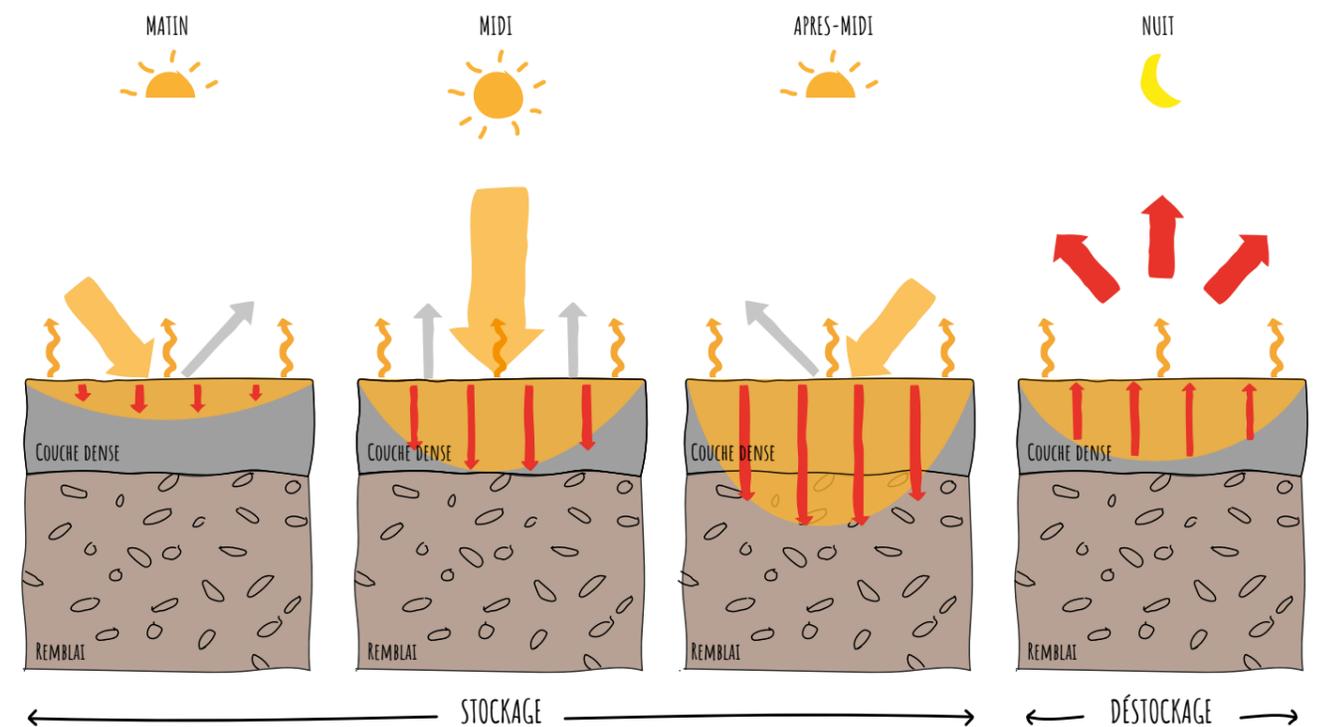


Illustration de l'émissivité (source TRANS-FAIRE)

<sup>1</sup> Les Îlots de Chaleur Urbains à Paris, APUR, 2012.

Adapter l'Île-de-France à la chaleur urbaine, IPR, 2017.

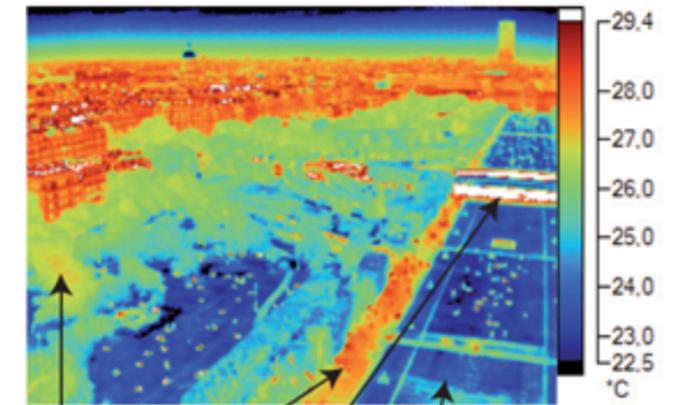
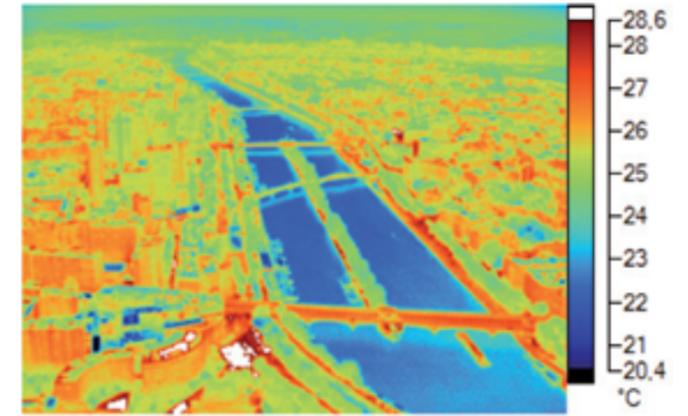
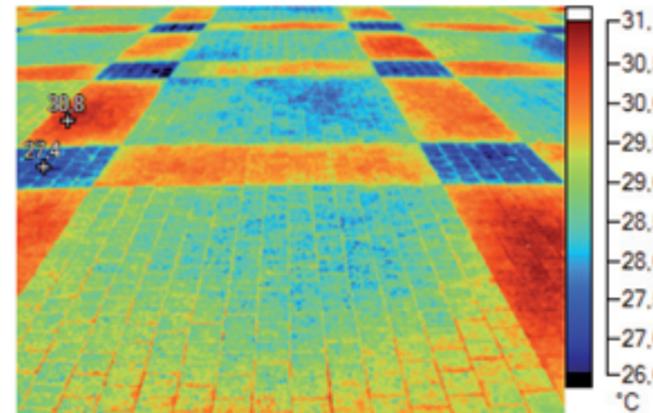
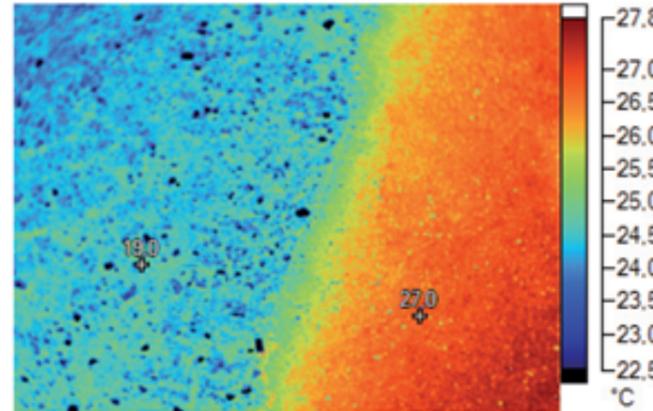
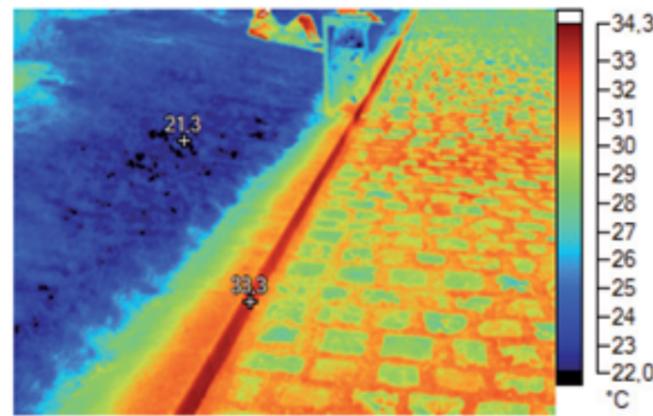
# Effet d'îlot de chaleur urbain

## Différentes échelles d'analyse

La sensibilité des milieux urbains à l'effet d'îlot de chaleur urbain peut être observée à des échelles variées. Les thermographies permettent d'observer le comportement thermique de zones plus ou moins larges.

A échelle rapprochée (illustrations à gauche), on peut observer la contribution des différents paramètres des matériaux de surface à la surchauffe urbaine : couleur, compacité, présence de végétation.

A échelle plus large (illustrations à droite), on peut observer le rôle des grands ensembles humides ou végétalisés sur les températures de surface et donc le ressenti à hauteur d'homme.



La canopée des arbres possède encore la marque de l'irradiation solaire, de la journée

Les circulations piétonnes en « stabilisé » viennent juste de passer à l'ombre, leur niveau de température, encore élevé, s'estompera rapidement au fil des heures

Les revêtements bitumineux ont abondamment stocké de l'énergie solaire en cours de journée, ils resteront à des niveaux de températures élevés une partie de la nuit

La pelouse apparaît déjà fraîche, l'ensoleillement subi dans la journée n'a pas été stocké par le végétal

Thermographies urbaines peu après le coucher de soleil (source APUR, 2012)

# Effet d'îlot de chaleur urbain

## Traduction physique

En fonction des conditions météorologiques, le flux de chaleur en surplomb des villes est entre 20 et 60% supérieur à celui dégagé par la campagne environnante.

Concrètement, le phénomène d'ICU se traduit par des températures plus élevées en cœur d'agglomération que dans les zones rurales alentours. Cette différence de température est particulièrement importante la nuit, le rafraîchissement de la ville étant amoindri par les propriétés des matériaux de surface qui la composent.

### +2,5°C en moyenne au centre de Paris

En moyenne annuelle, l'ICU se traduit en Île-de-France par des différences de températures nocturnes, de l'ordre de 2,5°C entre Paris (13,5 à 14 °C, moyenne de 1995 à 2004) et les zones rurales (11 à 11,5°C), comme le Vexin ou les forêts de Rambouillet et de Fontainebleau.

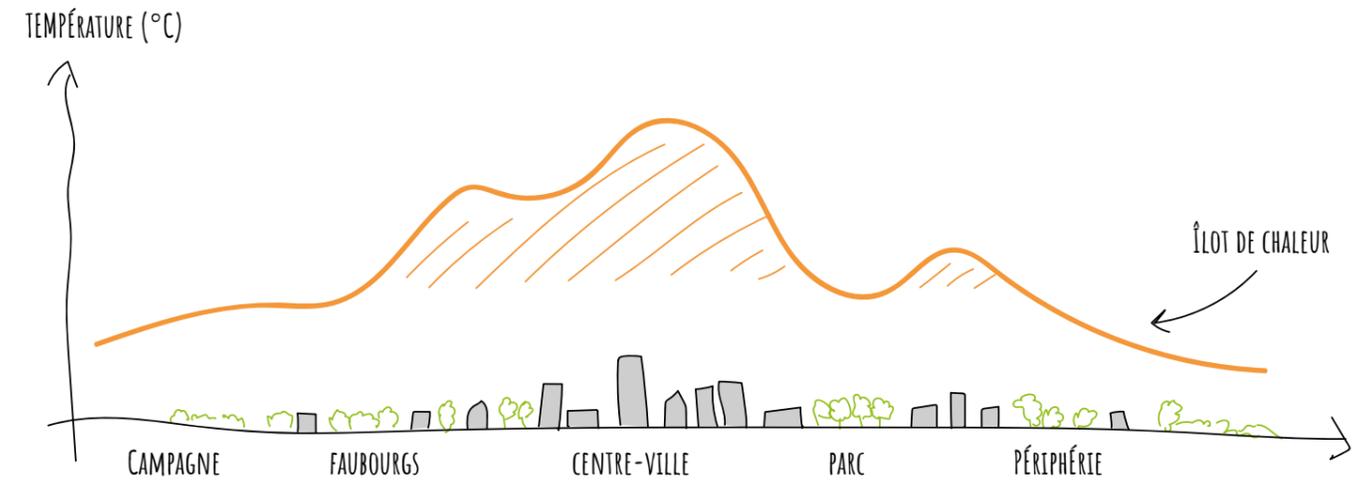
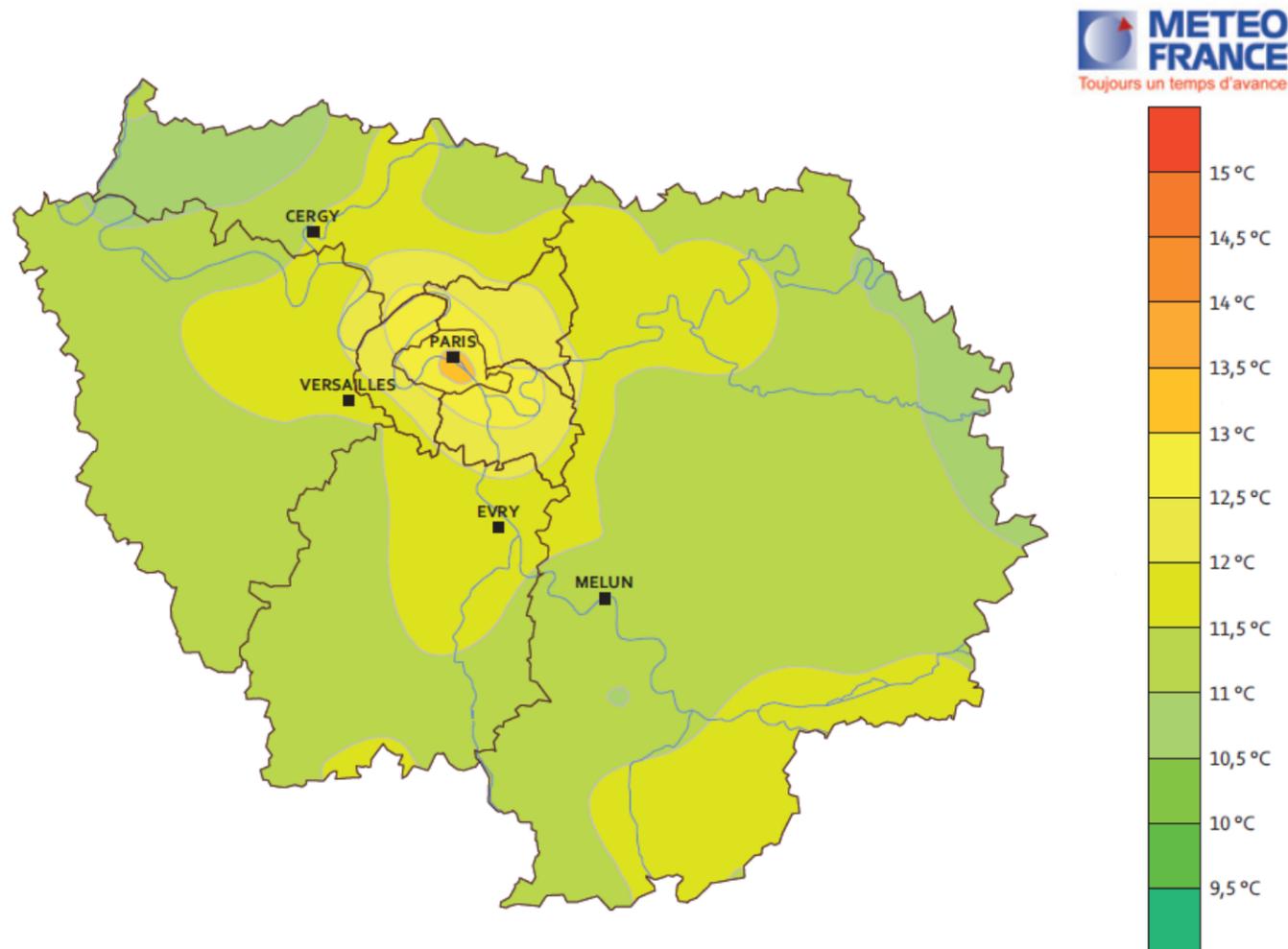


Illustration du phénomène d'ICU (source TRANS-FAIRE)



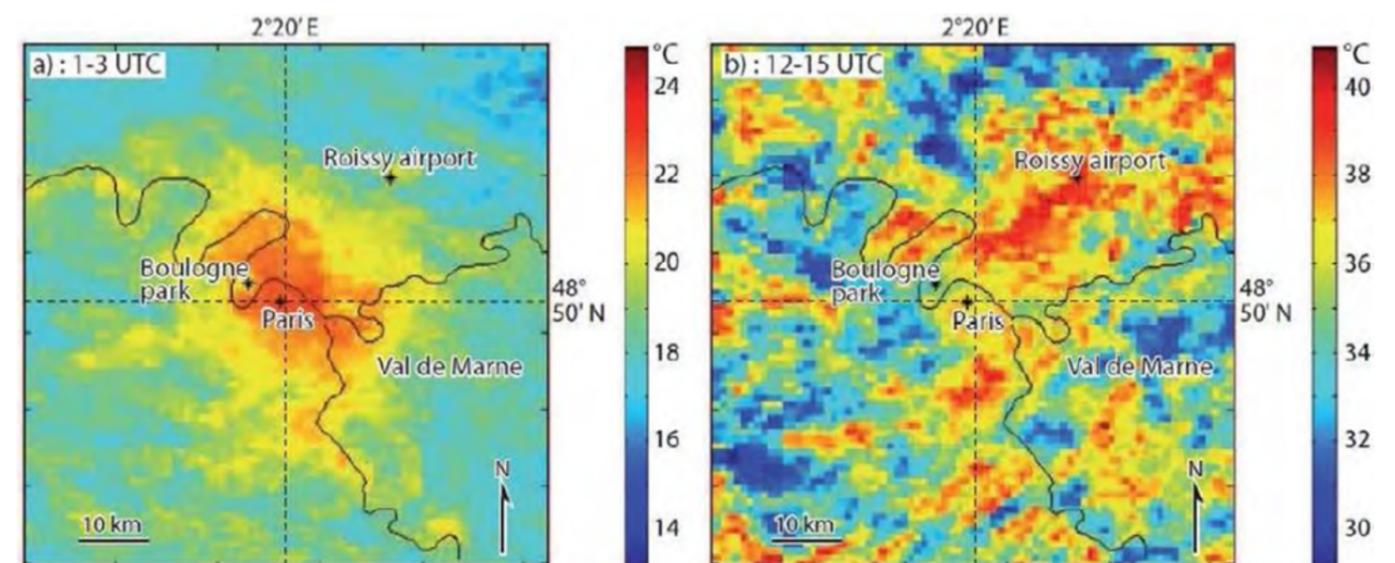
Température moyenne de 1995 à 2004 en Île-de-France (source Météo France, DIRIC)

### Une différence de température nocturne de plus de 8°C en période de canicule

Les différences de température engendrées par l'effet d'ICU s'accroissent à mesure de l'intensité des épisodes de chaleur.

Lors de la canicule de 2003, les températures de surface relevées par satellite entre le 4 et le 13 août ont permis de relever une magnitude d'environ 8°C la nuit entre le centre-ville de Paris et les zones rurales.

Lors d'un autre épisode caniculaire survenu en 2012, la différence de température relevée entre le 18 et le 20 août a atteint 8,4°C entre le centre de Paris et la commune de Melun.



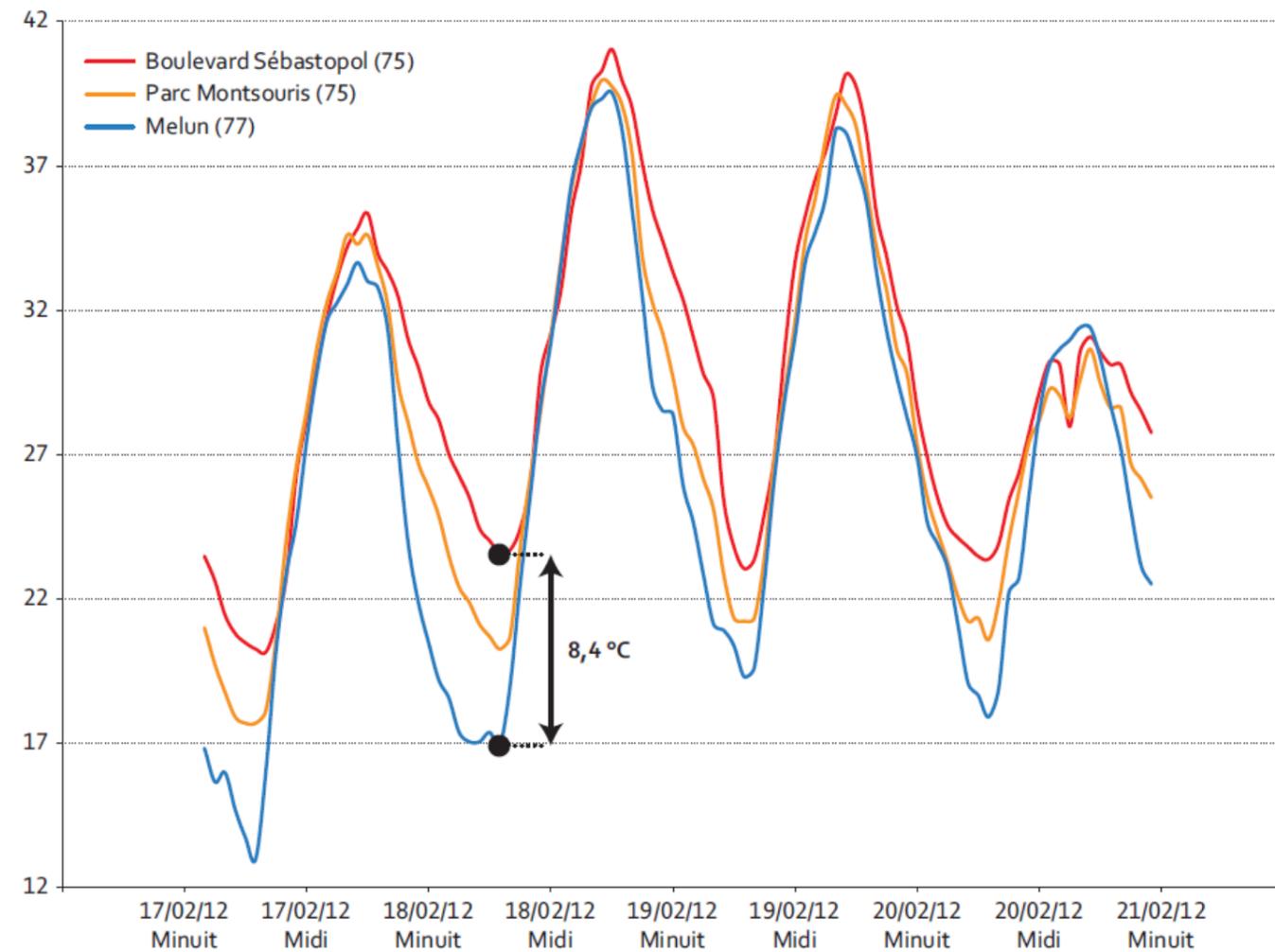
Thermographie du 4 au 13 août 2003 en période nocturne (à gauche) et diurne (à droite) (source INVS)

# Effet d'îlot de chaleur urbain

## Un comportement thermique différent de jour

En période diurne, les contrastes de température entre zones urbaines et rurales sont différents. Ils soulignent davantage les anomalies thermiques des zones industrielles (très chaudes le jour, plus froides la nuit) et la fraîcheur des espaces boisés opposée à la chaleur des champs cultivés non ombragés.

En période de fortes chaleurs, il n'existe quasiment pas de différence de température en journée entre les zones urbaines et rurales lorsque l'on observe l'échelle régionale.



Température du 18 au 20 août sur les stations Sébastopol (Paris 1er), Montsouris (Paris 14ème) et Melun (77) (source APUR)

## Des écarts de température constatés à échelle plus réduite

A une maille resserrée, des différences de température sont également constatées. Toujours en 2003, on constatait pour la température de l'air à 2 m du sol :

- + 2°C à + 5°C dans certains arrondissements parisiens par rapport à certains parcs et bois intra-muros.
- Jusqu'à + 7°C entre la banlieue parisienne nord-ouest et les forêts humides environnantes.



Températures de l'air relevées entre la gare de l'Est et les Buttes-Chaumont le 1er août 2011 à 22:00 (source APUR)

## Conséquences

### Un phénomène amplificateur en épisode de canicule

L'effet d'ICU a un effet négatif sur le confort thermique urbain (inconfort des espaces de vie, publics et privés) et sont donc un risque pour la santé publique des citoyens lorsqu'ils sont combinés à un épisode caniculaire. L'îlot de chaleur urbain, particulièrement intense en période de fortes chaleurs, amplifie le stress thermique des Franciliens et les risques associés (déshydratation, aggravation des maladies chroniques ou coups de chaleur, surmortalité).

Si l'effet d'ICU entraîne un moindre besoin de se chauffer l'hiver, source d'économie d'énergie, le principal enjeu associé porte donc sur l'aggravation potentielle des effets liés aux vagues de chaleur : soit l'été, en période de canicule, la nuit. L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur due au dérèglement climatique ainsi que le vieillissement de la population tendent à rendre ce phénomène de plus en plus préoccupant pour la santé publique en ville.

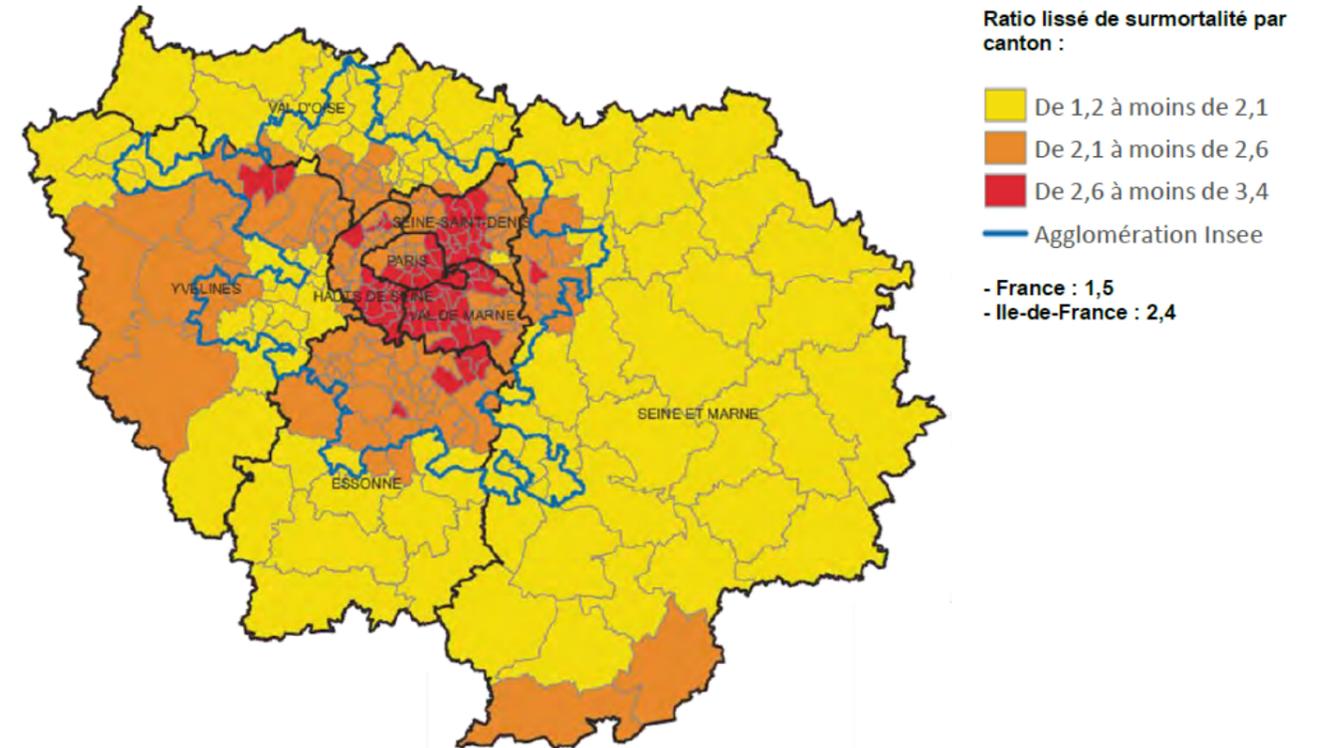
Alors que les récents épisodes de canicule – surtout 2003 mais aussi 2006, 2015 ou encore 2019 et 2022 et 2023 - ont déjà marqué particulièrement les Franciliens, le phénomène d'ICU devrait toucher une population de plus en plus importante pouvant à l'avenir rendre la vie en ville pénible.

L'InVS, l'Inserm, l'ORS et l'Atelier Parisien de la Santé Publique ont étudié le rapport entre la mortalité observée lors de la canicule 2003 et les décès survenus. Tous font le constat que l'Île-de-France est la région où le taux de surmortalité a été le plus fort (de 127 à 171%, selon les départements) et souligne le rôle particulièrement important de l'effet d'ICU et de la dégradation de la qualité de l'air.

### Des conséquences multiples

Hormis le confort thermique et la surmortalité en périodes de canicule, l'effet d'ICU induit également d'autres conséquences sur les activités humaines et la biodiversité :

- Stress hydrique par l'aggravation de l'évaporation de l'eau contenue dans les sols.
- Surmortalité pour certaines espèces animales et végétales.
- Augmentation de la consommation d'énergie liée à la climatisation et à la réfrigération.
- Augmentation de la consommation d'eau liée à l'arrosage et au rafraîchissement.
- Aggravation des épisodes de pollution en été, les fortes chaleurs favorisant la formation d'ozone.
- Perte de productivité : baisse du rendement des travailleurs, adaptation des horaires pour les travaux pénibles.
- Perturbation des infrastructures et des réseaux urbains (de transport notamment).



Ratio de surmortalité en Île-de-France lors de la canicule de 2003 (source Inserm CépiDC, Insee, Exploitation ORS Île-de-France)



Processus de formation de l'ozone atmosphérique (source Airparif)

# Effet d'îlot de chaleur urbain

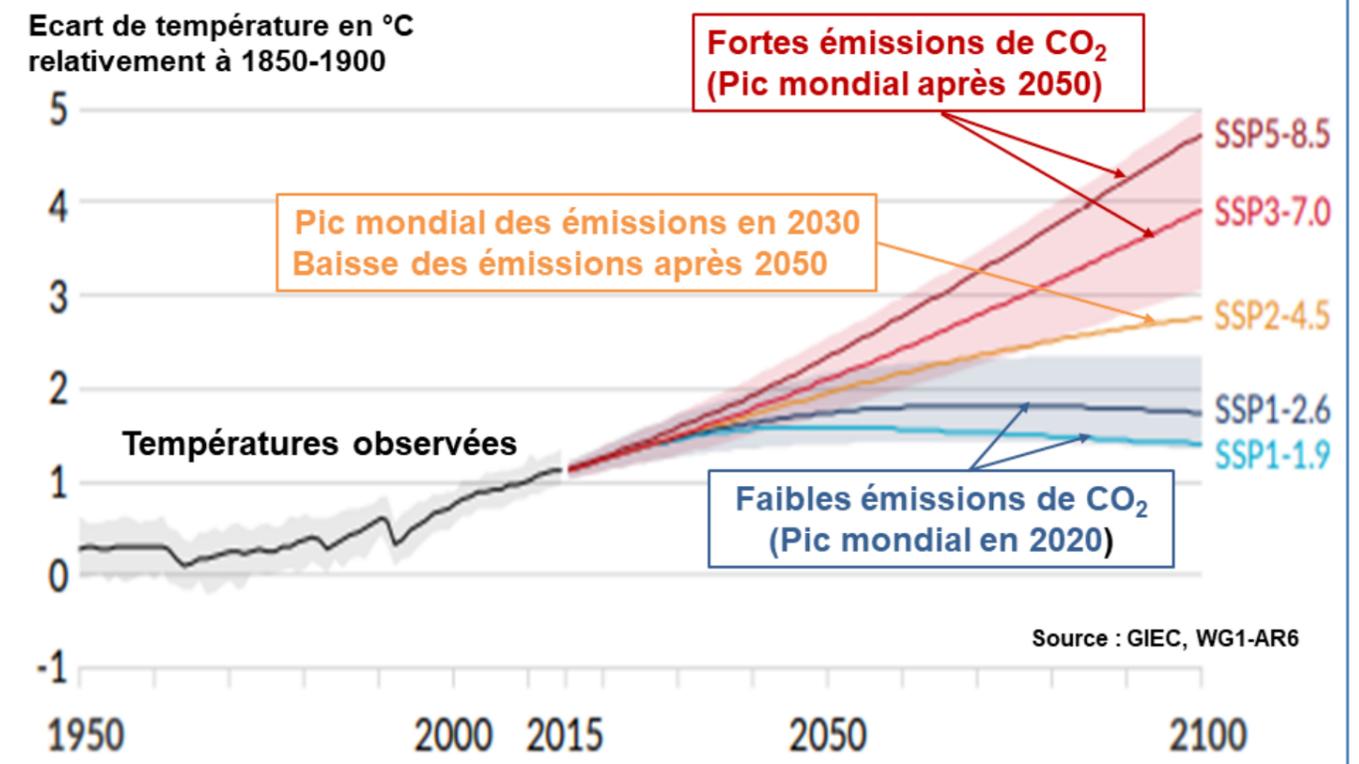
## L'amplification des événements extrêmes climatiques

Le rapport du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) est la référence majeure dans l'étude du changement climatique. Dans ce contexte, le scénario RCP8.5 est souvent cité comme le pire des scénarios possibles, caractérisé par une augmentation importante des émissions de gaz à effet de serre. Ce scénario envisage une trajectoire où les émissions continuent d'augmenter sans intervention significative pour les réduire. En conséquence, il est associé à une élévation de température mondiale plus élevée que les autres scénarios, jusqu'à +4°C à l'horizon 2100. Cette hausse de température aura des répercussions dramatiques sur les événements climatiques extrêmes, tels que des vagues de chaleur prolongées, des tempêtes plus intenses, et des périodes de sécheresse plus fréquentes. Ces phénomènes exacerbent les îlots de chaleur urbains, où les températures dans les zones urbaines sont plus élevées que dans les zones rurales environnantes, amplifiant les risques pour la santé et le bien-être des populations urbaines. Ainsi, comprendre et anticiper ces impacts climatiques est crucial pour la planification urbaine et la gestion des risques dans les décennies à venir.

La présente étude se propose d'étudier ce phénomène à horizon futur. Dans ce cadre, le logiciel Météonorm projette et simule des fichiers météo interpolant les données météo actuel et les différents scénarios du GIEC pour pouvoir fournir des données prospectives exploitables dans la modélisation des états initiaux et des états projetés.

La modélisation est effectuée à deux horizons clés, à savoir l'horizon 2030, correspondant à la livraison du projet, et à l'horizon 2100, afin d'évaluer les risques à long terme. La méthodologie adoptée dans cette étude repose sur l'utilisation du scénario RCP8.5 du GIEC. Ce choix permet d'anticiper les conditions les plus extrêmes du changement climatique, où les émissions de gaz à effet de serre continuent d'augmenter.

## Les cinq scénarios illustratifs analysés par le GIEC



Graphique des différents scénarios étudiés par le GIEC et de l'évolution des températures associées (GIEC, 2021)

Etat initial et projet à  
l'horizon 2030 et 2100

# Modélisation des surfaces

La modélisation du site prend en compte plusieurs facteurs à savoir, la matérialité du sol intégrant différents paramètres physiques, le bâti et sa hauteur correspondante, les sujets arborés selon leur hauteur et diamètre. La modélisation des surfaces sur QGIS<sup>1</sup> à l'état initial est présenté ci-contre.

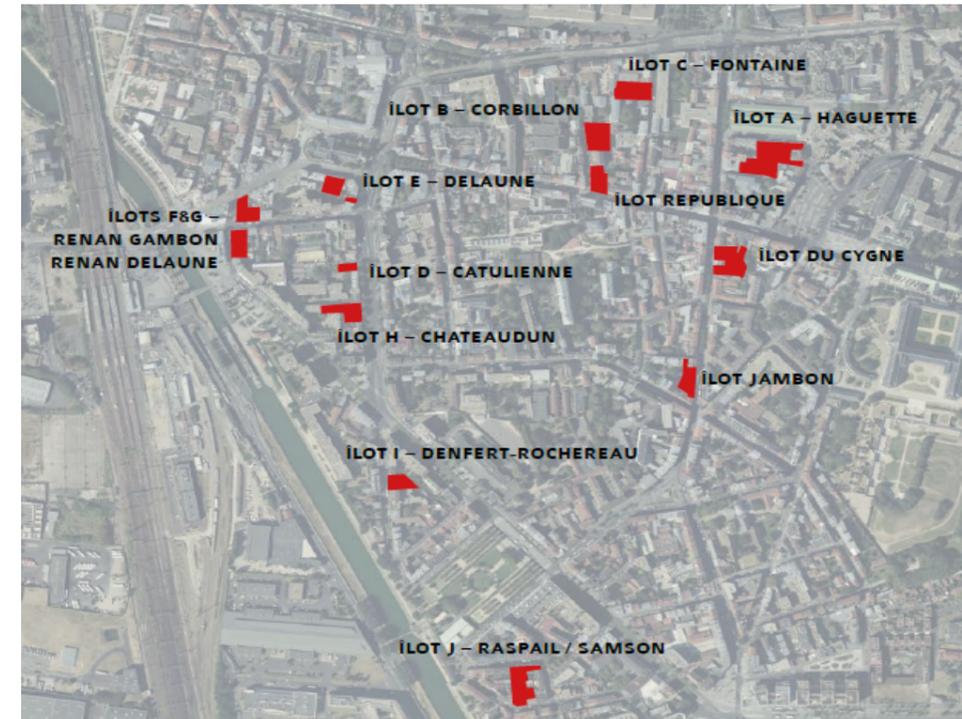
Les éléments modélisés sont les suivants :

- Le type de surface du sol :
  - » Bitume.
  - » Stabilisé.
  - » Pleine terre.
  - » Pelouse sèche.
  - » Dalle en béton.
  - » Mélange terre/pierre.
  - » Pavés de brique.
- Les éléments bâtis avec leurs hauteurs respectives issus des données en open sources BDTPO de 2024. Les hauteurs sont ajustées au cas par cas si les données sont indisponibles.

Les tableaux présentent des données sur les surfaces présentes dans les périmètres d'étude uniquement, le reste a été modélisé dû à l'impact des alentours sur la zone, mais ne sera pas évalué.

Les arbres et arbustes sont modélisés en fonction de leur hauteur et rayon, cette fois ces éléments ont été estimés pour chaque individu, vu le nombre réduit d'exemplaires présents sur le site.

Les hauteurs oscillent entre 2,8-13,4 m, tandis que les rayons (du houppier) vont de 1,4 à 5 m.



Localisation des différents secteurs de la commune Saint-Denis (93).



Modélisation de l'occupation du sol à l'état initial d'un des 14 secteurs étudiés (Ilots A, 1 et 4, TRANS-FAIRE, 2024)

<sup>1</sup> Logiciel de système d'information géographique

# Simulation des ombrages

La deuxième étape du modèle consiste en la simulation des ombres portées des bâtiments et des arbres sur le périmètre d'étude pour la journée choisie, à savoir le 21 juillet (journée particulièrement caniculaire). Les ombres portées sont simulées pour chaque heure de la journée entre 06:00 et 20:00 via le module UMEP.

Les aperçus de ces simulations à 06:00 à 20:00 par pas de 2 heures sont présentés ci-dessous, avec l'exemple des îlots B, C et 2. Cette opération a été faite pour chaque îlot du projet.

*Un exemple d'ombrage obtenu via le logiciel est présenté pour les îlots B C et 2. Dans un souci de clarté, les ombrages pour chaque opérations ne sont pas présentés en détail, ils sont bien sûr systématiquement pris en compte dans la modélisation des températures. Une étude spécifique concernant les ombrages et ensoleillement a été réalisée dans le cadre de l'évaluation environnementale et un BET environnement accompagne les architectes dans la rédaction des fiches de lot spécifiquement sur ce sujet. L'étude ICU se contente d'étudier les phénomènes d'îlot de chaleur urbain.*



Ombres portées à 06:00



Ombres portées à 08:00



Ombres portées à 10:00



Ombres portées à 12:00



Ombres portées à 14:00



Ombres portées à 16:00



Ombres portées à 18:00



Ombres portées à 20:00

# Création du maillage de points

Afin de réaliser la simulation, un maillage de points a été réalisé sur le site pour chaque îlot étudié. Chaque point de ce maillage contient les données de température modélisées.

La densité des mailles est d'un point tous les 4 mètres dans les sens nord-sud et est-ouest du périmètre d'étude. Le module intègre également des points sur les contours des bâtiments. A l'état initial, le maillage du secteurs des îlots B, C et 2 comprend 699 points.

Les caractéristiques thermophysiques des différents types de revêtement sont attribuées à chaque point de maillage :

Les données représentées sont les suivantes :

- Matériau.
- Couleur : couleur qui représente chaque typologie de sol dans QGIS.
- Alb : albédo du matériau (compris entre 0 et 1) – C'est l'énergie solaire réfléchi par rapport à l'énergie solaire reçue.
- Em : émissivité du matériaux (compris entre 0 et 1) – C'est l'aptitude d'un matériau à absorber puis à réémettre de l'énergie par rayonnement.
- Cv : capacité thermique isochore (en J/K) – C'est une grandeur exprimant la chaleur qu'il faut transférer à un corps pour augmenter sa température d'un kelvin.
- Kc : coefficient d'évapo-transpiration – L'évapo-transpiration est l'évaporation et la transpiration. Cela englobe la perte en eau due au climat, les pertes provenant de l'évaporation de l'eau contenue dans le sol et de la transpiration des plantes.

Matériau	Couleur	Alb	Em	Cv	Kc
Pelouse sèche	Vert	0,13	0,91	2 500 000	0,8
Stabilisé	Beige	0,38	0,92	2 438 000	0
Pleine terre	vert	0,33	0,98	2 500 000	1
Bitume	Noir / gris	0,15	0,94	2 083 000	0
Copeaux de bois	Marron	0,3	0,91	52 500	0
Pavés de brique	Gris clair	0,11	0,94	1 680 000	0
Mélange terre/pierre	Vert/ marron	0,29	0,98	2 140 000	0



Maillage des points de calcul des îlots B, C et 2 à l'état initial (TRANS-FAIRE, 2024)

**Un exemple de maillage obtenu via le logiciel est présenté pour les îlots B C et 2 ci-dessus. Dans un souci de clarté, les maillage pour chaque opérations ne sont pas présentés en détail, les caractéristiques et densité de maillage étant similaire sur chaque modélisation.**

Extrait des paramètres du maillage de points du périmètre (source diverses selon les matériaux, issu de l'outil ICETool, Egis open data)

L'outil ICEtool permet de calculer les températures de surface des points de maillage du périmètre d'étude sur base des différentes données d'entrée, pour rappel : les données météorologiques de la station Paris Le Bourget correspondant au fichier météo générés au 21 juillet des années 2030 et 2100, les ombres portées des bâtiments et des arbres, et les paramètres thermophysiques des points de maillage.

Les températures de surface sont calculées pour chaque heure de la journée, et en moyenne sur la journée.

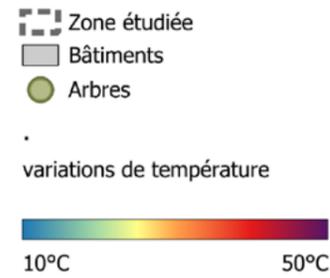
Les résultats de la simulation peuvent être illustrés sous forme de thermographie.

## Températures sur la journée : analyse spatiale

### Horizon 2030

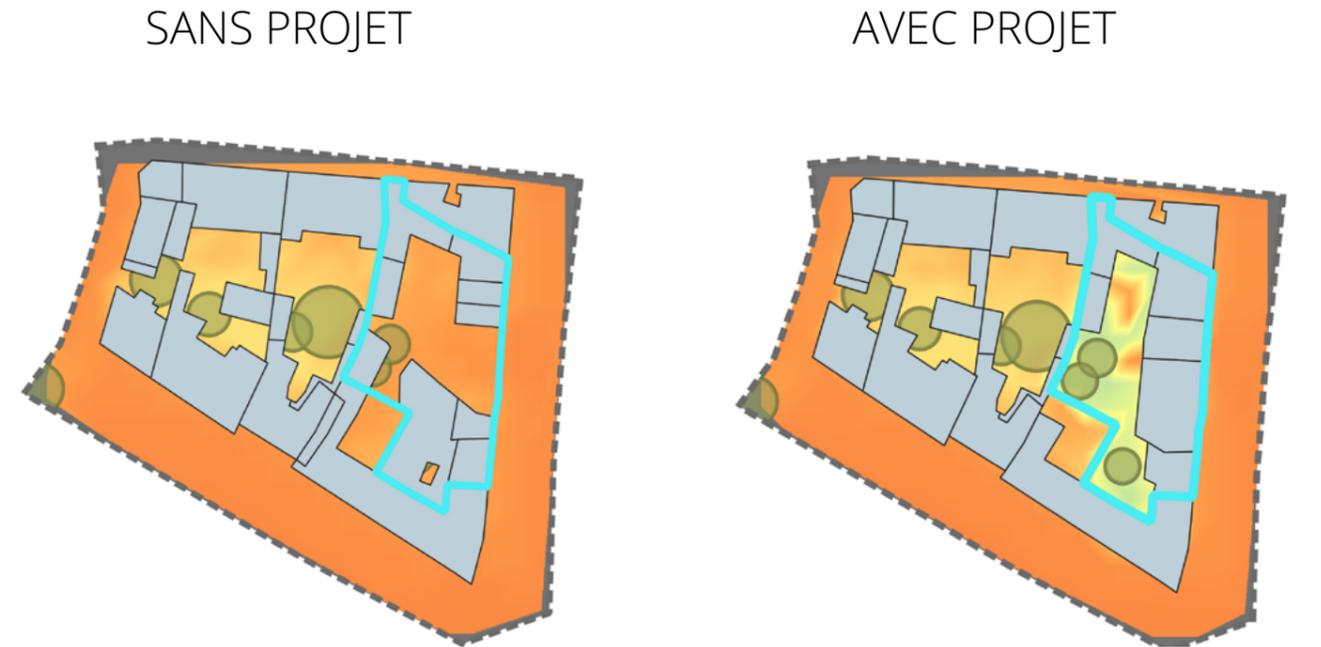
En l'absence de projet, les espaces au pied des arbres présent et en bordure des bâtiments en fond de parcelles profitant de l'ombrage du bâti enregistrent des températures minimales, atteignant 27,05°C tandis qu'avec le projet, les températures minimales dans les cœurs d'îlots désimperméabilisé et végétalisés atteignent 20,34°C. Cette différence peut être attribuée à l'effet de refroidissement généré par la présence intensive de végétation.

Sans projet, les espaces au centre en cœur d'îlot peu ensoleillé présentent des températures maximales plus haute, atteignant 34,94°C. En revanche, avec le projet, les chemins piéton pour l'accès aux bâtiments en arrière-cour enregistrent des températures maximales atteignant 32,85°C. Ces espaces plus chaud sont en faible proportion par rapport aux espaces de pleine terre.

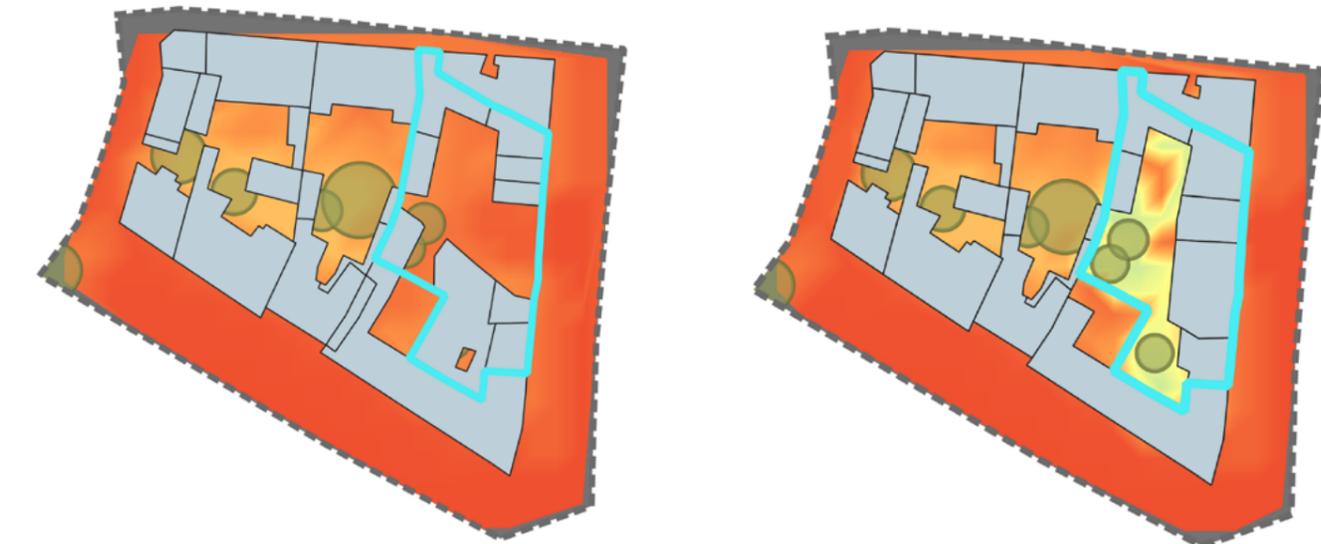


Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies

MOYENNES



MAXIMALES



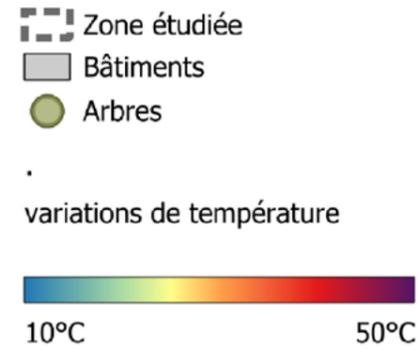
Horizon 2030		Dalle en béton	Pleine terre	Stabilisé	Bitume (hors périmètre)	Toutes surfaces
Point froid	État sans projet	27,05	/	/	27,74	20,05
	État avec projet	/	20,34	27,79	27,63	20,34
Point chaud	État sans projet	34,94	/	/	36,05	34,94
	État avec projet	/	25,11	32,85		32,85

Températures moyennes atteintes par type de surface sur la journée à l'état avec et sans projet horizon 2030 (TRANS-FAIRE, 2024)

# Comparaison horizon 2100 état sans et avec projet

La modélisation est réalisée à l'horizon 2100 et les cartographies des températures moyennes et maximales à l'état sans projet et à l'état projet sont présentées ci-contre.

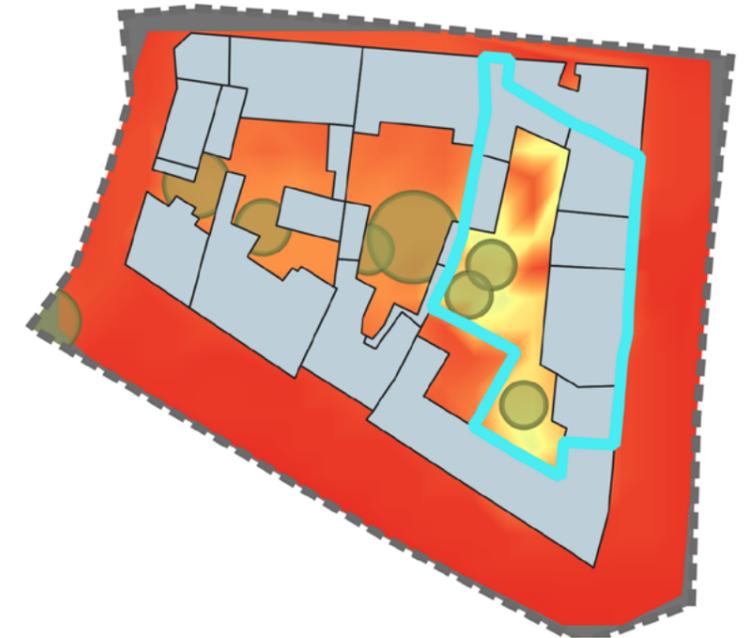
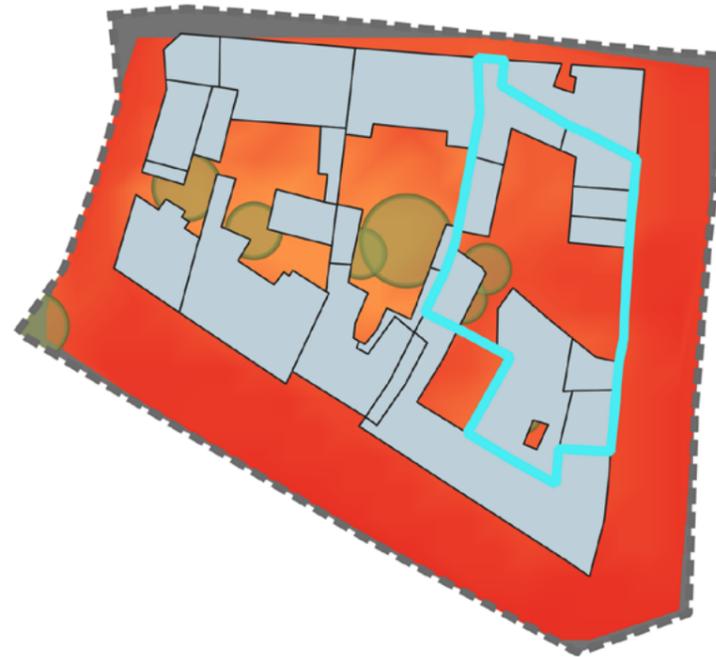
*Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies*



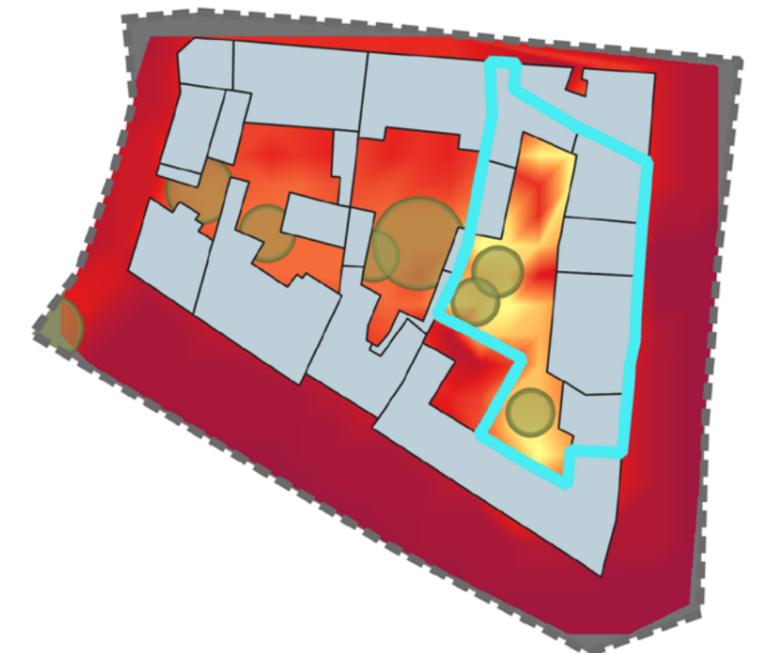
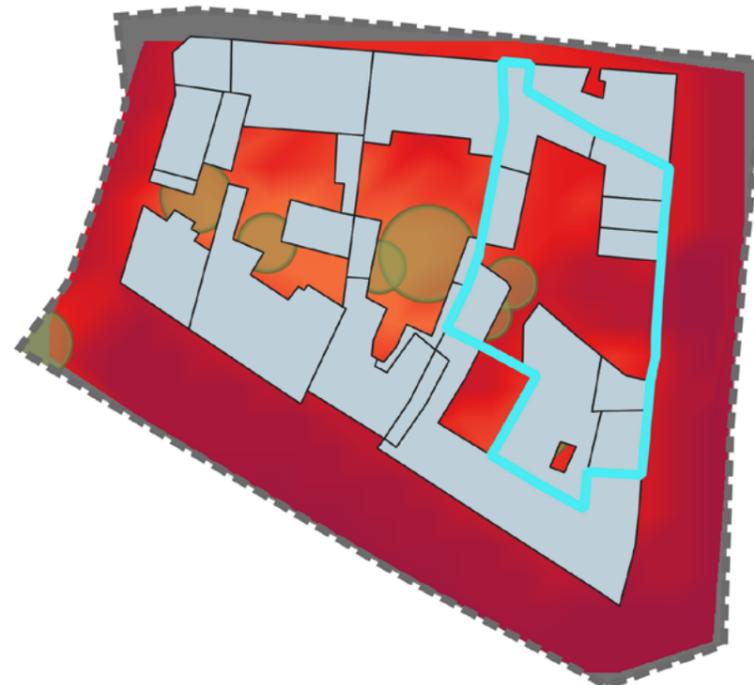
SANS PROJET

AVEC PROJET

MOYENNES



MAXIMALES

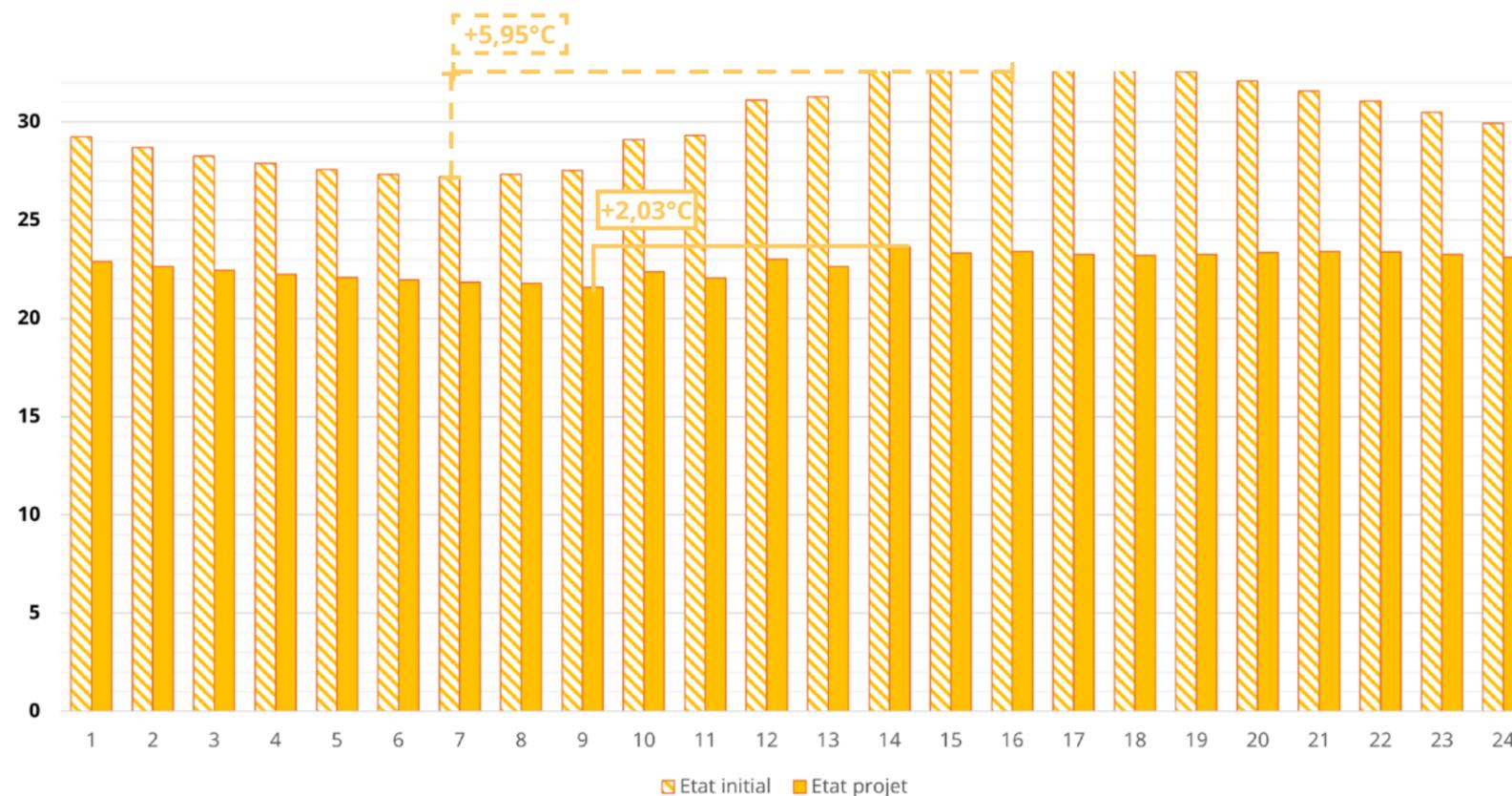


## Évolutions dues au projet horizon 2030

La comparaison des températures au sol permet de comprendre l'évolution du comportement thermique du secteur d'étude à son état actuel et à l'état projet.

*L'analyse de l'amplitude de température est cruciale pour évaluer le confort thermique, car elle révèle la variation entre les températures les plus basses et les plus élevées sur la journée modélisée. Une amplitude importante peut engendrer des sensations de chaud et de froid plus prononcées, diminuant le confort ressenti. En revanche, une amplitude réduite indique une stabilité thermique accrue, contribuant à un environnement plus confortable. L'analyse des températures extrêmes permet de comparer la situation avant et après projet et ainsi qualifier les impacts en terme de création d'îlot de fraîcheur ou encore de réduction d'effet d'ICU.*

L'amplitude des températures moyennes diminue significativement sur le secteur avec la réalisation du projet : à horizon 2030, elle est divisée par presque 3 et passe de 5,95°C à l'état sans projet à 2,03°C avec le projet. Les températures sont en moyennes plus faible grâce à la désimperméabilisation d'une grande partie du cœur d'îlot et d'une intensification de la végétation. En effet à l'état initial le cœur d'îlot est largement ouvert, fortement ensoleillé avec peu d'ombrage et des surfaces favorisant l'effet d'ICU. Les surfaces de pleine terre à l'état projet permettent de rafraîchir le cœur d'îlot et d'augmenter l'albédo et ainsi réduire la chaleur stockée au sol. En parallèle, l'augmentation des masques créés par la végétation et le bâti permet de limiter l'exposition au sol des surfaces et donc de leur surchauffe. Le pic de chaleur à l'état initial est atteint à 16h avec 33,16°C alors qu'avec le projet le pic de chaleur est de seulement 23,63°C atteint à 14h. Les températures minimales atteintes s'abaissent la nuit à 27,21°C sans projet, et de 21,6°C à l'état projet, ce qui reste raisonnable en période caniculaire.



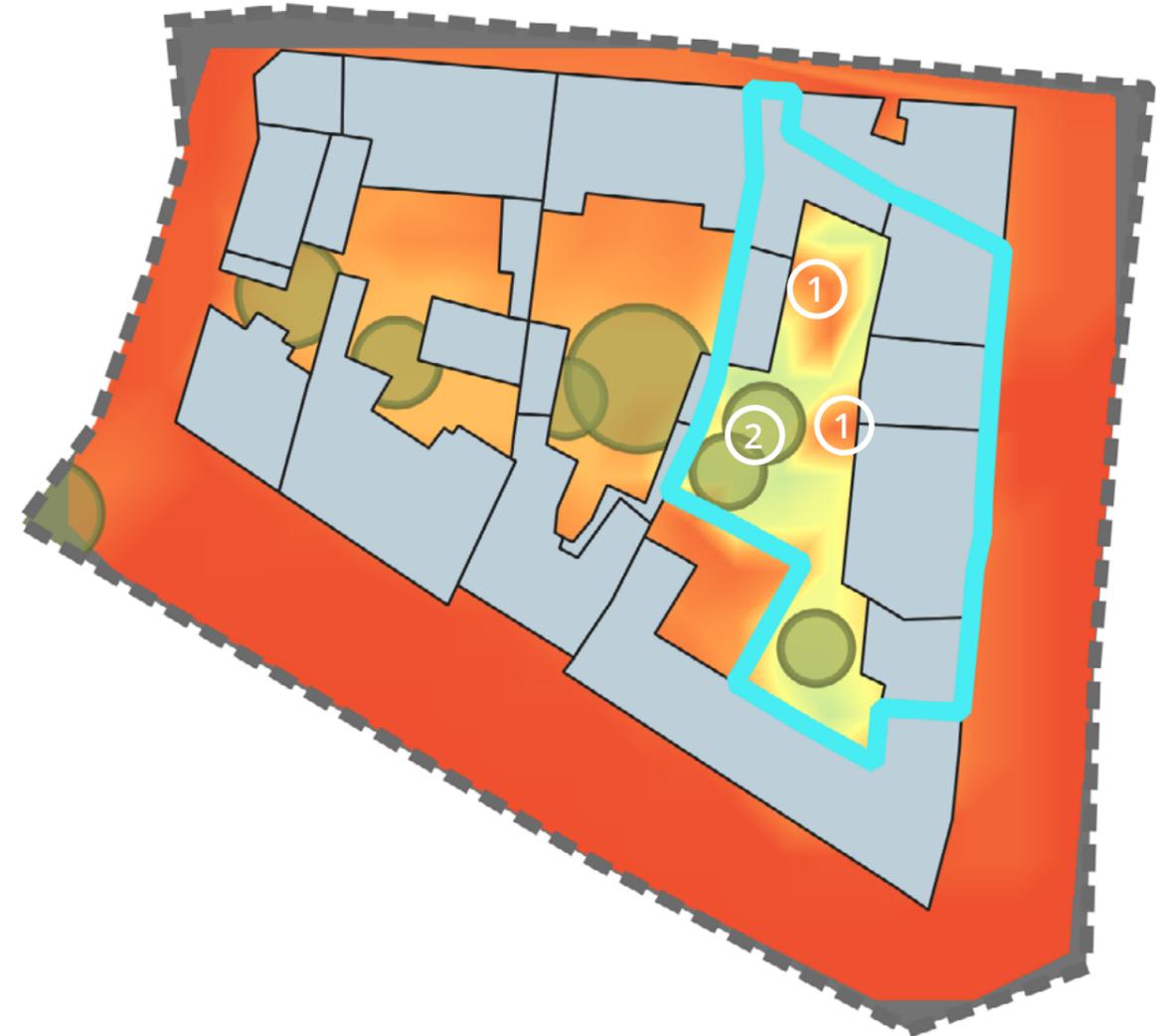
Comparaison avant / après projet des températures moyennes au sol sur la journée du 21 juillet 2030

## Préconisations

L'adaptation des mesures à chaque opération est essentiel pour venir compléter les mesures générales prévues en fin de document. Les mesures sont proportionnelles à l'effort déjà fourni par le projet pour abaisser les températures et aux possibilités du terrain. A ce titre l'opération ci contre est notée 4ème sur les 14 opérations comme ayant un impact positif significatif.

- Prévoir des dispositifs d'ombrage (auvent, toiles tendu, ombrières) sur les zones identifiées comme sensibles à la chaleur (1)
- Renforcer l'aménagement paysager en plantant des arbres de hautes tiges, particulièrement efficaces pour créer de l'ombre sur le cœur d'îlot et ainsi réduire l'exposition directe au soleil.
- Travailler les strates de végétation (2) en utilisant des espèces à houppier large pour protéger les espèces plus basses.
- Prévoir une gestion adaptée des espaces verts, notamment en proscrivant les tontes courtes qui ont tendance à augmenter les températures au sol en exposant davantage le sol au rayonnement solaire.

## Températures maximales 2030



# Comparaison horizon 2030 état sans et avec projet

## République / Corbillon / Fontaine

Les températures de surface sont calculées pour chaque heure de la journée, et en moyenne sur la journée.

Les résultats de la simulation peuvent être illustrés sous forme de thermographie.

### Températures sur la journée : analyse spatiale

Horizon 2030

#### République

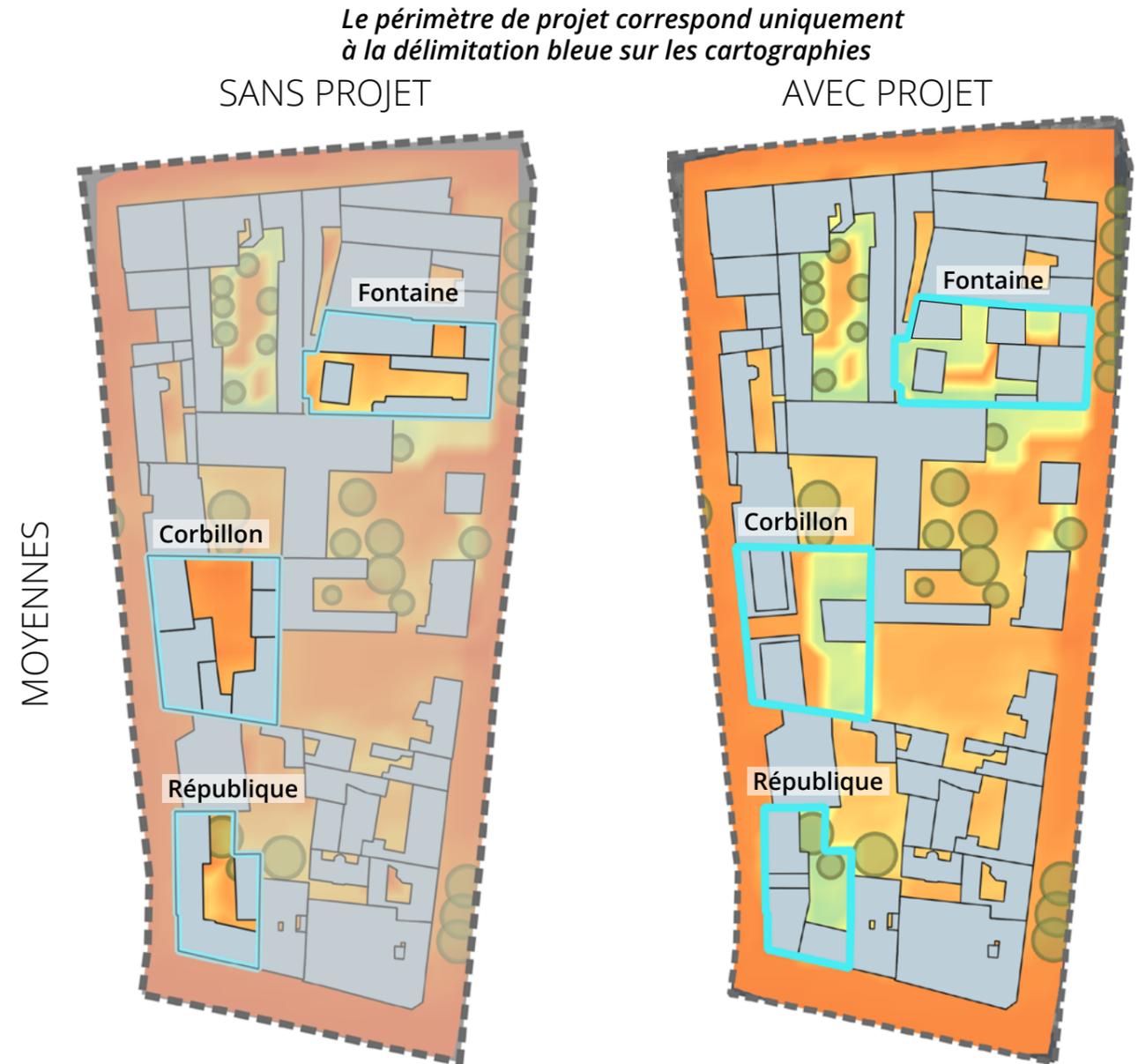
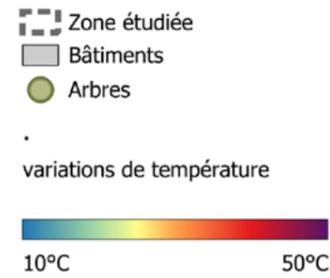
En l'absence de projet, les espaces en bordure des bâtiments au cœur d'îlot qui profitent de l'ombrage du bâti enregistrent des températures minimales, atteignant 24,38°C tandis qu'avec le projet, les températures minimales dans les cœurs d'îlots pleinement végétalisés atteignent 20°C. Cette différence peut être attribuée à l'effet de refroidissement généré par la présence accrue de pleine terre.

Sans projet, les espaces en cœur d'îlot peu ensoleillé présentent des températures maximales atteignant 35,74°C caractéristique d'un tissu morphologique étriqué piégant la chaleur. En revanche, avec le projet, l'aération du tissu urbain et la modification des revêtement, permet d'enregistrer des températures maximales atteignant seulement 22,82°C sur les espaces végétalisés.

#### Corbillon

En l'absence de projet, les surfaces imperméabilisées en cœur d'îlot, sans présence de végétation, enregistrent des températures minimales, atteignant 26,97°C. Avec le projet, les températures minimales dans le cœur d'îlot végétalisé s'abaissent à 20°C.

Sans projet, l'arrière-cour présente des températures maximales, atteignant 37,43°C. Avec le projet, l'arrière-cour de la parcelle (hors espaces vert), enregistre des températures similaires maximales atteignant 33,19°C, notant tout de même un abaissement des maximales de 4°C témoignant de l'importance du masque bâti et de l'emplacement de ces surfaces. La qualité des espaces en cœur d'îlot est amélioré avec le réaménagement du bâti en arrière cours et à la requalification des sols.



#### République

Horizon 2030		Mélange terre/pierre	Dalle en béton	Pleine terre	Bitume (hors périmètre)	Toutes surfaces
Point froid	État sans projet	24,7	24,07	/	28,27	24,38
	État avec projet	/	/	20		20
Point chaud	État sans projet	35,74	35,03	/	38,05	35,74
	État avec projet	/	/	22,82		34,9

#### Corbillon

Horizon 2030		Stabilisé	Dalle en béton.	Pleine terre	Bitume (hors périmètre)	Toutes surfaces
Point froid	État sans projet	27,6	26,97	/	28,27	26,97
	État avec projet	27,94	/	20		20
Point chaud	État sans projet	33,69	37,43	/	39,4	37,43
	État avec projet	33,19	/	24,76		35,93

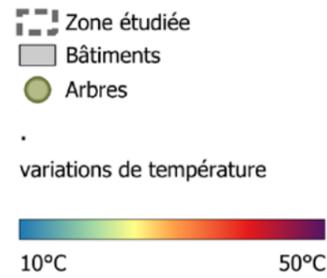
Températures moyennes atteintes par type de surface sur la journée à l'état avec et sans projet horizon 2030 (TRANS-FAIRE, 2024)

## Températures sur la journée : analyse spatiale

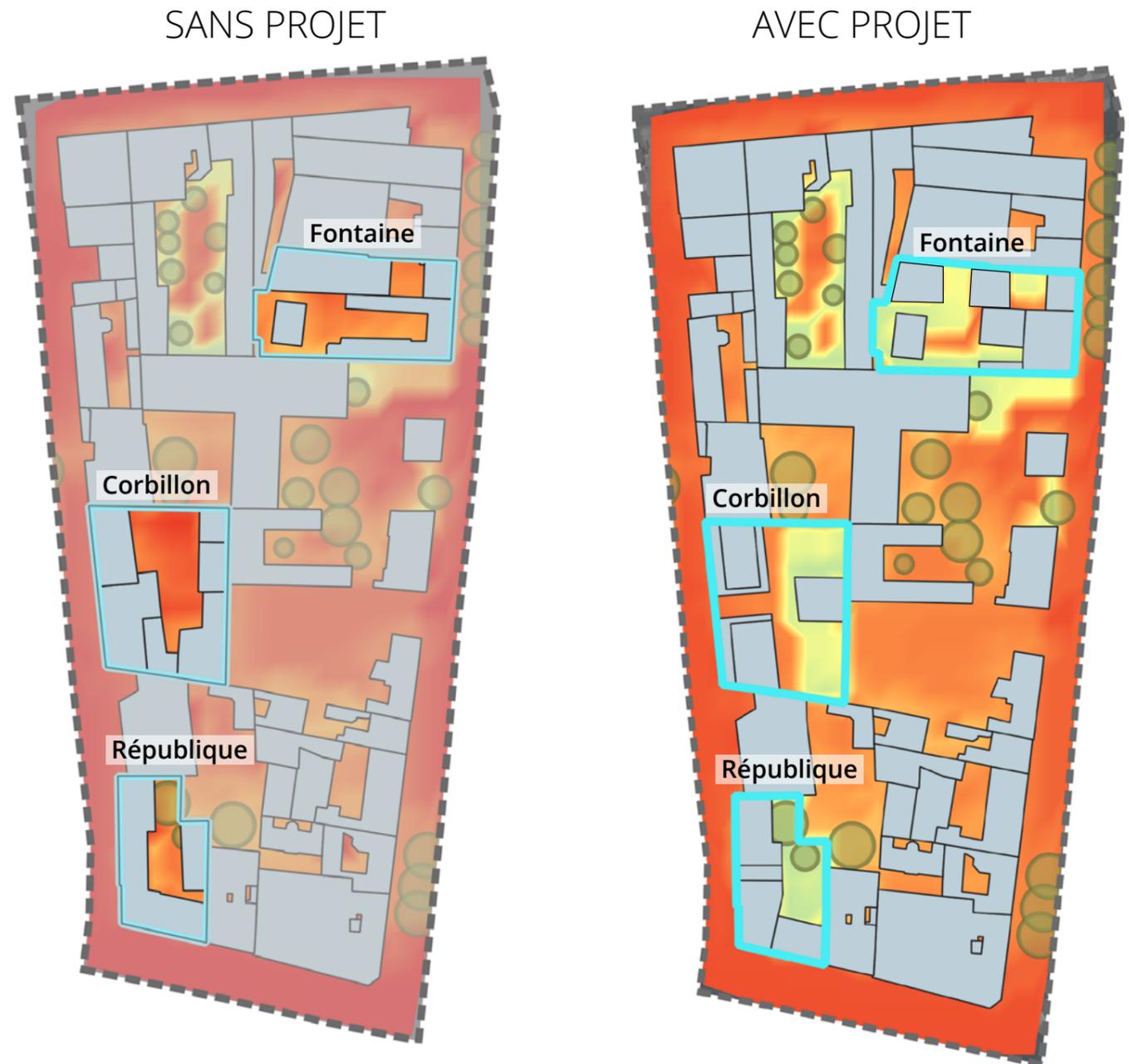
### Fontaine

En l'absence de projet, les espaces au niveau de la courrette qui profitent de l'ombrage du bâti enregistrent des températures minimales, atteignant 24,68°C tandis qu'avec le projet, les températures minimales dans les cœurs d'îlots végétalisés atteignent 20°C. Cette différence peut être attribuée à l'effet de refroidissement généré par la présence accrue de pleine terre.

Sans projet, les espaces en cœur d'îlot renfermé et avec des surfaces à albédo plus faible présentent des températures maximales atteignant 34,31°. En revanche, avec le projet, l'aération du tissu urbain et la modification des revêtements, permet d'enregistrer des températures maximales atteignant seulement 25,11°C.



MAXIMALES



Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies

### Fontaine

	Horizon 2030	Mélange terre/pierre	Dalle en béton	Pleine terre	Bitume (hors périmètre)	Toutes surfaces
Point froid	État sans projet	24,68	26,97	/	27,59	24,68
	État avec projet	/	/	20	27,5	20
Point chaud	État sans projet	34,31	33,19	/	39,78	34,31
	État avec projet	/	/	25,11	36,06	25,11

Températures moyennes atteintes par type de surface sur la journée à l'état avec et sans projet horizon 2030 (TRANS-FAIRE, 2024)

# Comparaison horizon 2100 état sans et avec projet

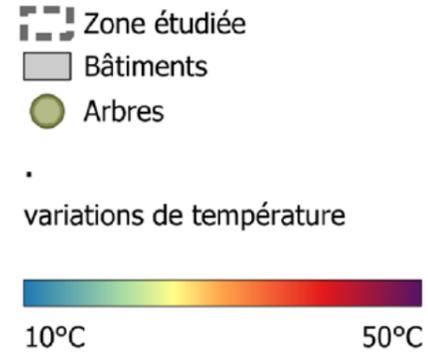
République / Corbillon / Fontaine

La modélisation est réalisée à l'horizon 2100 et les cartographies des températures moyennes et maximales à l'état sans projet et à l'état projet sont présentées ci-contre.

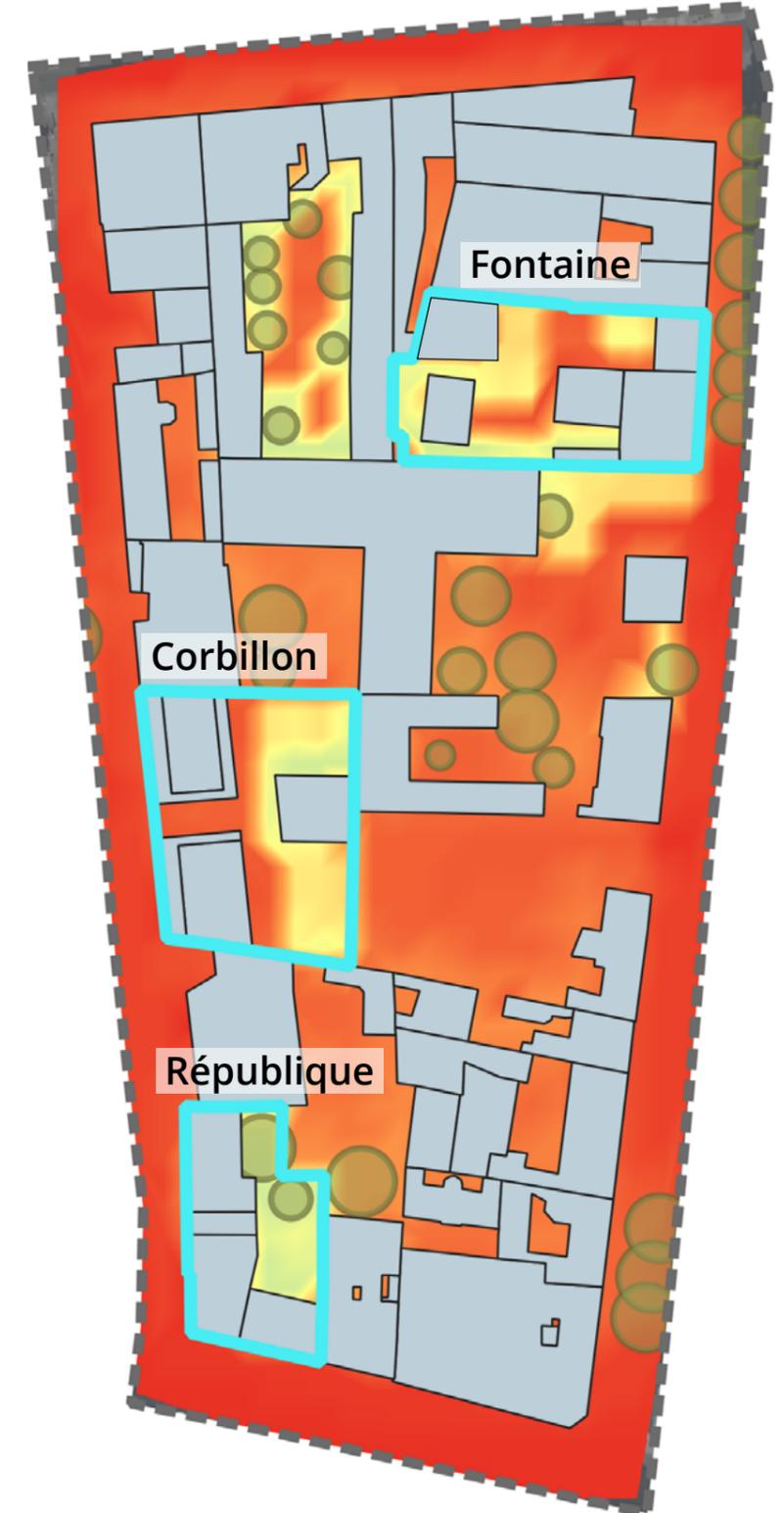
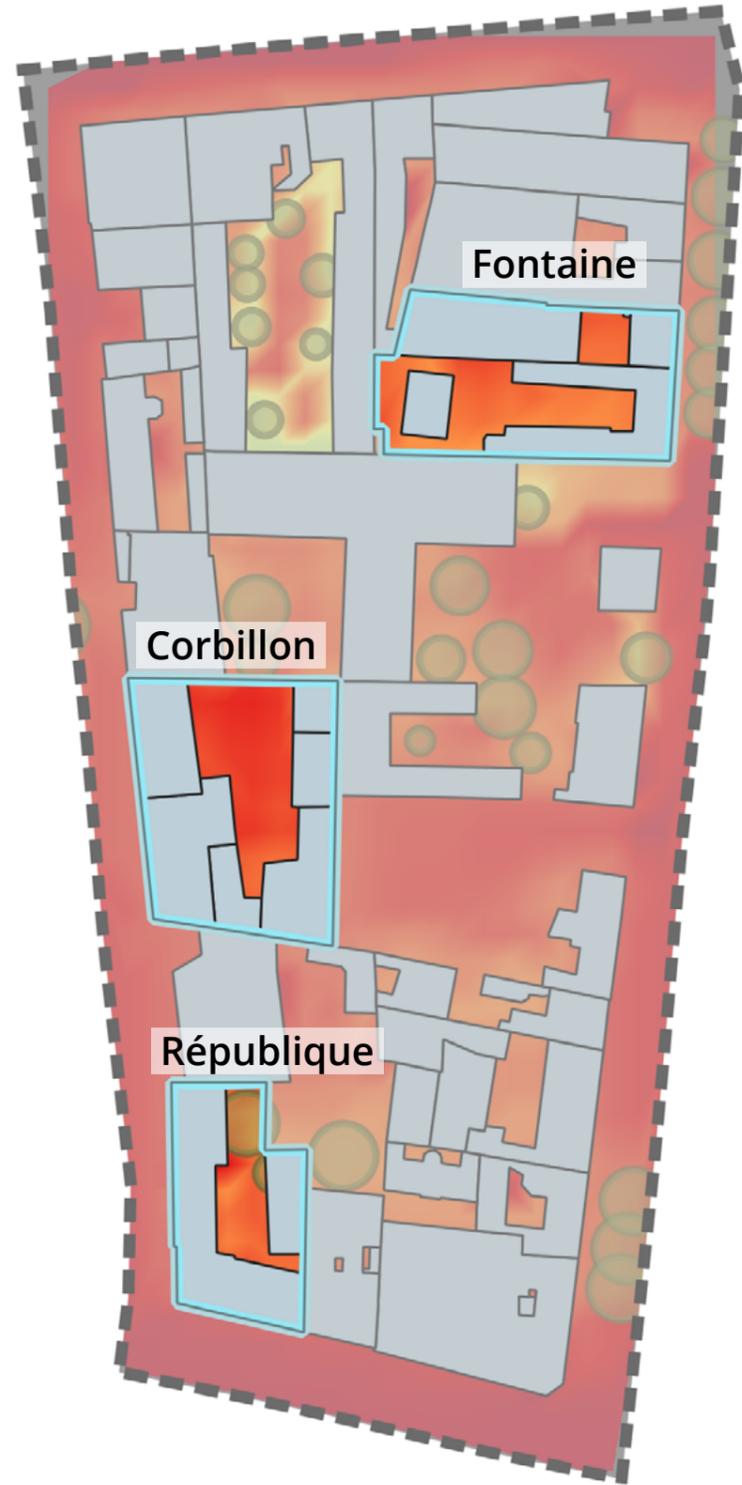
*Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies*

SANS PROJET

AVEC PROJET



MOYENNES



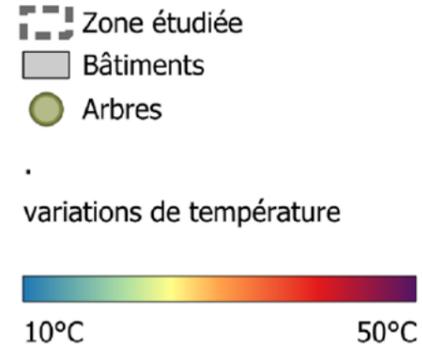
# Comparaison horizon 2100 état sans et avec projet

## République / Corbillon / Fontaine

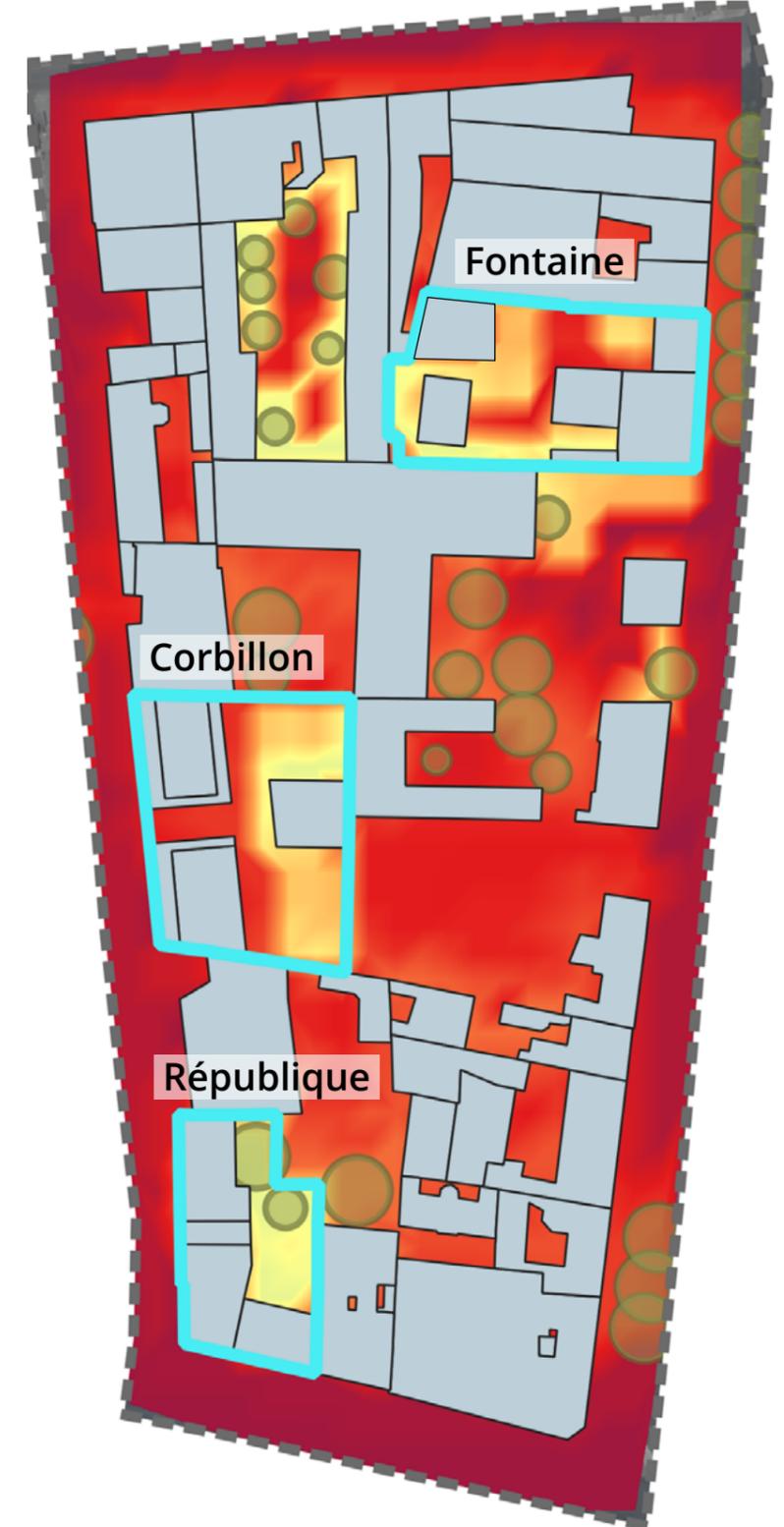
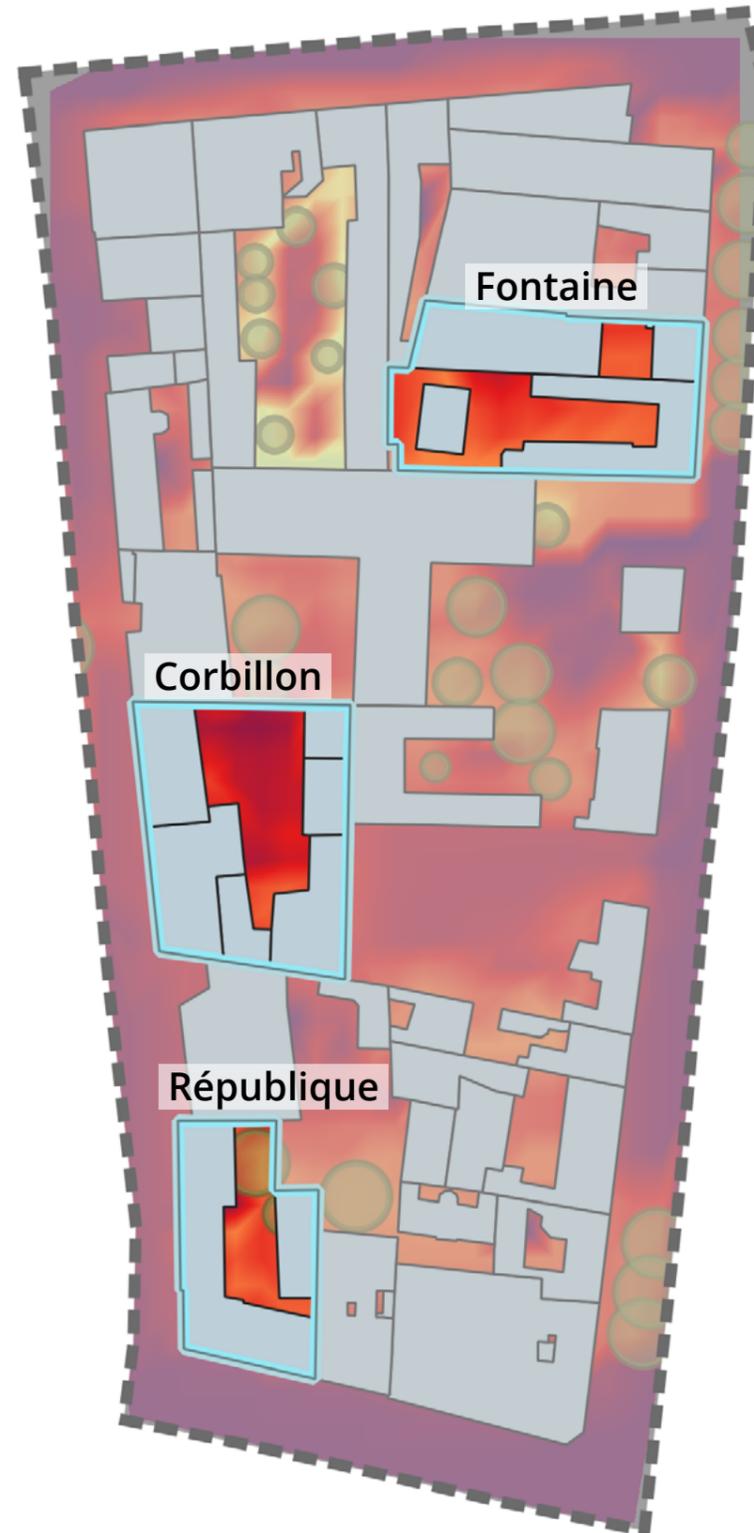
La modélisation est réalisée à l'horizon 2100 et les cartographies des températures moyennes et maximales à l'état sans projet et à l'état projet sont présentées ci-contre.

### SANS PROJET

### AVEC PROJET



MAXIMALES



### Évolutions dues au projet horizon 2030

La comparaison des températures au sol permet de comprendre l'évolution du comportement thermique du secteur d'étude à son état actuel et à l'état projet.

#### République

L'amplitude des températures moyennes diminue sur le secteur avec la réalisation du projet : elle passe de 4,36°C à 1,39°C. Les températures sont en moyennes 8,02°C plus faible grâce à la désimperméabilisation et la dédensification du fond de parcelle.

Les températures les plus basses se font ressentir à 7h du matin à l'état sans projet avec un minimal de 26,92°C et avec projet un minimal atteint à seulement 15h avec une moyenne de 20,08°C.

Cette abaissement tardif de la température se traduit par la situation d'un cœur d'îlot ombragé avec une présence importante de pleine terre et de préservation de la végétation.

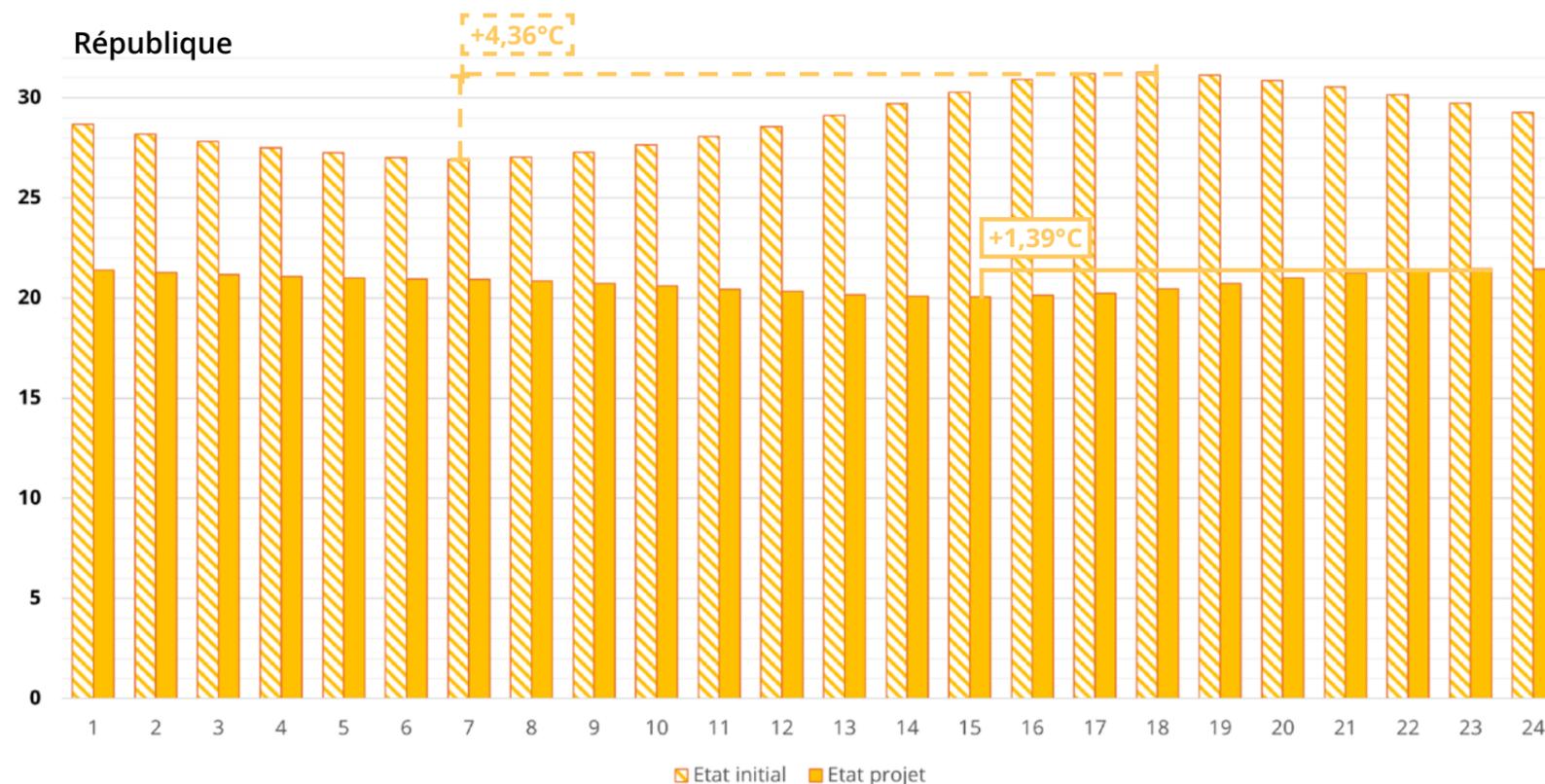
Les pics de chaleurs se font quant à eux ressentir à 18h sans projet avec une montée jusqu'à 31,27°C en moyennes, et seulement 21,46°C à 23h pour l'état projet.

#### Corbillon

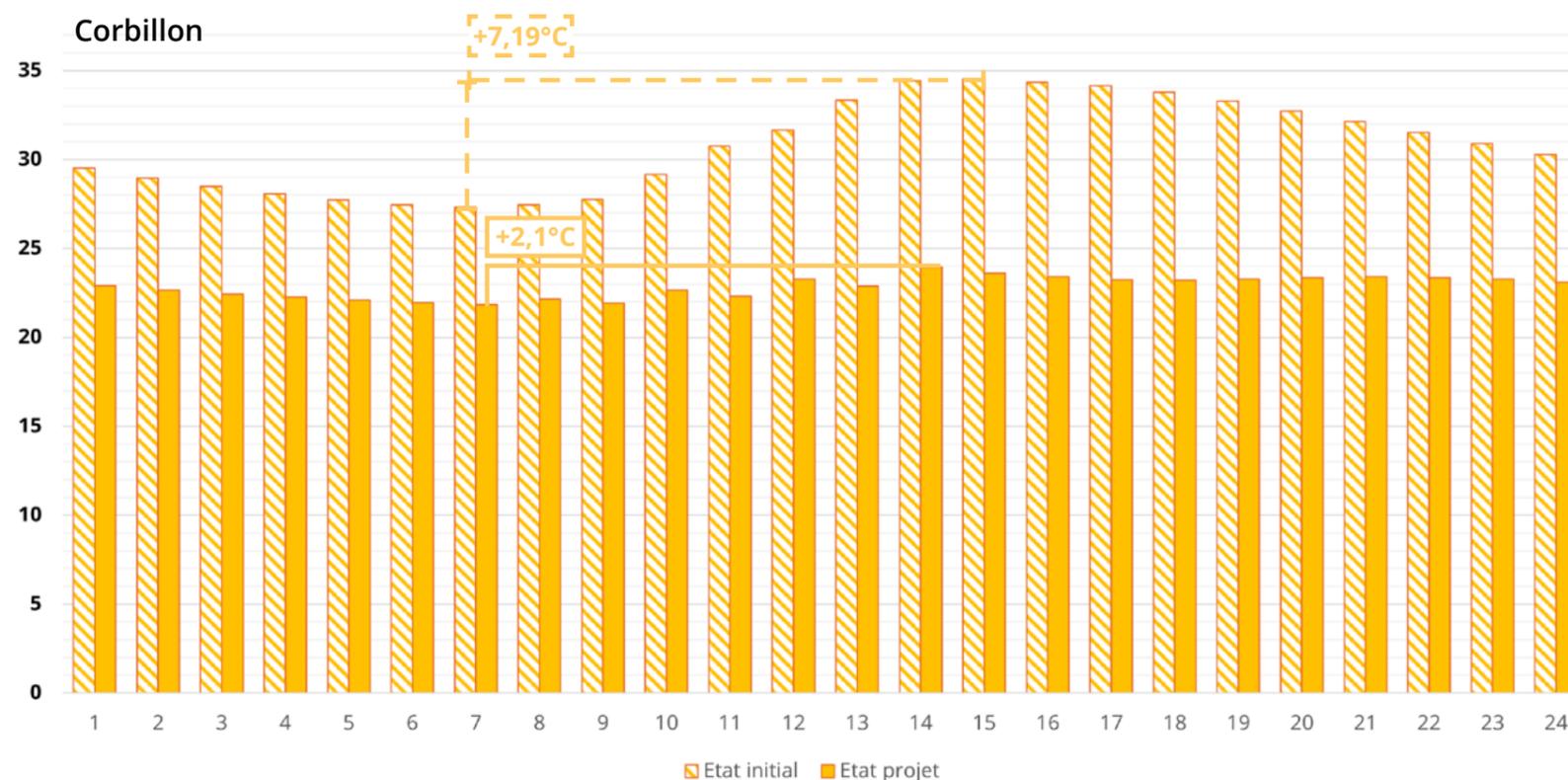
L'amplitude des températures moyennes diminue significativement sur le secteur avec la réalisation du projet : elle passe de 7,19°C à 2,1°C. Les températures sont en moyennes 7,89°C plus faible grâce à la désimperméabilisation d'une grande partie du site (fond de parcelle) et d'une végétalisation accrue de ces espaces aujourd'hui sensible à l'effet d'ICU. La dédensification du cœur d'îlot aère l'espace en fond de cour, même si les surfaces sont davantage ensoleillé, la végétalisation réduit les températures par rapport au revêtement initial. Le masque bâti du nouveau corps construit en fond de parcelle permet également d'ombrager la partie nord du cœur d'îlot et d'abaisser les températures.

Les températures les plus basses se font ressentir à 7h du matin avec respectivement 27,32°C à l'état sans projet, et 21,84°C avec projet.

Les pics de chaleurs se font quant à eux ressentir à 15h sans projet avec une montée jusqu'à 34,51°C en moyennes, et seulement 23,94°C à 16h pour l'état projet.



Comparaison avant / après projet des températures moyennes au sol sur la journée du 21 juillet 2030



Comparaison avant / après projet des températures moyennes au sol sur la journée du 21 juillet 2030

### Évolutions dues au projet horizon 2030

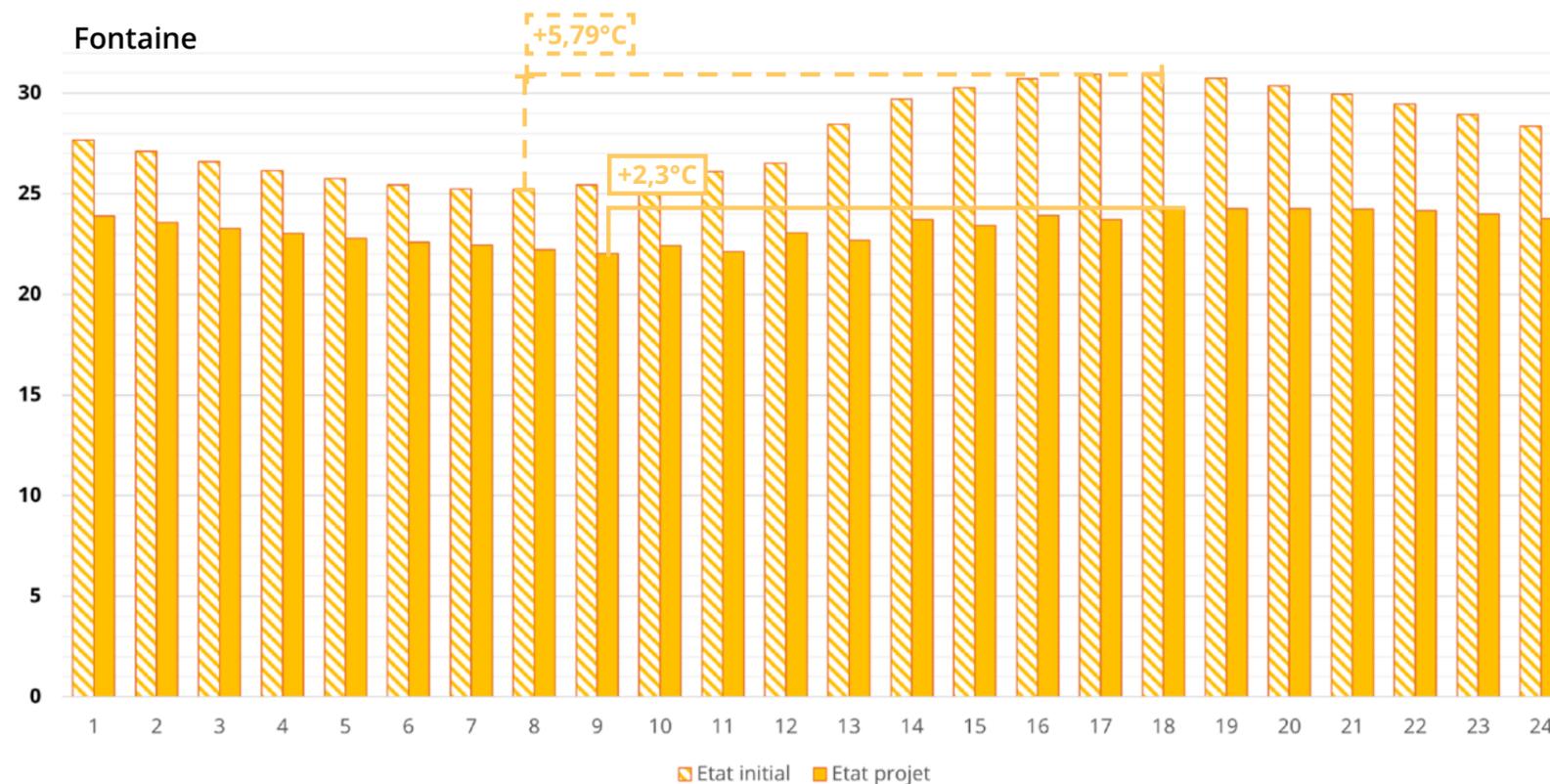
#### Fontaine

L'amplitude des températures moyennes diminue sur le secteur avec la réalisation du projet : elle passe de 5,79°C à 2,3°C. Les températures sont en moyennes 4,29°C plus faible grâce au réaménagement de la courette et la modification de la morphologie du bâti. Les surfaces retenues pour les revêtements de sol permettent d'augmenter l'albédo sur le périmètre de projet et donc de réduire la chaleur stockée au sol. En parallèle, l'augmentation des masques créés par le bâti permet de limiter l'exposition au sol des surfaces et donc de leur surchauffe.

Le pic de chaleur est atteint à 18h à l'état avec et sans projet mais avec respectivement 31°C pour le scénario sans projet, et 24,32°C pour le scénario avec projet.

Les températures les plus basses sont quant à elles atteintes à 8h pour l'état sans projet avec 25,21°C au plus bas et à 9h à l'état avec projet et un abaissement jusqu'à 22,02°C.

En conclusion, la proportion de surfaces fortement sensibles aux épisodes de chaleur est plus faible qu'à l'état initial.



Comparaison avant / après projet des températures moyennes au sol sur la journée du 21 juillet 2030

### Préconisations

L'adaptation des mesures à chaque opération est essentiel pour venir compléter les mesures générales prévues en fin de document. Les mesures sont proportionnelles à l'effort déjà fourni par le projet pour abaisser les températures et aux possibilités du terrain.

#### République

A ce titre l'opération est notée 5ème sur les 14 opérations comme ayant un impact positif significatif.

- Renforcer l'aménagement paysager en plantant des arbres de hautes tiges, particulièrement efficaces pour créer de l'ombre sur le cœur d'îlot et ainsi réduire l'exposition directe au soleil.

#### Corbillon

A ce titre l'opération est notée 1ère sur les 14 opérations comme ayant un impact positif significatif.

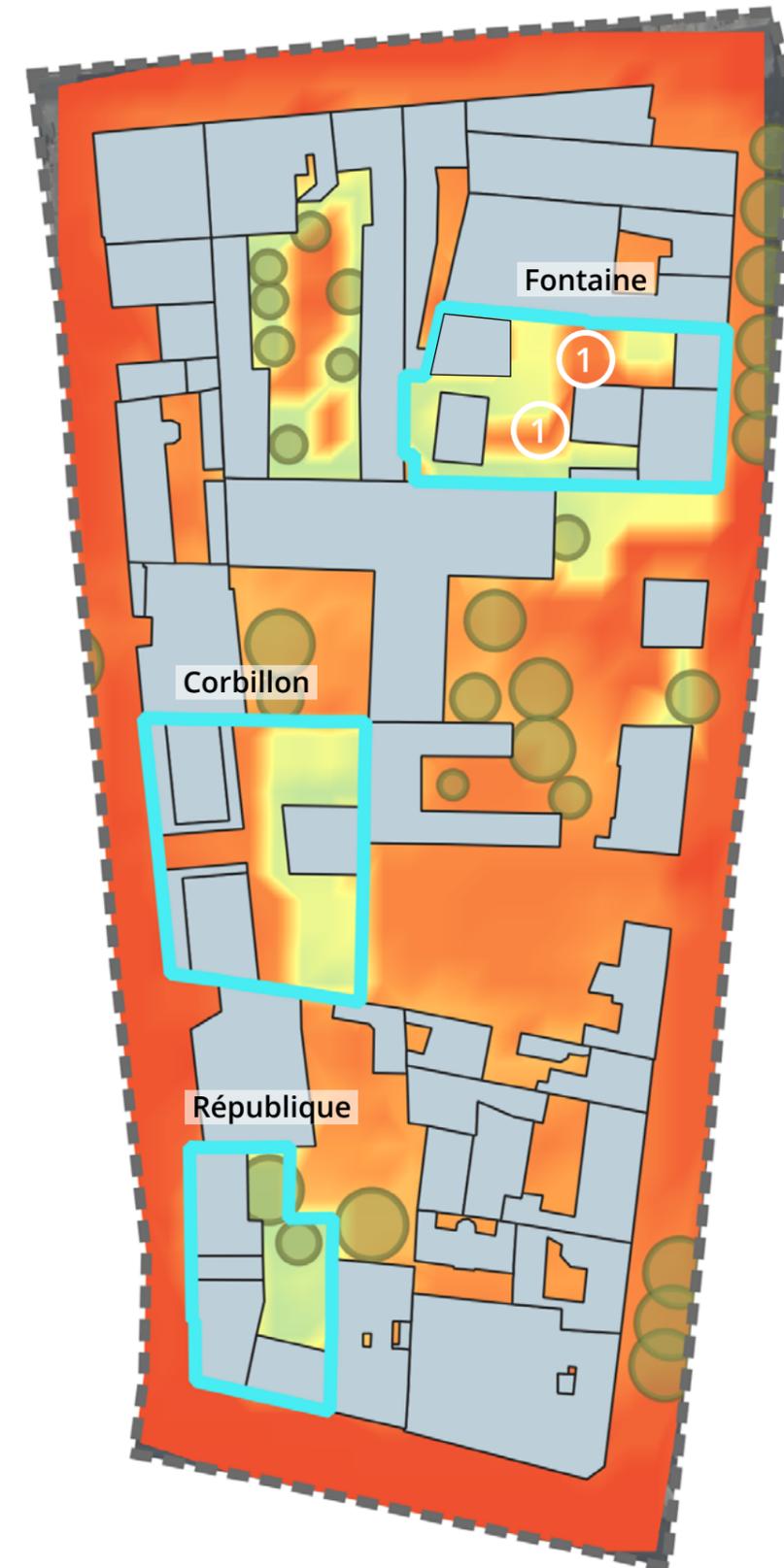
- Renforcer l'aménagement paysager en plantant des arbres de hautes tiges, particulièrement efficaces pour créer de l'ombre sur le cœur d'îlot et ainsi réduire l'exposition directe au soleil.
- Prévoir une gestion adaptée des espaces verts, notamment en proscrivant les tontes courtes qui ont tendance à augmenter les températures au sol en exposant davantage le sol au rayonnement solaire.
- Adapter les revêtements de la faille pour éviter l'effet de canyon de chaleur.

#### Fontaine

A ce titre l'opération est notée 10ème sur les 14 opérations comme ayant un impact positif significatif.

- Prévoir des dispositifs d'ombrage (auvent, toiles tendu, ombrières) sur les zones identifiées comme sensibles à la chaleur (1) en particulier sur les espaces de cheminements.
- Renforcer l'aménagement paysager en plantant des arbres de hautes tiges, particulièrement efficaces pour créer de l'ombre sur le cœur d'îlot et ainsi réduire l'exposition directe au soleil.
- Travailler les strates de végétation (2) en utilisant des espèces à houppier large pour protéger les espèces plus basses.
- Prévoir une gestion adaptée des espaces verts, notamment en proscrivant les tontes courtes qui ont tendance à augmenter les températures au sol en exposant davantage le sol au rayonnement solaire.

### Températures maximales 2030



# Comparaison horizon 2030 état sans et avec projet

## Haguette / Cygne / Victor Hugo

Les températures de surface sont calculées pour chaque heure de la journée, et en moyenne sur la journée. Les résultats de la simulation peuvent être illustrés sous forme de thermographie.

### Températures sur la journée : analyse spatiale

Horizon 2030

#### Victor-Hugo

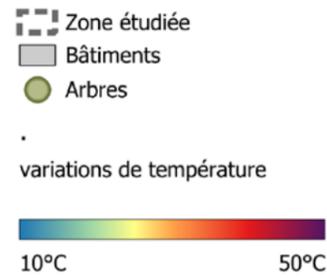
Dans les cœurs d'îlots végétalisés et à l'arrière du nouveau bâti en limite sud qui crée de l'ombrage, les températures minimales sont plus basses avec réalisation du projet, atteignant 26,97°C, comparé à 20°C sans projet. Cela peut être attribué à l'introduction de nouveaux espaces végétalisés.

Les cheminements ponctuels du projet enregistrent des températures maximales sur le secteur, pouvant atteindre 31,13°C, contre des températures maximales de 32,67°C sans projet en cœur d'îlot au niveau des surfaces imperméables et à faible albédo. Cela s'explique également par des espaces ensoleillés et exposés plein sud et sans végétation.

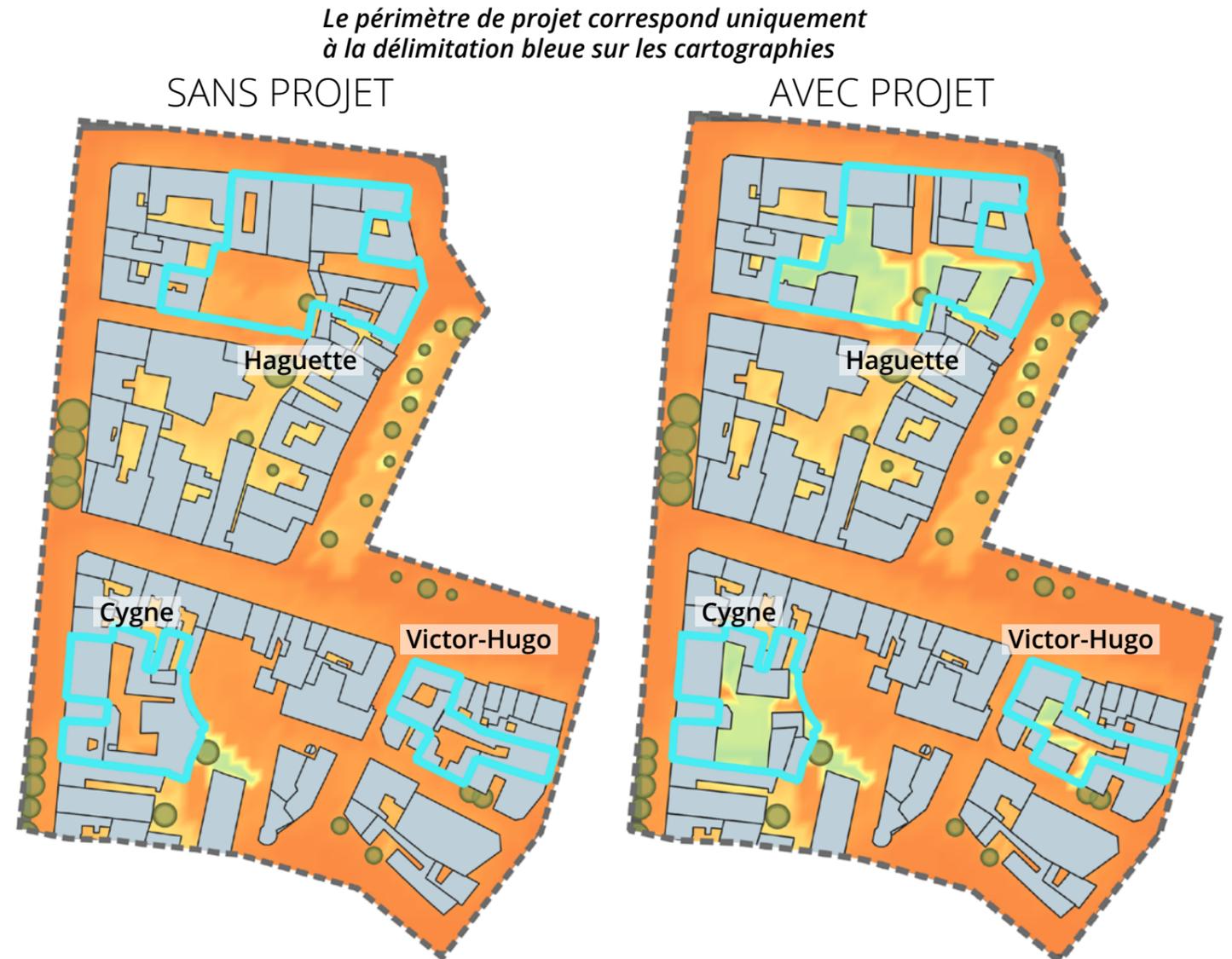
#### Cygne

En l'absence de projet, les espaces en bordure des bâtiments au cœur d'îlot qui profitent de l'ombrage du bâti enregistrent des températures minimales, atteignant 25,03°C tandis qu'avec le projet, les températures minimales dans les cœurs d'îlots pleinement végétalisés atteignent 20°C. Cette différence peut être attribuée à l'effet de refroidissement généré par la présence intensive de végétation.

Sans projet, les espaces au centre en cœur d'îlot peu ensoleillé présentent des températures maximales plus haute, atteignant 35,07°C. En revanche, avec le projet, les chemins piéton pour l'accès aux bâtiments en arrière-cour enregistrent des températures maximales atteignant 30,09°C. Cet écart peut être influencée par la réflexion sur la traversée ou non de l'îlot à l'état projet.



MOYENNES



#### Victor-Hugo

Horizon 2030		Stabilisé	Dalle en béton	Pleine terre	Bitume (hors périmètre)	Toutes surfaces
Point froid	État sans projet	/	26,97	/	27,49	26,97
	État avec projet	27,63	/	20		20
Point chaud	État sans projet	/	31,13	/	36,06	31,13
	État avec projet	32,67	/	25,14		32,67

Températures moyennes atteintes par type de surface sur la journée à l'état avec et sans projet horizon 2030 (TRANS-FAIRE, 2024)

#### Cygne

Horizon 2030		Stabilisé	Dalle en béton	Pleine terre	Bitume (hors périmètre)	Toutes surfaces
Point froid	État sans projet	27,87	25,03	/	27,6	25,03
	État avec projet	/	25,3	20		20
Point chaud	État sans projet	32,67	35,07	/	35,56	35,07
	État avec projet	/	30,09	25,11		30,09

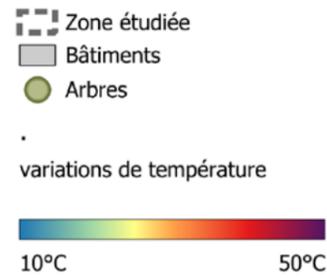
Températures moyennes atteintes par type de surface sur la journée à l'état avec et sans projet horizon 2030 (TRANS-FAIRE, 2024)

## Températures sur la journée : analyse spatiale

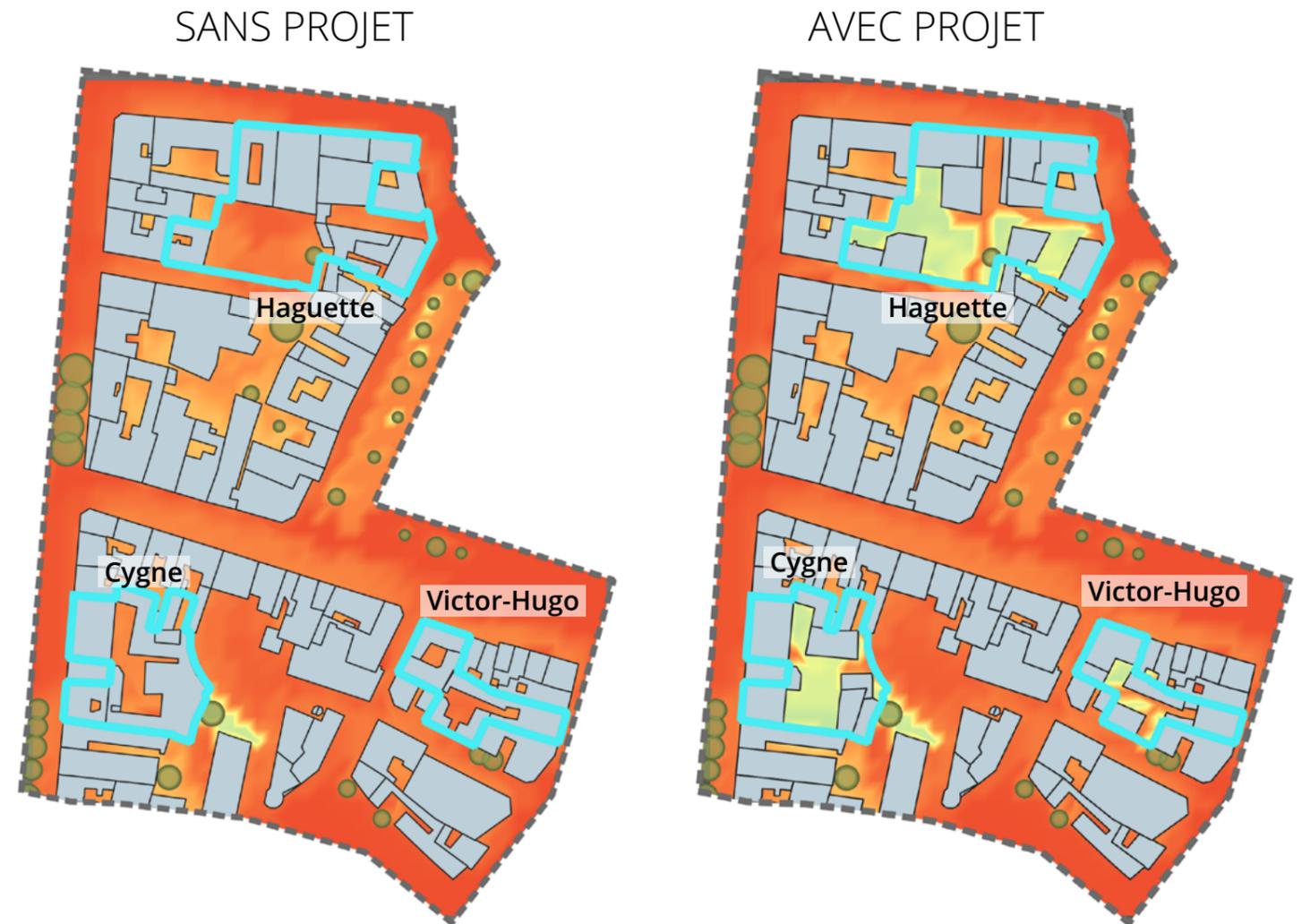
### Haguette

En l'absence de projet, le jardin partagé reste peu ombragé, ce qui se traduit par des températures minimales plus élevées, atteignant 25,75°C. Avec le projet, les températures minimales se retrouvent dans le jardin partagé, un cœur d'îlot végétalisé qui atteint les 20°C. Cette différence met en évidence l'impact bénéfique de la végétalisation dans la réduction des températures.

Sans projet, le cœur de parcelle peu ombragé est sensible à l'îlot de chaleur urbain, avec des températures maximales atteignant 34,93°C. Avec le projet, les espaces de cheminement et traversée de l'îlot Haguette, dont le scénario d'aménagement reste à consolider, enregistrent des températures maximales atteignant 33,59°C. Cette abaissement souligne l'importance des aménagements urbains dans la gestion des températures extrêmes, et l'opportunité de concevoir des espaces de circulation plus ombragés pour atténuer les effets de l'ICU.



MAXIMALES



Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies

### Haguette

Horizon 2030		Stabilisé	Dalle en béton	Pelouse sèche	Pleine terre	Bitume (hors périmètre)	Toutes surfaces
Point froid	État sans projet	/	26,99	25,75	/	27,55	25,75
	État avec projet	27,63	/	/	20		20
Point chaud	État sans projet	/	34,93	33,14	/	36,06	34,93
	État avec projet	33,59	/	/	25,11		33,59

Températures moyennes atteintes par type de surface sur la journée à l'état avec et sans projet horizon 2030 (TRANS-FAIRE, 2024)

# Comparaison horizon 2100 état sans et avec projet

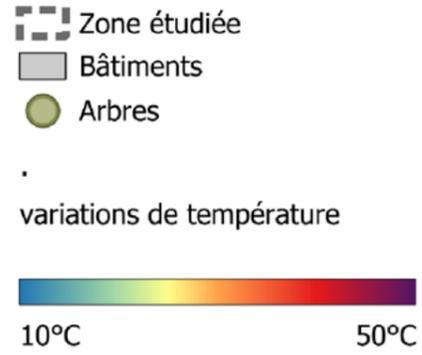
## Haguette / Cygne / Victor Hugo

La modélisation est réalisée à l'horizon 2100 et les cartographies des températures moyennes à l'état sans projet et à l'état projet sont présentées ci-contre.

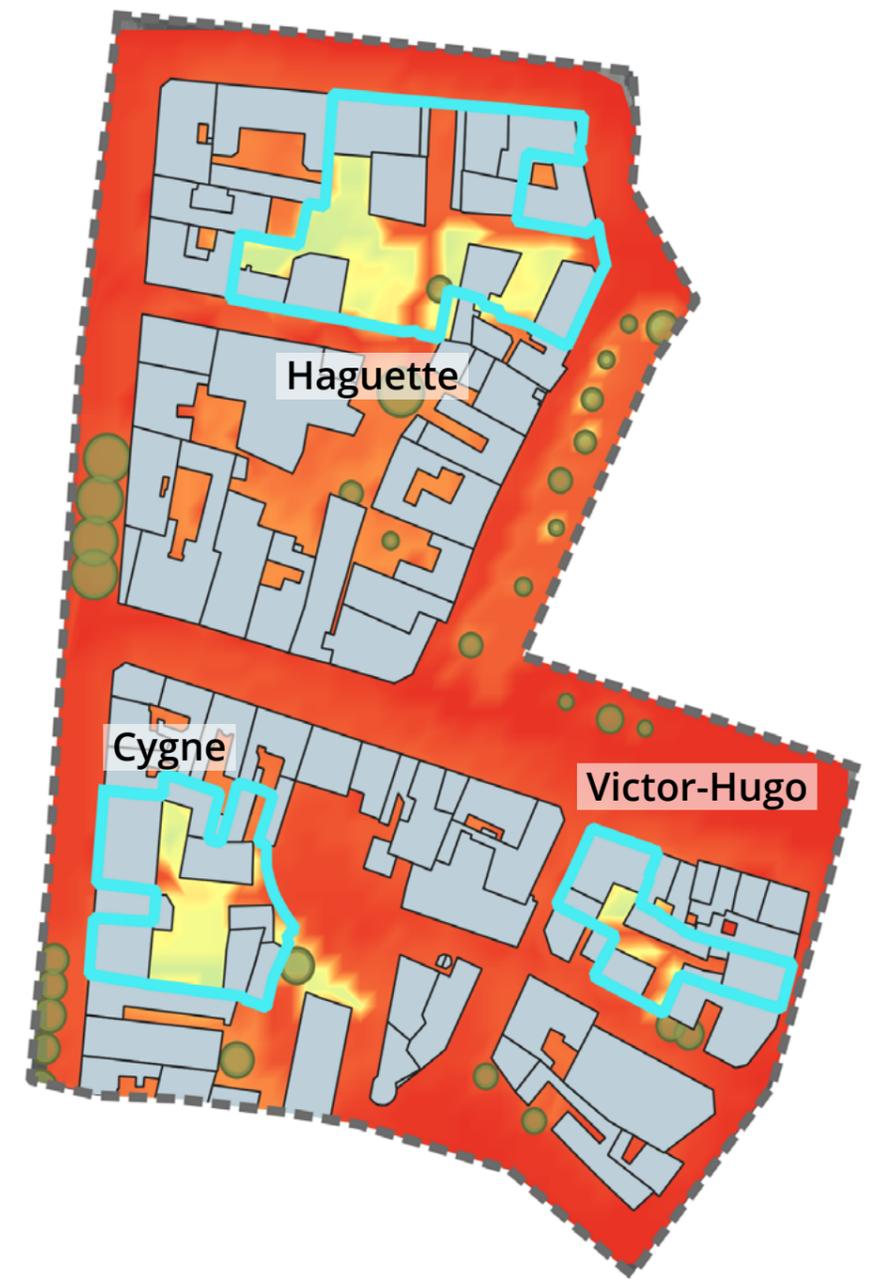
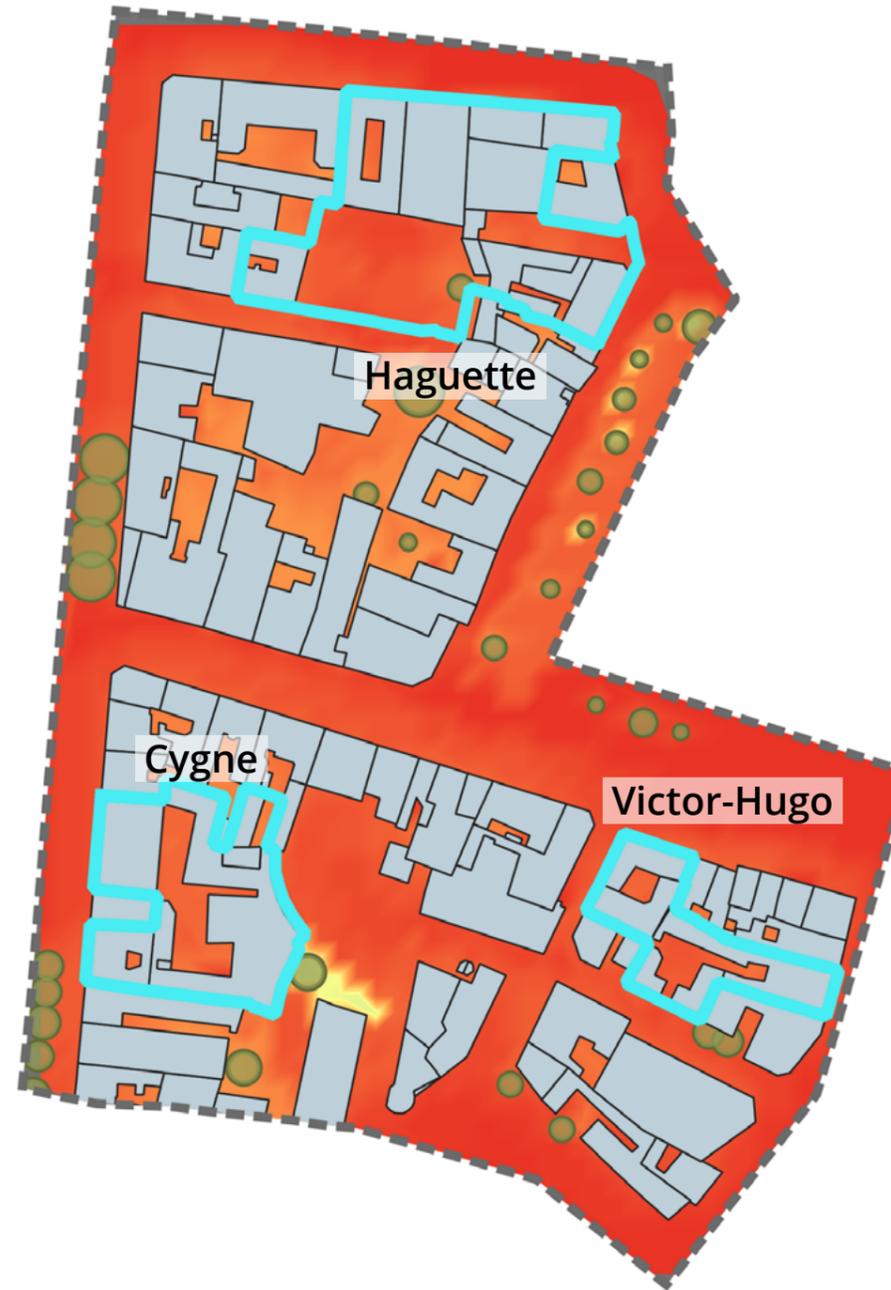
*Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies*

### SANS PROJET

### AVEC PROJET



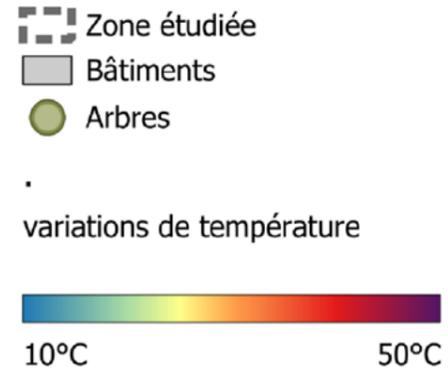
MOYENNES



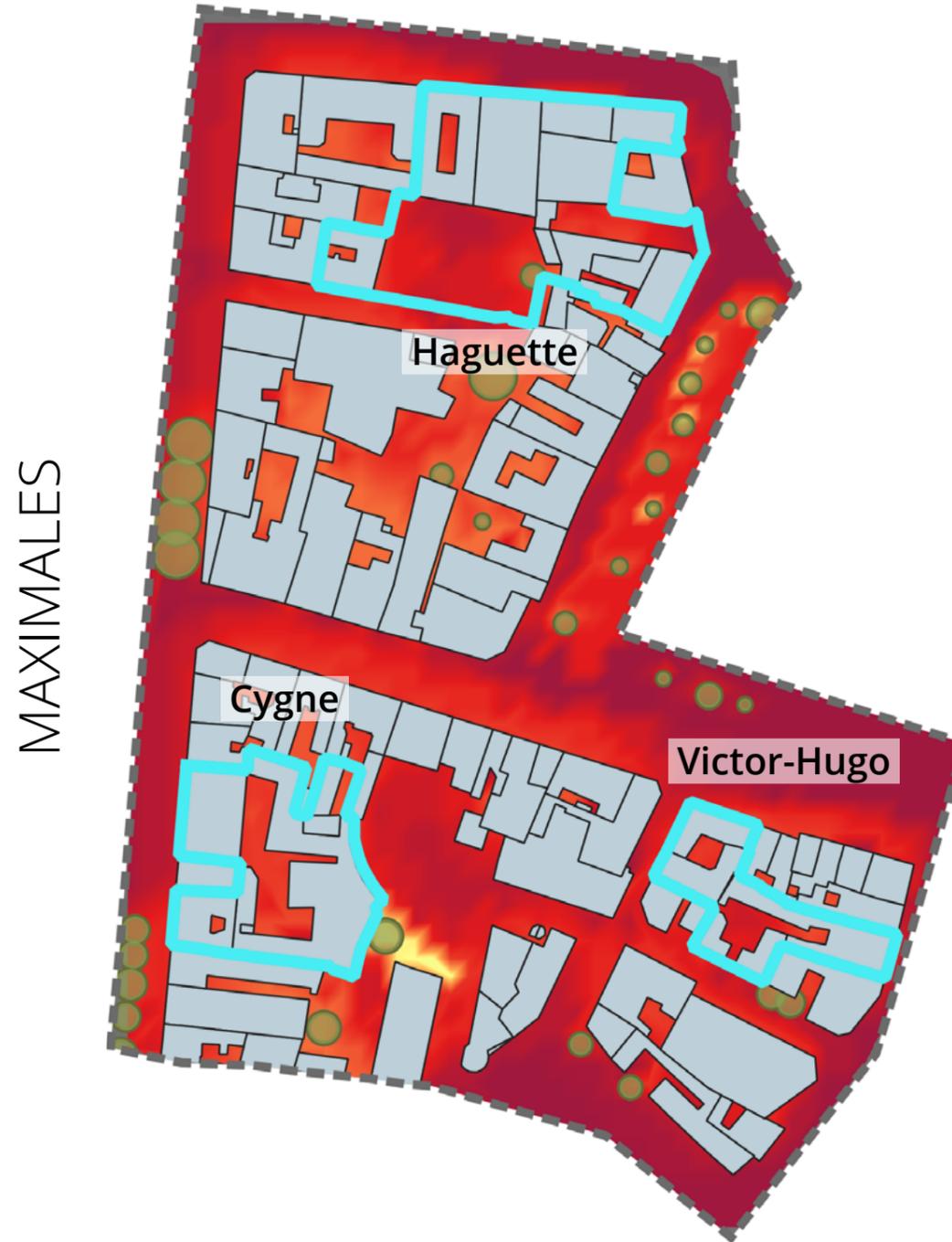
# Comparaison horizon 2100 état sans et avec projet

Haguette / Cygne / Victor Hugo

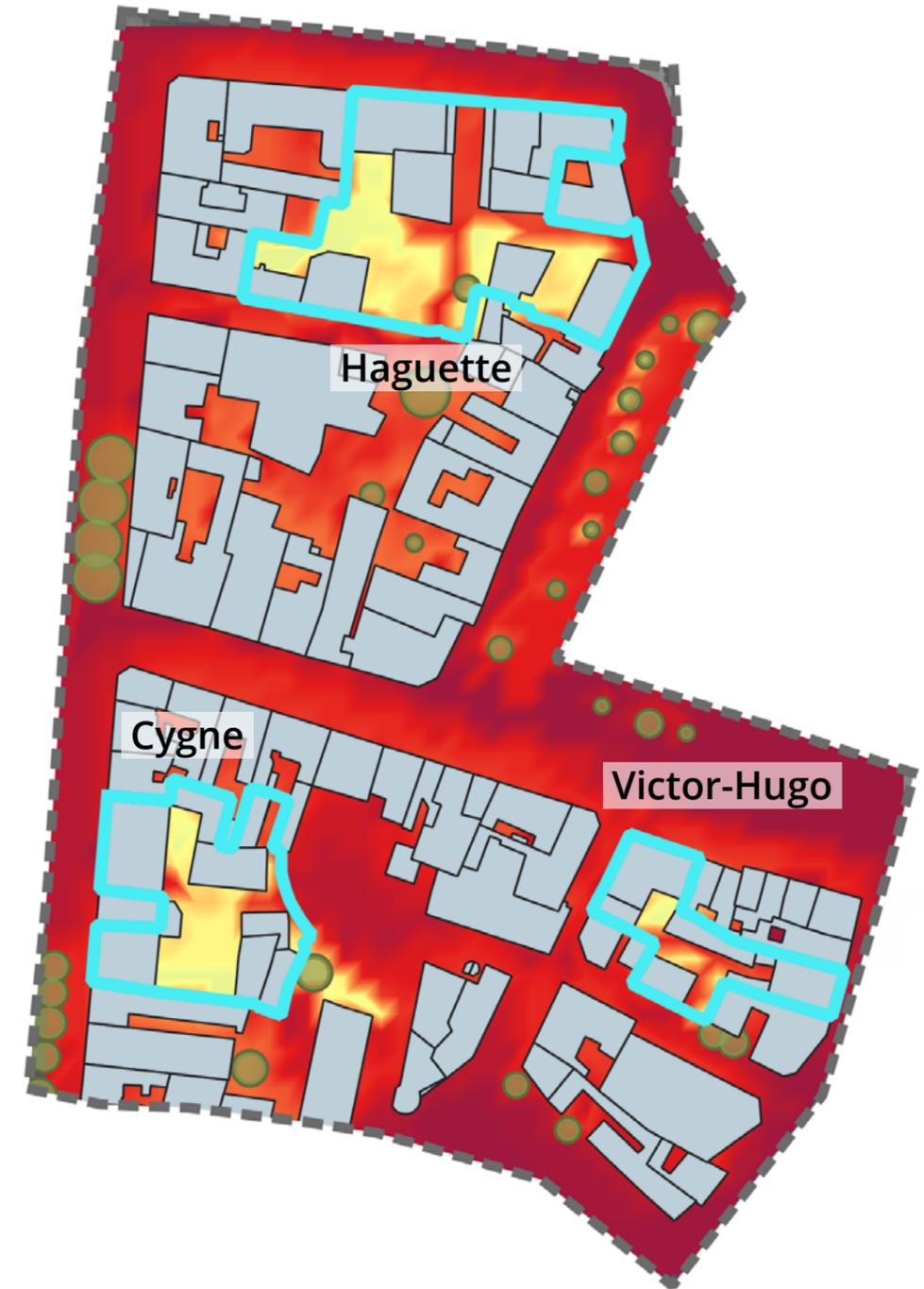
La modélisation est réalisée à l'horizon 2100 et les cartographies des températures maximales à l'état sans projet et à l'état projet sont présentées ci-contre.



SANS PROJET



AVEC PROJET



MAXIMALES

### Évolutions dues au projet horizon 2030

La comparaison des températures au sol permet de comprendre l'évolution du comportement thermique du secteur d'étude à son état actuel et à l'état projet.

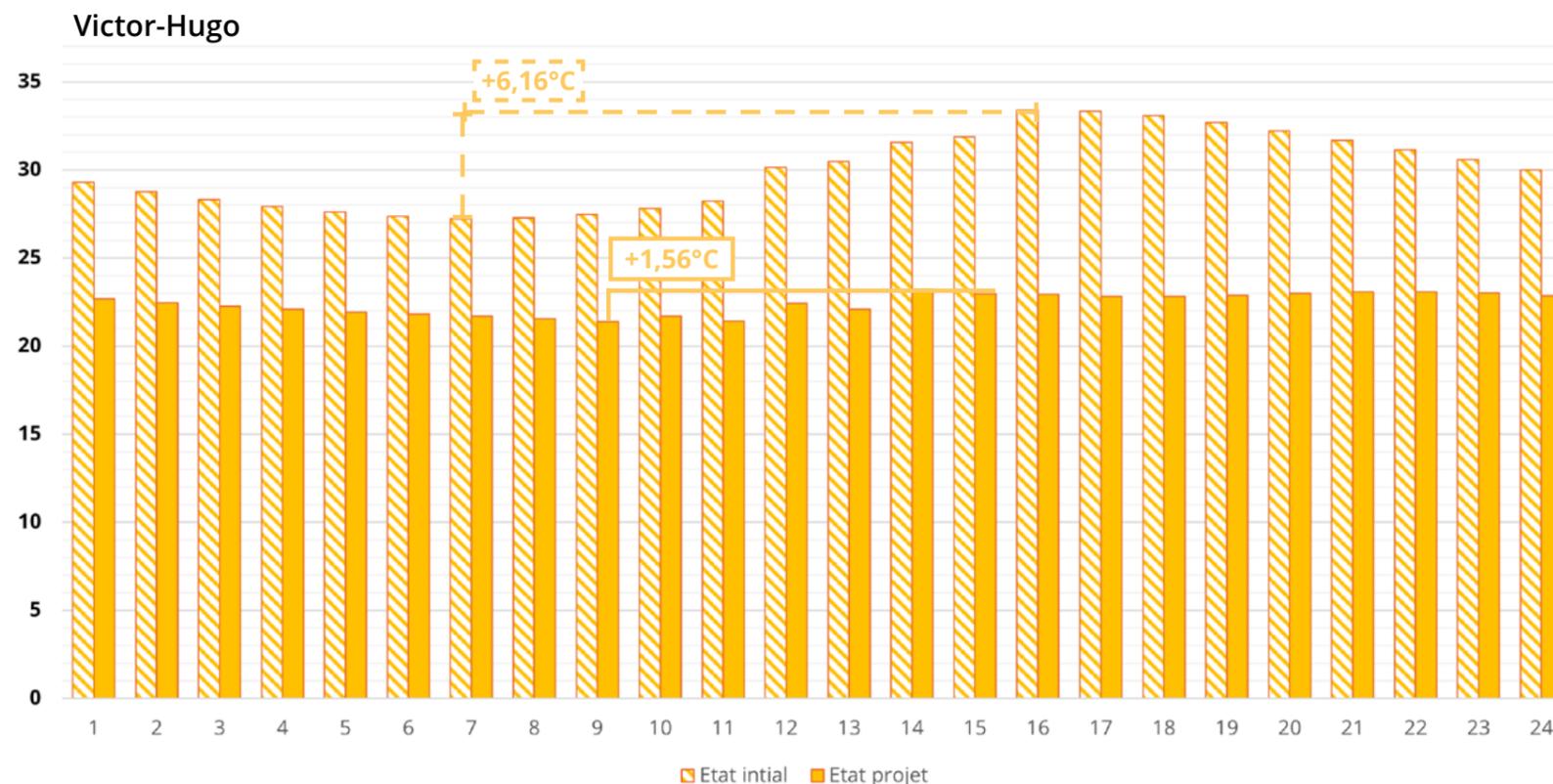
#### Victor-Hugo

L'amplitude des températures moyennes diminue significativement sur le secteur avec la réalisation du projet : elle passe de 6,16°C à 1,56°C. Les températures sont en moyennes plus faible grâce à la désimperméabilisation d'une grande partie du site et d'une intensification de la végétation. Les surfaces retenues pour les revêtements de sol permettent d'augmenter l'albédo sur le périmètre de projet et donc de réduire la chaleur stockée au sol. En parallèle, l'augmentation des masques créés par la végétation et le bâti permet de limiter l'exposition au sol des surfaces et donc de leur surchauffe. Le pic de chaleur à l'état initial est atteint à 16h avec 33,19°C alors qu'avec le projet le pic de chaleur est de seulement 22,95°C atteint à 15h. Les températures minimales atteintes s'abaissent la nuit à 27,23°C sans projet, et de 21,4°C à l'état projet, ce qui reste raisonnable en période caniculaire.

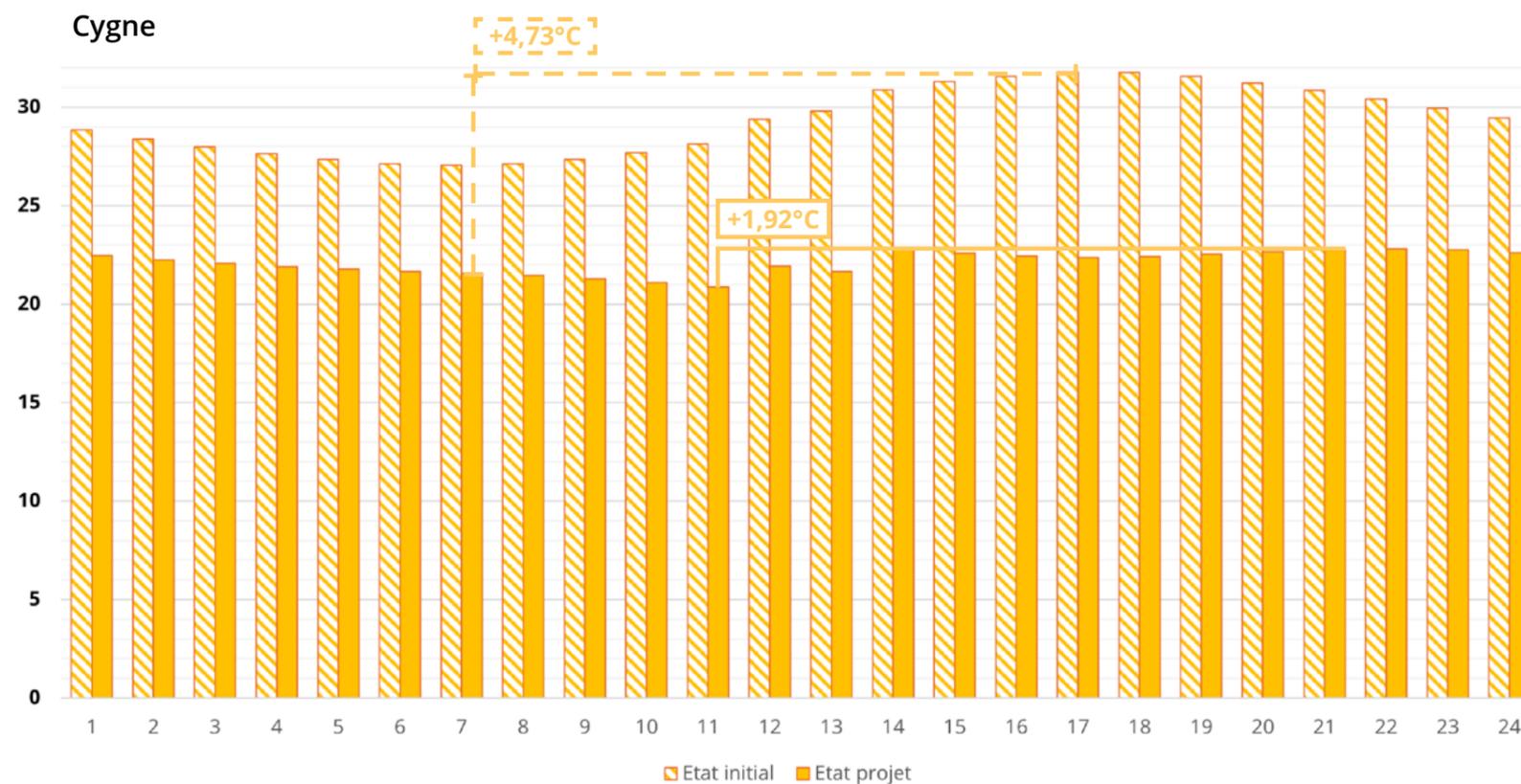
#### Cygne

L'amplitude des températures moyennes est divisé par un peu plus de 2 sur le secteur avec la réalisation du projet : elle passe de 4,73°C à 1,92°C. Les températures sont en moyennes 9 à 6,18°C plus faible grâce à la désimperméabilisation d'une grande partie du site et d'une végétalisation du cœur d'îlot. Le scénario retenu concernant l'aménagement et les revêtement de sol sont amenés à évoluer avec la réalisation des fiches de lot, cela dit les tendances en termes d'albédo et d'objectif de pleine terre seront maintenu et permet de considérer la première modélisation comme représentatif du projet. La réduction des températures au sol est significative sur le périmètre.

Le pic de température à l'état sans projet est atteint à 17h avec 31,79°C alors qu'à l'état projet il est atteint à 22h avec seulement 22,28°C. Les températures les plus basses sont atteintes la nuit après le destockage des températures, avec respectivement, 27°C à l'état sans projet et 20,88°C à l'état avec projet.



Comparaison avant / après projet des températures moyennes au sol sur la journée du 21 juillet 2030



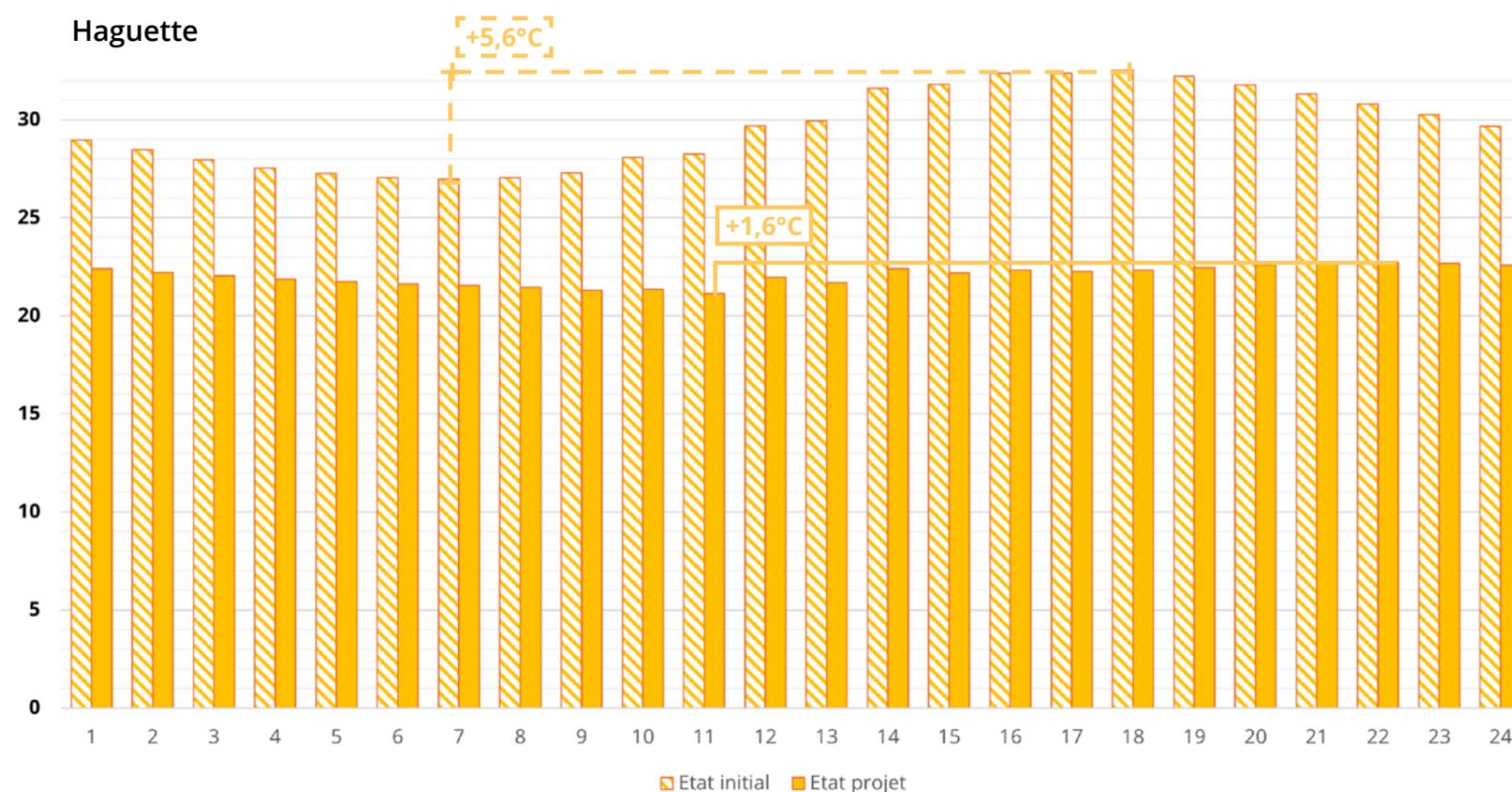
Comparaison avant / après projet des températures moyennes au sol sur la journée du 21 juillet 2030

# Évolutions dues au projet horizon 2030

## Haguette

L'amplitude des températures moyennes diminue légèrement sur le secteur avec la réalisation du projet : elle passe de 5,6°C à 1,6°C. Les températures sont en moyennes 7,34°C plus faible grâce au réaménagement de l'espace en cœur d'îlot comprenant la préservation du jardin partagés, de l'intensification de la végétation, de la modification de la morphologie des bâtiments et du choix de revêtement de sol. En effet le choix des matériaux permet d'augmenter l'albédo sur le périmètre de projet et donc de réduire la chaleur stockée au sol au cours de la journée. En parallèle, l'augmentation des masques créés par la végétation et le nouveau bâti (notamment le bâtiment au sud) permet de limiter l'exposition au sol des surfaces et donc de leur surchauffe.

A l'état sans projet à l'horizon 2030, on note un pic de chaleur atteint à 18h avec 32,57°C alors qu'à l'état avec projet, le pic est atteint à 22h avec seulement 22,74°C. La différence est significative et se ressent également dans la comparaison avec les températures les plus basses la nuit une fois que le sol a déstocker la chaleur accumulée, avec à l'état sans projet un minimum de 26,97°C à 7h et respectivement de 21,14°C à 11h à l'état projet.



Comparaison avant / après projet des températures moyennes au sol sur la journée du 21 juillet 2021

### Préconisations

L'adaptation des mesures à chaque opération est essentiel pour venir compléter les mesures générales prévues en fin de document. Les mesures sont proportionnelles à l'effort déjà fourni par le projet pour abaisser les températures et aux possibilités du terrain.

#### Haguette

A ce titre l'opération est notée 3ème sur les 14 opérations comme ayant un impact positif significatif.

- Renforcer l'aménagement paysager en plantant des arbres de hautes tiges, particulièrement efficaces pour créer de l'ombre sur le cœur d'îlot et ainsi réduire l'exposition directe au soleil.
- Accompagner la gestion du jardin partagé en préconisant l'ombrage de cet espace, en proscrivant la tonte courte.

#### Cygne

A ce titre l'opération est notée 6ème sur les 14 opérations comme ayant un impact positif significatif.

- Renforcer l'aménagement paysager en plantant des arbres de hautes tiges, particulièrement efficaces pour créer de l'ombre sur le cœur d'îlot et ainsi réduire l'exposition directe au soleil.
- Prévoir une gestion adaptée des espaces verts, notamment en proscrivant les tontes courtes qui ont tendance à augmenter les températures au sol en exposant davantage le sol au rayonnement solaire.
- Travailler la relation à la placette du cœur d'îlot hors périmètre.

#### Victor-Hugo

A ce titre l'opération est notée 2ème sur les 14 opérations comme ayant un impact positif significatif.

- Prévoir des dispositifs d'ombrage (auvent, toiles tendu, ombrières) sur les zones identifiées comme sensibles à la chaleur (1) en particulier sur la faille nouvellement créée.
- Travailler la matérialité des sols des cheminements (1) en favorisant un albédo élevé.

### Températures maximales 2030



Les températures de surface sont calculées pour chaque heure de la journée, et en moyenne sur la journée.

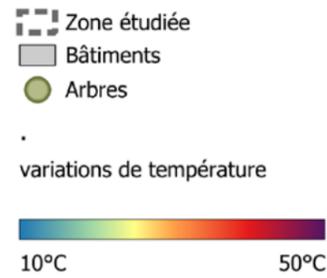
Les résultats de la simulation peuvent être illustrés sous forme de thermographie.

## Températures sur la journée : analyse spatiale

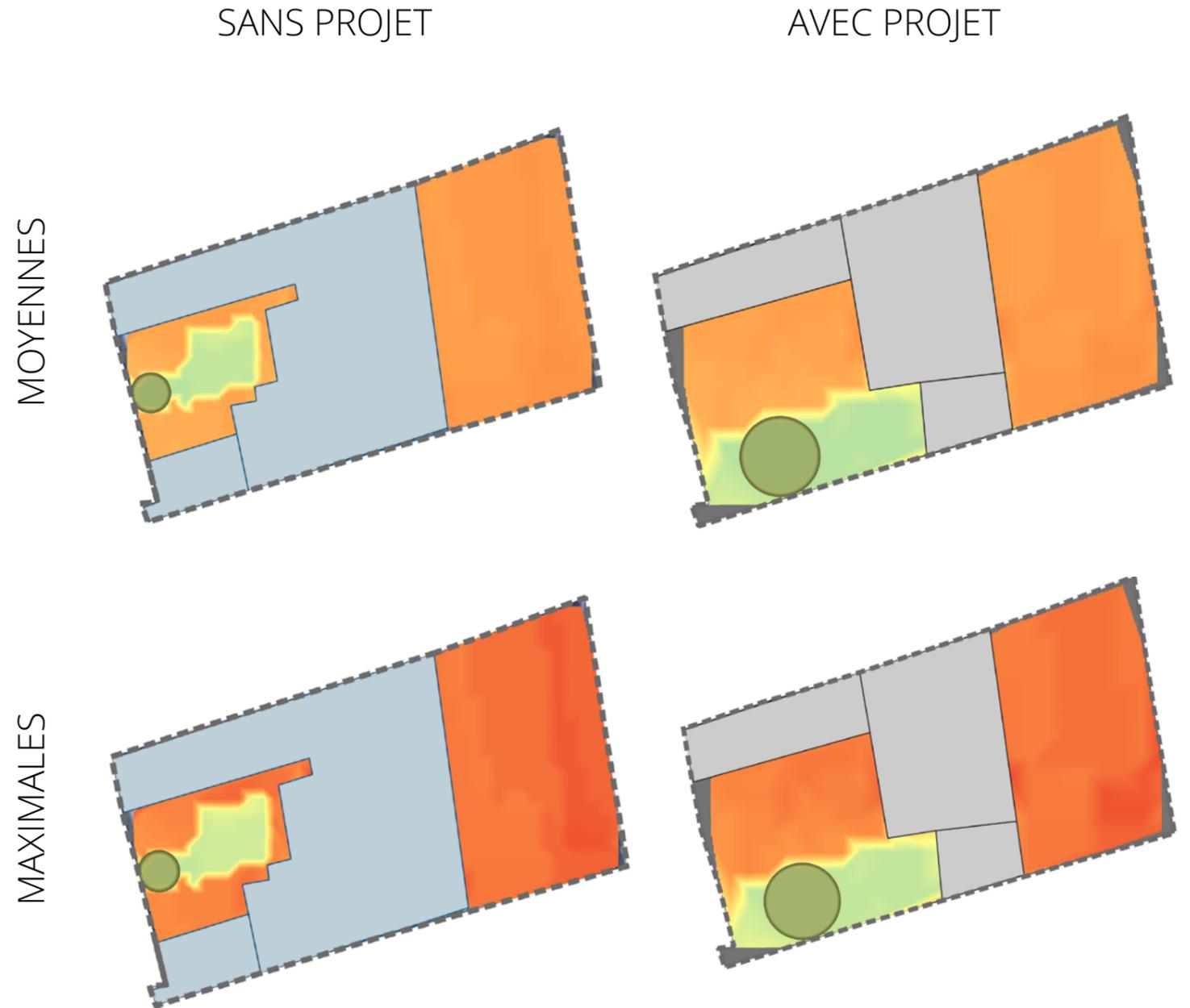
### Horizon 2030

En l'absence de projet, les espaces végétalisés existant en cœur d'îlot, avec la présence d'arbuste, enregistrent des températures minimales, atteignant 20°C. Avec le projet, les températures minimales dans le cœur d'îlot végétalisé et arboré sont également basses, atteignant de façon similaire les 20°C. La proportion de ce type d'espace est néanmoins un peu plus importante à l'état initial.

Sans projet, l'espace de cheminement en arrière-cour, bien que minoritaire, présente des températures maximales, atteignant 35,07°C. Avec le projet, l'arrière-cour de la parcelle (hors espaces vert), est également sensible à l'îlot de chaleur urbain, enregistrant des températures similaires maximales atteignant 34,06°C. A l'échelle de cette opération et au vu du peu d'espace libre, la différence entre le scénario avant et après projet n'est pas significative. La qualité des espaces en cœur d'îlot est cependant amélioré avec la dédensification du bâti en arrière cours et à la requalification des sols.



Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies



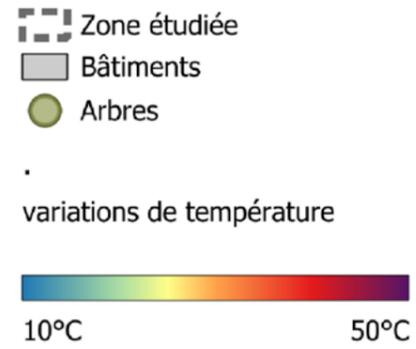
Horizon 2030		Dalle en béton	Pleine terre	Bitume (hors périmètre)	Toutes surfaces
Point froid	État sans projet	27,61	20	27,56	20
	État avec projet	26,97			
Point chaud	État sans projet	35,07	23,69	35,86	35,07
	État avec projet	34,06			34,06

Températures moyennes atteintes par type de surface sur la journée à l'état avec et sans projet horizon 2030 (TRANS-FAIRE, 2024)

# Comparaison horizon 2100 état sans et avec projet

La modélisation est réalisée à l'horizon 2100 et les cartographies des températures moyennes et maximales à l'état sans projet et à l'état projet sont présentées ci-contre.

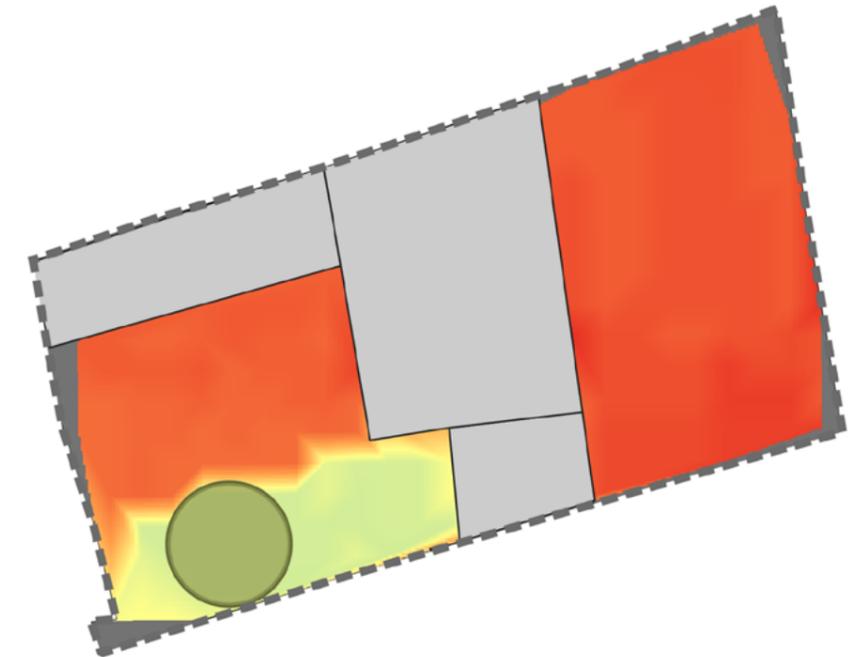
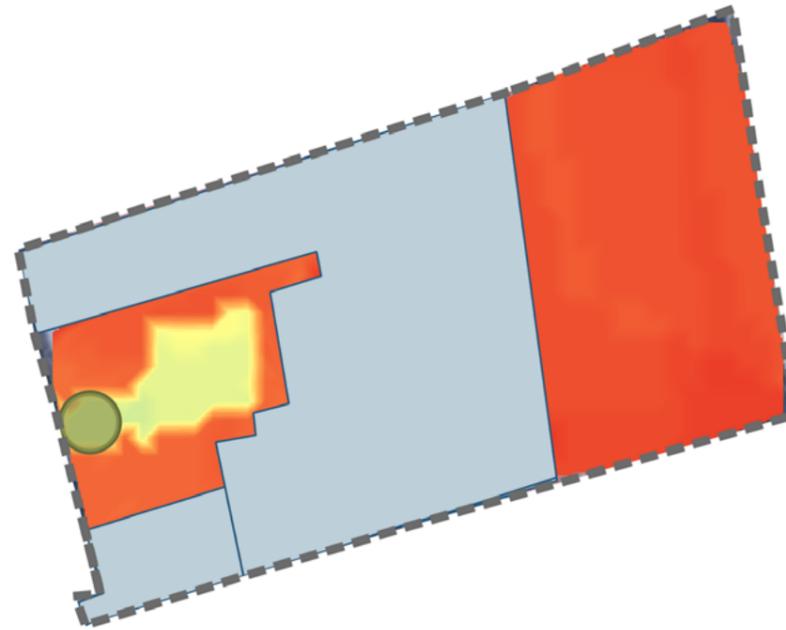
*Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies*



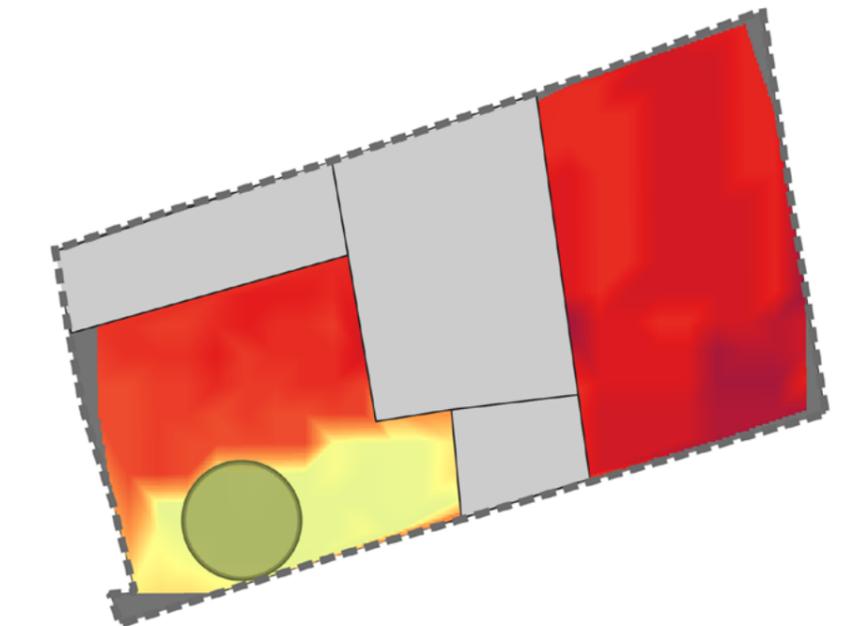
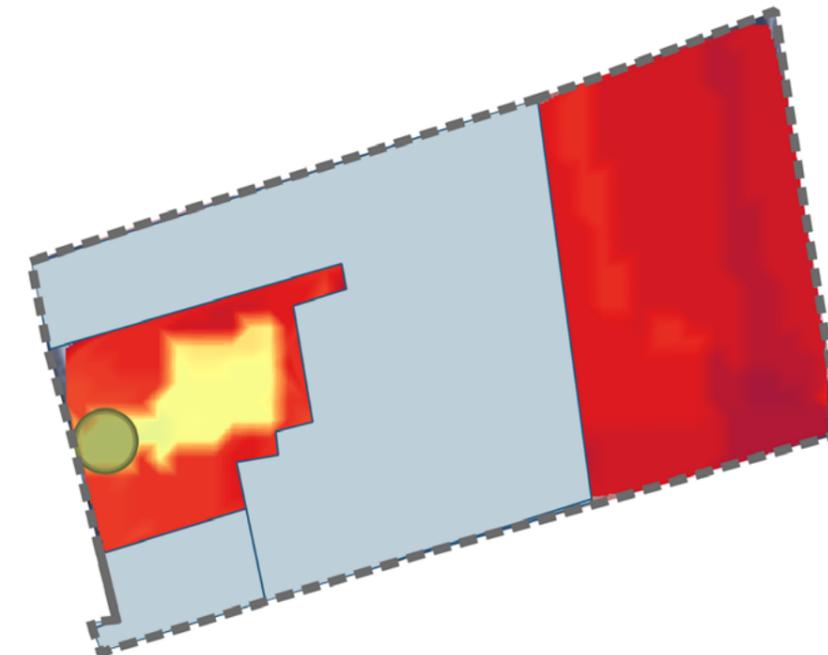
SANS PROJET

AVEC PROJET

MOYENNES



MAXIMALES

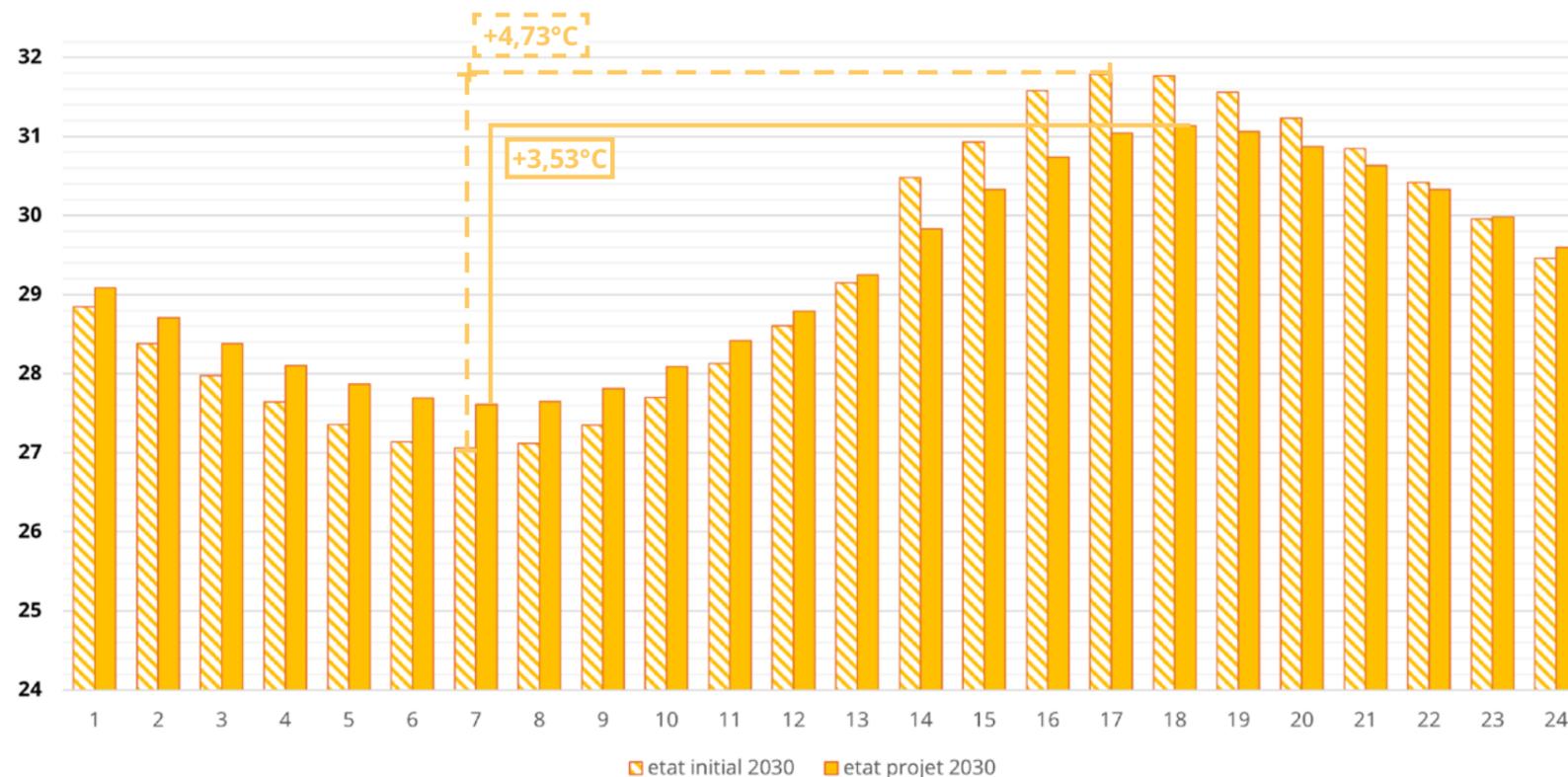


## Évolutions dues au projet horizon 2030

La comparaison des températures au sol permet de comprendre l'évolution du comportement thermique du secteur d'étude à son état actuel et à l'état projet.

À l'état sans projet horizon 2030, on observe une amplitude thermique de 4,73°C entre la température moyenne la plus basse de 27,06°C et la température moyenne la plus élevée de 31,79°C. Cela indique une variation significative des températures au cours de la journée, avec un pic de chaleur enregistré à 17h. Cependant, malgré cette amplitude thermique, la température moyenne la plus basse à 7h du matin reste relativement élevée à 27,06°C.

Avec la mise en œuvre du projet à l'horizon 2030, on observe une légère amélioration, bien que modeste. L'amplitude thermique diminue légèrement à 3,53°C, ce qui indique une plus grande stabilité thermique sur l'opération. Cependant, la température moyenne la plus basse à 7h reste élevée à 27,61°C, ce qui implique des mesures favorisant la réduction des températures nocturnes pour les habitants.



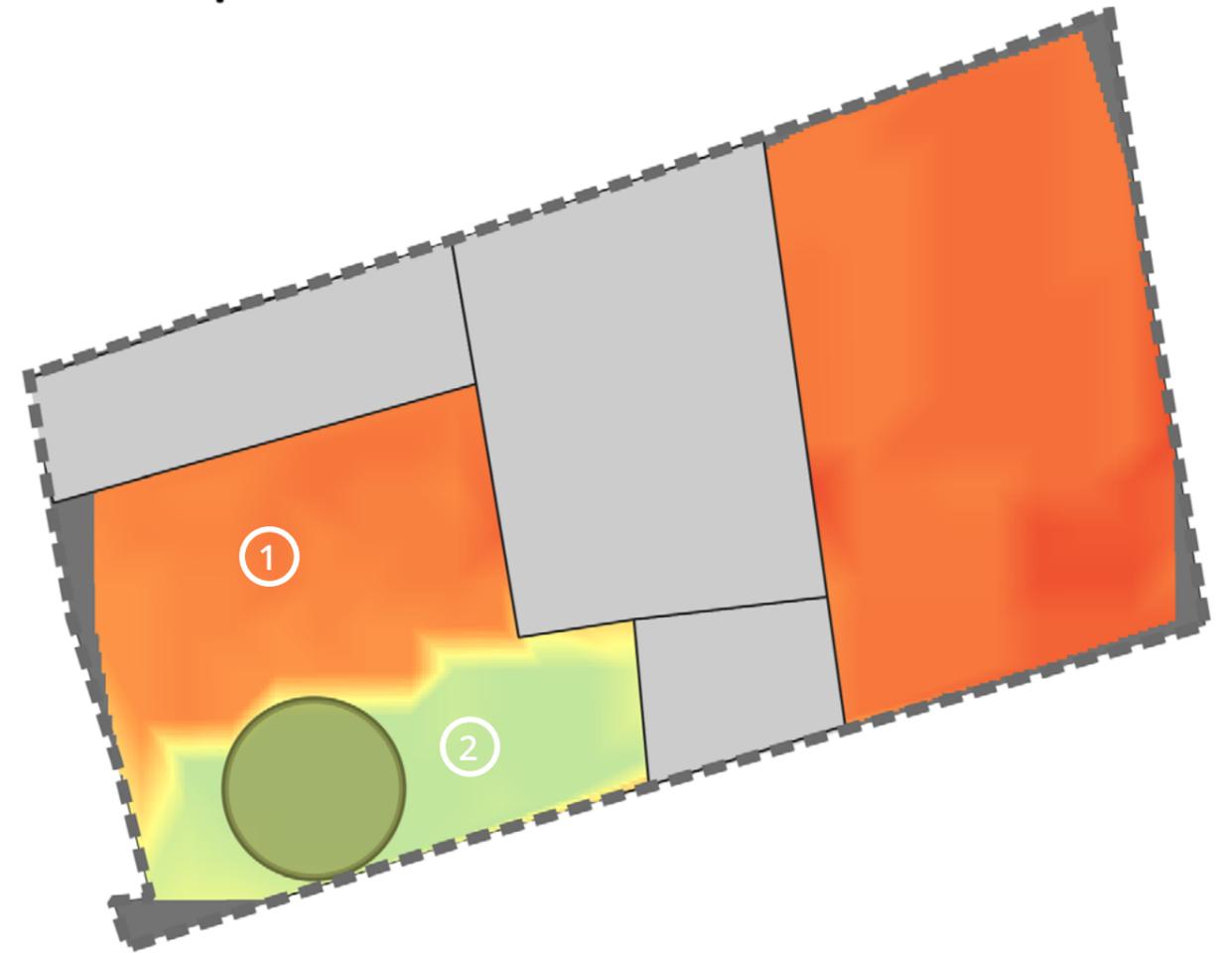
Comparaison avant / après projet des températures moyennes au sol sur la journée du 21 juillet 2030

## Préconisations

L'adaptation des mesures à chaque opération est essentiel pour venir compléter les mesures générales prévues en fin de document. Les mesures sont proportionnelles à l'effort déjà fourni par le projet pour abaisser les températures et aux possibilités du terrain. A ce titre l'opération ci contre est notée 13ème sur les 14 opérations comme ayant un impact positif significatif.

- Prévoir des dispositifs d'ombrage (auvent, toiles tendu, ombrières) sur les zones identifiées comme sensibles à la chaleur (1)
- Travailler les strates de végétation (2) en utilisant des espèces à houppier large pour protéger les espèces plus basses.
- Travailler la matérialité du sol en cœur d'ilot en favorisant des matériaux à albédo élevé.

## Températures maximales 2030



Les températures de surface sont calculées pour chaque heure de la journée, et en moyenne sur la journée.

Les résultats de la simulation peuvent être illustrés sous forme de thermographie.

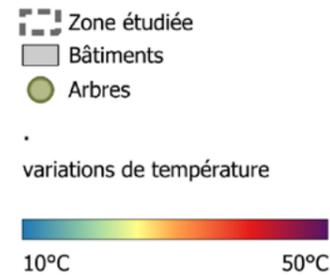
## Températures sur la journée : analyse spatiale

### Horizon 2030

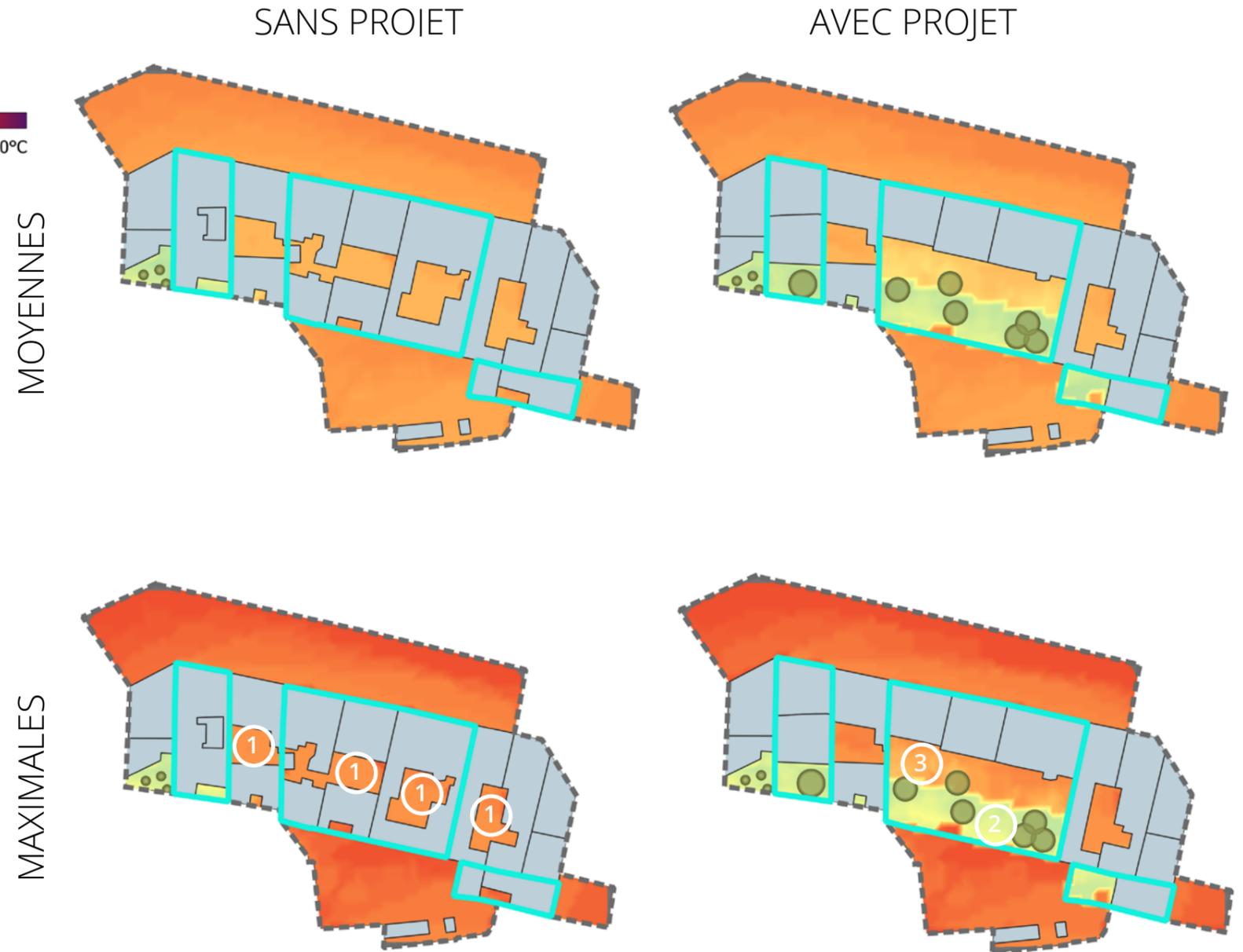
Sans projet, les courettes (1) qui profitent de l'ensoleillement orientées sud rendent sensible au piège de chaleur en raison de l'intrication du bâti et enregistrent des températures minimales, atteignant 20,55°C. Avec le projet, les températures minimales dans le fond de parcelle végétalisé (2) et largement arboré s'abaissent légèrement à 20,05°C et sur une plus grande proportion du périmètre. Cela s'explique par l'ombrage procuré par les arbres et à l'effet d'évapotranspiration.

En l'absence de projet, les courettes orientées plein sud (1), sont sensibles à l'effet d'îlot de chaleur urbain et au piège de chaleur, enregistrant des températures maximales plus élevées, atteignant 35,06°C.

Avec le projet, la cour le long du bâti (3) qui borde les espaces végétalisés (2) et profite de l'ombrage des arbres, présente des températures maximales modérées, atteignant 32,41°C. Cette observation met en évidence l'importance de l'ombre des arbres et de l'effet rafraîchissant des espaces verts pour atténuer les températures maximales dans les espaces urbains, surtout dans les zones exposées au soleil.



Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies



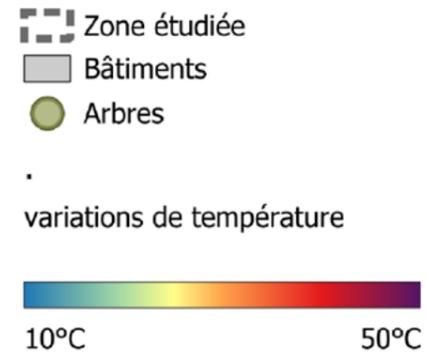
Horizon 2030		Moyenne toutes surfaces	Mélange terre/pierre	Dalle en béton	Pleine terre	Bitume (hors périmètre)
Point froid	État sans projet	20,55		26,97	20,55	27,48
	État avec projet	20,05	24,69		20,05	
Point chaud	État sans projet	35,06		35,06	25,14	36,06
	État avec projet	32,41	32,41		25,13	

Températures moyennes atteintes par type de surface sur la journée à l'état avec et sans projet horizon 2030 (TRANS-FAIRE, 2024)

# Comparaison horizon 2100 état sans et avec projet

La modélisation est réalisée à l'horizon 2100 et les cartographies des températures moyennes et maximales à l'état sans projet et à l'état projet sont présentées ci-contre.

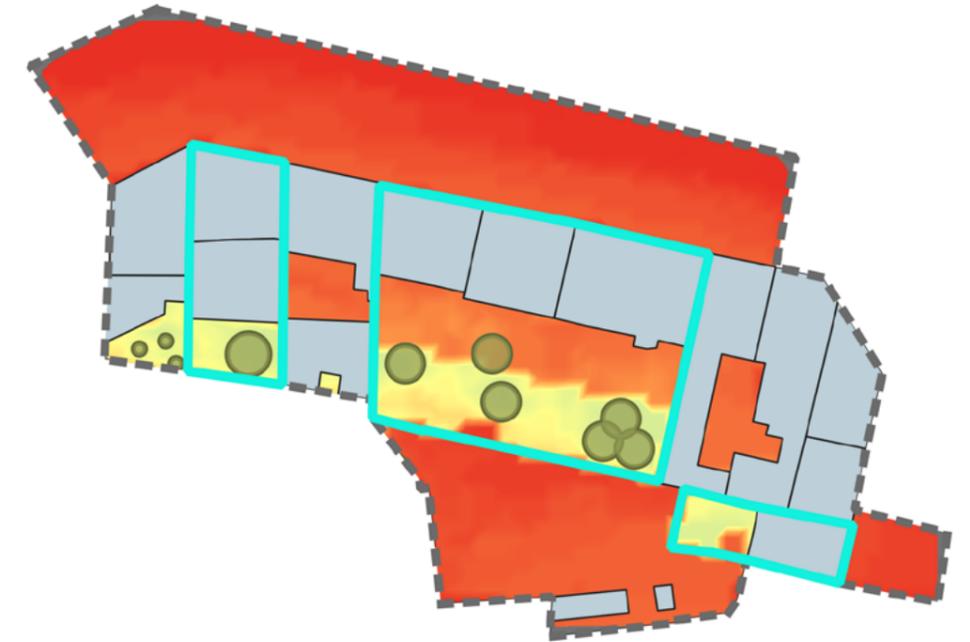
*Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies*



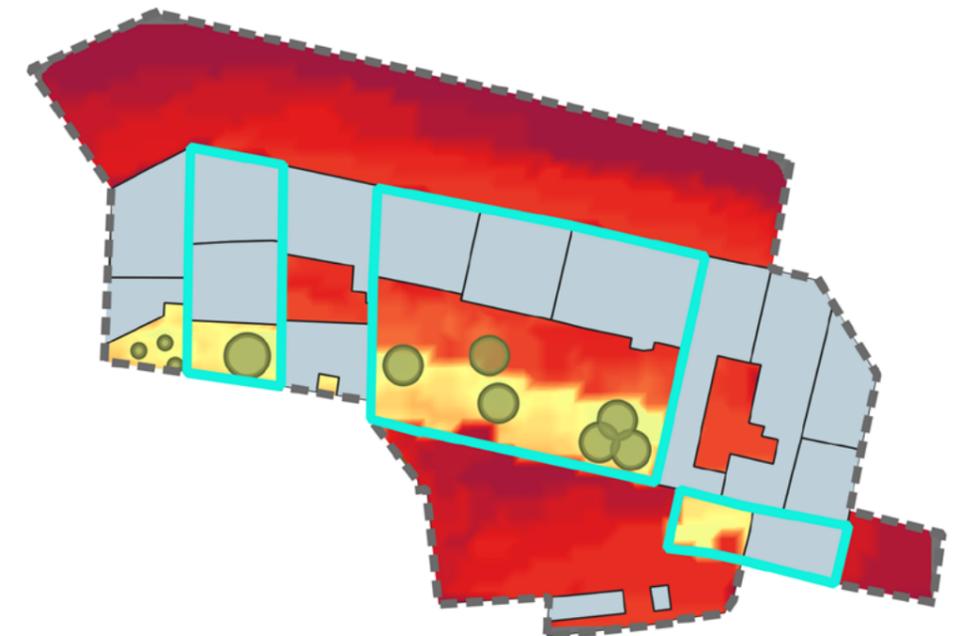
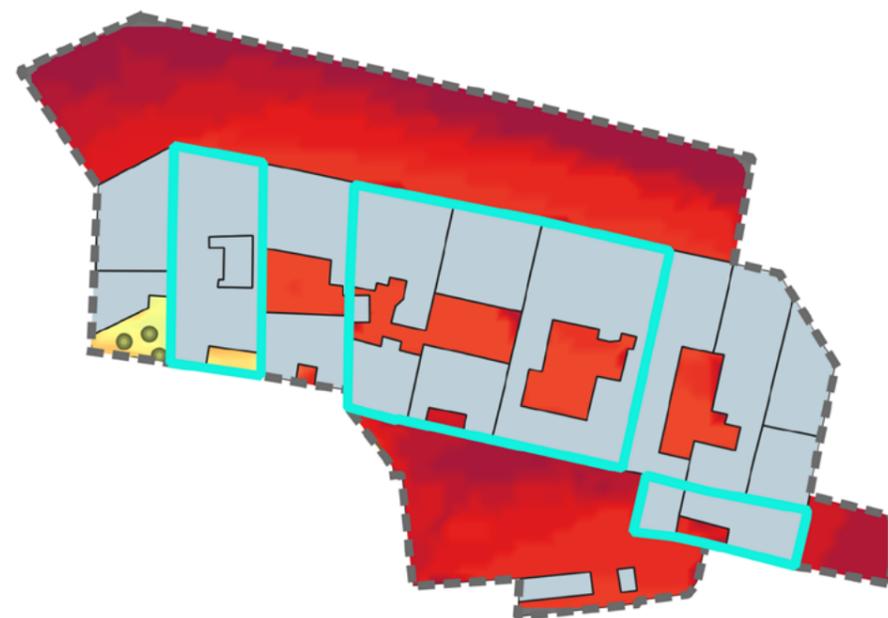
SANS PROJET

AVEC PROJET

MOYENNES



MAXIMALES

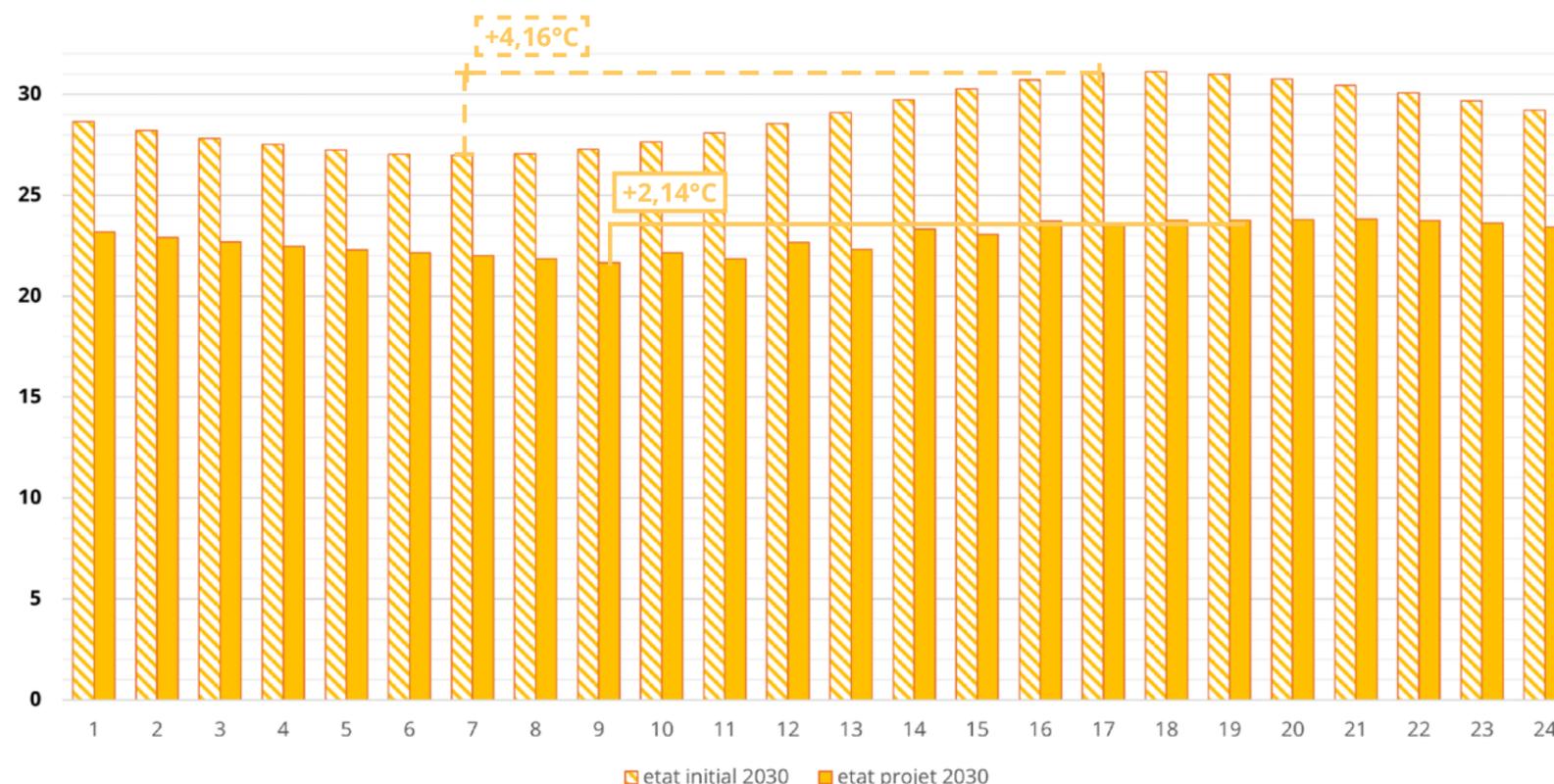


## Évolutions dues au projet horizon 2030

La comparaison des températures au sol permet de comprendre l'évolution du comportement thermique du secteur d'étude à son état actuel et à l'état projet.

À l'état sans projet horizon 2030, on observe une amplitude thermique de 4,16°C entre la température moyenne la plus basse de 26,97°C et la température moyenne la plus élevée de 31,13°C. Cela indique une variation significative des températures au cours de la journée, avec un pic de chaleur enregistré à 18h. Cependant, malgré cette amplitude thermique, la température moyenne la plus basse à 7h du matin reste relativement élevée à 26,97°C.

Avec la mise en œuvre du projet à l'horizon 2030, on observe une amélioration significative. L'amplitude thermique est divisé par deux avec 2,14°C, ce qui indique une plus grande stabilité thermique sur l'opération. La température moyenne la plus basse à 9h s'abaisse à 21,67°C et le pic de chaleur est atteint à 21h avec 23,81°C ce qui reste raisonnable en période de forte chaleur. Cela caractérise très clairement l'effet de l'évapotranspiration et de l'ombrage créé par les sujets arborés



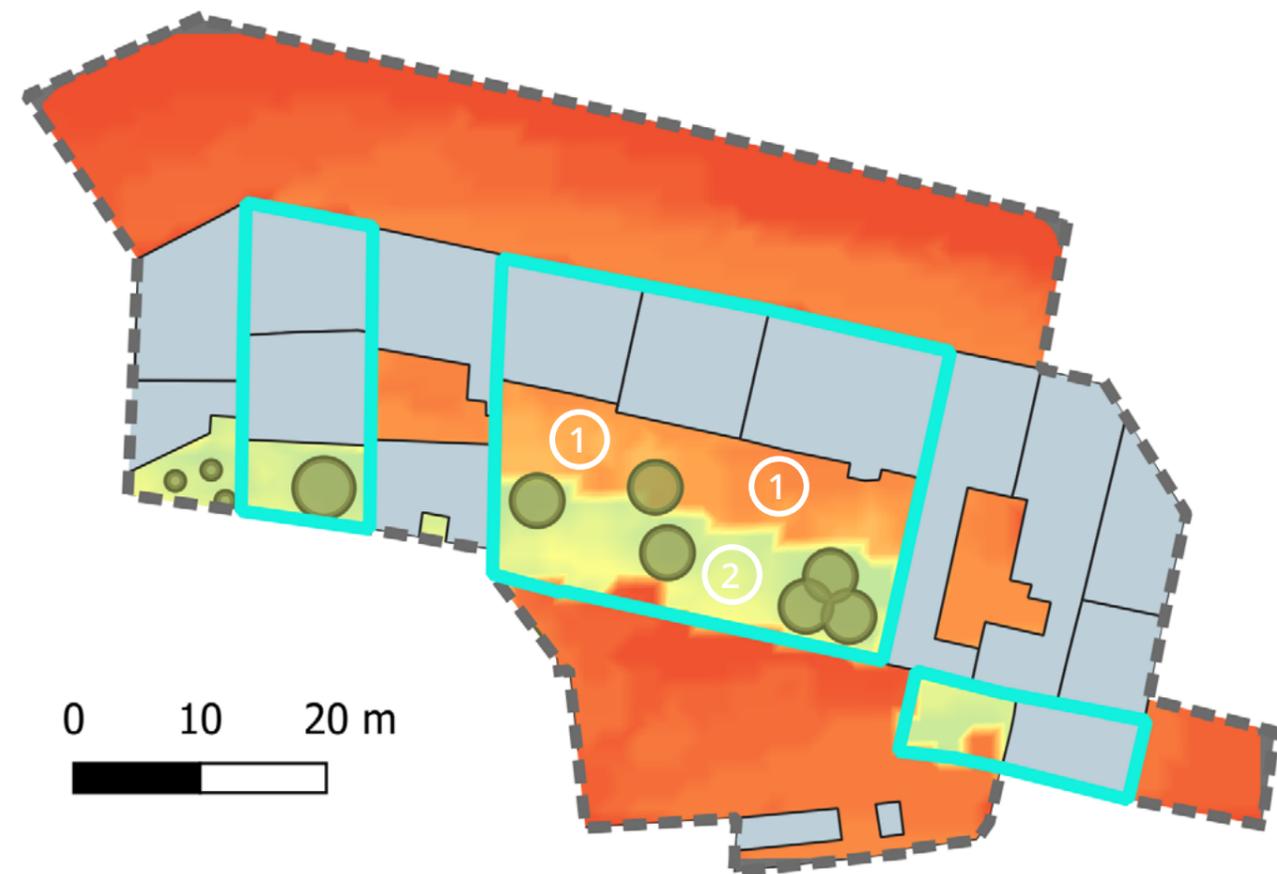
Comparaison avant / après projet des températures moyennes au sol sur la journée du 21 juillet 2030

## Préconisations

L'adaptation des mesures à chaque opération est essentiel pour venir compléter les mesures générales prévues en fin de document. Les mesures sont proportionnelles à l'effort déjà fourni par le projet pour abaisser les températures et aux possibilités du terrain. A ce titre l'opération ci contre est notée 9ème sur les 14 opérations comme ayant un impact positif significatif.

- Prévoir des dispositifs d'ombrage (auvent, toiles tendu, ombrières) sur les zones identifiées comme sensibles à la chaleur (1)
- Renforcer l'aménagement paysager en plantant des arbres de hautes tiges, particulièrement efficaces pour créer de l'ombre sur le cœur d'îlot et ainsi réduire l'exposition directe au soleil.
- Travailler les strates de végétation (2) en utilisant des espèces à houppier large pour protéger les espèces plus basses.
- Prévoir une gestion adaptée des espaces verts, notamment en proscrivant les tontes courtes qui ont tendance à augmenter les températures au sol en exposant davantage le sol au rayonnement solaire.

## Température maximale 2030



# Comparaison horizon 2030 état sans et avec projet

## Renan-Delaune / Renan Gambon

Les températures de surface sont calculées pour chaque heure de la journée, et en moyenne sur la journée. Les résultats de la simulation peuvent être illustrés sous forme de thermographie.

### Températures sur la journée : analyse spatiale

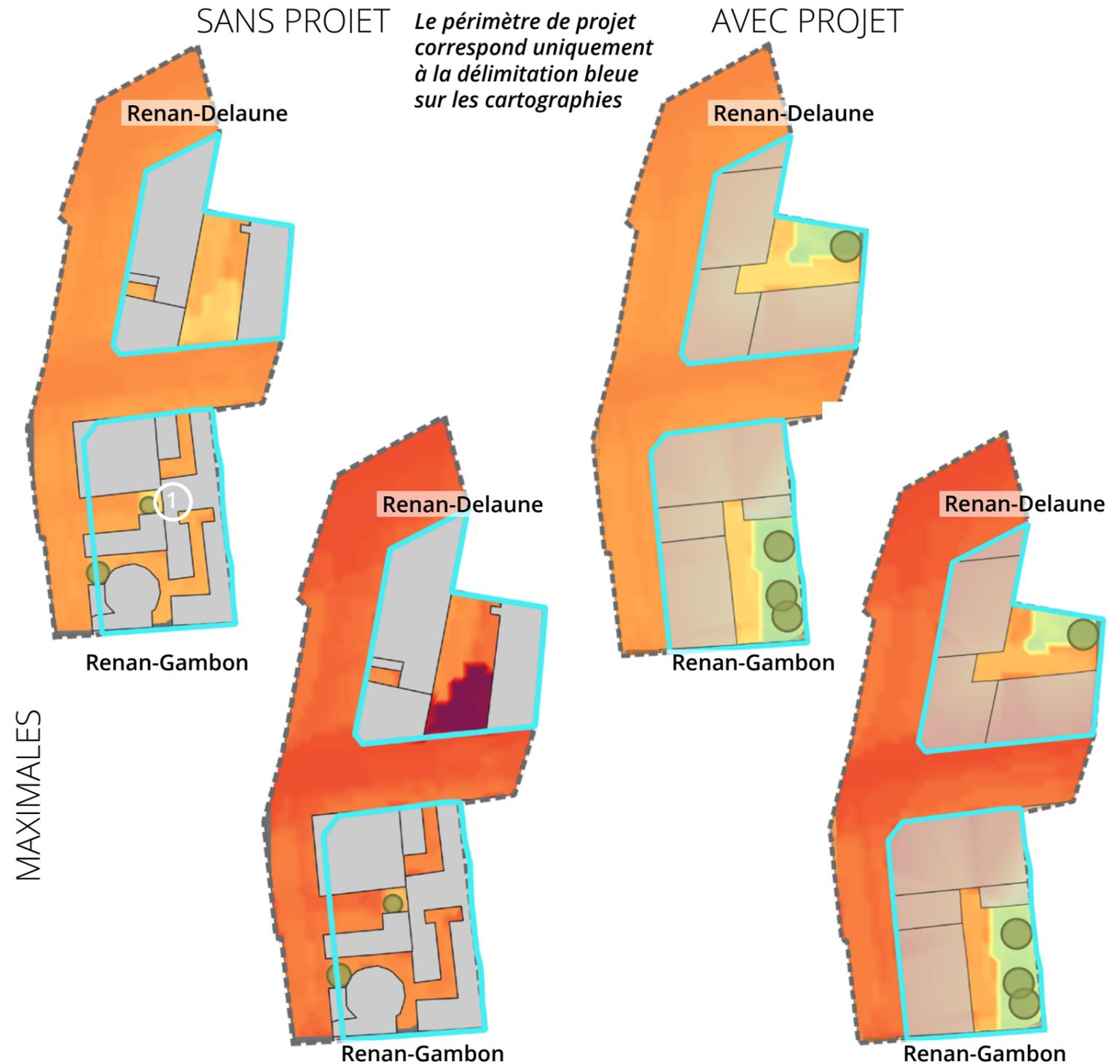
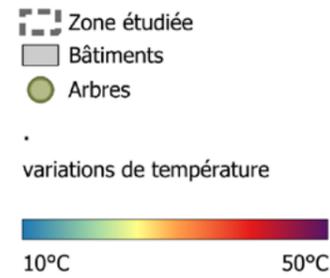
#### Horizon 2030

Les îlots étant suffisamment proche et dans le même contexte urbain, l'analyse est faite conjointement.

Sans projet, les températures minimales se retrouvent dans les espaces attenants au sujet arboré sur l'îlot Renan-Gambon qui profitent d'un effet légèrement rafraîchissant et de l'ombrage du bâti, atteignant alors 24,68°C (hors espace revêtu de copeaux de bois atteignant les 20,14°C mais n'étant pas représentatif de l'état du site), tandis qu'avec le projet, les minimales sont observées à l'arrière des îlots végétalisés et arborés qui rafraîchit les espaces attenants, atteignant jusqu'à 20,01°C.

Sans projet, les températures maximales dans le cœur de parcelle étriqué et dense de l'îlot Renan-Gambon, constituant des pièges de chaleur sur des zones déjà sensibles en termes d'îlot de chaleur urbain. Sur l'îlot Renan-Delaune l'espace situé sur la faille urbaine (4) au niveau d'un ancien bâtiment (actuellement occupé par de l'agriculture urbaine avec un revêtement en copeau de bois) est sujet à de fortes températures de façon ponctuel la journée mais relâche rapidement la température accumulé la nuit, ce qui explique une température moyenne relativement basse. Les températures au sol peuvent atteindre 35,07°C (hors espace revêtu en copeaux de bois n'étant pas représentatif de l'état du site), alors qu'avec le projet, les maximales sont observées dans l'espace non végétalisé en cœur d'îlot pour des usages en rez-de-chaussée, mais qui profite de l'effet rafraîchissant des espaces végétalisés, atteignant 33,14°C.

La tache violette et les températures extrêmes repérés dans le tableau correspondent à un espace revêtu en copeaux de bois qui ont la particularité de par leur faible albédo (couleur foncé) mais de leur faible capacité thermique qui implique une montée et une baisse en température très rapide. Ces espaces ne sont donc pas très représentatif sur l'opération.



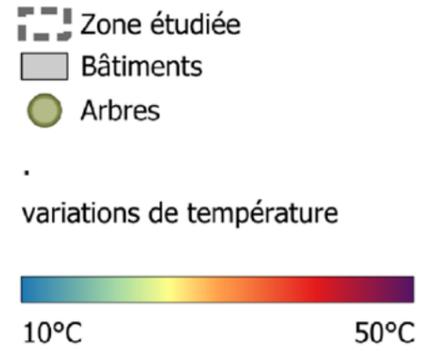
Horizon 2030		Mélange terre/pierre	Dalle en béton	Pleine terre	Copeaux de bois	Bitume (hors périmètre à l'état projet)	Toutes surfaces
Point froid	État sans projet	26,02	26,97	24,68	20,14	27,48	20,14
	État avec projet	24,68	/	20,01	/	31,87	20,01
Point chaud	État sans projet	32,31	35,07	29,63	46,83	36,06	46,83
	État avec projet	33,14	/	25,14	/	36,03	33,14

Températures moyennes atteintes par type de surface sur la journée à l'état avec et sans projet horizon 2030 (TRANS-FAIRE, 2024)

# Comparaison horizon 2100 état sans et avec projet

## Renan-Delaune / Renan Gambon

La modélisation est réalisée à l'horizon 2100 et les cartographies des températures moyennes et maximales à l'état sans projet et à l'état projet sont présentées ci-contre.

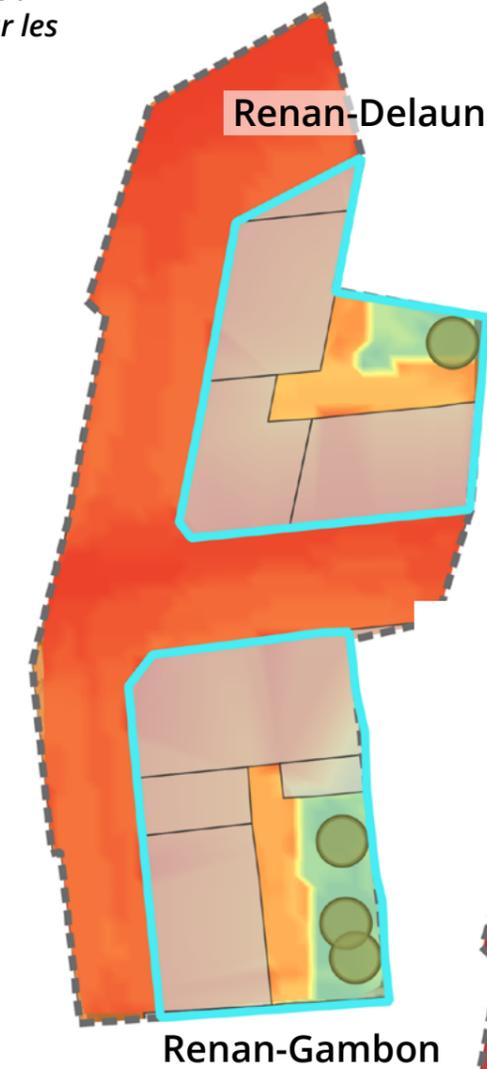
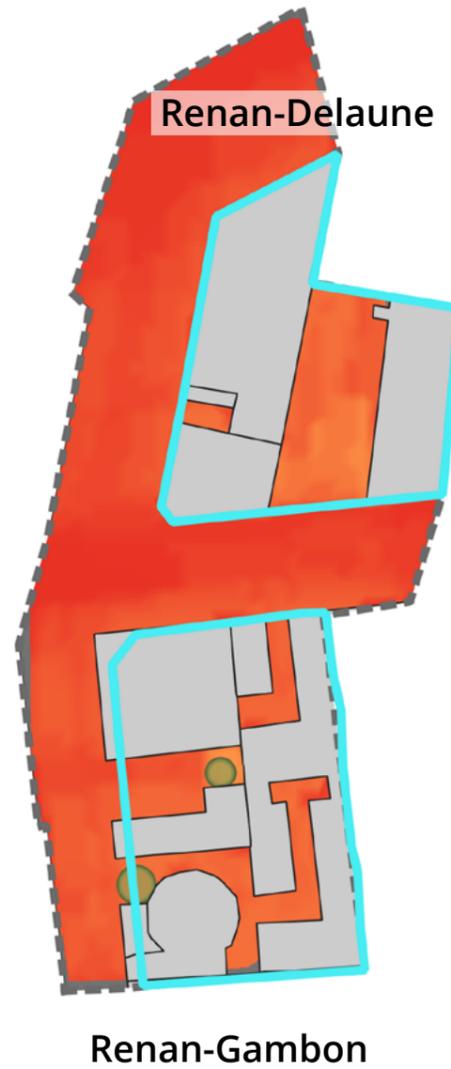


SANS PROJET

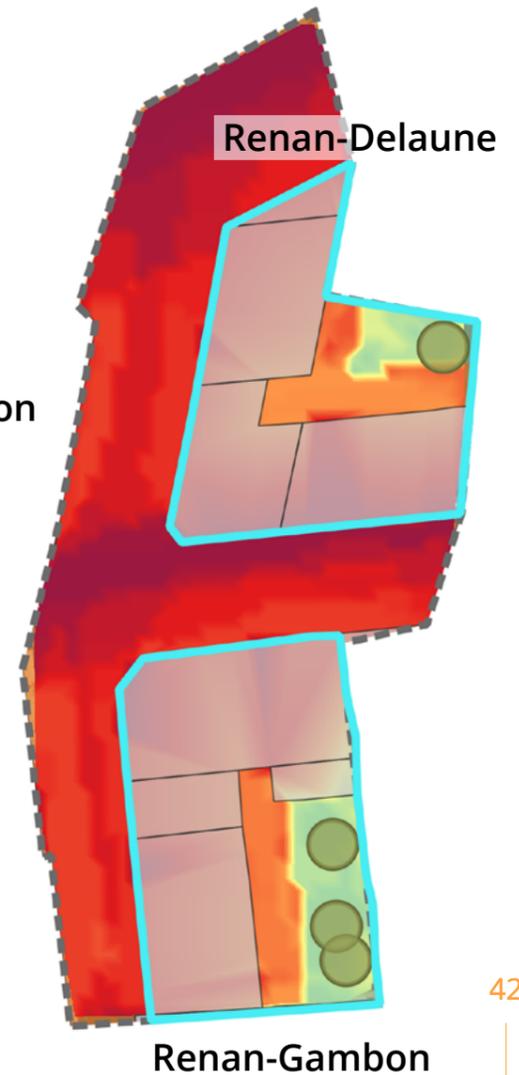
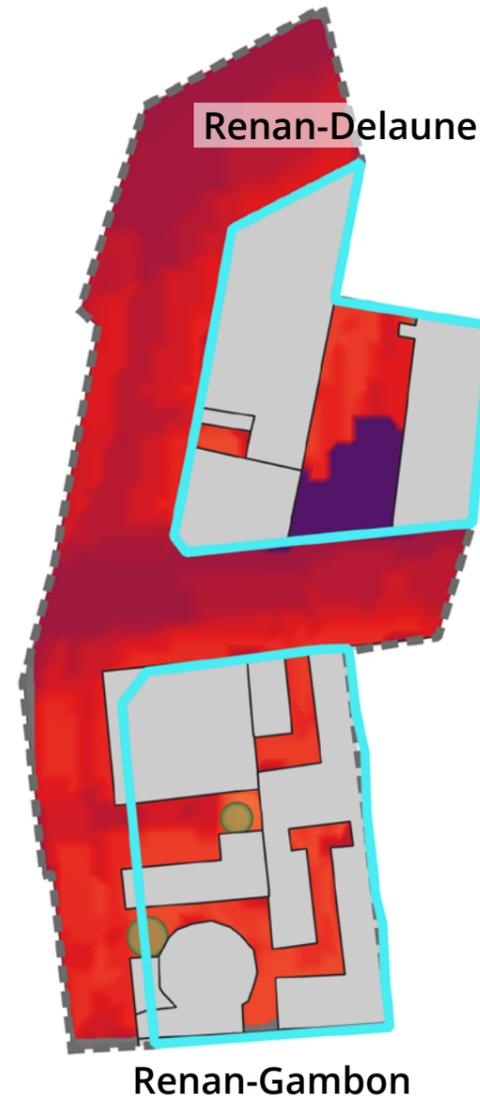
*Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies*

AVEC PROJET

MOYENNES



MAXIMALES

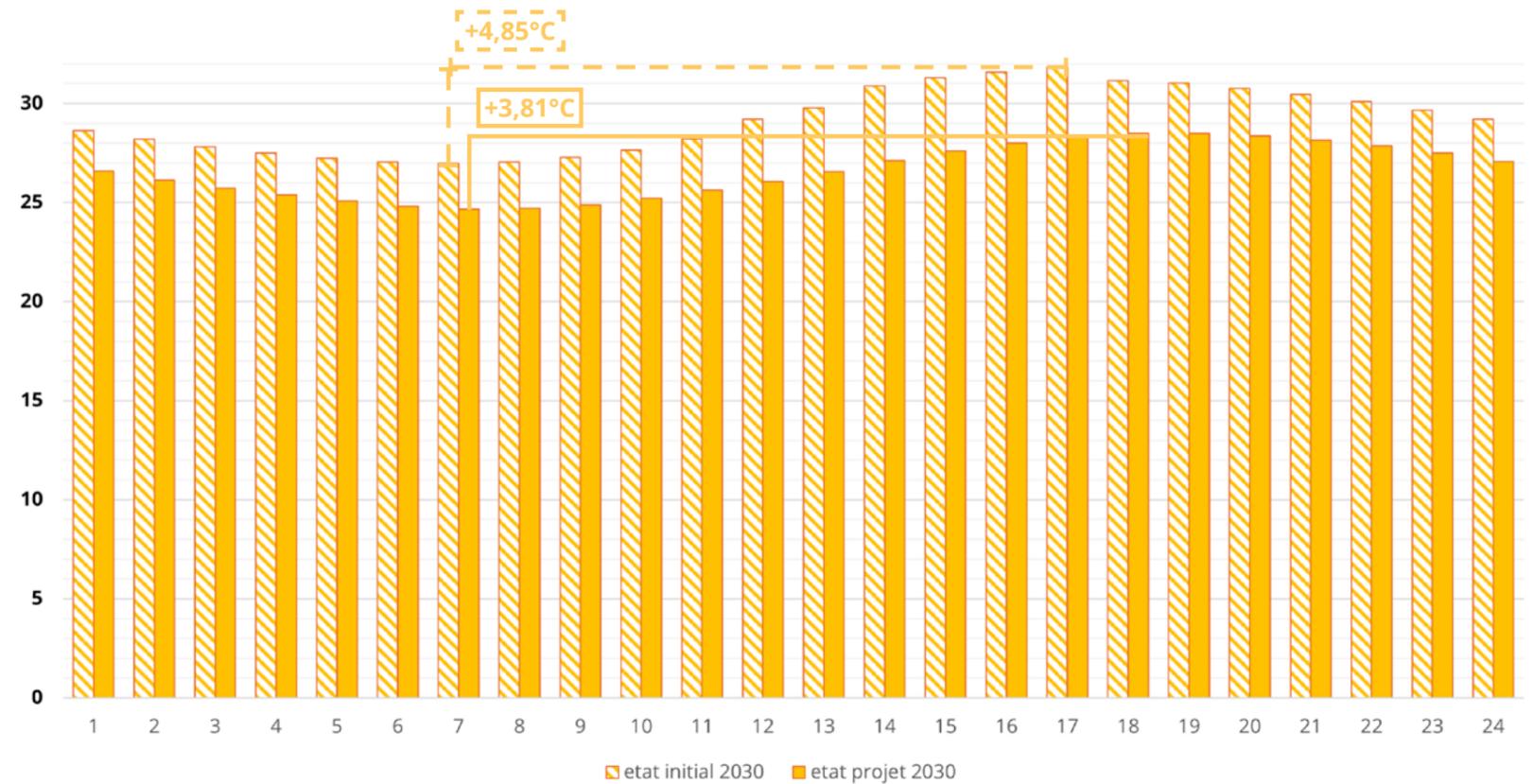


## Évolutions dues au projet horizon 2030

La comparaison des températures au sol permet de comprendre l'évolution du comportement thermique du secteur d'étude à son état actuel et à l'état projet.

À l'état sans projet horizon 2030, on observe une amplitude thermique de 4,85°C entre la température moyenne la plus basse de 26,97°C et la température moyenne la plus élevée de 31,82°C. Cela indique une variation significative des températures au cours de la journée, avec un pic de chaleur enregistré à 17h. Cependant, malgré cette amplitude thermique, la température moyenne la plus basse à 7h du matin reste relativement élevée à 26,97°C.

Avec la mise en œuvre du projet à l'horizon 2030, on observe une amélioration. L'amplitude thermique descend à 3,81°C, ce qui indique une plus grande stabilité thermique sur l'opération. La température moyenne la plus basse à 7h s'abaisse à 24,68°C et le pic de chaleur est atteint à 18h avec 28,49°C ce qui reste raisonnable en période de forte chaleur. Cela caractérise l'effet de la végétalisation des cœur d'îlot.



Comparaison avant / après projet des températures moyennes au sol sur la journée du 21 juillet 2030

### Préconisations

L'adaptation des mesures à chaque opération est essentiel pour venir compléter les mesures générales prévues en fin de document. Les mesures sont proportionnelles à l'effort déjà fourni par le projet pour abaisser les températures et aux possibilités du terrain. A ce titre l'opération ci contre est notée 11ème sur les 14 opérations comme ayant un impact positif significatif.

- Prévoir des dispositifs d'ombrage (auvent, toiles tendu, ombrières) sur les zones identifiées comme sensibles à la chaleur (1)
- Travailler les strates de végétation (2) en utilisant des espèces à houppier large pour protéger les espèces plus basses.
- Prévoir une gestion adaptée des espaces verts, notamment en proscrivant les tontes courtes qui ont tendance à augmenter les températures au sol en exposant davantage le sol au rayonnement solaire.
- Travailler la matérialité du sol en cœur d'ilot en favorisant des matériaux à albédo élevé.

### Température maximale 2030



L'outil ICEtool permet de calculer les températures de surface des points de maillage du périmètre d'étude sur base des différentes données d'entrée, pour rappel : les données météorologiques de la station PARIS-LE BOURGET correspondent au fichier météo générés au 21 juillet des années 2030 et 2100, les ombres portées des bâtiments et des arbres, et les paramètres thermophysiques des points de maillage.

Les températures de surface sont calculées pour chaque heure de la journée, et en moyenne sur la journée.

Les résultats de la simulation peuvent être illustrés sous forme de thermographie.

### Températures sur la journée : analyse spatiale

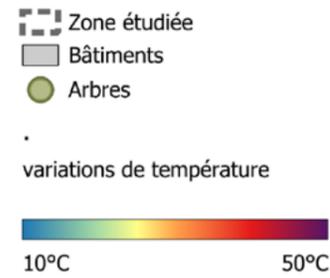
#### Horizon 2030

La parcelle de l'opération à l'état sans projet est occupée à plus de 90% par du bâti, ainsi il n'y a pas suffisamment de surface libre pour fournir des données sur les températures minimales au sol. Cependant, les voiries attenantes (1) peuvent constituer des zones de chaleur avec des pics montant à 36,06°C. Il est à noter la présence de végétation multistrates sur les parcelles attenantes (2) et d'arbres sur le boulevard, ce qui peut influencer le microclimat local et rafraîchir légèrement la perception dans les environs avec des abaissements de températures atteignant 20,66°C.

Avec le projet, les températures minimales sont observées dans le fond de parcelle végétalisé (3), qui rafraîchit et renforce l'effet rafraîchissant des parcelles attenantes, atteignant alors 23,69°C.

Sans projet, les températures maximales dans le cœur de parcelle étriqué et dense constituent des pièges de chaleur (4) sur des zones déjà sensibles en termes d'îlot de chaleur urbain et peuvent s'élever jusqu'à 35,07°C.

Avec le projet, les températures maximales sont observées dans l'espace en rez-de-chaussée hors végétation (5), qui profite néanmoins du rafraîchissement des espaces végétalisés, atteignant alors ponctuellement 33,3°C.



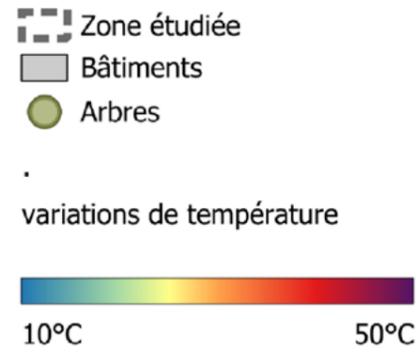
Horizon 2030		Dalle en béton	Pleine terre	Pelouse sèche (hors périmètre)	Stabilisé (hors périmètre)	Bitume (hors périmètre)	Toutes surfaces
Point froid	État sans projet	26,97	20,55	20,66	27,78	27,49	20,55
	État avec projet	27,6	20,34				20,34
Point chaud	État sans projet	35,07	23,69	27,28	34,68	36,06	35,07
	État avec projet	33,3	23,69				33,3

Températures moyennes atteintes par type de surface sur la journée à l'état avec et sans projet horizon 2030 (TRANS-FAIRE, 2024)

# Comparaison horizon 2100 état sans et avec projet

La modélisation est réalisée à l'horizon 2100 et les cartographies des températures moyennes et maximales à l'état sans projet et à l'état projet sont présentées ci-contre.

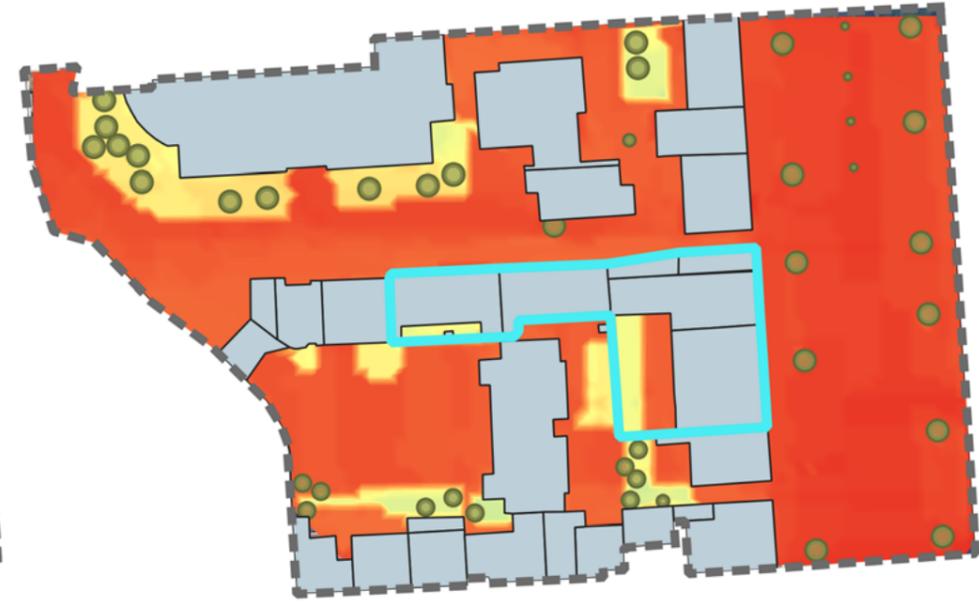
*Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies*



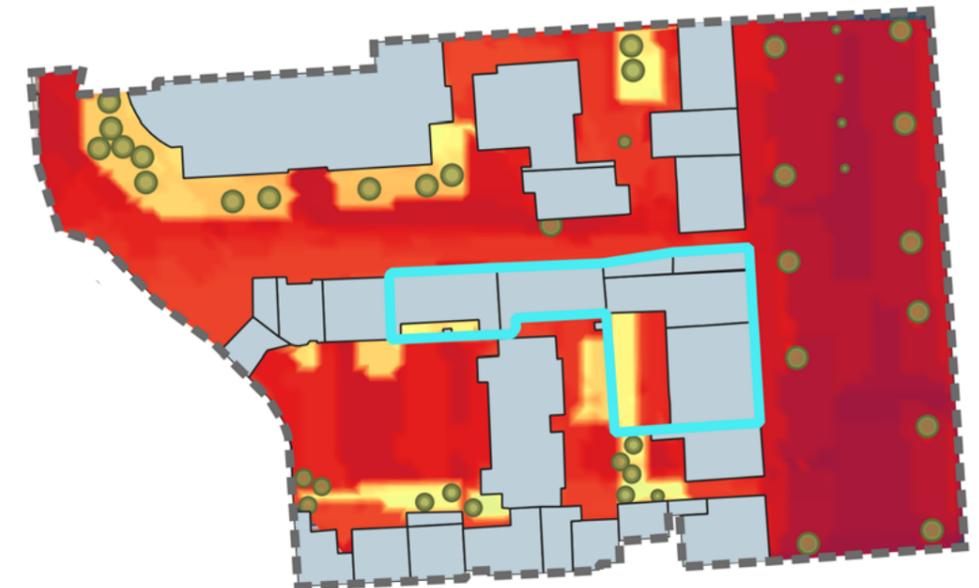
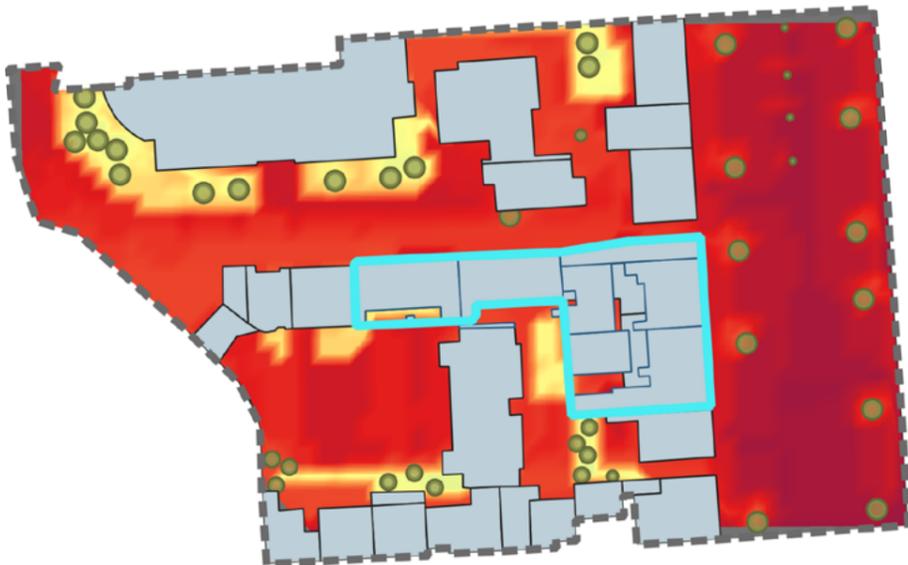
SANS PROJET

AVEC PROJET

MOYENNES



MAXIMALES

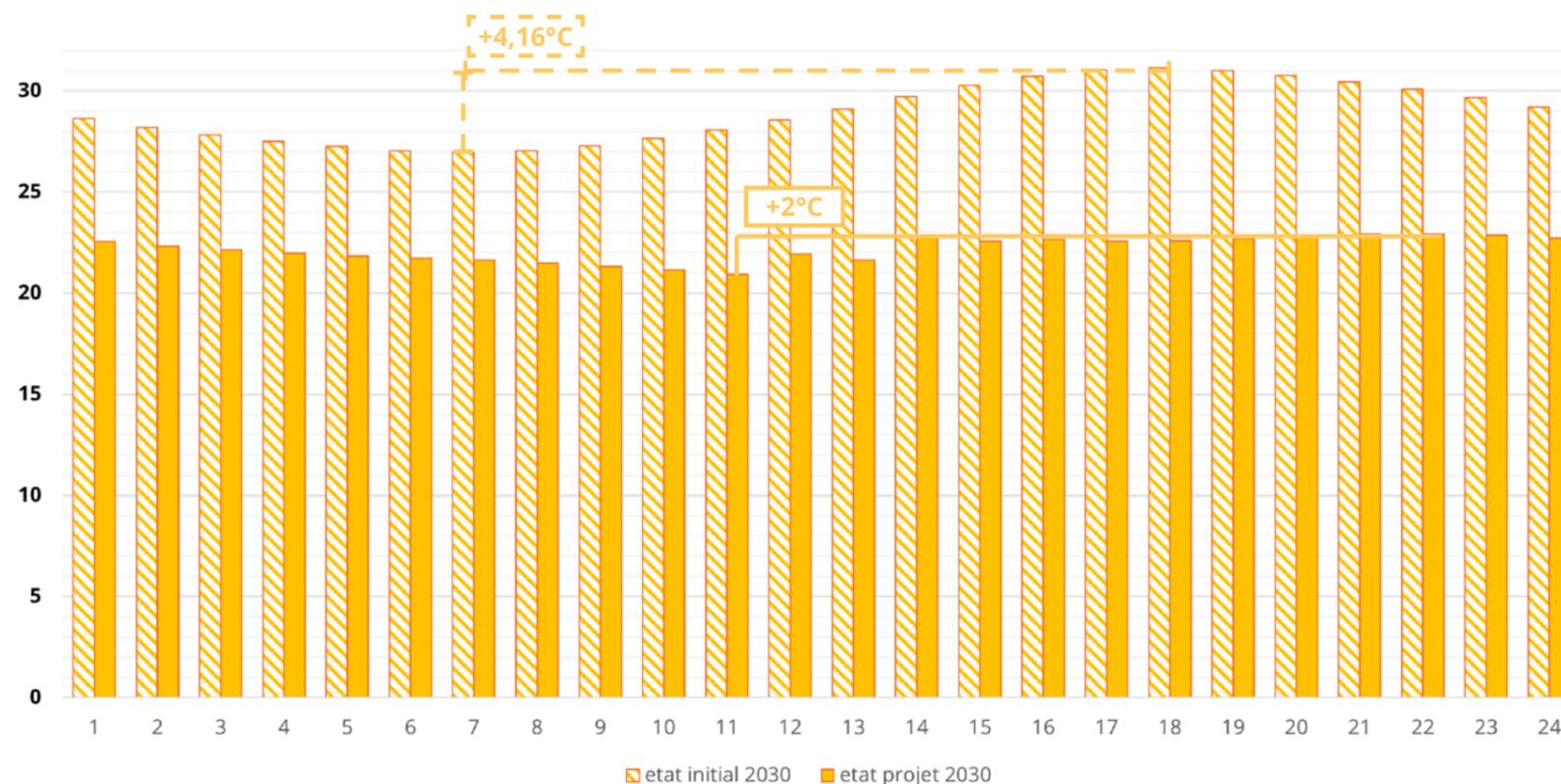


## Évolutions dues au projet horizon 2030

La comparaison des températures au sol permet de comprendre l'évolution du comportement thermique du secteur d'étude à son état actuel et à l'état projet.

À l'état sans projet horizon 2030, on observe une amplitude thermique de 4,16°C entre la température moyenne la plus basse de 26,97°C et la température moyenne la plus élevée de 31,13°C. Cela indique une variation significative des températures au cours de la journée, avec un pic de chaleur enregistré à 18h. Cependant, malgré cette amplitude thermique, la température moyenne la plus basse à 7h du matin reste relativement élevée à 26,97°C.

Avec la mise en œuvre du projet à l'horizon 2030, on observe une amélioration significative. L'amplitude thermique est divisé par 2 et descend à 2°C seulement, ce qui indique une plus grande stabilité thermique sur l'opération. La température moyenne la plus basse à 11h s'abaisse à 20,93°C et le pic de chaleur est atteint à 22h avec 22,93°C ce qui reste raisonnable en période de forte chaleur. L'évolution des température et l'amplitude si faible sur cette opération caractérise clairement les effets de rationalisation du bâti en évitant les pièges de chaleur et une végétalisation intensive qui profite au cœur d'îlot.



Comparaison avant / après projet des températures moyennes au sol sur la journée du 21 juillet 2030

## Préconisations

L'adaptation des mesures à chaque opération est essentiel pour venir compléter les mesures générales prévues en fin de document. Les mesures sont proportionnelles à l'effort déjà fourni par le projet pour abaisser les températures et aux possibilités du terrain. A ce titre l'opération ci contre est notée 8ème sur les 14 opérations comme ayant un impact positif significatif.

- Prévoir des dispositifs d'ombrage (auvent, toiles tendu, ombrières) sur les zones identifiées comme sensibles à la chaleur (1)
- Connecter la végétation avec celle présente aux abords de l'opération et profiter de l'effet rafraichissant de la végétation existante à proximité.
- Travailler la matérialité du sol en cœur d'ilot en favorisant des matériaux à albédo élevé.
- Travailler les strates de végétation (2) en utilisant des espèces à houppier large pour protéger les espèces plus basses.

## Température maximale 2030



Les températures de surface sont calculées pour chaque heure de la journée, et en moyenne sur la journée.

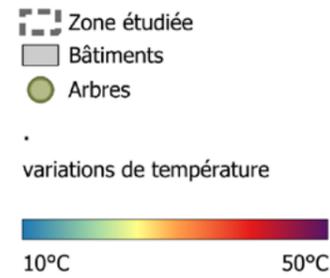
Les résultats de la simulation peuvent être illustrés sous forme de thermographie.

### Températures sur la journée : analyse spatiale

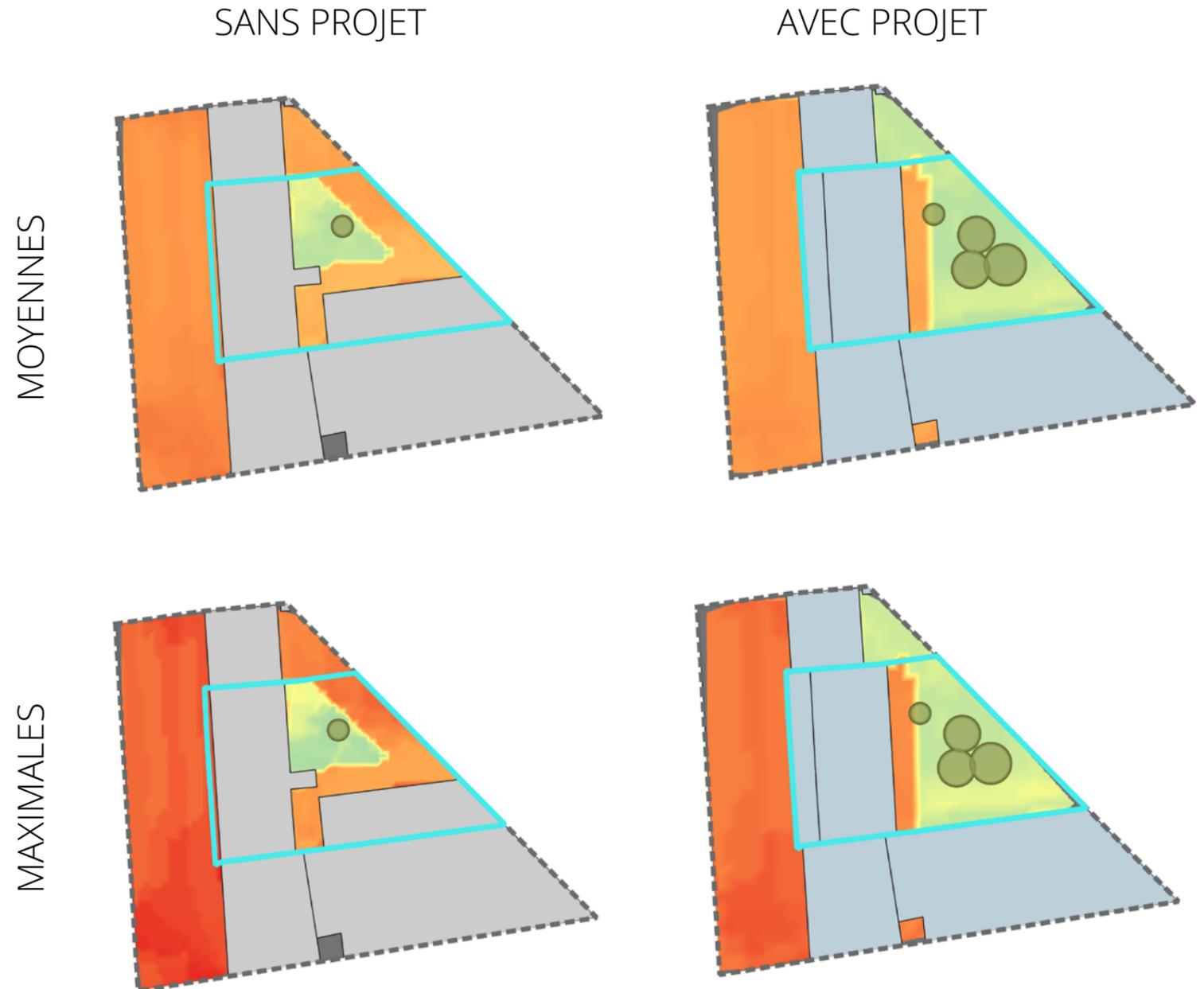
#### Horizon 2030

Sans projet, les températures minimales sont observées sur l'espace végétalisé avec la présence d'un arbuste, atteignant 20°C au pied de l'arbre au niveau des espaces de pelouse ombragés. Avec le projet, les températures minimales sont enregistrées dans le cœur d'îlot largement végétalisé et arboré, atteignant également 20°C sur une plus grande proportion du cœur d'îlot. Cela conforte l'effet du degré de végétalisation et de la densité d'arbres sur l'impact du rafraîchissement.

Sans projet, les températures maximales sont relevées dans le fond de parcelle ensoleillé et peu ombragé, atteignant 36,36°C. Avec le projet, les températures maximales sont observées sur les espaces de cheminement en bordure de bâti qui restent frais de par la proximité des espaces végétalisés et à l'ombrage du bâti, atteignant alors 32,02°C. Cette différence souligne l'importance de l'ombrage du bâti et de la proximité des zones végétalisées dans la régulation des températures maximales.



Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies



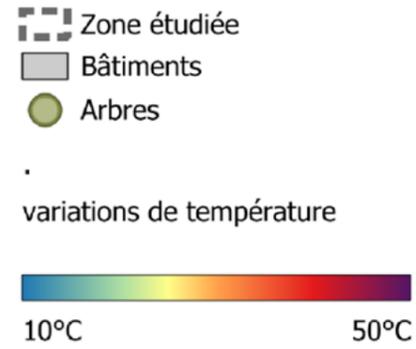
Horizon 2030		Dalle en béton	Pleine terre	Bitume (hors périmètre)	Toutes surfaces
Point froid	État sans projet	26,88	20	27,61	20
	État avec projet	27,61			
Point chaud	État sans projet	36,36	29,51	40,29	36,36
	État avec projet	32,02	24,76		32,02

Températures moyennes atteintes par type de surface sur la journée à l'état avec et sans projet horizon 2030 (TRANS-FAIRE, 2024)

# Comparaison horizon 2100 état sans et avec projet

La modélisation est réalisée à l'horizon 2100 et les cartographies des températures moyennes et maximales à l'état sans projet et à l'état projet sont présentées ci-contre.

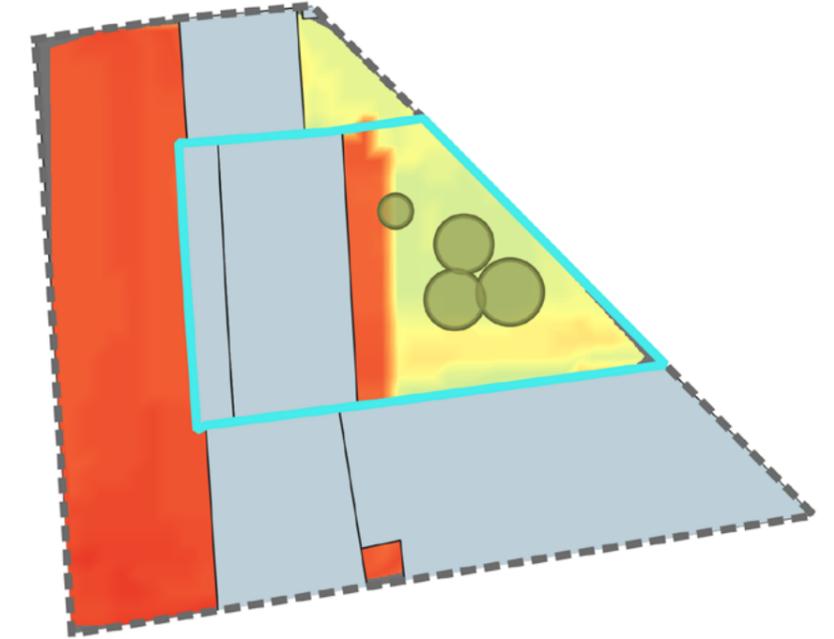
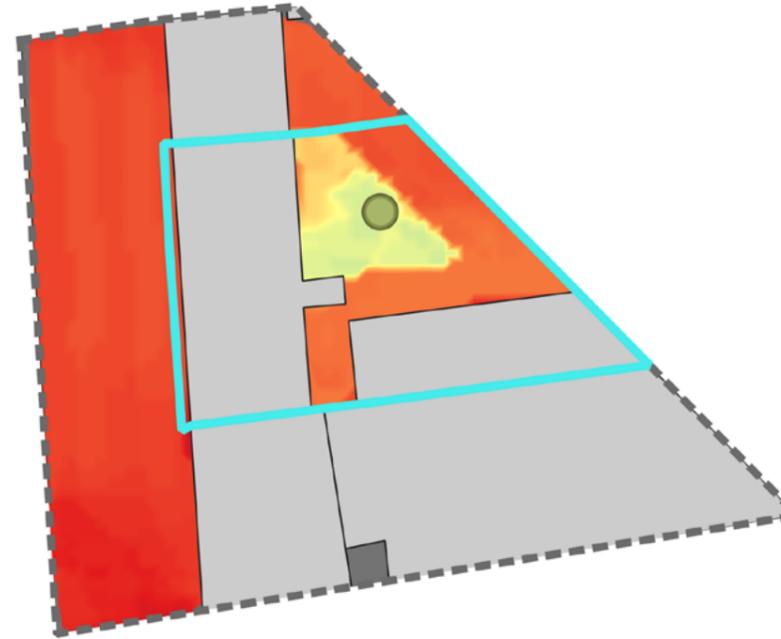
*Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies*



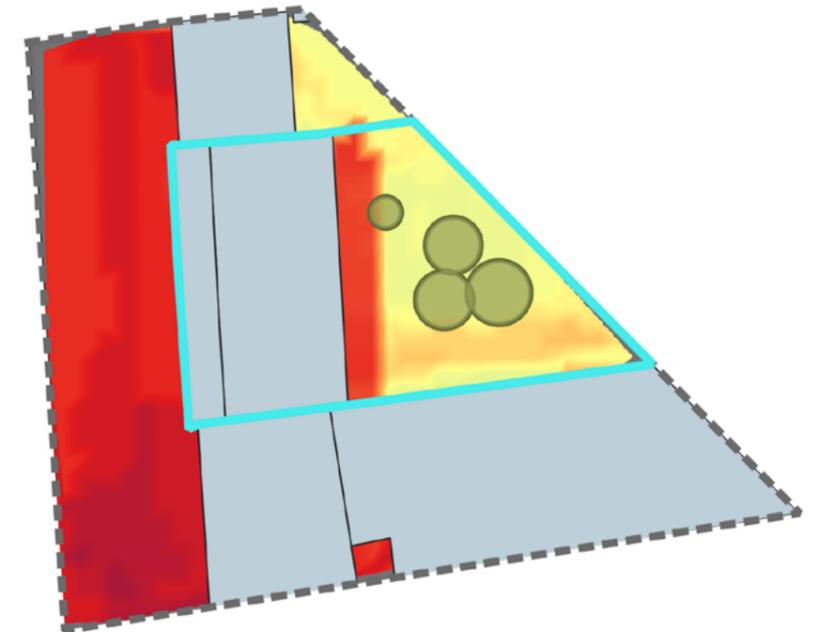
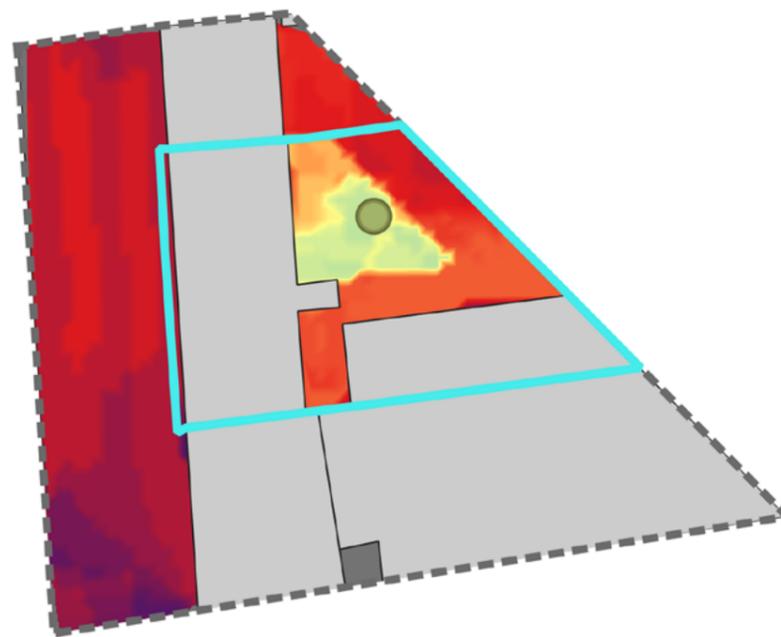
SANS PROJET

AVEC PROJET

MOYENNES



MAXIMALES

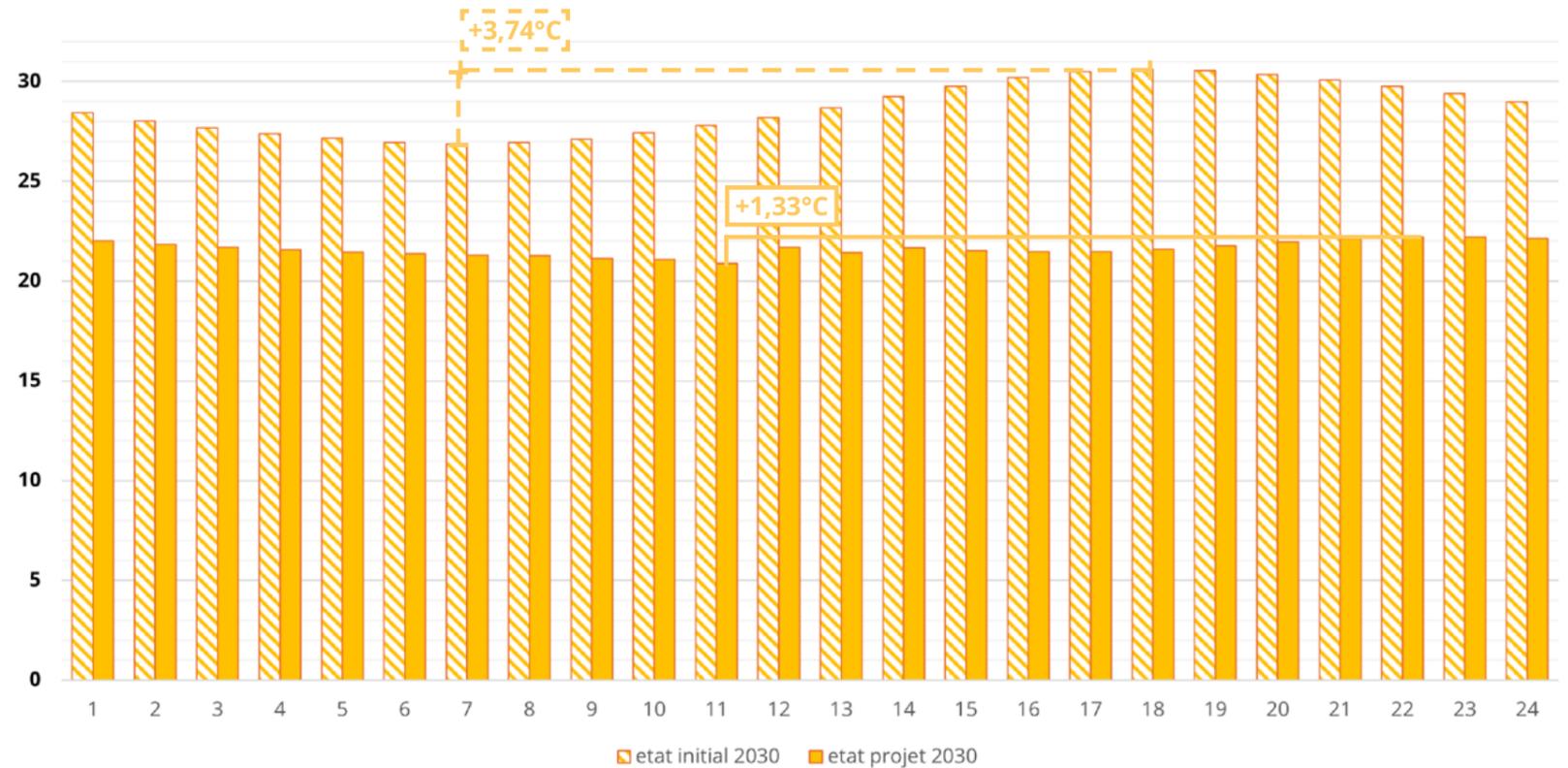


## Évolutions dues au projet horizon 2030

La comparaison des températures au sol permet de comprendre l'évolution du comportement thermique du secteur d'étude à son état actuel et à l'état projet.

L'amplitude des températures moyennes est divisé par deux sur le secteur avec la réalisation du projet : elle passe de 3,74°C à 1,33°C. Les températures sont en moyennes 6,89°C plus faible grâce à la désimperméabilisation du fond de parcelle et d'une intensification de la végétation avec la plantation d'arbres de haute tiges. En effet le fond de parcelle est largement ensoleillé à l'état initial, et donc sensible à l'effet d'ICU. L'augmentation des masques créés par la végétation permet de limiter l'exposition au sol des surfaces et donc de leur surchauffe.

La proportion de surfaces en pleine terre est plus importante qu'à l'état initial. La température moyenne à la journée évolue significativement avec un delta de -7°C en moyenne.



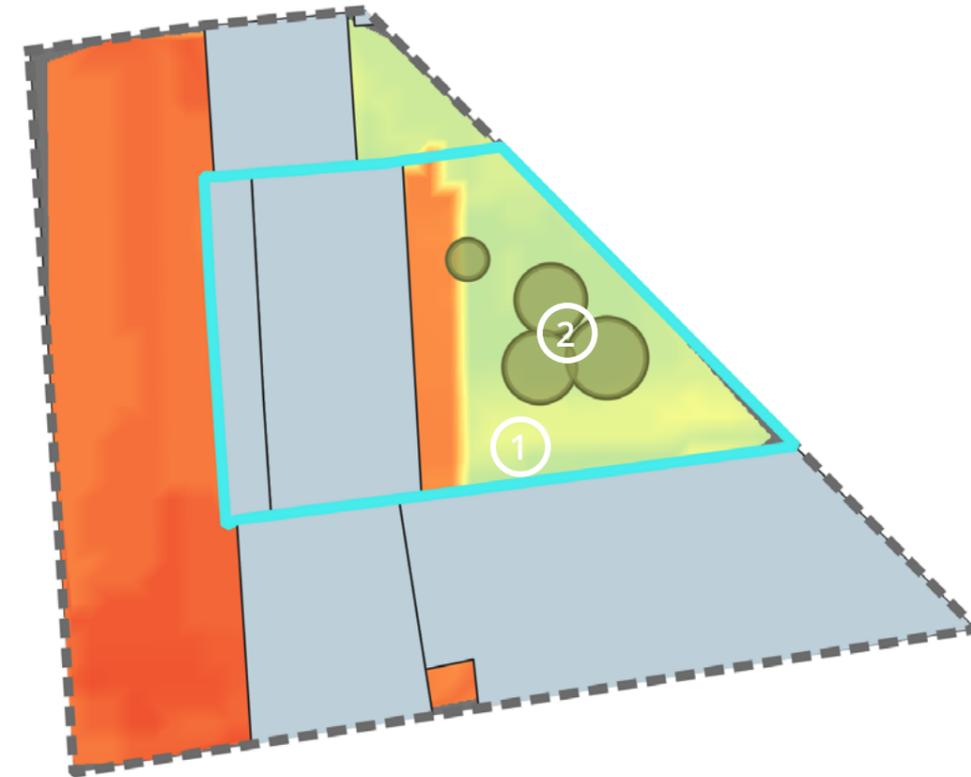
Comparaison avant / après projet des températures moyennes au sol sur la journée du 21 juillet 2030

## Préconisations

L'adaptation des mesures à chaque opération est essentiel pour venir compléter les mesures générales prévues en fin de document. Les mesures sont proportionnelles à l'effort déjà fourni par le projet pour abaisser les températures et aux possibilités du terrain. A ce titre l'opération ci contre est notée 7ème sur les 14 opérations comme ayant un impact positif significatif.

- Connecter la végétation avec celle présente aux abords de l'opération et profiter de l'effet rafraichissant de la végétation existante à proximité.
- Renforcer l'aménagement paysager en plantant des arbres de hautes tiges, particulièrement efficaces pour créer de l'ombre sur le cœur d'îlot et ainsi réduire l'exposition directe au soleil (1).
- Travailler les strates de végétation (2) en utilisant des espèces à houppier large pour protéger les espèces plus basses.

## Température maximale 2030



# Comparaison horizon 2030 état sans et avec projet

Les températures de surface sont calculées pour chaque heure de la journée, et en moyenne sur la journée.

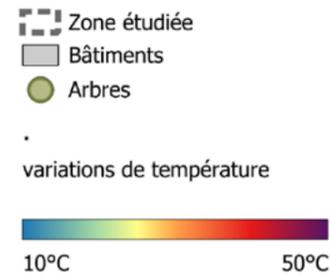
Les résultats de la simulation peuvent être illustrés sous forme de thermographie.

## Températures sur la journée : analyse spatiale

### Horizon 2030

Sans projet, les températures minimales sont observées dans l'espace en cœur d'îlot ombragé par le tissu bâti et par la présence de sujet arboré et également au niveau du passage dans les espaces ombragés, atteignant 25,23°C. Avec le projet, les températures minimales sont enregistrées dans l'espace végétalisé et arboré suite à la rationalisation du bâti, atteignant alors 20°C. Cette différence de plus de 5°C met en évidence l'impact positif de la végétalisation.

Sans projet, les températures maximales sont relevées dans le cœur de parcelle étriqué et peu végétalisé, qui est sujet à des pièges de chaleur, mais également au niveau des passages revêtus de pavés de brique atteignant 36,29°C. Avec le projet, les températures maximales sont également observées au niveau du passage en brique, atteignant 36,29°C. Les cœurs d'îlots ne sont pas particulièrement touchés par des températures élevés.



MOYENNES

MAXIMALES

SANS PROJET

AVEC PROJET

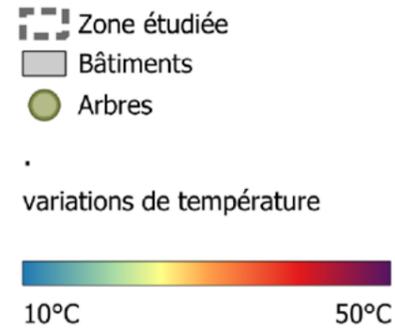
Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies

Horizon 2030		Dalle en béton	Pleine terre	Bitume (hors périmètre)	Pavés de brique	Toutes surfaces
Point froid	État sans projet	26,97	/	27,51	25,23	25,23
	État avec projet		20			20
Point chaud	État sans projet	35,01	/	36,06	36,29	36,29
	État avec projet		23,71			36,29

Températures moyennes atteintes par type de surface sur la journée à l'état avec et sans projet horizon 2030 (TRANS-FAIRE, 2024)

# Comparaison horizon 2100 état sans et avec projet

La modélisation est réalisée à l'horizon 2100 et les cartographies des températures moyennes et maximales à l'état sans projet et à l'état projet sont présentées ci-contre.



SANS PROJET

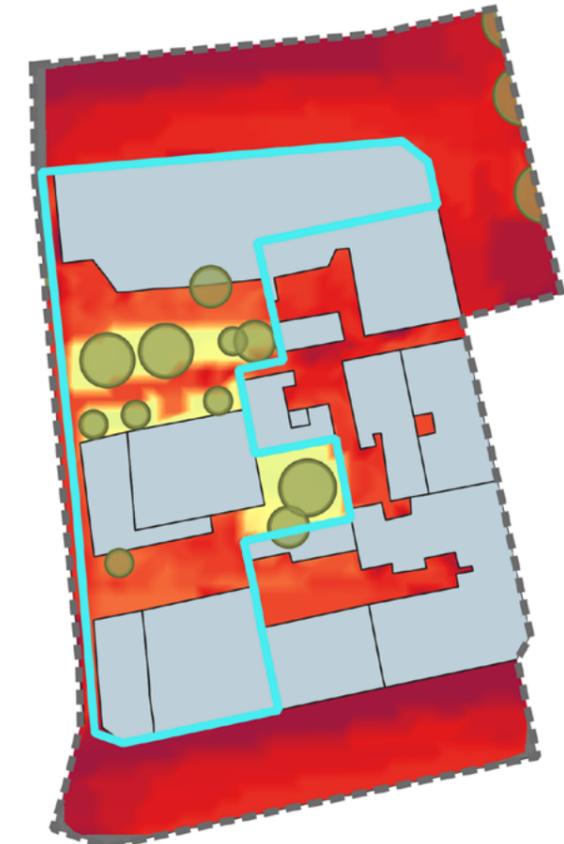
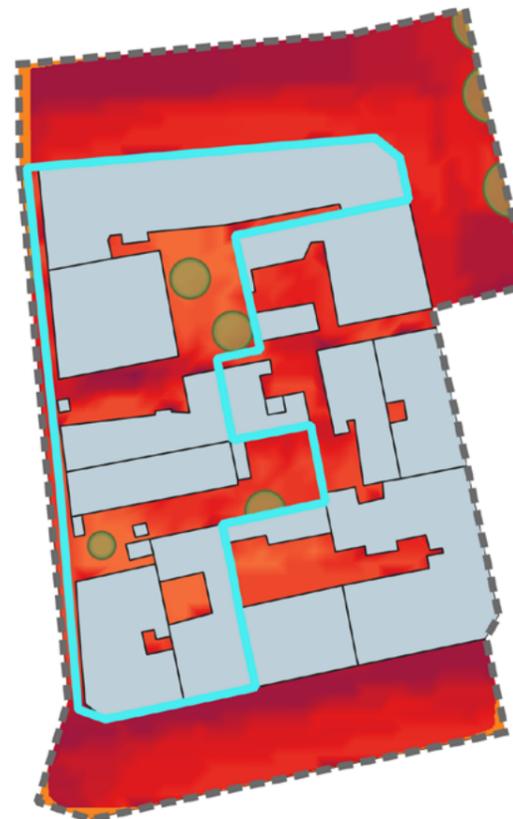
Le périmètre de projet correspond uniquement à la délimitation bleue sur les cartographies

AVEC PROJET

MOYENNES



MAXIMALES

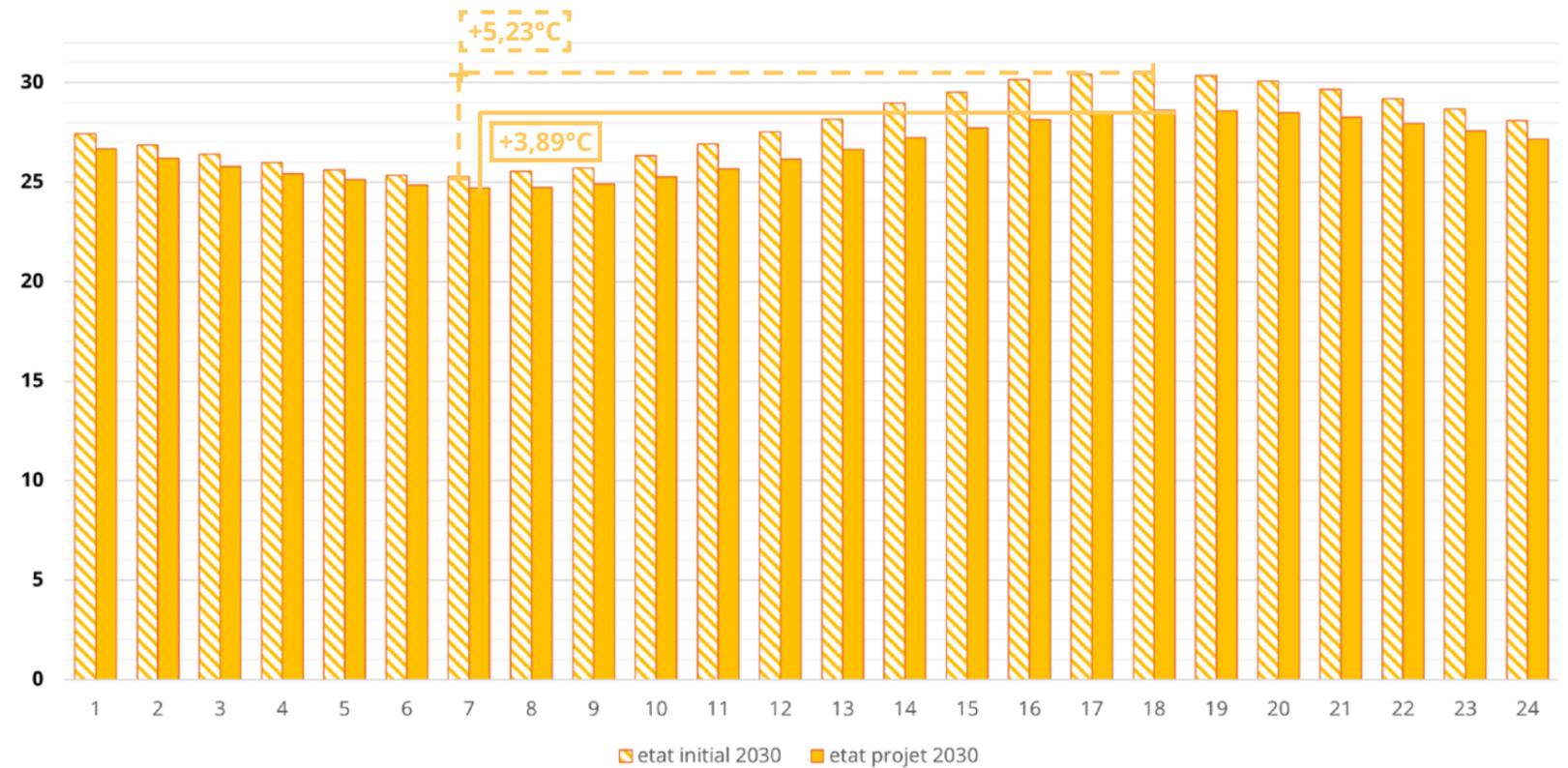


## Évolutions dues au projet horizon 2030

La comparaison des températures au sol permet de comprendre l'évolution du comportement thermique du secteur d'étude à son état actuel et à l'état projet.

L'amplitude des températures moyennes diminue légèrement sur le secteur avec la réalisation du projet : elle passe de 5,23°C à 3,89°C. Les températures sont en moyennes 1,16°C plus faible grâce à la désimperméabilisation des parcelles, de la dédensification du bâti et de la végétalisation. L'augmentation des masques créés par les arbres de haute tiges prévus et du bâti contribuent à limiter l'exposition aux rayonnements solaires des surfaces et donc de limiter leur surchauffe.

La proportion de surfaces sensibles aux épisodes de chaleur (dalle de béton notamment) est plus faible qu'à l'état initial.



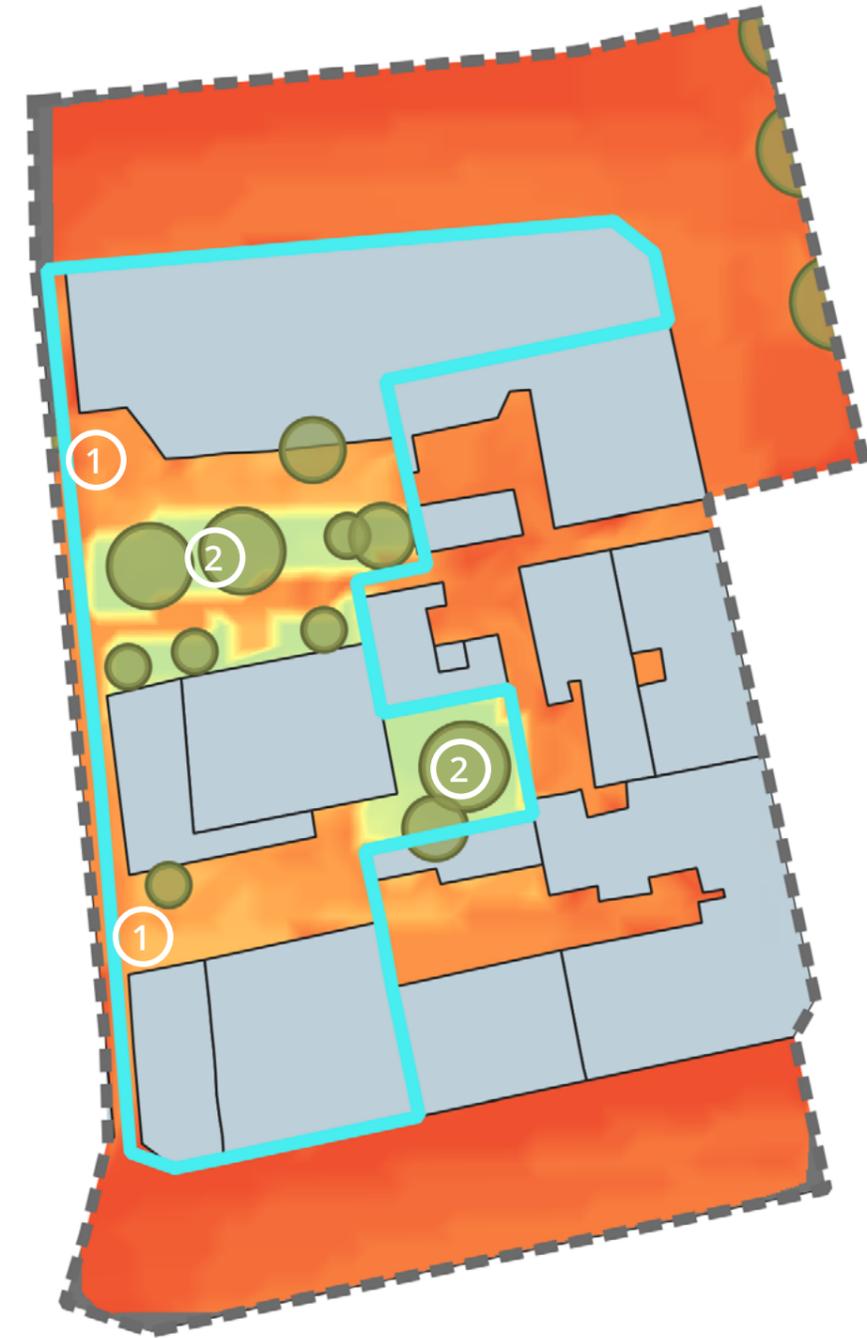
Comparaison avant / après projet des températures moyennes au sol sur la journée du 21 juillet 2030

## Préconisations

L'adaptation des mesures à chaque opération est essentiel pour venir compléter les mesures générales prévues en fin de document. Les mesures sont proportionnelles à l'effort déjà fourni par le projet pour abaisser les températures et aux possibilités du terrain. A ce titre l'opération ci contre est notée 12ème sur les 14 opérations comme ayant un impact positif significatif.

- Prévoir des dispositifs d'ombrage (auvent, toiles tendu, ombrières) sur les zones identifiées comme sensibles à la chaleur (1) en particulier le long des traversées d'îlot.
- Renforcer l'aménagement paysager en plantant des arbres de hautes tiges, particulièrement efficaces pour créer de l'ombre sur le cœur d'îlot et ainsi réduire l'exposition directe au soleil (2).
- Travailler les strates de végétation (2) en utilisant des espèces à houppier large pour protéger les espèces plus basses.

## Température maximale 2030





# Pistes d'amélioration générales pour le projet

L'étude ICU présentée dans ce rapport permet de dégager un certain nombre de pistes d'amélioration générales afin de limiter la sensibilité des espaces extérieurs à l'effet d'îlot de chaleur urbain. Ces pistes d'amélioration concernent tant les espaces publics que privés, dans une logique de projet d'ensemble.

Les préconisations proposées ci-dessous seront adaptées afin d'être intégrées dans les fiches de lot au cas par cas selon les mesures présentées dans la partie précédente.

## Préconisations générales

Dans l'objectif de réduire le phénomène d'ICU, des préconisations s'appliquent à l'ensemble des opérations du projet et concernent :

- Les types de surfaces à mettre en œuvre dans les espaces publics (enrobé, béton et pierre) et privés devront être suffisamment clairs pour augmenter l'albédo. La clarté des matériaux ne devra cependant pas éblouir les usagers. Des teintes RAL<sup>1</sup> devront être définies dans les fiches de lot au cas par cas.
- Le choix de la végétation devra privilégier les essences rafraîchissantes avec un fort potentiel d'évapotranspiration. L'infiltration des eaux pluviales dans le sol permettra d'alimenter la végétation.
- Les espaces situés le long des voiries à enrobé foncé devront autant que possible accueillir des noues pour favoriser le rafraîchissement proche des surfaces les plus sensibles (enrobé foncé). Les voiries pourront être recouvertes d'une peinture claire pour améliorer l'albédo des voiries.
- Des dispositifs en terme de mobiliers urbains pourront intégrer le projet d'espace public pour créer des espaces refuges à l'ombre.



Toile tendue (source L'évidence toile tendue)



Béton clair (source Infociments)



Dalles alvéolées enherbées (source Evergreen)



Corolle (Urban Canopee, 2020)

<sup>1</sup> Système de codification des couleurs

# Pistes d'amélioration pour le projet

## Préconisations générales

- Conserver la végétation (strate herbacée arbustive et arborée) existante lorsqu'elle présente un réel intérêt.
- Prévoir des pourcentages de pleine terre adaptés (en prenant en compte la nécessité de parking en souterrain) et favoriser un pourcentage de pleine terre à l'échelle du projet d'ensemble.
- Prévoir des protections solaires adaptées en priorité au sud (casquette) et à l'ouest (brises soleil orientables) en s'adaptant au cas par cas dans les fiches de lot.
- Étudier l'ensoleillement du bâti à l'aide de la réalisation d'une étude d'ensoleillement pour optimiser les îlots de fraîcheurs créés.
- Prévoir des espaces ombragés, efficaces dès la livraison, sans attendre le développement des sujets arborés prévus (ombrières, toiles tendues, pergola, ...).



*Casquette et brise-soleil (source Laveix)*



## Outils de simulation

Le logiciel utilisé dans le cadre de cette étude est QGIS, logiciel de système d'information géographique dans sa version 3.22.

Le module de calcul utilisé est l'outil intégré ICEtool, développé et mis à disposition sur le logiciel QGIS par Elioth.

L'étape de simulation des ombrages repose sur le générateur d'ombre du plugin UMEP, développé dans le cadre de travaux de recherche universitaire : *Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP): An integrated tool for city-based climate services*, Environmental Modelling & Software, Volume 99, 2018, Pages 70-87 (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815217304140>)"

## Hypothèses

### Données météorologiques

Le fichier météorologique utilisé est celui de la station PARIS-ORLY au format EPW. Les fichiers météo pour les simulations à l'horizon 2030 et 2100 sont générés grâce au logiciel Météonorm 8 en prenant en compte le scénario du GIEC pessimiste RCP8.5 correspondant à une élévation de la température de +4°C à l'horizon 2100.

### Date

La modélisation est calibrée sur la journée du 21 juillet 2021, correspondant à une journée d'été relativement courante :

- Température minimale : 16,9°C.
- Température maximale : 29,1°C.
- Journée ensoleillée, absence de précipitation.

Les périodes de modélisations sont :

- Simulation des ombrages : de 06:00 à 20:00.
- Simulation de la température au sol : toute la journée.

Le pas de temps pris en compte est de 1 heure.

### Vent

Vent faible :  $hc = 6 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### Température du sol

Température intérieure du sol constante :  $T_{int} = 35^\circ\text{C}$ .

## Étapes de modélisation

La modélisation est intégralement réalisée dans QGIS en 6 étapes :

1. Modélisation du périmètre, du bâti, des arbres et des typologies de sol.
2. Calcul des ombres du bâti et des arbres.
3. Import des caractéristiques des matériaux du sol depuis une base de données.
4. Création d'un maillage de points et vérification à chaque heure de la journée si chaque point du maillage est à l'ombre ou pas.
5. Réalisation d'un bilan énergétique des surfaces du sol pour obtenir les températures de surface.
6. Interpolation des résultats des points de maillage pour obtenir une cartographie fluide et lissée avec des statistiques sur tout le périmètre.

Les simulations sont réalisées à l'état initial et à l'état projet, à l'horizon 2030 et 2100.

## Paramètres pris en compte

Pour simuler les ombres portées sur la journée type prise en compte (ici le 21 juillet 2021), l'emprise des bâtiments et des arbres sur le périmètre a été approximée avec les paramètres suivants :

- Bâtiments : hauteur = 3,20 m par niveau.
- Arbres : hauteur = 3 m , 10 m et 15 m et rayon de la canopée = 1,5 m, 2,5 m ou 6 m.

Pour modéliser le comportement thermique des différentes typologies d'occupation du sol, le module utilise les attributs thermophysiques suivants :

- Albédo (compris entre 0 et 1) : c'est la proportion d'énergie solaire réfléchi par rapport à l'énergie solaire totale reçue.  
Plus l'albédo est proche de 0, plus le matériau absorbe le rayonnement et chauffe en cas d'exposition au soleil.
- Émissivité (comprise entre 0 et 1) : c'est l'aptitude d'un matériau à réémettre de l'énergie par rayonnement.  
Plus l'émissivité est proche de 1, plus le matériau restitue la chaleur emmagasinée au cours de la journée.
- Capacité thermique isochore (en J/K) : c'est la quantité de chaleur nécessaire pour augmenter la température d'un corps d'un kelvin.
- Coefficient d'évapotranspiration : c'est la perte en eau des sols et des végétaux due au climat, provenant de l'évaporation de l'eau contenue dans le sol et de la transpiration des plantes.

L'évapotranspiration augmente avec la température, elle a un effet rafraîchissant dans les zones tempérées sèches, a contrario elle a un effet d'inconfort thermique dans les zones tropicales où l'humidité est déjà forte.

## Limites du modèle

Comme toute modélisation, le module utilisé dans le cadre de cette étude utilise des hypothèses simplificatrices dans le but de réduire les temps de modélisation et de calcul. Les principales simplifications utilisées lors de cette étude sont les suivantes :

- Typologies de sol : la diversité de matériaux de revêtement du sol n'est pas totalement modélisée, notamment pour les surfaces végétales qui sont variées.
- Bâtiments et arbres : les hauteurs sont approximées selon les données des derniers plans d'aménagement, elles ne sont pas exactes et sont vouées à évoluer dans les futures étapes de conception.
- Données météorologiques : les données météo proviennent de la station PARIS-ORLY et ne sont donc pas forcément exactes au niveau du périmètre d'étude.
- Paramètres physiques : un nombre limité de paramètres est pris en compte pour simuler le comportement thermique du périmètre.

D'autres facteurs influant pourraient également être considérés : comportement aérodynamique de la zone urbaine, fonctionnement de moteurs thermiques ou d'équipements de production de chaud/froid, etc.

L'étude ICU calcule la température au sol à un instant donné. La modélisation prend en compte toutes les types de surface au sol mais ne prend pas en compte l'effet des toitures végétalisées qui n'ont pas d'impact suffisamment avéré et dépendant de facteurs non contrôlés à ce stade.

# Bibliographie

ATELIER PARISIEN D'URBANISME (APUR). Les Îlots de Chaleur Urbains à Paris - Phase 1. décembre 2012.

ELIOTH. « ICEtool ». Disponible sur : < <https://github.com/Art-Ev/ICEtool> > (consulté le 4 décembre 2022)

INSTITUT PARIS RÉGION. Adapter l'Île-de-France à la chaleur urbaine - Identifier les zones à effet d'îlot de chaleur urbain (ICU) et établir leur degré de vulnérabilité afin de mieux anticiper. septembre 2017.

MÉTÉO FRANCE. « Données Publiques de Météo-France - Fiche climatologique ». [s.l.] : [s.n.], [s.d.]. Disponible sur : < [https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id\\_produit=117&id\\_rubrique=39](https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=117&id_rubrique=39) > (consulté le 27 juillet 2022)

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE. « DRIAS, Les futurs du climat - Découverte ». [s.l.] : [s.n.], [s.d.]. Disponible sur : < <http://www.drias-climat.fr/decouverte> > (consulté le 6 juillet 2022)

**TRANS  
FAIRE**



**SORÉQA**