

## Etude d'effet d'Ilot de Chaleur Urbain (ICU)

Restructuration d'un site commercial et construction de logements  
Rue de la République à Déville-lès-Rouen (76250)

Établie par : Hmida OUHIBA  
[hmida.ouhiba@pouget-consultants.fr](mailto:hmida.ouhiba@pouget-consultants.fr)

Relu par : Camille BREJON  
[camille.brejon@pouget-consultants.fr](mailto:camille.brejon@pouget-consultants.fr)

N° de Dossier : 24C549

| Indice | Date       | Modifications    |
|--------|------------|------------------|
| 00     | 27/04/2026 | Edition initiale |
|        |            |                  |
|        |            |                  |

Document réalisé par nos équipes certifiées RGE OPQIBI



### Nous trouver, nous contacter

01 42 59 53 64 | [contact@pouget-consultants.fr](mailto:contact@pouget-consultants.fr) | [pouget-consultants.eu](http://pouget-consultants.eu)

#### Nos agences

■ **Île-de-France :**

81 rue Marcadet, 75018 PARIS (siège social)  
53 avenue du Maine, 75014 PARIS

■ **Grand Ouest :**

4 place François II, 44200 NANTES  
2 rue Victor Hugo, 35000 RENNES

■ **Antenne Sud Est :**

13000 MARSEILLE

# Sommaire

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. CONTEXTE DE L'ETUDE ET DU PROJET</b>               | <b>3</b>  |
| <b>2. METHODOLOGIE</b>                                   | <b>4</b>  |
| 2.1. OUTIL UTILISE : ICETOOL                             | 4         |
| 2.2. SIMULATIONS REALISEES                               | 6         |
| 2.3. DONNEES METEO MOBILISEES                            | 6         |
| <b>3. MODELISATION ET COMPARAISON DES 2 PROJETS</b>      | <b>7</b>  |
| 3.1. IMAGE SATELLITE DU SITE A L'ETAT EXISTANT           | 7         |
| 3.2. PLAN DE MASSE A L'ETAT INITIAL                      | 7         |
| 3.3. PLAN DE MASSE A L'ETAT PROJET                       | 8         |
| 3.4. VEGETATION (ETAT INITIAL ET ETAT PROJET)            | 9         |
| 3.5. OMBRAGES (ETAT INITIAL ET ETAT PROJET)              | 11        |
| <b>4. RESULTATS</b>                                      | <b>12</b> |
| 4.1. RESULTATS DES SIMULATIONS DANS UN CLIMAT ACTUEL     | 12        |
| 4.2. RESULTATS DES SIMULATIONS DANS UN CLIMAT FUTUR      | 13        |
| 4.2.1. Base  | 13        |
| 4.2.2. Variante  | 14        |
| 4.3. ANALYSE DES RESULTATS (CLIMAT ACTUEL/CLIMAT FUTURE) | 15        |
| <b>5. CONCLUSION</b>                                     | <b>17</b> |

## 1. Contexte de l'étude et du projet

L'étude porte sur un projet de construction d'un ensemble immobilier situé rue de la République à Déville-lès-Rouen. Ce programme prévoit la réalisation de 13 731 m<sup>2</sup> de surface de plancher (SDP), répartis sur 9 îlots de bâtiments collectifs en R+2 et R+3.

Le projet comprend un total de 143 logements, ainsi que des services et commerces en rez-de-chaussée. Il intègre également des aires de stationnement, dont certaines destinées au commerce Carrefour et d'autres réservées aux logements. Par ailleurs, l'aménagement prévoit la création de nouvelles voies ainsi que des espaces extérieurs partiellement végétalisés.

Dans le cadre de l'étude d'impact soumise à la Mission Régionale d'Autorité Environnementale (MRAe), une modélisation a été réalisée afin d'évaluer les effets du projet sur le phénomène d'îlot de chaleur urbain et de proposer des mesures adaptées au contexte.

Pour répondre à cette recommandation, une modélisation des phénomènes urbains et de l'impact du projet d'aménagement sur les températures de surface à l'échelle du projet a été réalisée via le plugin QGIS « ICETool » développé par le bureau d'étude ELIOTH (EGIS). Une description détaillée de l'outil et des modélisations est produite en deuxième partie de cette synthèse.



Figure 1 : Représentation du projet d'aménagement

## 2. Méthodologie

### 2.1. Outil utilisé : ICEtool

Afin de modéliser le microclimat du site dans un climat actuel et futur et d'évaluer l'impact du projet d'aménagement sur ce microclimat, la méthodologie utilisée repose sur l'outil ICEtool, développé par ELIOTH (EGIS).

Cet outil de simulation est directement mobilisé via le logiciel open source QGIS. Il permet de mailler la zone d'étude et de calculer pour chaque maille, à un pas de temps horaire, la température de surface du sol. Les calculs réalisés prennent en compte plusieurs paramètres : les matériaux utilisés, la morphologie urbaine et son influence sur l'ensoleillement, la végétation et les zones humides présentes, ainsi que les données météorologiques utilisées pour la simulation.

Lors de la simulation, le modèle réalise les actions suivantes :

- Calcul de l'ensoleillement en prenant en compte l'ombrage des arbres et des bâtiments sur une journée<sup>1</sup>.
- Prise en compte des caractéristiques des matériaux de sol (albédo, émissivité, conductivité thermique, capacité thermique et coefficient d'évaporation). Le choix des matériaux du projet et de l'état existant est précisé en partie 3.3.
- Vérification du bilan énergétique des surfaces du sol afin d'obtenir les températures de surface.
- Interpolation des résultats pour obtenir une cartographie des températures de surface à l'échelle de la zone d'étude.

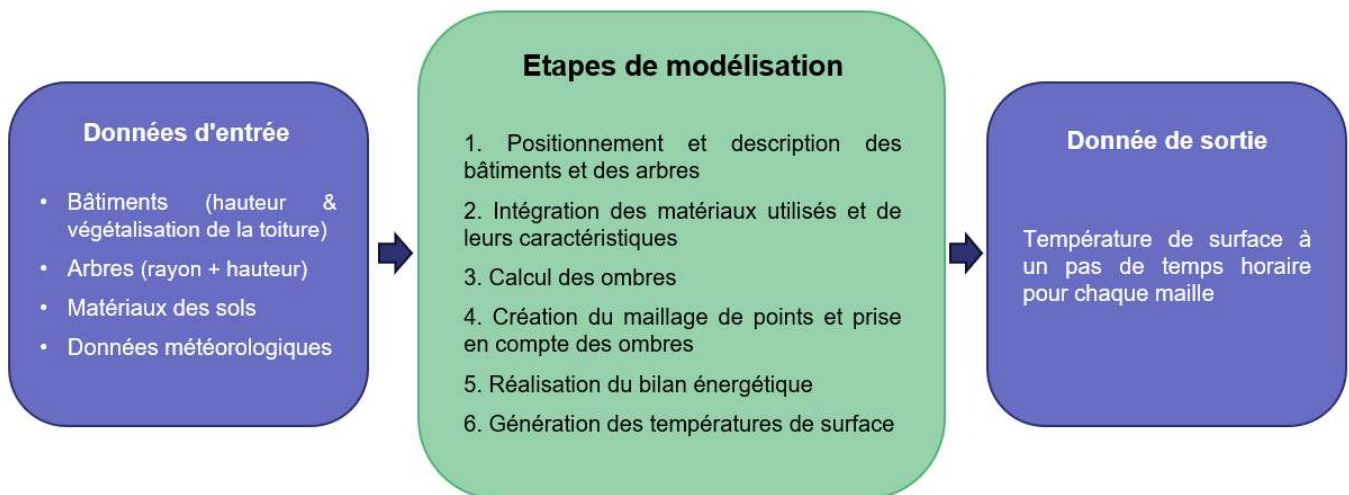


Figure 2 : Méthodologie de modélisation du projet et de simulation via l'outil Ice tool

La température de surface de sol est calculée par résolution de l'équation du bilan des flux thermiques pour chaque maille :

$$Q_R + Q_F = Q_H + Q_L + Q_C + \delta Q_S$$

Avec :

- $Q_R$  : Flux de rayonnement (provenant du soleil, du rayonnement infrarouge et de l'atmosphère)
- $Q_H$  : Flux convectif (considéré comme très faible et homogène avec un coefficient d'échange du au vent  $h_c = 5 \text{ W/m}^2$ .)

<sup>1</sup> Le choix de la journée est laissé libre et doit être défini par l'utilisateur. Les journées simulées dépendent des fichiers météo et des objectifs. Dans le cadre de cette étude, le choix des journées simulées est précisé en partie 2.3

- $Q_L$  : Flux latent et sensible de l'eau (provenant de l'évapotranspiration de l'eau et de la végétation calculée à partir de la méthode Penman-Monteith)
- $Q_C$  : Flux conductif (dépendant de la conductivité thermique des matériaux)
- $\delta Q_S$  : Flux stocké (dépendant de la capacité thermique des matériaux)

Certains flux de chaleur ne sont pas calculés comme celui associé aux inter réflexions sur les façades des bâtiments ou celui issu des apports de chaleur anthropiques (chaleurs des véhicules, d'éventuels climatiseurs, ...).

Pour plus de détails, une présentation de l'outil et de ses calculs sont disponibles sur la page web dédiée de l'outil : <https://github.com/Art-Ev/ICEtool/tree/main>.

La modélisation réalisée permet de manière simplifiée **d'identifier les points chauds du site et l'influence du projet d'aménagement sur la surchauffe locale**. C'est un niveau suffisant pour comparer deux situations et identifier les zones devant faire l'objet d'une réflexion en matière d'aménagement.

Néanmoins les modélisations réalisées via ICEtool présentent plusieurs limites pour caractériser l'ilôt de chaleur urbain. En effet, ce modèle ne prend pas en compte l'ensemble des phénomènes décrivant le climat urbain et le confort thermique des personnes. **Les phénomènes aérodynamiques, l'ensoleillement diffus ainsi que les inter-réflexions solaires et le piégeage radiatif ne sont pas pris en compte dans la méthode**. De plus, Les phénomènes pris en compte comme l'ensoleillement direct, les échanges infrarouges et les phénomènes évaporatifs permettent seulement de simuler un paramètre du confort thermique : **la température de surface**.

Pour aller plus loin sur la modélisation du phénomène d'ilôt de chaleur urbain local (influence sur la température de l'air, échange radiatif, influence des phénomènes aérodynamiques), il est nécessaire de mobiliser des modèles plus complexes tels que ceux développés par des logiciels comme Solene Microclimat ou ENVI-MET.

## PHÉNOMÈNES PHYSIQUES RÉGISSANT LE MICROCLIMAT

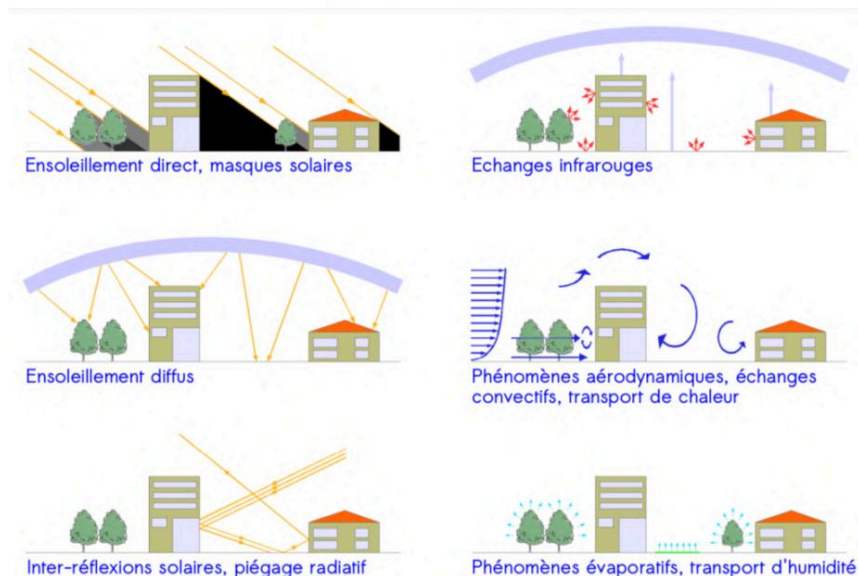


Figure 3: Illustration des phénomènes physiques à mettre en compte pour caractériser un microclimat local. Source : [Bouyer 2016, formation IFORE]

## 2.2. Simulations réalisées

Afin de quantifier l'influence du projet sur le microclimat urbain dans un climat actuel mais également dans un contexte d'intensification des phénomènes de fortes chaleurs associée au réchauffement climatique, quatre simulations ont été réalisées :

- **État initial – RCP8.5\_2020 : situation actuelle du site ;**
- **État projet – RCP8.5\_2020 : projet en climat actuel ;**
- **État projet (BASE) – RCP4.5\_2050 : projet en climat futur (horizon 2050) ;**
- **État projet (VARIANTE) – RCP4.5\_2050 : projet en climat futur (horizon 2050).**

La génération des fichiers météorologiques s'appuie sur le logiciel Meteonorm V8 qui construit pour le climat actuel des séries météorologiques issues des mesures réalisées par des stations météorologiques locales et qui utilise pour le climat futur, des données corrigées selon les projections climatiques des scénarii du GIEC. La description détaillée des scénarios et des fichiers météo associés est réalisée ci-après.

## 2.3. Données météo mobilisées

Le phénomène d'ilot de chaleur est particulièrement observé lors de journées de fortes chaleurs. Il aggrave ainsi des conditions de chaleur déjà critiques. En effet le stockage et la faible capacité de décharge des unités urbaines, limitent la diminution de la température nocturne, induisant des conditions de chaleur dégradées par rapport aux zones moins urbanisées.

Nous avons donc choisi de réaliser les simulations dans le cadre de journées de fortes chaleurs afin d'identifier l'influence de l'aménagement sur des conditions critiques pouvant présenter des risques sanitaires. Pour cela et dans une logique d'homogénéité avec les préconisations du manifeste du bâtiment durable<sup>2</sup>, nous avons utilisé les fichiers suivants :

- Climat actuel : POE10 climat contemporain
- Climat futur : POE10 RCP8.5 2050

Il s'agit de fichiers reconstruits, issus du logiciel Météonorm V8, conservant pour chaque mois de l'année, l'occurrence la plus chaude des dix dernières années mesurées au niveau de la station météorologique la plus proche qui est celle de Rouen. Au sein de chaque fichier météo, une journée représentative a été simulée. Le **21 juillet** a été retenu comme journée représentative de la période estivale la plus chaude.

---

<sup>2</sup> Manifeste signé par plusieurs bureaux d'étude référents sur le traitement des conditions thermiques estivales, proposant certaines préconisations sur les exigences et la modélisation des conditions thermiques des bâtiments face aux fortes chaleurs.

### 3. Modélisation et comparaison des 2 projets

#### 3.1. Image satellite du site à l'état existant

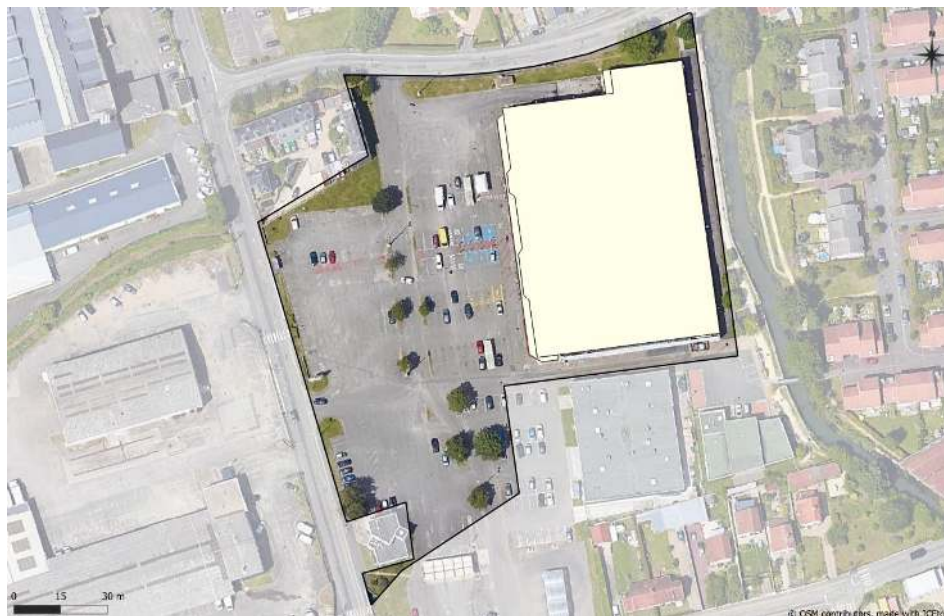


Figure 4 : Image satellite du site à l'état existant

#### 3.2. Plan de masse à l'état initial

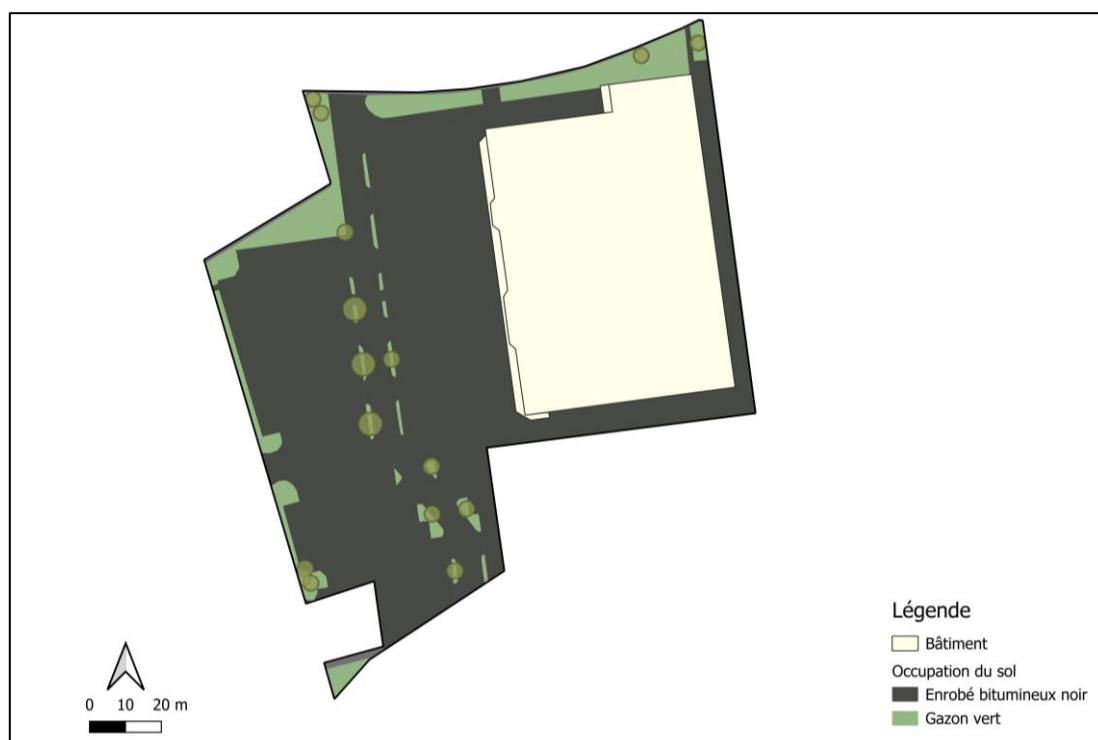


Figure 5 : Plan de masse à l'état initial

Étant donné que le site existant comprend un bâtiment commercial de type Carrefour ainsi que ses abords, la plateforme homogène et imperméable a été interprétée comme un enrobé bitumineux noir. Une petite zone a également été identifiée et représentée sous forme de surface en gazon vert, sur la base des photographies fournies.

### 3.3. Plan de masse à l'état projet



Figure 6 : Plan de masse à l'état projet






| Nom  | Code de couleur   | Albédo | Emissivité | Capacité thermique volumique (J/m <sup>3</sup> .K) | Conductivité thermique (W/m.K) | Coefficient cultural Kc | Variante              |
|--|---|--------|------------|--|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Enrobé bitumineux noir                         |  | 0,15   | 0,94       | 2 083 000  | 2                              | 0                       | Etat initial + Projet |
| Gazon vert                                     |  | 0,33   | 0,98       | 2 500 000  | 0,28                           | 1                       | Etat initial + Projet |
| Stabilisé renforcé avec liant                  |  | 0,38   | 0,92       | 2 517 500  | 2                              | 0                       | Projet                |
| Pavés (pose sur ciment)                        |  | 0,3    | 0,94       | 1 680 000  | 0,8                            | 0                       | Projet                |
| Pavés Evergreen (Revêtement alvéolaire, herbe) |  | 0,375  | 0,96       | 2 098 750  | 1,14                           | 0,5                     | Projet                |

Tableau 1 : Caractéristiques des matériaux modélisés

**Albédo** : L'albédo correspond au rapport entre le rayonnement réfléchi par le matériau et le rayonnement solaire incident. C'est donc la capacité du matériau à réfléchir le rayonnement sans stocker l'énergie associée.

**Emissivité** : L'émissivité correspond au flux radiatif du rayonnement thermique émis par un élément de surface à température donnée.

**Capacité thermique volumique** : La capacité thermique volumique est la quantité d'énergie qu'il faut fournir aux matériaux pour élever sa température d'un degré.

**Conductivité thermique** : La conductivité thermique d'un matériau caractérise sa capacité à diffuser la chaleur

**Coefficient cultural** : Le coefficient cultural caractérise la capacité d'évapotranspiration d'une plante.

Pour illustrer ces éléments, comparaison du gazon vert et du gazon sec.

**Le gazon vert (albédo 0,33)** réfléchit nettement plus de rayonnement solaire que l'enrobé bitumineux noir (0,15). Ainsi, l'enrobé noir absorbe environ **2 fois plus d'énergie solaire**, ce qui favorise un réchauffement plus important de surface.

• Les **pavés en ciment (albédo 0,30)** et le **stabilisé renforcé (0,38)** ont des comportements intermédiaires : ils réfléchissent davantage que l'enrobé noir, mais restent moins réfléchissants que le gazon ou les revêtements alvéolaires végétalisés.

• Les surfaces végétalisées comme le **gazon vert (émissivité 0,98)** et les **pavés Evergreen (0,96)** émettent fortement le rayonnement thermique, ce qui permet une meilleure dissipation de chaleur par rapport aux matériaux minéraux légèrement moins émissifs (0,92 à 0,94).

• L'**enrobé bitumineux noir**, en plus de sa faible réflectivité, combine une forte absorption et une bonne capacité à stocker la chaleur, ce qui entraîne des températures de surface plus élevées en période d'ensoleillement.

### 3.4. Présence d'arbres (état initial et état projet)

Le site compte 11 arbres, dont 9 érables sur le parking. Leur croissance est limitée à cause d'un manque d'espace pour les racines et de petites fosses de plantation. Les pieds d'arbres, divisés en petits espaces engazonnés et tondus, favorisent peu la biodiversité. Au nord, un frêne est en bon état, et au sud, trois bouleaux se développent bien grâce à plus d'espace, malgré un risque de fissures des sols proches.



Figure 7 : Cartographies des arbres l'état existant

Le projet prévoit la plantation de 58 arbres, dont 42 de haute tige, ainsi que des arbustes d'essences locales, mieux adaptés au climat et au sol, nécessitant peu d'eau et favorisant la biodiversité. Une diversité d'espèces est mise en place, avec des arbres conduits en tige (au houppier haut) et en cépée (plus larges et bas). Les plantations permettent aussi de créer une séparation naturelle entre les espaces privatifs et publics, grâce à des massifs arbustifs et des aménagements du terrain. Enfin, une zone centrale accueille une fruticée composée de petits fruits (groseilles, framboises, mûres, etc.), organisée en bandes, où les habitants peuvent cueillir librement.



Figure 8 : Cartographies des arbres à l'état projet

### 3.5. Ombrages (état initial et état projet)

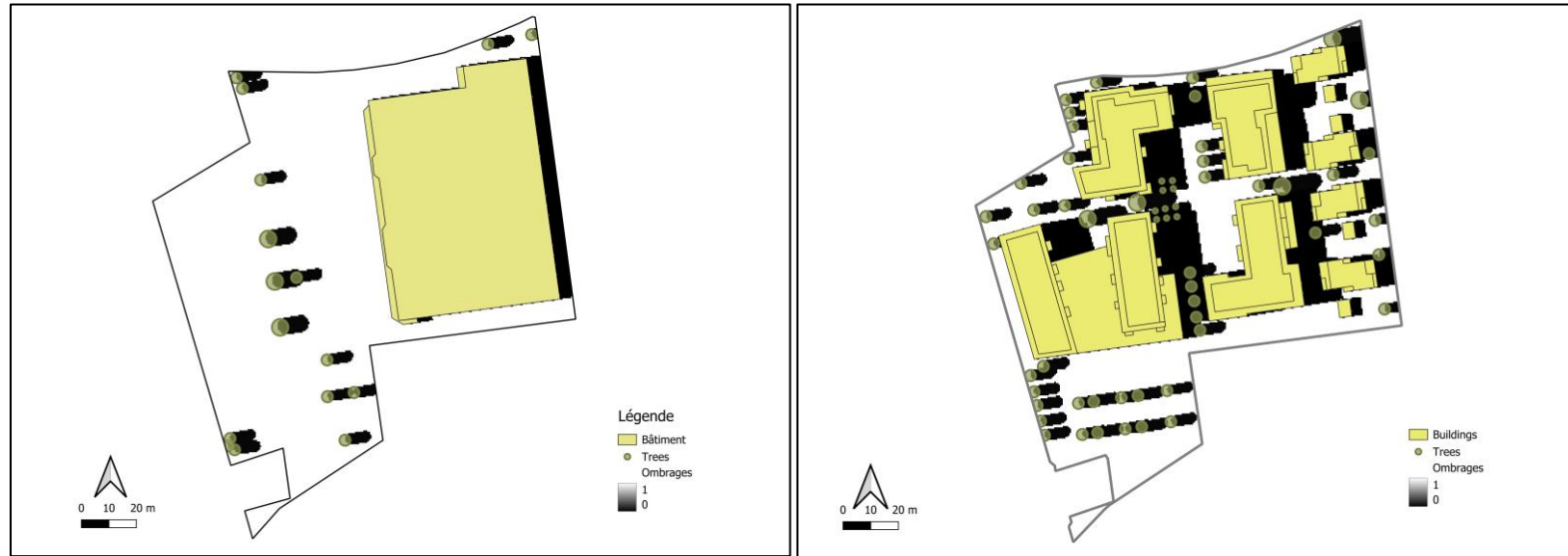


Figure 9 : Cartographies de l'ombrage simulé à 17h sur le site à l'état existant et dans le cadre du projet d'aménagements

## 4. Résultats

### 4.1. Résultats des simulations dans un climat actuel :

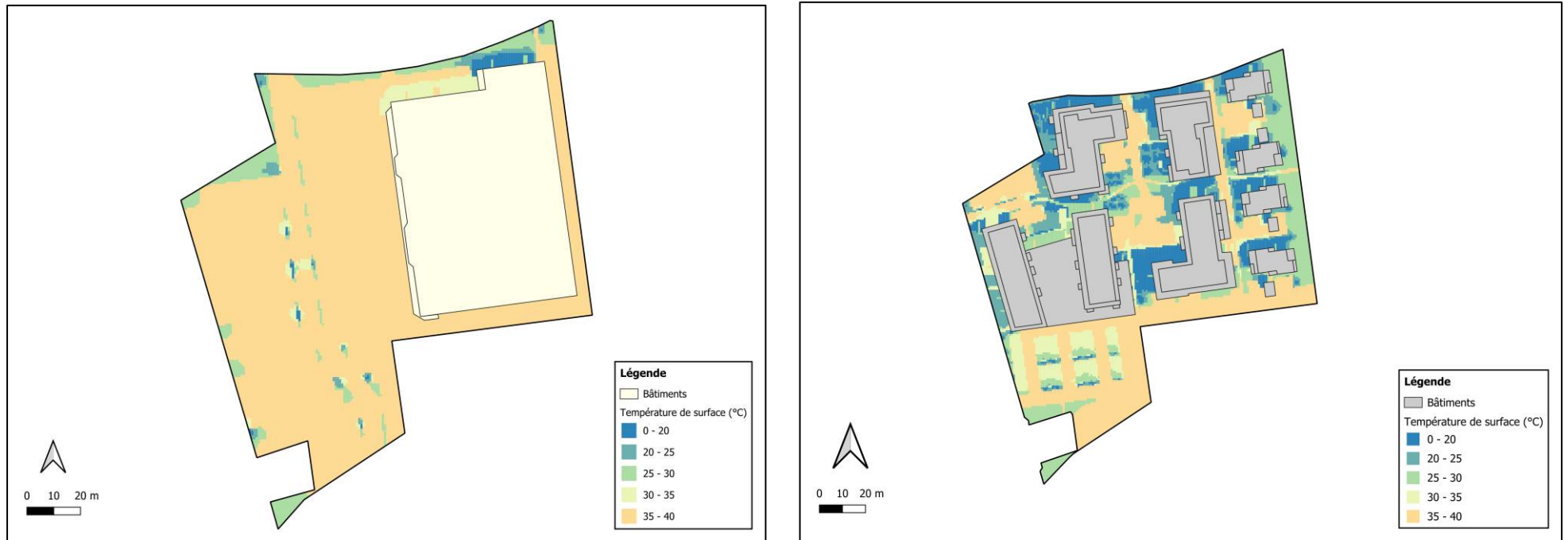


Figure 10 : Cartographies des températures de surface maximales simulés à l'échelle de la journée du 21/07 du fichier météo Rouen POE10 Contemporain. A gauche, l'état existant, A droite l'état projet

## 4.2. Résultats des simulations dans un climat futur :

### 4.2.1. Base



Figure 10 : Cartographies des températures de surface maximales simulées à l'échelle de la journée du 21/07 du fichier météo de Rouen POE10 RCP4.5 2050.

### 4.2.2. Variante

Dans la variante, l'enrobé bitumineux noir est remplacé par un **asphalte de couleur grise, avec agrégats pierreux**.

Dans le cas de base, l'enrobé noir a un faible albédo (0,15), ce qui signifie qu'il absorbe beaucoup la chaleur et entraîne des températures élevées.

Dans la variante, l'asphalte gris a un albédo plus élevé (0,38). Il réfléchit davantage le soleil et chauffe donc moins.

| Nom   | Albédo | Emissivité | Capacité thermique volumique (J/m <sup>3</sup> .K) | Conductivité thermique (W/m.K) | Coefficient cultural Kc | Variante          |
|---|--------|------------|--|--------------------------------|-------------------------|-------------------|
| <b>Enrobé bitumineux noir</b>                     | 0,15   | 0,94       | 2 083 000  | 2                              | 0                       | Projet (Base)     |
| <b>Asphalte gris clair avec agrégats pierreux</b> | 0,38   | 0,95       | 2 348 300  | 0,74                           | 0                       | Projet (Variante) |

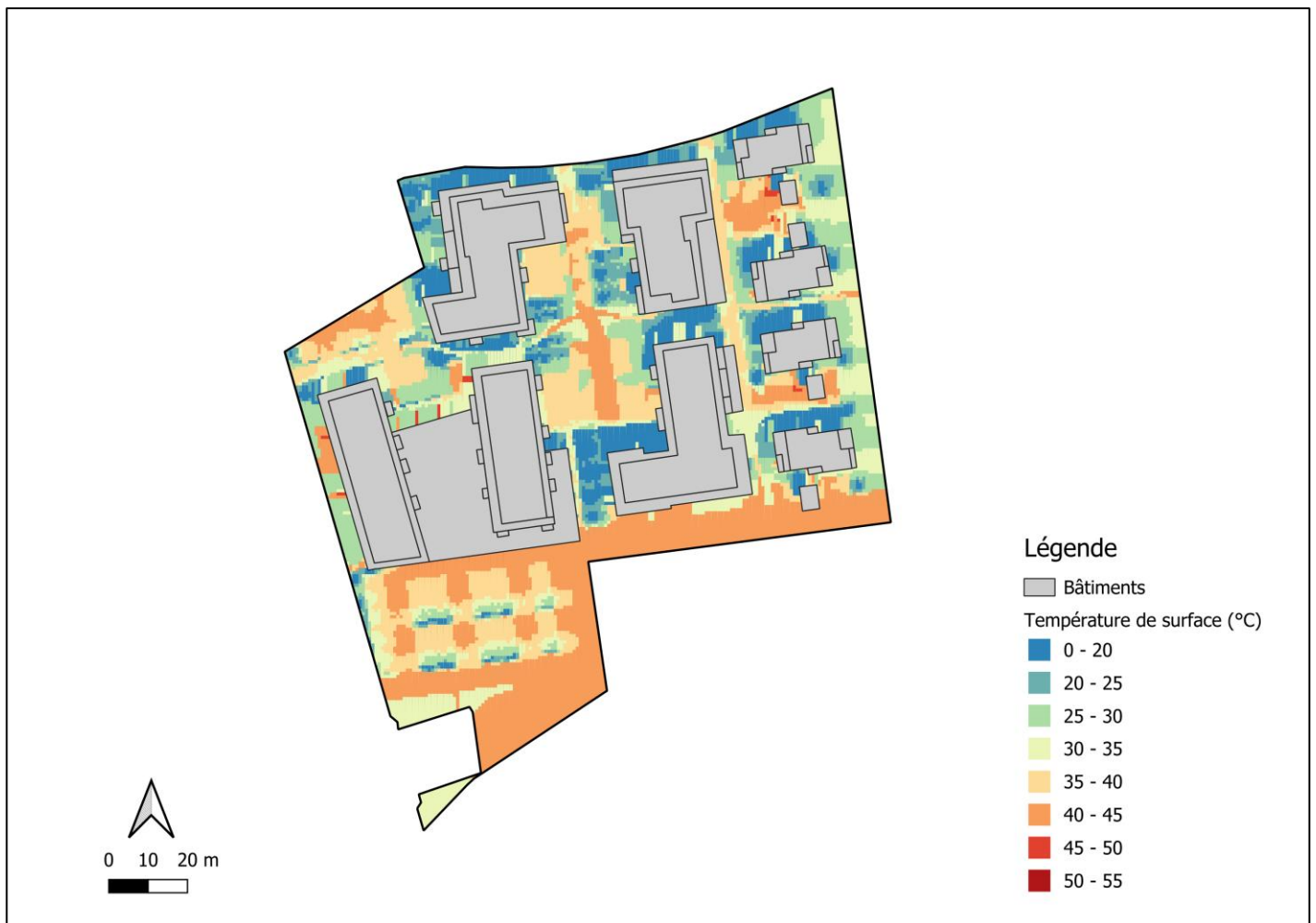


Figure 10 : Cartographies des températures de surface maximales simulées à l'échelle de la journée du 21/07 du fichier météo de Rouen POE10 RCP4.5 2050.

Dans le scénario de base, un revêtement en enrobé bitumineux noir a été retenu, entraînant des températures de surface élevées, comprises entre 45 °C et 50 °C.

Dans la variante, ce matériau est remplacé par un asphalte plus clair intégrant des agrégats pierreux. Cette modification permet une diminution des températures de surface, désormais situées entre 40 °C et 45 °C, ainsi qu'une baisse d'environ 5 °C des températures des surfaces environnantes.

Cette différence s'explique par les propriétés thermiques des matériaux : l'enrobé sombre absorbe fortement le rayonnement solaire, tandis que l'asphalte plus clair le réfléchit davantage.

Ces résultats mettent en évidence l'intérêt des matériaux clairs pour limiter l'échauffement des surfaces et réduire les effets d'îlot de chaleur urbain.

### 4.3. Analyse des résultats (Climat actuel/Climat future)

| Nom                                     | Température de surface moyenne à l'échelle de la parcelle (°C) |         |         | Extrémums localisés de la température de surface maximale modélisée (°C) |         |
|---|--|---------|---------|--|---------|
|   | Moyenne  | Minimum | Maximum | Minimum  | Maximum |
| <b>Etat existant 2020</b>               | 31,4   | 25,1    | 37,3    | 9,6  | 39,6    |
| <b>Projet 2020 (Base)</b>               | 26,5   | 22,0    | 31,0    | 16,2   | 39,6    |
| <b>Projet – Horizon 2050 (Base)</b>     | 28,7   | 21,8    | 36,1    | 14,3   | 48,6    |
| <b>Projet – Horizon 2050 (Variante)</b> | 26,7   | 20,9    | 32,9    | 14,3   | 47,3    |

Tableau 2 : Synthèse des valeurs de température de surface simulées selon les cas d'étude.

Le tableau met en évidence une réduction significative des températures de surface dans le cadre du projet par rapport à l'état existant de 2020. En condition actuelle, la température moyenne atteint 31,4 °C, avec des maxima localisés allant jusqu'à 39,6 °C. La mise en œuvre du projet en 2020 permet de diminuer nettement cette moyenne à 26,5 °C, soit un gain d'environ 5 °C, tout en réduisant également les températures maximales moyennes.

À l'horizon 2050, une hausse des températures est observée en lien avec le changement climatique. Néanmoins, les scénarios de projet restent plus favorables que l'état initial. Le scénario de base atteint une moyenne de 28,7 °C, tandis que la variante améliore encore le confort thermique avec une moyenne de 26,7 °C. Les températures extrêmes augmentent toutefois sensiblement, pouvant atteindre jusqu'à 48,6 °C dans le scénario de base.

Globalement, le projet permet de limiter l'intensité des îlots de chaleur, avec des performances renforcées dans la variante à l'horizon 2050, malgré un contexte climatique plus contraignant.

| Gamme de température (en °C) | Etat initial<br>Climat actuel | Etat Projet<br>Climat actuel | Après projet (Base)<br>Climat 2050 | Après projet (Variante)<br>Climat 2050 |
|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--|
| Sup 40                       | 0%                            | 0%                           | 41%                                | 24%                                    |
| 40-30                        | 86%                           | 50%                          | 18%                                | 34%                                    |
| 30-20                        | 13%                           | 31%                          | 24%                                | 24%                                    |
| Inf 20                       | 1%                            | 19%                          | 17%                                | 18%                                    |

Tableau 3 : Répartition des surfaces non bâties selon la température de surface maximale simulée en fonction des cas d'étude.

Le tableau montre une évolution nette de la répartition des températures de surface selon les scénarios. À l'état initial en climat actuel, les températures élevées dominent largement, avec 86 % des surfaces comprises entre 30 et 40 °C et aucune zone dépassant 40 °C.

Le projet en climat actuel améliore significativement la situation, avec une réduction des fortes températures (50 % dans la tranche 30–40 °C) et une augmentation des surfaces plus fraîches, notamment celles inférieures à 30 °C.

À l'horizon 2050, les conditions climatiques entraînent une augmentation marquée des fortes températures dans le scénario de base, avec 41 % des surfaces dépassant 40 °C.

La variante du projet (remplacement de l'enrobé bitumineux noir par un asphalte gris clair avec agrégats pierreux) permet toutefois d'atténuer cet effet, en réduisant la part des zones très chaudes à 24 % et en augmentant la proportion de surfaces dans les classes intermédiaires et fraîches.

Globalement, le projet contribue à limiter la surchauffe des surfaces, avec une efficacité particulièrement visible dans le scénario variante à l'horizon 2050.

## 5. Conclusion

À l'état actuel, le site présente des surfaces fortement minéralisées et imperméabilisées. Les rares espaces végétalisés présents sont, de plus, non arborés et mal entretenus, ce qui limite fortement leur capacité à apporter de la fraîcheur.

Dans ce contexte, le **projet (Base)** permet de réduire la surchauffe du sol grâce à :

- **La plantation d'arbres** qui participe également à créer des espaces ombragés ;
- La création d'îlots de fraîcheur au sein du site, notamment grâce à **la création d'espaces verts et de zones humides localisées au cœur des îlots** ;
- **L'ombrage** induit par les nouveaux bâtiments.

**La variante** permet également de réduire la surchauffe des sols, y compris à l'horizon 2050, grâce à :

- L'utilisation d'un revêtement alternatif réfléchissant, un **asphalte gris clair à base d'agrégats pierreux**, en remplacement de **l'enrobé bitumineux noir**.

Pour rappel et comme évoqué dans la partie méthodologie, les simulations ne permettent pas de prendre en compte l'influence de l'augmentation de la densité des bâtiments sur le microclimat notamment sur :

- La circulation du vent ;
- Le piégeage radiatif et les inter-réflexions entre les façades des bâtiments ;
- Les activités anthropiques dégageant de la chaleur comme les véhicules ou la climatisation ne sont pas non plus prises en compte.

La prise en compte de ses flux de chaleur, aurait pour impact, la confirmation des zones déjà identifiées puisque la chaleur anthropique concerne particulièrement la voie de circulation en bordure Ouest du projet et que les phénomènes d'inter réflexions sont particulièrement présents au niveau des cœurs d'îlots, entre les bâtiments avec une criticité marquée pour les abords des bâtiments moins arborés.