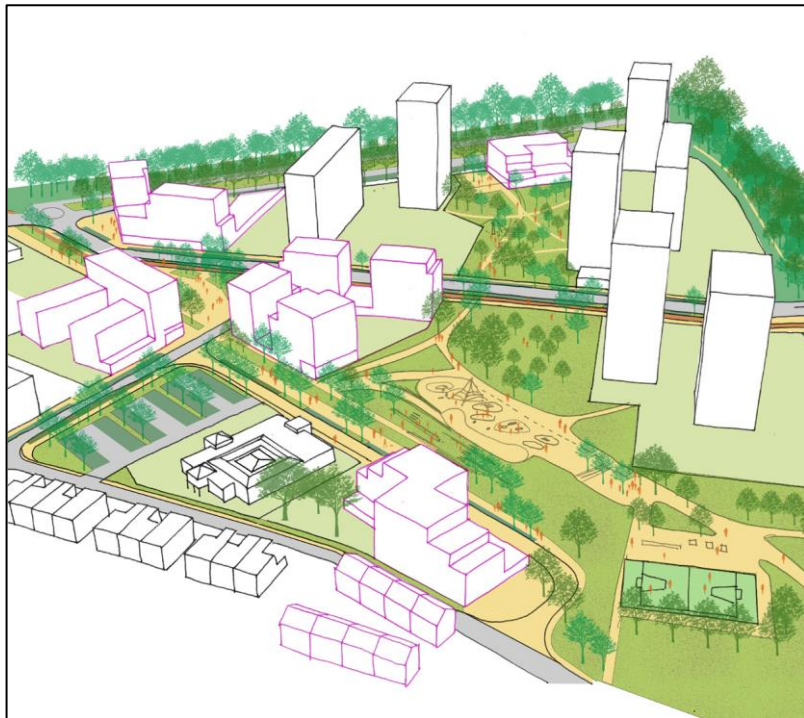


SUEZ Consulting

Saint-Quentin-en-Yvelines - Projet de Renouvellement Urbain - Quartier du Bois de l'Etang à La Verrière (78)

Etude de confort thermique, aéraulique et ensoleillement - Etat Projet



Références : Rapport n°24.088

Version : V1 – décembre 2024

SUEZ Aria Technologies

Siège social - Parc de L'Île - 15/27 Rue du Port – 92000 Nanterre Cedex – France - Courriel : info@aria.fr - <http://www.aria.fr>

S.A.S. au capital de 4 779 981 euros - SIRET 379 180 474 00064 – RCS Nanterre B 379 180 474 - Code APE 6201Z – TVA FR27 379 180 474

Références du projet :

Titre	Saint-Quentin-en-Yvelines - Projet de Renouvellement Urbain - Quartier du Bois de l'Etang à La Verrière (78) – Etude de confort thermique, aéraulique et ensoleillement – Etat Projet
N° rapport	24.088
N° projet	L-001909
Sous-traitant	-

Intervenants :

Rédacteur(s)	Sirine HAMDANA – Chef de projet Diagnostics urbains
Relecteur	Claire DUPUIS - Chef de Projet – Responsable de pôle Diagnostics industriels
Référent	Lydia RICOLLEAU - Chef de Projet – Responsable de pôle Diagnostics urbains

Révisions du document :

Version	Date	Modifications
1	04/12/2024	Version initiale

SOMMAIRE

1	CADRE DE L'ETUDE.....	7
2	PRESENTATION DU PROJET	8
3	DONNEES D'ENTREE.....	10
3.1	Météorologie	10
3.1.1	Données météorologiques	10
3.1.2	Rose des vents	11
3.1.3	Température.....	15
3.2	Domaine d'étude	16
3.3	Topographie	17
3.4	Bâtiments	18
3.5	Occupation des sols	20
3.6	Végétation.....	22
4	ETUDE DU CONFORT THERMIQUE ET DE L'ENSOLEILLEMENT.....	24
4.1	Méthodologie	24
4.1.1	Définition d'un îlot de Chaleur Urbain	24
4.1.2	Présentation du logiciel ENVI-met.....	25
4.1.3	Présentation de la méthodologie appliquée	26
4.1.4	Conditions météorologiques retenues.....	27
4.1.5	Grille de calcul avec ENVI-met.....	27
4.1.6	Maquette du domaine de simulation.....	27
4.2	Résultats des simulations	30
4.2.1	Résultats de confort thermique	30
4.2.2	Résultats d'ensoleillement	55
5	ETUDE DU CONFORT AU VENT	63
5.1	Méthodologie	63
5.1.1	Principaux effets aérauliques en milieu urbain	63
5.1.2	Critère de confort au vent	64
5.1.3	Présentation du modèle micro Swift.....	65
5.1.4	Présentation de la méthodologie appliquée	66
5.1.5	Grille de calcul avec micro SWIFT	67
5.2	Résultats de confort au vent.....	67
5.2.1	Vitesse moyenne du vent	67
5.2.2	Fréquence d'inconfort au vent	70
6	SOLUTION D'ATTENUATION DE L'EFFET D'ICU	76
7	CONCLUSION	78
	ANNEXES	81
	ANNEXE 1 : PRESENTATION DU MODELE ENVI-MET.....	82
	ANNEXE 2 : PRESENTATION DU MODELE MICRO SWIFT	85

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLEAUX

Tableau 1 : fréquence d'apparition de chaque classe de vitesse de vent - Station Météo-France de Trappes – Période du 01/01/2019 au 31/12/2023	11
Tableau 2 : roses des vents par mois	14
Tableau 3 : principaux effets des ICU	24
Tableau 4 : conditions météorologiques simulées pour le confort thermique	27
Tableau 5 : correspondance entre la PET et la perception thermique d'un individu « moyen » (Source : Cerema).....	40
Tableau 6 : principaux effets aérauliques en zone urbaine (Source : Biao Wang, 2015).....	63
Tableau 7 : fréquences de gêne maximales pour différentes catégories d'activités (source : CSTB)....	64
Tableau 8 : solutions d'atténuation de l'effet d'îlot de Chaleur Urbain.....	76

FIGURES

Figure 1 : localisation du projet.....	8
Figure 2 : plan de masse du projet (Source : « Définition du masterplan », La Fabrique urbaine, 30/09/2024)	9
Figure 3 : rose des vents générale sur la période du 01/01/2019 au 31/12/2023 – Station Météo-France de Trappes.....	11
Figure 4 : roses des vents par année	12
Figure 5 : variation de la température sur l'année (période du 01/01/2019 au 31/12/2023)	15
Figure 6 : domaine d'étude	16
Figure 7 : topographie du domaine d'étude (source : IGN RGE ALTI® 1 m).....	17
Figure 8 : bâtiments du domaine d'étude et leur hauteur – situation initiale.....	18
Figure 9 : bâtiments du domaine d'étude et leur hauteur - situation avec projet	19
Figure 10 : occupation des sols du domaine de simulation - situation initiale	20
Figure 11 : occupation des sols du domaine de simulation - situation avec projet.....	21
Figure 12 : végétation du domaine de simulation - situation initiale	22
Figure 13 : végétation du domaine de simulation - situation avec projet	23
Figure 14 : schéma des sous-modèles d'ENVI-met (Source : https://www.envimet.com/en/)	25
Figure 15 : méthodologie de l'étude	26
Figure 16 : maillage du domaine de simulation et maquette 2D – situation initiale.....	28
Figure 17 : maillage du domaine de simulation et maquette 2D – situation avec projet.....	28
Figure 18 : maquette 3D vue depuis le sud (en haut) et vue depuis l'ouest (en bas) – situation initiale	29
Figure 19 : maquette 3D vue depuis le sud (en haut) et vue depuis l'ouest (en bas) – situation avec projet.....	29
Figure 20 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation initiale – Cas été classique à 15h.....	32
Figure 21 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation avec projet – Cas été classique à 15h	32
Figure 22 : écart de température de l'air entre la situation avec projet et la situation initiale – Cas été classique à 15h	33
Figure 23 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation initiale – Cas été classique à 22h.....	34
Figure 24 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation avec projet – Cas été classique à 22h.....	34
Figure 25 : écart de température de l'air entre la situation avec projet et la situation initiale - Cas été classique à 22h	35
Figure 26 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation initiale – Cas été chaud à 15h.....	36
Figure 27 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation avec projet – Cas été chaud à 15h	36
Figure 28 : écart de température de l'air entre la situation avec projet et la situation initiale - Cas été chaud à 15h.....	37
Figure 29 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation initiale – Cas été chaud à 22h.....	38

Figure 30 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation avec projet – Cas été chaud à 22h	38
Figure 31 : écart de température de l'air entre la situation avec projet et la situation initiale - Cas été chaud à 22h.....	39
Figure 32 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été classique à 15h	42
Figure 33 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été classique à 15h.....	42
Figure 34 : écart de PET entre la situation avec projet et la situation initiale - Cas été classique à 15h	43
Figure 35 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été classique à 22h.....	44
Figure 36 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été classique à 22h.....	44
Figure 37 : écart de PET entre la situation avec projet et la situation initiale - Cas été classique à 22h	45
Figure 38 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été chaud à 15h.....	46
Figure 39 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été chaud à 15h.....	46
Figure 40 : écart de PET entre la situation avec projet et la situation initiale - Cas été chaud à 15h....	47
Figure 41 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été chaud à 22h.....	48
Figure 42 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été chaud à 22h.....	48
Figure 43 : écart de PET entre la situation avec projet et la situation initiale - Cas été chaud à 22h....	49
Figure 44 : échelle PMV (Source : https://www.simscale.com).....	50
Figure 45 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été classique à 15h.	51
Figure 46 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été classique à 15h	51
Figure 47 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été classique à 22h.	52
Figure 48 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été classique à 22h	52
Figure 49 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été chaud à 15h.....	53
Figure 50 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été chaud à 15h	53
Figure 51 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été chaud à 22h.....	54
Figure 52 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été chaud à 22h	54
Figure 53 : ensoleillement dans les espaces extérieurs en situation initiale le 21 mars	56
Figure 54 : ensoleillement dans les espaces extérieurs en situation avec projet le 21 mars	56
Figure 55 : ensoleillement dans les espaces extérieurs en situation initiale le 21 juin	57
Figure 56 : ensoleillement dans les espaces extérieurs en situation avec projet le 21 juin	57
Figure 57 : ensoleillement dans les espaces extérieurs en situation initiale le 21 décembre	58
Figure 58 : ensoleillement dans les espaces extérieurs en situation avec projet le 21 décembre	58
Figure 59 : ensoleillement des façades en situation initiale le 21 mars	60
Figure 60 : ensoleillement des façades en situation avec projet le 21 mars	60
Figure 61 : ensoleillement des façades en situation initiale le 21 juin	61
Figure 62 : ensoleillement des façades en situation avec projet le 21 juin	61
Figure 63 : ensoleillement des façades en situation initiale le 21 décembre	62
Figure 64 : ensoleillement des façades en situation avec projet le 21 décembre	62
Figure 65 : définition des zones d'écoulement autour d'un obstacle isolé avec micro SWIFT.....	65
Figure 66 : méthodologie de l'étude	66

Figure 67 : vitesse du vent en moyenne sur l'année - situation initiale.....	68
Figure 68 : vitesse du vent en moyenne sur l'année - situation avec projet	68
Figure 69 : vitesse moyenne du vent en situation initiale - Zoom 3D autour du bâtiment F	69
Figure 70 : vitesse moyenne du vent en situation avec projet - Zoom 3D autour du bâtiment F	69
Figure 71 : fréquence d'inconfort au vent - situation initiale	72
Figure 72 : fréquence d'inconfort au vent - situation avec projet	72
Figure 73 : fréquence d'inconfort au vent en situation initiale – Zoom 3D sur le bâtiment F.....	73
<i>Figure 74 : fréquence d'inconfort au vent en situation avec projet – Zoom 3D sur le bâtiment F</i>	<i>73</i>
Figure 75 : lignes de courant pour un vent venant du sud-ouest – situation initiale	74
Figure 76 : lignes de courant pour un vent venant du sud-ouest – situation avec projet	74
<i>Figure 77 : lignes de courant pour un vent venant du nord-est – situation initiale</i>	<i>75</i>
<i>Figure 78 : lignes de courant pour un vent venant du nord-est – situation avec projet</i>	<i>75</i>
Figure 79 : structure du modèle ENVI-met	84
Figure 80 : définition des zones spécifiques autour d'un obstacle isolé.....	86
Figure 81 : exemple de champ de vent après ajustement pour un obstacle isolé	87
Figure 82 : définition des zones spécifiques pour un ensemble d'obstacles	87

1 CADRE DE L'ETUDE

Dans le cadre de l'étude d'impact du projet de Renouveau Urban du quartier du Bois de l'Etang à La Verrière (78), SUEZ Consulting a confié à SUEZ Aria Technologies la réalisation de l'étude de confort thermique, aéraulique et ensoleillement.

Cette étude se déroule en deux temps :

1. L'état initial pour présenter la situation avant la mise en place du projet ;
2. L'impact du projet.

Le présent rapport concerne la présentation de l'état initial et de l'impact du projet.

Le présent rapport a été établi sur la base des informations transmises à SUEZ Aria Technologies, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives de la réglementation en vigueur au moment de la réalisation du dossier (version 1).

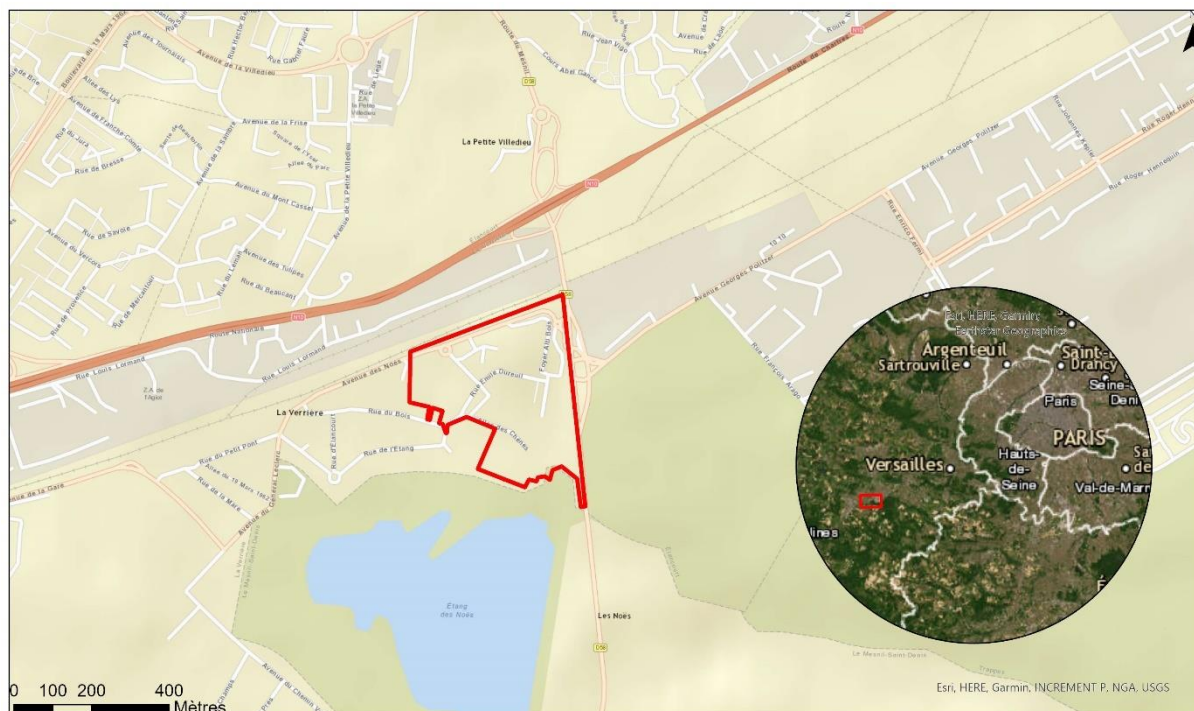
La responsabilité de SUEZ Aria Technologies ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été fournies sont incomplètes ou erronées.

2 PRESENTATION DU PROJET

Le projet de Renouvellement Urbain du quartier du Bois de l'Etang se situe sur la commune de La Verrière (78). Le projet est bordé au nord par la voie ferrée et la Route Nationale 10 (Figure 1). La Route Départementale 58 marque la frontière est du projet, au-delà de laquelle se trouve un parc d'activité (Trappes-Elancourt). Un espace naturel boisé dense se situe au sud du projet. Enfin, un quartier pavillonnaire s'étend à l'ouest du projet.

Le projet lui-même comprend un quartier d'habitat collectif au nord-est, des terrains de sport extérieurs au sud-est ainsi que deux écoles à l'ouest.

Figure 1 : localisation du projet



Légende

 Périmètre du projet



Le plan de masse du projet est présenté en Figure 2. Des destructions et constructions de nouveaux bâtiments intégrant des logements sont prévus dans le périmètre du projet.

3 DONNEES D'ENTREE

Dans le cadre de la réalisation d'une étude de confort thermique, aéraulique et ensoleillement, il est essentiel de collecter un certain nombre de données d'entrée, notamment :

- Les **conditions météorologiques** de la zone d'étude, telles que la température, la vitesse et la direction du vent ;
- La **topographie**, qui peut, si elle est marquée, avoir un impact significatif sur la circulation des masses d'air ;
- Les **bâtiments** : avec la prise en compte de leur hauteur, ils peuvent d'une part gêner la circulation de l'air, et d'autre part ombrager leurs abords à certaines heures de la journée ;
- L'**occupation des sols**, qui va permettre de déterminer la capacité du sol à emmagasiner et restituer la chaleur ;
- La **végétation**, qui a un effet important sur le confort thermique.

3.1 METEOROLOGIE

En termes de météorologie, les paramètres les plus importants pour les problèmes liés au climat sont : la direction du vent, la vitesse du vent, la température extérieure, la pluviométrie et la stabilité de l'atmosphère.

Ces paramètres sont variables dans le temps et dans l'espace. Ils résultent de la superposition de phénomènes atmosphériques à grande échelle (régime cyclonique ou anticyclonique) et de phénomènes locaux (influence de la rugosité, de l'occupation des sols et de la topographie). C'est pourquoi il est nécessaire de rechercher des chroniques météorologiques suffisamment longues et complètes, et représentatives de la climatologie du site.

3.1.1 Données météorologiques

Plusieurs paramètres rentrent en ligne de compte pour le choix de la station météorologique la plus représentative de la zone d'étude :

- 1. sa position géographique** : la station retenue doit être la plus proche possible de la zone d'étude et il ne doit pas exister d'obstacle majeur entre la station et la zone d'étude.
- 2. la cadence d'acquisition des données météorologiques** : Météo-France possède des stations où les relevés sont faits toutes les heures et d'autres tous les jours. Pour notre étude, nous avons besoin de données météorologiques suffisamment fines au niveau horaire pour avoir une bonne représentativité de la météorologie locale et pour prendre en compte les phénomènes météorologiques diurnes. Il est recommandé d'utiliser des bases de données météorologiques comportant des données concernant le vent, la température et la nébulosité toutes les 3 heures pendant plusieurs années. Les stations « journalières » sont donc éliminées.
- 3. la pertinence des données météorologiques.**

Les données météorologiques retenues dans cette étude proviennent des observations Météo-France de la station de **Trappes**, située à environ 3 km au nord-est du projet. L'analyse des données mesurées sur la période du 01/01/2019 au 31/12/2023 (cinq années) permet de choisir les conditions météorologiques des simulations.

Toutes les analyses réalisées dans cette partie (roses des vents et température) sont effectuées à partir de la base de données météorologiques horaires (une mesure toutes les heures), ce qui représente au total 43 824 échéances météorologiques analysées.

3.1.2 Rose des vents

3.1.2.1 Rose des vents générale

La rose des vents, en un lieu donné, est la représentation graphique des fréquences des vents classées par direction et vitesse. Les intersections de la courbe avec les cercles d'une fréquence donnée fournissent les fréquences d'apparition des vents en fonction de la direction d'où vient le vent.

La Figure 3 présente la rose des vents générale pour la station de Trappes calculée à partir des données horaires sur la période du 01/01/2019 au 31/12/2023.

Figure 3 : rose des vents générale sur la période du 01/01/2019 au 31/12/2023 – Station Météo-France de Trappes

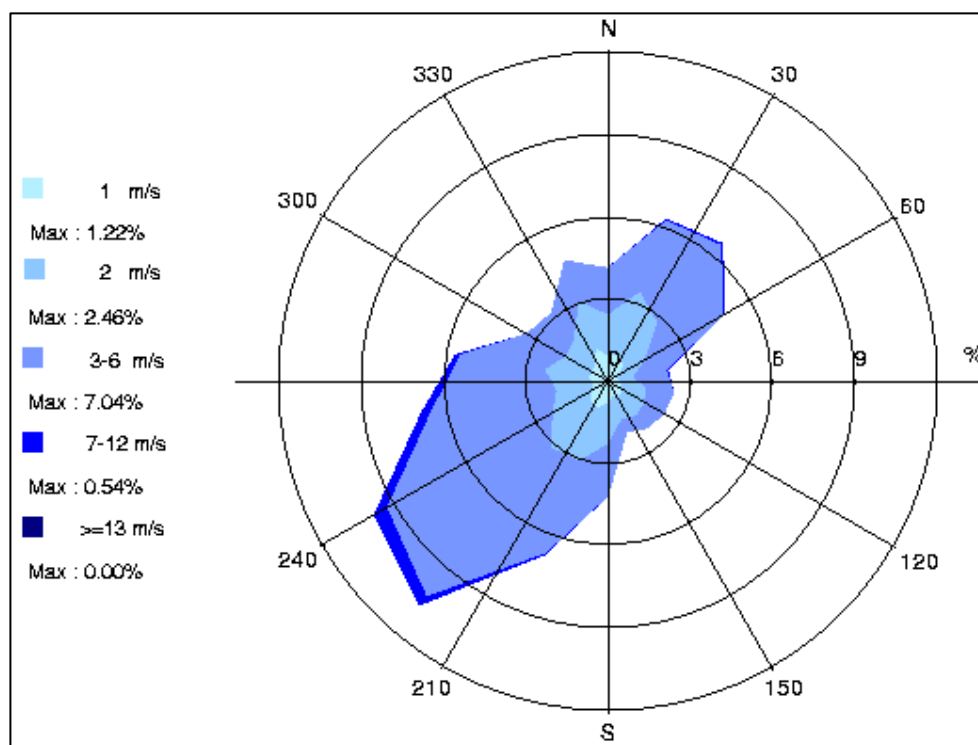


Tableau 1 : fréquence d'apparition de chaque classe de vitesse de vent - Station Météo-France de Trappes – Période du 01/01/2019 au 31/12/2023

Classe de vitesse (m/s)	calmes ¹	1	2	3 - 6	7 - 12	≥ 13
Borne de l'intervalle (m/s)	[0 ; 0,9[[0,9 ; 1,5[[1,5 ; 2,5[[2,5 ; 6,5[[6,5 ; 12,5[[12,5 ; ∞[
Fréquence	11,8 %	12,8 %	25,8 %	47,7 %	1,9 %	0,0 %

Sur la période du 01/01/2019 au 31/12/2023, les principaux résultats de cette analyse sont les suivants :

- la rose des vents montre deux directions privilégiées :

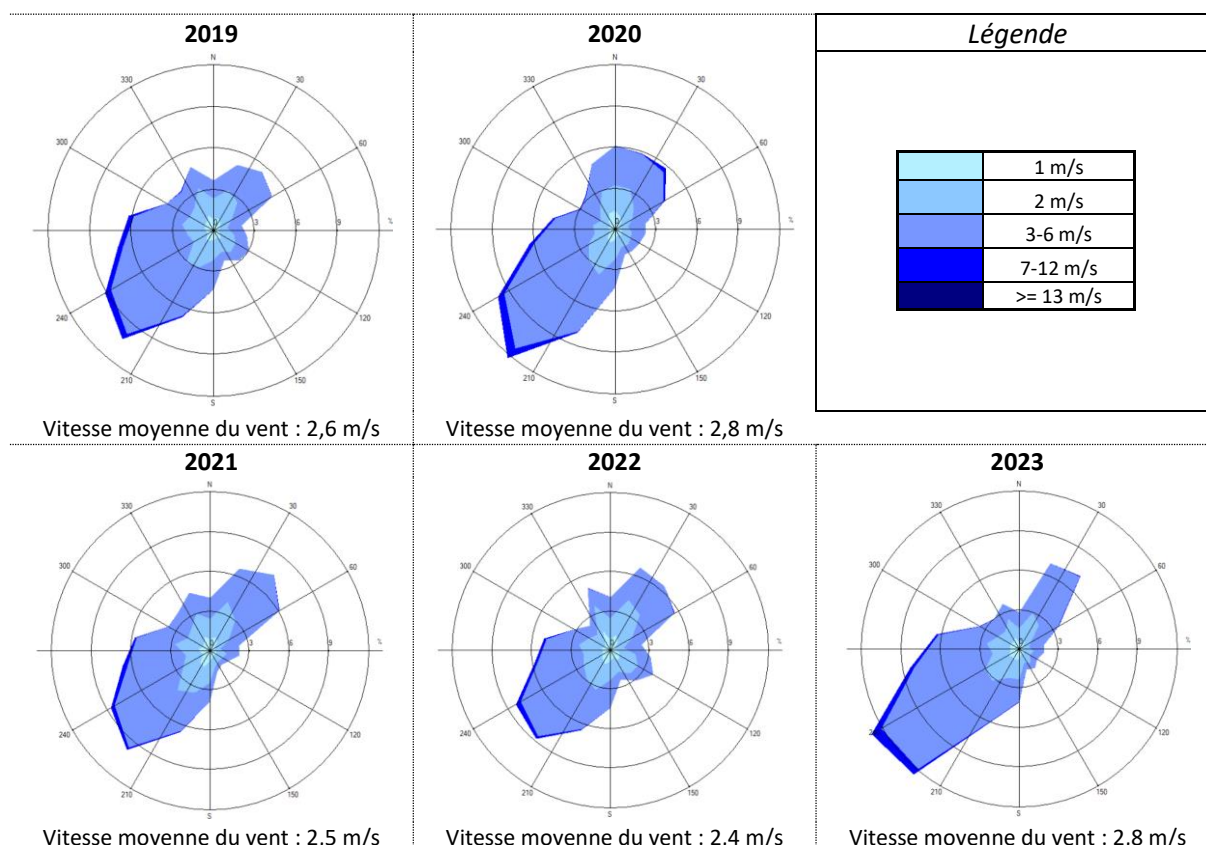
¹ Les vents calmes sont des vents de vitesse nulle ou inférieure à 0,9 m/s, sans direction associée. Ils ne sont donc pas représentés sur la rose des vents.

- une direction dominante : vents de secteur **sud-ouest** (35,4 % des occurrences du vent mesuré ont une direction comprise entre 200° et 260°²),
 - une direction secondaire : vents de secteur **nord-est** (23,1 % des occurrences du vent mesuré ont une direction comprise entre 360° et 60°).
- sur l'ensemble des directions, les vents ont une vitesse moyenne de 2,6 m/s (7,2 km/h) ;
 - les vents les plus fréquents sont les vents de vitesse comprise entre 3 m/s et 6 m/s soit respectivement 10,8 km/h et 21,6 km/h ;
 - les vents faibles (de vitesse inférieure ou égale à 2 m/s) sont très fréquents, ils représentent 50,4 % des observations dont 11,8 % de vents calmes (vents inférieurs à 0,9 m/s) qui sont les plus pénalisants pour la dispersion des polluants ;
 - les vents forts (de vitesse supérieure à 7 m/s) sont très peu fréquents et représentent 1,9 % des observations.

3.1.2.2 Roses des vents par an

Les roses des vents pour chaque année sont présentées sur la *Figure 4*.

Figure 4 : roses des vents par année



L'année 2019 est l'année pour laquelle la rose des vents est la plus semblable à celle obtenue sur la période 2019 - 2023 (cf *Figure 3*). De plus, la moyenne de la vitesse de vent pour l'année 2019 est la même que la vitesse moyenne calculée sur les cinq années (à savoir 2,6 m/s). **Nous retiendrons donc l'année 2019 pour les simulations de l'écoulement du vent.**

² Les directions du vent sont données en degrés par rapport au Nord et indiquent la direction d'où vient le vent (convention météorologique internationale). Un vent de 0° est donc un vent venant du Nord, un vent de 180° est un vent venant du Sud.

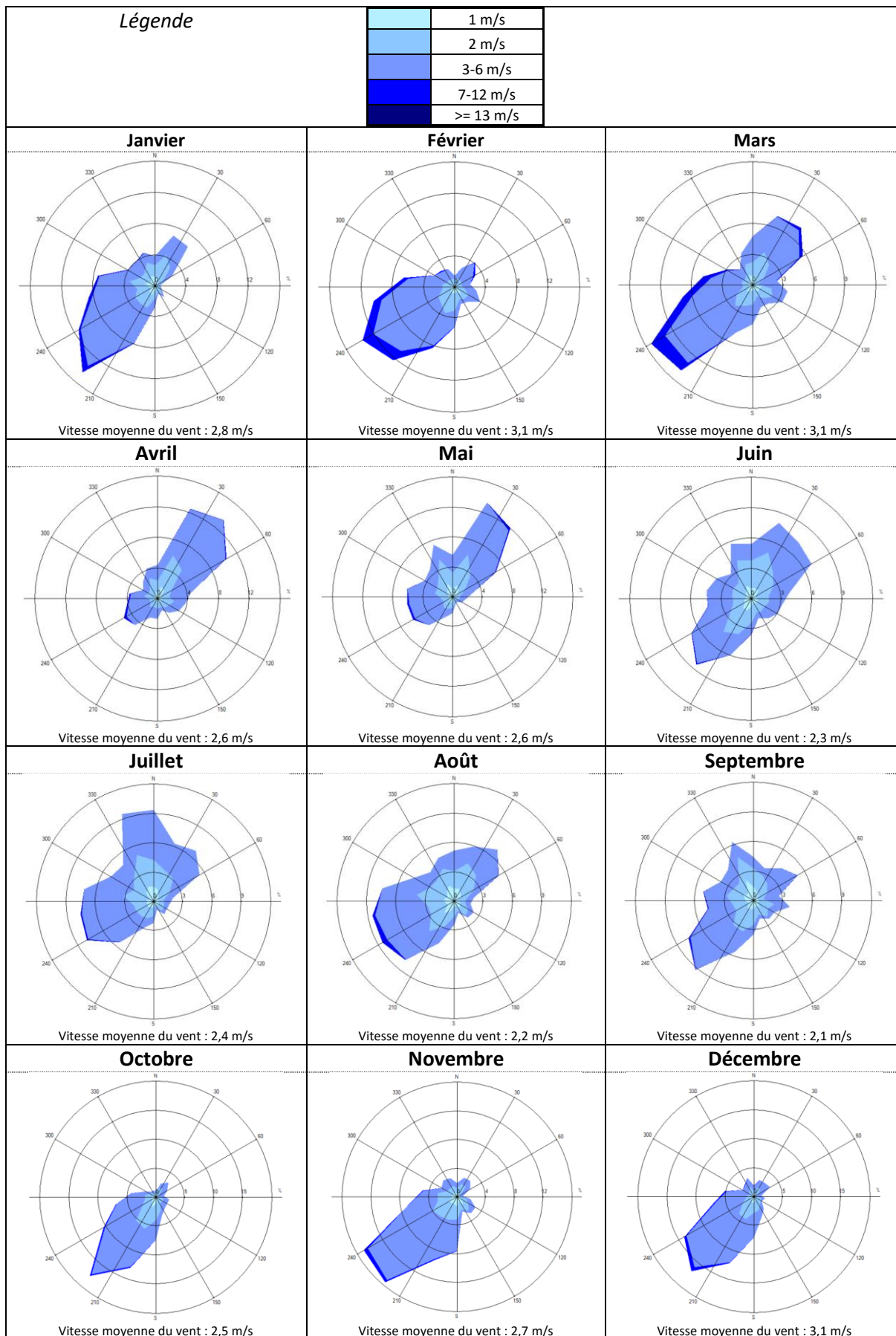
3.1.2.3 Roses des vents par mois

Les roses des vents par mois sont présentées dans le Tableau 2 pour la station de **Trappes**. Elles permettent de connaître le cycle mensuel des vents sur la période du 01/01/2019 au 31/12/2023.

Les vents forts (supérieurs à 7 m/s), en bleu foncé sur les roses des vents, sont plus fréquents lors des mois d'hiver (de janvier à mars). Les vents faibles (inférieurs à 2 m/s), en bleus clairs sur les roses des vents, sont plus fréquents lors des mois d'été (de juin à septembre).

Les directions dominantes des vents observées sur la rose des vents générale se retrouvent sur les roses mensuelles. Cependant, la direction principale sud-ouest apparait de façon prédominante sur la période automnale (d'octobre à décembre) et hivernale (de janvier à mars). Elle est moins présente sur la rose des mois d'été (de juin à juillet). Pour les mois d'avril et mai, les vents proviennent majoritairement du secteur nord-est, la direction sud-ouest est très peu représentée.

Tableau 2 : roses des vents par mois

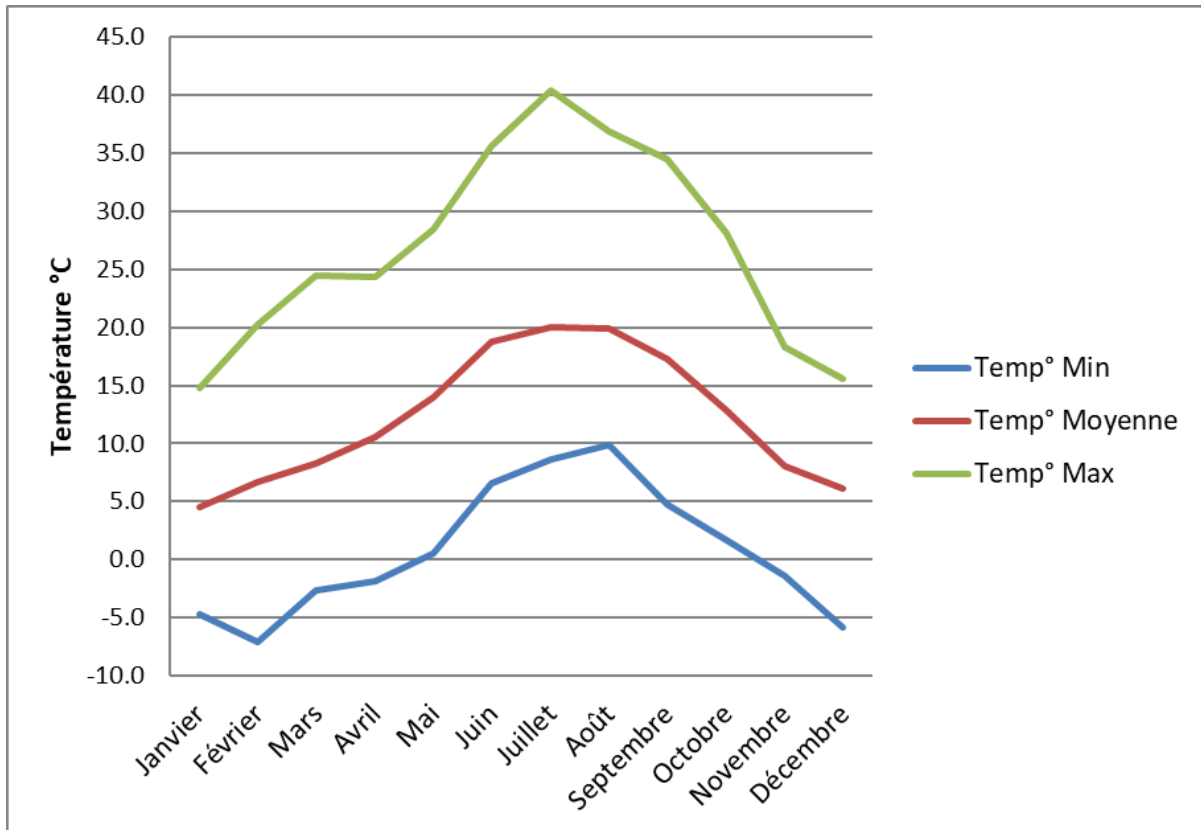


3.1.3 Température

La température de l'air, autre paramètre intervenant dans le confort, est en moyenne de 12,3°C sur les cinq années étudiées.

La Figure 5 présente les variations mensuelles de la température minimale, moyenne et maximale sur ces cinq années.

Figure 5 : variation de la température sur l'année (période du 01/01/2019 au 31/12/2023)



Sur la période étudiée, la plus faible température est de -7,1°C, atteinte le 11 février 2021. La température la plus élevée est de 40,4°C, atteinte le 25 juillet 2019.

La moyenne des températures sur les mois de juin, juillet et août sur cette période est de 19,6°C.

3.2 DOMAINE D'ÉTUDE

Le domaine d'étude a été choisi de sorte à contenir la totalité des bâtiments à l'intérieur du projet et en bordure de la zone du projet. La distance entre les bâtiments et la bordure du domaine doit être d'environ 50 mètres pour que ces derniers soient correctement modélisés par le logiciel. La Figure 6 présente le domaine d'étude ainsi que le domaine retenu pour les simulations.

La résolution du domaine de calcul a été choisie pour avoir une précision suffisante pour l'étude tout en conservant des temps de calcul raisonnables. Le domaine d'étude est composé de 189 x 219 x 20 mailles avec une résolution horizontale de 3 m, soit un domaine de 565 x 658 m. La résolution verticale est quant à elle de 13 m avec un premier niveau (niveau d'étude) à 1,3 m.

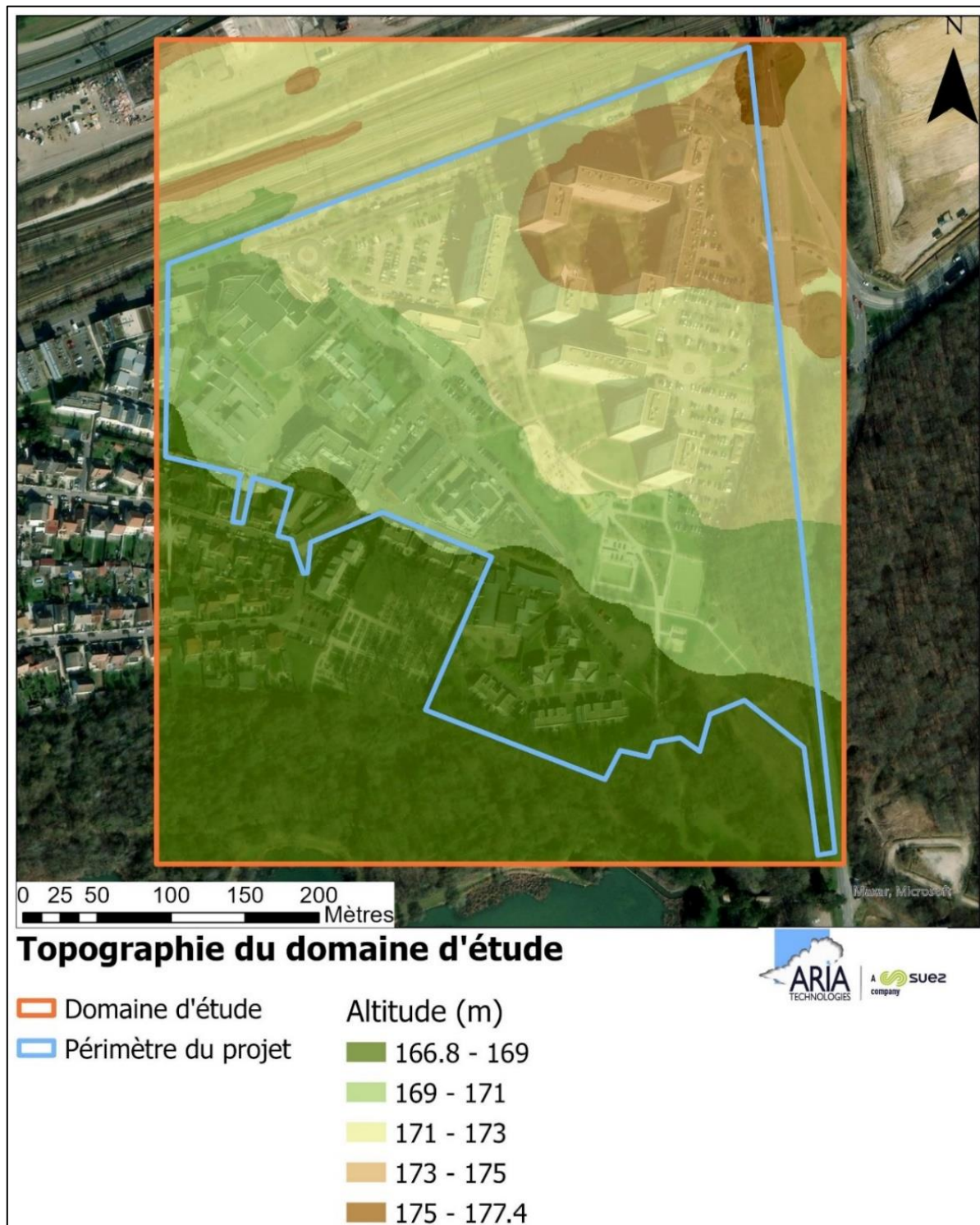
Figure 6 : domaine d'étude



3.3 TOPOGRAPHIE

La topographie est issue d'un Modèle Numérique de Terrain au pas de 1 mètre (RGE ALTI® de l'IGN). La Figure 7 présente une vue 2D de la topographie sur le domaine d'étude. L'unité est le mètre NGF (Nivellement Général de la France). L'altitude du sol varie entre 166 et 177 mètres sur le domaine d'étude.

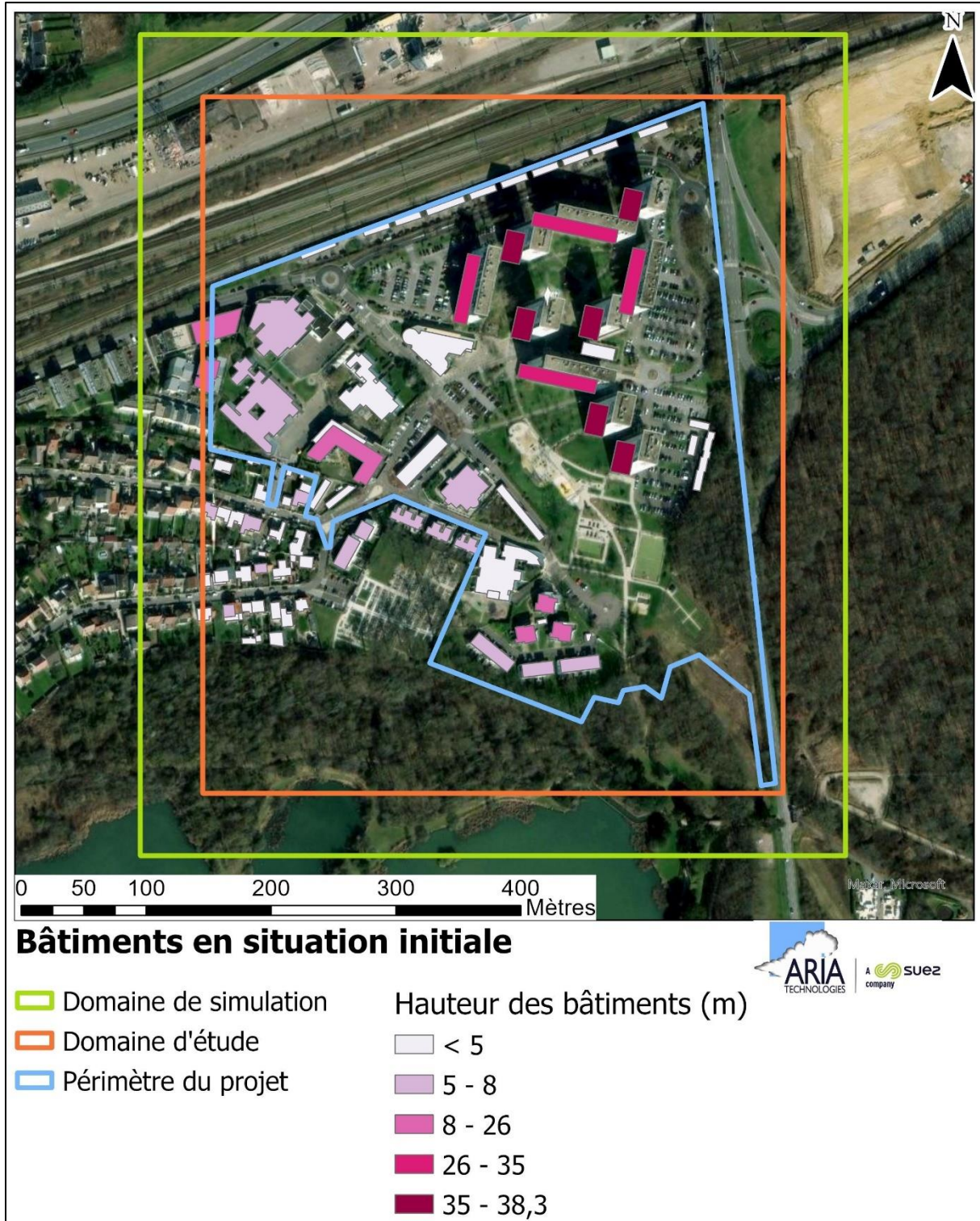
Figure 7 : topographie du domaine d'étude (source : IGN RGE ALTI® 1 m)



3.4 BATIMENTS

Les informations concernant les bâtiments existants sont issues de la BD TOPO® de l'IGN³. La Figure 8 présente les bâtiments pris en compte sur le domaine d'étude en situation initiale, symbolisés en fonction de leur hauteur.

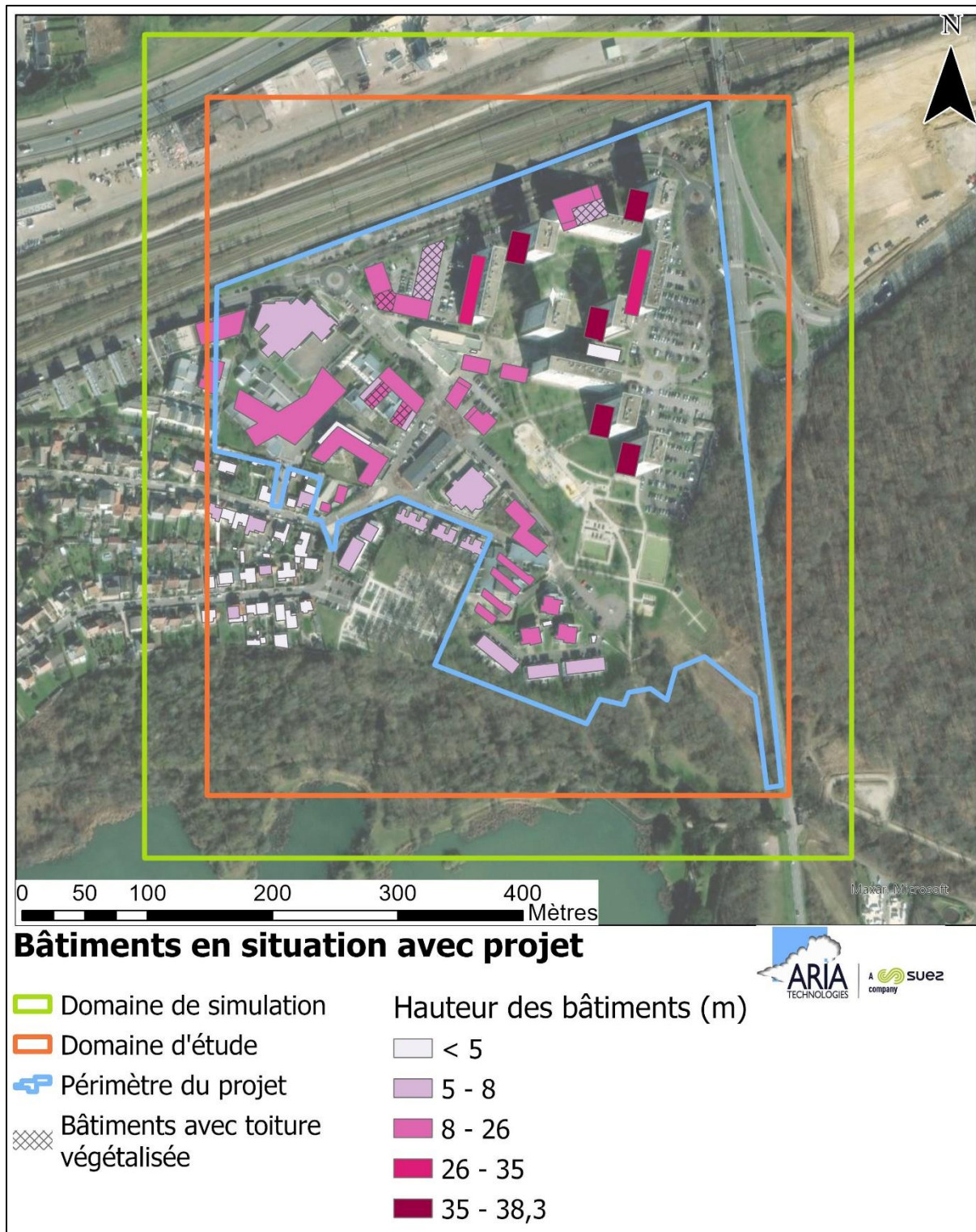
Figure 8 : bâtiments du domaine d'étude et leur hauteur – situation initiale



³ Données du 15/06/2024 mises en ligne le 21/09/2024

La Figure 9 présente les bâtiments et leur hauteur en situation avec projet. Les différences avec la Figure 8 ont été établies à partir du Masterplan de La Fabrique urbaine (30/09/2024), du Cahier des prescriptions (22/10/2024) et des Faisabilités architecturales (01/2024).

Figure 9 : bâtiments du domaine d'étude et leur hauteur - situation avec projet



3.5 OCCUPATION DES SOLS

La Figure 10 présente l'occupation des sols en situation initiale. Elle a été déterminée à partir de la BD TOPO® de l'IGN et de l'inventaire CORINE Land Cover 2018⁴. En l'absence de données précises sur les revêtements des sols, il a été fait l'hypothèse que les routes sont en asphalte, les espaces verts sont constitués d'un sol perméable et le reste du tissu urbain est recouvert de béton gris (hypothèse majorante).

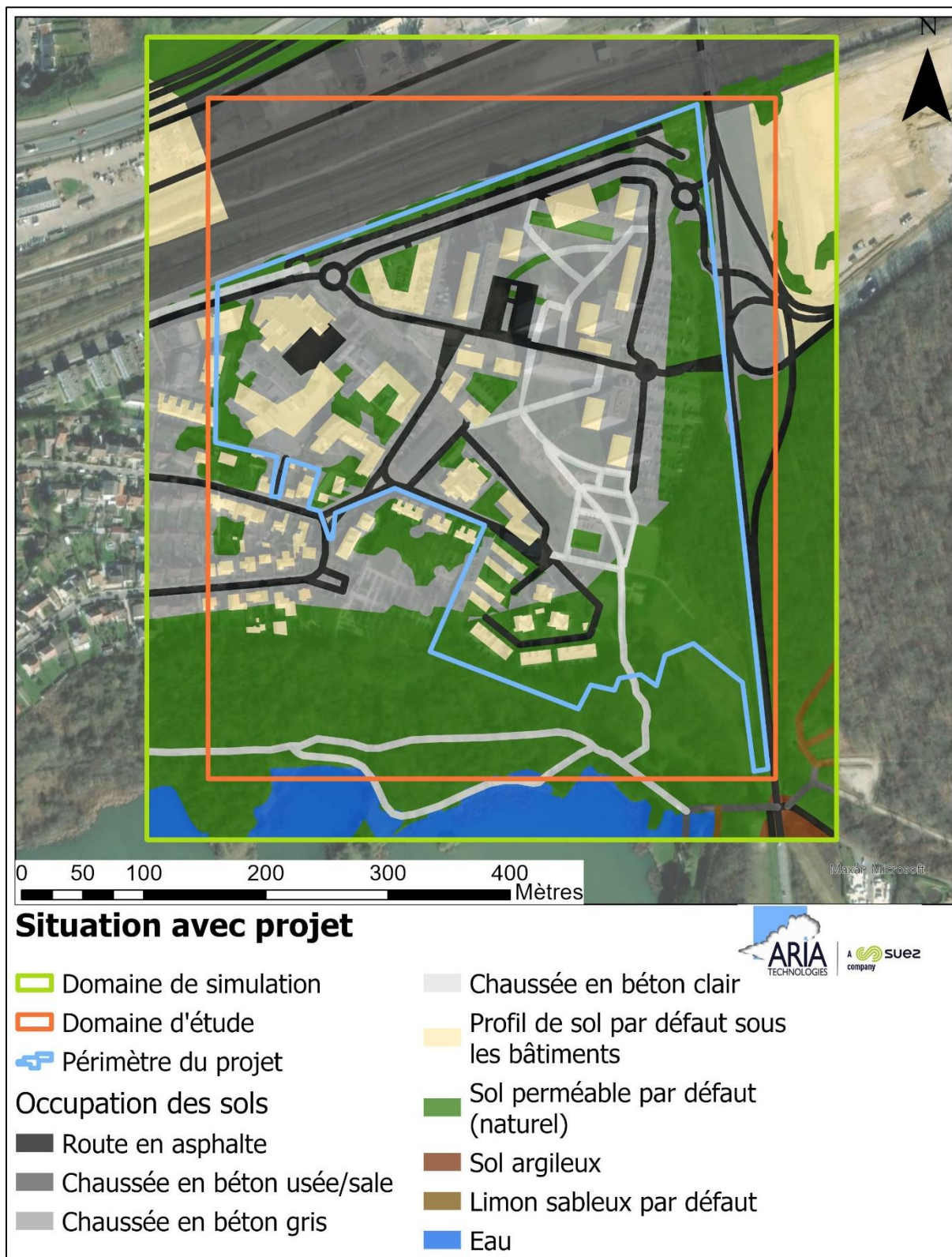
Figure 10 : occupation des sols du domaine de simulation - situation initiale



⁴ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/corine-land-cover-0>

La Figure 11 présente l'occupation des sols en situation avec projet. Comme pour les bâtiments, les différences avec la Figure 10 ont été établies à partir du Masterplan de La Fabrique urbaine (30/09/2024), du Cahier des prescriptions (22/10/2024) et des Faisabilités architecturales (01/2024).

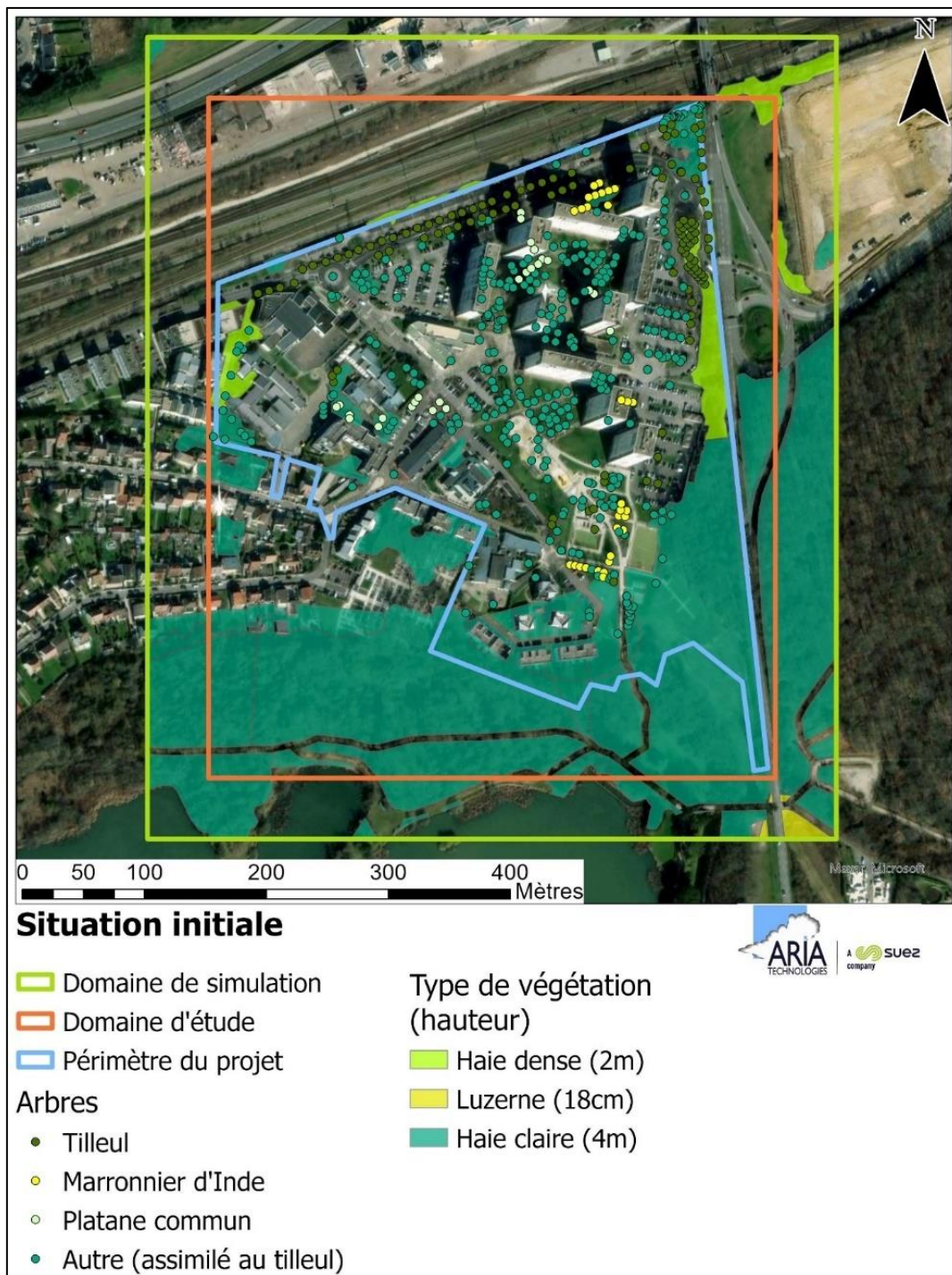
Figure 11 : occupation des sols du domaine de simulation - situation avec projet



3.6 VEGETATION

La Figure 12 présente la végétation du domaine de simulation pour la situation initiale. Les données sur les arbres (végétation 3D ponctuelle) proviennent du rapport d'étude des arbres de Phytoconseil⁵. Les autres données de végétation (végétation 2D surfacique) proviennent de l'inventaire CORINE Land Cover 2018⁶.

Figure 12 : végétation du domaine de simulation - situation initiale



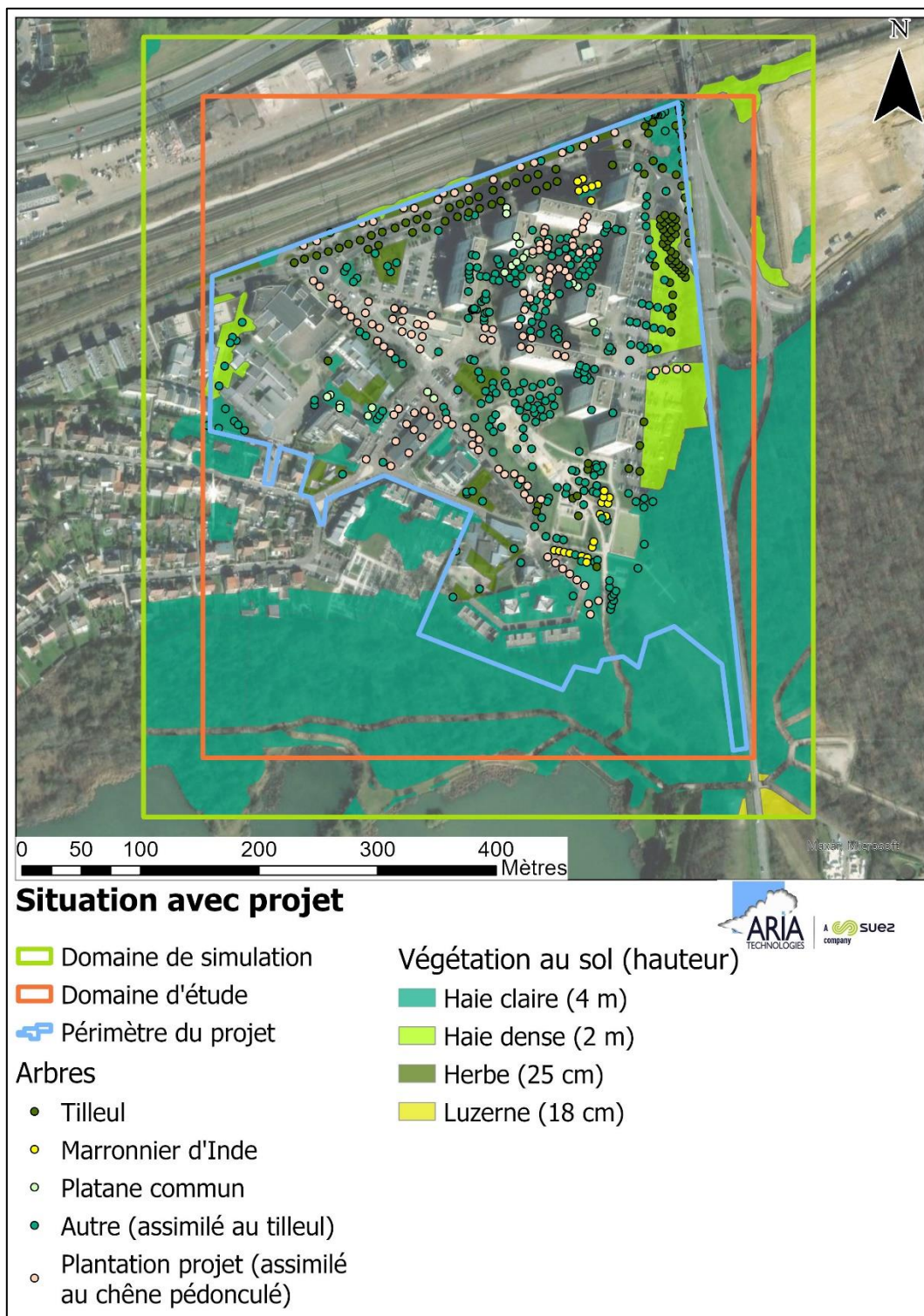
⁵ « Rapport d'étude des arbres », Quartier du Bois de l'Etang, La Verrière, Décembre 2022 – Janvier 2023, Phytoconseil

⁶ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/corine-land-cover-0>

La Figure 13 présente l'occupation des sols en situation avec projet. Les différences avec la Figure 12 ont été établies à partir du Masterplan de La Fabrique urbaine (30/09/2024), du Cahier des prescriptions (22/10/2024) et des Faisabilités architecturales (01/2024).

Les nouveaux arbres plantés dans le cadre du projet sont assimilés à des chênes pédonculés car cette espèce fait partie de la palette végétale recommandée dans le Cahier des prescriptions (page 47). De plus, elle est déjà présente en situation initiale dans plusieurs zones du projet et peut être modélisée comme un « jeune » arbre dans ENVI-met.

Figure 13 : végétation du domaine de simulation - situation avec projet



4 ETUDE DU CONFORT THERMIQUE ET DE L'ENSOLEILLEMENT

4.1 METHODOLOGIE

4.1.1 Définition d'un îlot de Chaleur Urbain

Un îlot de Chaleur Urbain (ICU) est un phénomène climatique qui se manifeste par une température plus élevée dans une zone urbaine comparée aux zones rurales environnantes. Ce différentiel de température est principalement dû aux activités humaines et aux caractéristiques physiques des villes.

Les causes d'apparition des ICU sont diverses :

- **Matériaux de construction** : Les matériaux comme le béton, l'asphalte et les toits sombres absorbent et retiennent la chaleur du soleil beaucoup plus efficacement que les sols naturels.
- **Densité de bâtiments** : La concentration élevée de bâtiments réduit la circulation de l'air, empêchant ainsi la dispersion de la chaleur.
- **Absence de végétation** : Les zones urbaines manquent souvent de végétation qui, par le biais de l'évapotranspiration, contribue à rafraîchir l'air.
- **Activités humaines** : Les voitures, les industries, les systèmes de chauffage et de climatisation dégagent de la chaleur.
- **Pollution de l'air** : Les particules en suspension peuvent accroître l'effet de chaleur en piégeant la chaleur près du sol.

Les principaux effets des ICU sont présentés dans le *Tableau 3*.

Tableau 3 : principaux effets des ICU

Santé humaine	<ul style="list-style-type: none"> - Stress thermique : Augmentation des cas de maladies liées à la chaleur, comme les coups de chaleur, la déshydratation et les problèmes cardiovasculaires. - Mortalité : Les vagues de chaleur peuvent entraîner une hausse de la mortalité, particulièrement chez les personnes âgées et les populations vulnérables
Consommation énergétique	<ul style="list-style-type: none"> - Climatisation : L'usage accru des systèmes de climatisation en été entraîne une augmentation de la consommation d'énergie, ce qui peut surcharger les réseaux électriques. - Coûts : Les coûts énergétiques pour les ménages et les entreprises augmentent en raison de la demande accrue de refroidissement.
Qualité de l'air	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution : Les températures élevées favorisent la formation de polluants atmosphériques secondaires, comme l'ozone troposphérique, aggravant les problèmes de qualité de l'air. - Effets sur la santé : La mauvaise qualité de l'air peut exacerber les maladies respiratoires et cardiovasculaires.
Environnement	<ul style="list-style-type: none"> - Microclimat : Les ICU peuvent modifier les microclimats urbains, influençant les régimes de précipitations et les vents locaux. - Écosystèmes : La faune et la flore urbaines peuvent être affectées par les températures élevées, perturbant les habitats et les cycles biologiques.
Eau	<ul style="list-style-type: none"> - Température des eaux de surface : Les eaux des rivières et des lacs urbains peuvent se réchauffer, affectant la qualité de l'eau et les écosystèmes aquatiques. - Évaporation : L'évaporation accrue peut réduire la disponibilité de l'eau dans les environnements urbains.

En somme, les ICU sont un défi majeur pour les villes modernes, nécessitant des mesures de planification et de gestion pour protéger la santé publique et améliorer la qualité de vie urbaine.

4.1.2 Présentation du logiciel ENVI-met

Les simulations de l'étude ont été réalisées avec le logiciel tridimensionnel ENVI-met version 5.

ENVI-met est un modèle de calcul de microclimat permettant de réaliser des simulations climatiques en zone urbaine avec une grande précision, parfaitement adapté à des zones d'étude à l'échelle du quartier. Il permet une analyse détaillée mais limitée à la ville. Le logiciel ENVI-met appréhende le champ urbain à une échelle de fragments urbains, de la rue-canyon au quartier.

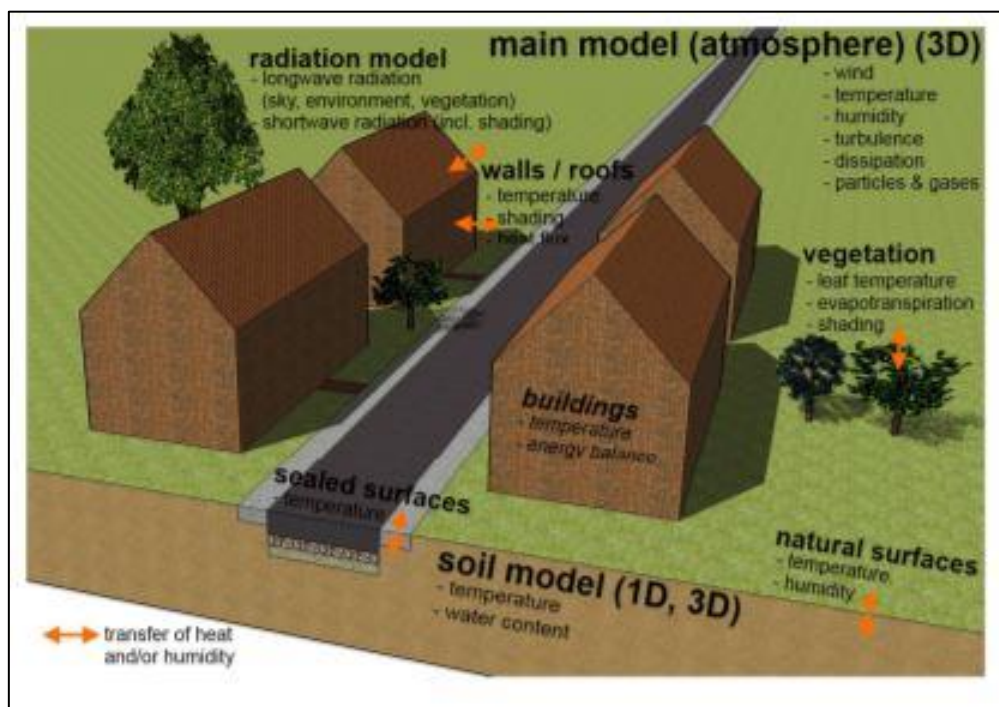
Les modèles microclimatiques peuvent être classés selon leur échelle spatiale, qui peut aller de plusieurs kilomètres à quelques centimètres. Les modèles utilisés afin d'étudier des phénomènes liés à la climatologie urbaine, comme le phénomène d'îlot de chaleur urbain, exigent une résolution spatiale importante. Avec une résolution spatiale variant de 0,5 m à 10 m, ENVI-met simule à une échelle microscopique les interactions entre l'atmosphère, les sols, la végétation et les bâtiments.

ENVI-met permet de traiter l'ensemble des aspects du microclimat urbain d'ordre thermodynamique et aérodynamique, et de prendre en compte les différents types de végétations et de matériaux des bâtiments.

Le logiciel peut être utilisé dans l'ensemble du monde, des tropiques aux régions polaires, dans le cadre d'études d'environnement et d'urbanisme.

Une description plus complète du logiciel est présentée en Annexe 1.

Figure 14 : schéma des sous-modèles d'ENVI-met (Source : <https://www.envimet.com/en/>)



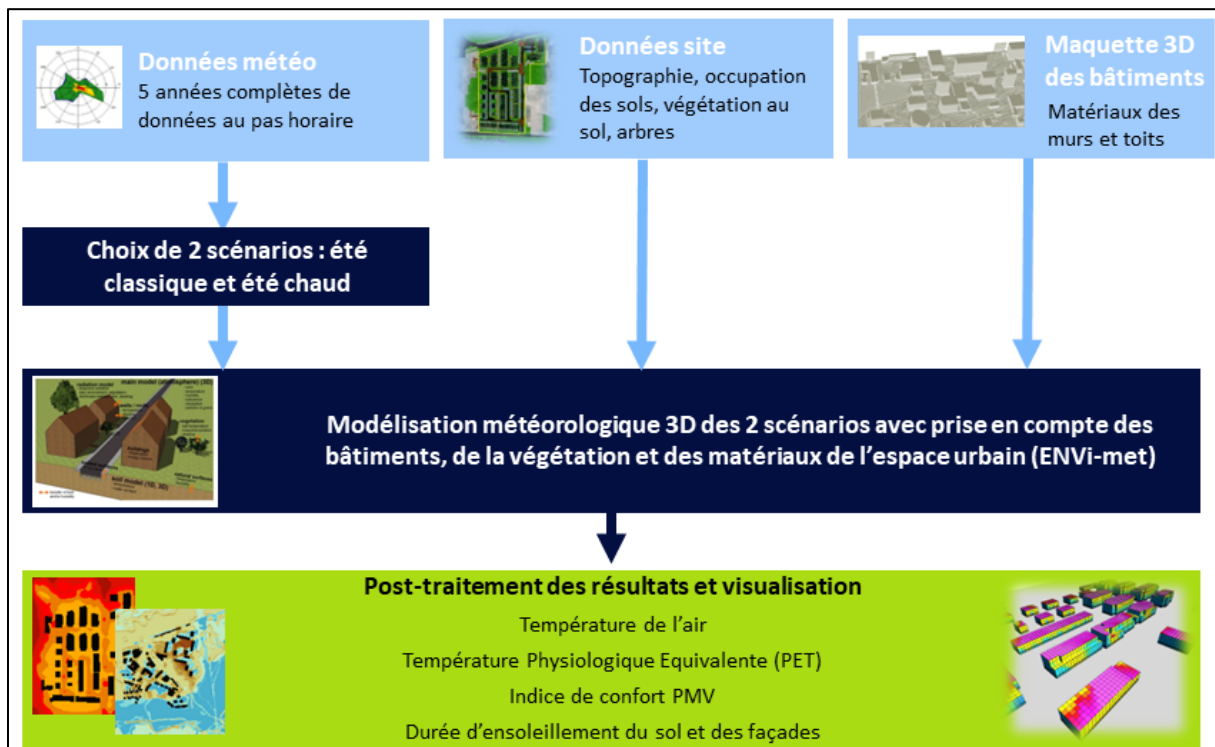
4.1.3 Présentation de la méthodologie appliquée

La méthodologie permettant de déterminer le confort thermique et l'ensoleillement sur le domaine d'étude suit les étapes suivantes :

1. **Configurer les données d'entrée et le modèle ENVI-met.** Cette étape consiste à préparer les données d'entrée nécessaires pour les simulations à savoir l'occupation des sols, les bâtiments, la topographie, la végétation au sol, les arbres et les données météorologiques.
2. **Choisir les scénarios météorologiques.** A partir de l'analyse des données météorologiques, deux scénarios sont choisis. Ils représentent respectivement une journée d'été classique et une journée d'été chaud.
3. **Simuler l'environnement urbain complexe.** Le moteur de calcul d'ENVI-met simule en 3D à micro-échelle les interactions thermodynamiques entre les différents éléments du domaine d'étude.
4. **Calculer des indices de confort thermique.** A partir des résultats d'ENVI-met, les indices suivants sont calculés en chaque point du domaine d'étude :
 - a. Température Physiologique Equivalente (PET) correspondant à la température ressentie ;
 - b. Indice de confort PMV (Predicted Mean Vote) dont la définition est donnée plus loin au paragraphe 4.2.1.4.
5. **Visualiser graphiquement les résultats.** Des cartes 2D et 3D illustrent les résultats de ces indices ainsi que de la température de l'air et de la durée d'ensoleillement du sol et des façades. Leur analyse permet d'identifier les zones d'inconfort thermique.

La Figure 15 présente la méthodologie mise en œuvre.

Figure 15 : méthodologie de l'étude



4.1.4 Conditions météorologiques retenues

Deux scénarios sont retenus pour les simulations :

- une **journée d'été classique**. La température retenue est la température moyenne enregistrée sur les mois de juin, juillet et août sur la période 2019-2023, de nuit pour la température minimale Tmin (23h-5h) et de jour pour la température maximale Tmax (12h-18h) ;
- une **journée d'été chaude**. La température retenue est la température moyenne du 95^{ème} centile enregistrée sur les mois de juin, juillet et août sur la période 2019-2023, de nuit pour la température minimale Tmin (23h-5h) et de jour pour la température maximale Tmax (12h-18h) ;

Pour les deux scénarios, la vitesse moyenne du vent sur les mois d'été (juin, juillet, août) sur la période 2019-2023 et la direction la plus fréquente sur ces trois mois sont retenues.

Le *Tableau 4* résume les deux configurations qui ont été retenues pour les simulations de la présente étude.

Tableau 4 : conditions météorologiques simulées pour le confort thermique

	Scénario été classique	Scénario été chaud
Vitesse du vent	2,3 m/s	2,3 m/s
Direction du vent	340°	340°
Tmin - Tmax	16°C – 23 °C	21°C – 31°C

4.1.5 Grille de calcul avec ENVI-met

La résolution du domaine de calcul a été choisie afin d'avoir une précision suffisante pour l'étude tout en conservant des temps de calcul raisonnables. Le domaine d'étude est composé de 189 x 219 x 20 mailles avec une résolution horizontale de 3 m soit un domaine de 565 x 658 m. La résolution verticale est quant à elle de 13 m avec un premier niveau (niveau d'étude) à 1,3 m.

4.1.6 Maquette du domaine de simulation

Les *Figure 16* et *Figure 17* représentent le maillage sur la maquette 2D respectivement pour la situation initiale et la situation avec projet. Les *Figure 18* et *Figure 19* représentent la maquette 3D du domaine de simulation respectivement pour la situation initiale et la situation avec projet.

Figure 16 : maillage du domaine de simulation et maquette 2D – situation initiale



Figure 17 : maillage du domaine de simulation et maquette 2D – situation avec projet

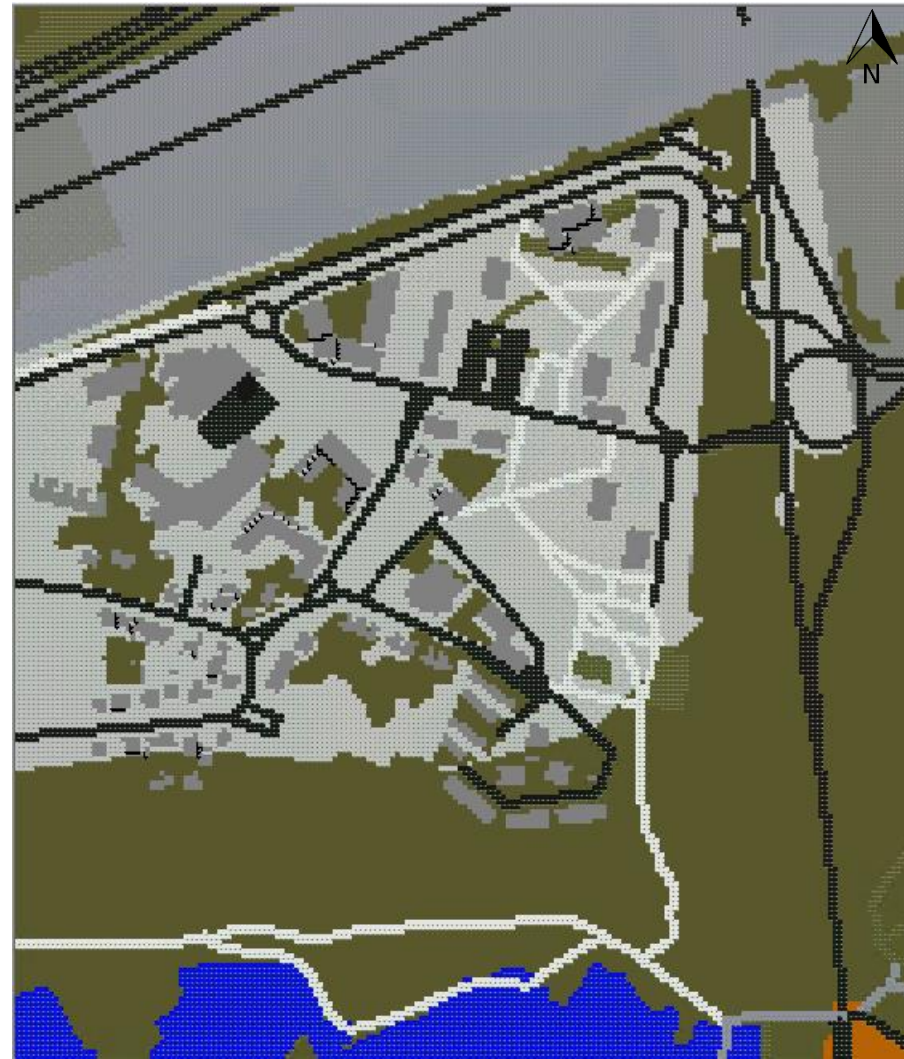


Figure 18 : maquette 3D vue depuis le sud (en haut) et vue depuis l'ouest (en bas) – situation initiale

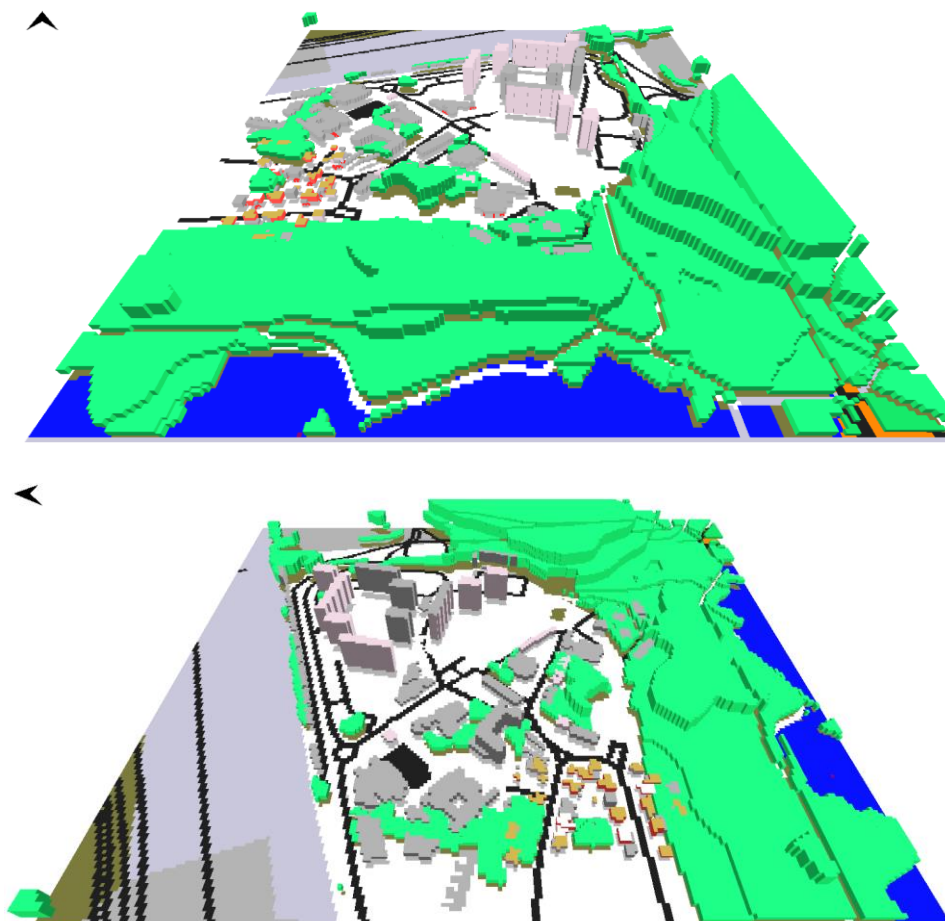
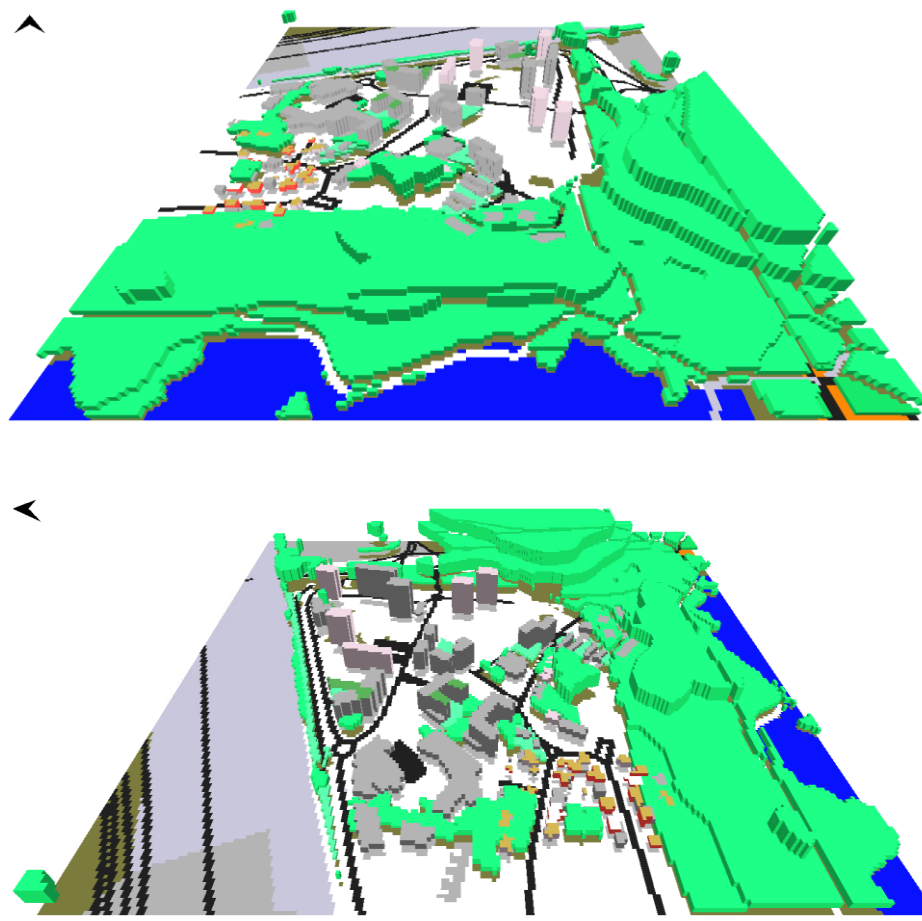


Figure 19 : maquette 3D vue depuis le sud (en haut) et vue depuis l'ouest (en bas) – situation avec projet



4.2 RESULTATS DES SIMULATIONS

4.2.1 Résultats de confort thermique

4.2.1.1 Présentation des résultats

La température est un paramètre climatique important, notamment pour l'évaluation du confort des habitants, car il s'agit du paramètre le plus perceptible par l'individu.

Afin de caractériser le confort thermique des piétons circulant dans le périmètre du projet, les paramètres suivants ont été calculés pour les deux scénarios « été classique » et « été chaud » :

- La température de l'air ;
- La Température Physiologique Equivalente (PET), correspondant à la température ressentie ;
- L'indice de confort PMV (Predicted Mean Vote), dont la définition est donnée plus loin au paragraphe 4.2.1.4.

Les cartographies ont été réalisées de jour et de nuit. De jour, l'analyse des données météorologiques montre que la température maximale est atteinte en fin d'après-midi (entre 16h et 18h) en raison de l'inertie thermique du sol. En effet, l'air est chauffé uniquement par les sols par convection thermique (l'air au contact du sol) et par conduction thermique (les sols réfléchissent une partie des rayonnements du soleil). *A contrario*, l'indice de confort PMV est plus élevé lorsque l'ensoleillement est important, notamment à 14h (heure locale), lorsque le soleil est le plus haut dans le ciel car les zones ombragées, plus agréables pour les usagers de la voie publique, sont réduites. Pour tenir compte de ces deux effets pénalisants, il a été choisi de réaliser les cartographies à **15h**.

De nuit, il a été choisi de présenter les résultats à **22h** lorsque les sols commencent à se refroidir une fois le soleil couché, moment où le déstockage thermique des surfaces minérales est le plus important. Ce choix permet également de caractériser le confort des usagers de la voie publique qui sortent en soirée.

4.2.1.2 Température de l'air

Les *Figure 20* à *Figure 31* représentent les températures de l'air ambiant à 1,3 m du sol obtenues pour la situation initiale et la situation avec projet dans les cas été classique et été chaud (cf. paragraphe 4.1.4) à 15h et à 22h, ainsi que les écarts de température entre chaque paire de situation.

Situation initiale

Dans le cas été classique, les températures sont comprises entre 21,1°C et 24,6°C à 15h (*Figure 20*), et entre 18,1°C et 20,2°C à 22h (*Figure 23*).

Dans le cas été chaud, les températures sont comprises entre 28,1°C et 31,3°C à 15h (*Figure 26*), et entre 24,3°C et 26,6°C à 22h (*Figure 29*).

Situation avec projet

Dans le cas été classique, les températures sont comprises entre 21,0°C et 24,6°C à 15h (*Figure 21*), et entre 18,0°C et 20,1°C à 22h (*Figure 24*).

Dans le cas été chaud, les températures sont comprises entre 28,0°C et 31,5°C à 15h (*Figure 27*), et entre 24,2°C et 26,4°C à 22h (*Figure 30*).

Comparaison entre les deux situations

Dans les deux cas (été classique et été chaud) et dans les deux situations (initiale et avec projet), à 15h, les zones les plus chaudes sont observées dans la zone centrale du domaine de simulation, là où sont modélisés des bâtiments, ainsi qu'au niveau des infrastructures de transport au nord du domaine. Les zones les moins chaudes sont situées au niveau de la végétation la plus dense correspondant au sud du domaine d'étude, entre les dernières habitations du périmètre du projet et l'Etang des Noës.

À 22h, les écarts de température entre les différentes zones du domaine d'étude sont moins marqués qu'à 15h. Les zones les plus chaudes et les plus froides se situent globalement aux mêmes endroits qu'à 15h.

Dans le cas été classique, à 15h (*Figure 22*) et à 22h (*Figure 25*), **la réduction de température de l'air apportée par le projet la plus marquée** (jusqu'à $-1,2^{\circ}\text{C}$ à 15h) **est située sur la promenade de l'aqueduc**. La végétalisation de la bande est des parkings, la suppression de la boucle est de la route Résidence du Bois de l'Etang et l'aménagement de type « voie verte » apportent de la fraîcheur dans cette zone.

À 15h, les autres zones plus fraîches en situation avec projet qu'en situation initiale sont localisées au cœur du nouvel îlot F, qui comporte des toitures végétalisées, ainsi que ponctuellement sur le parking à l'ouest de la mosquée. En revanche, **des zones plus chaudes en situation avec projet** (jusqu'à $+1,3^{\circ}\text{C}$) **apparaissent à 15h sur Main street et entre les bâtiments D et K au nord-est du projet**. La démolition des bâtiments A et G, réduisant l'ombre, ainsi que l'élargissement de la chaussée goudronnée en sont les principales causes. Cependant, ces zones ne ressortent pas comme plus chaudes qu'en situation initiale à 22h.

Dans le cas été chaud, les écarts de température de l'air observés entre la situation avec projet et la situation initiale sont similaires à ceux du cas été classique ; les mêmes conclusions peuvent être tirées.

Figure 20 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation initiale – Cas été classique à 15h

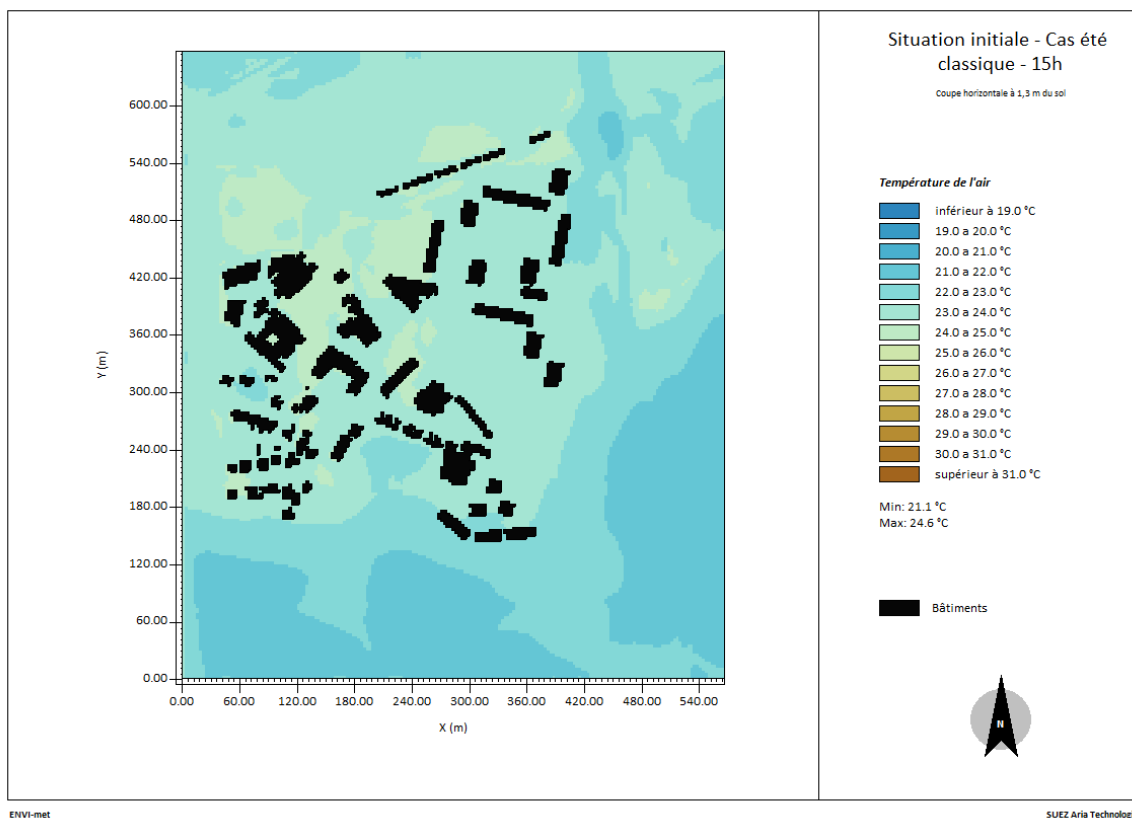


Figure 21 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation avec projet – Cas été classique à 15h

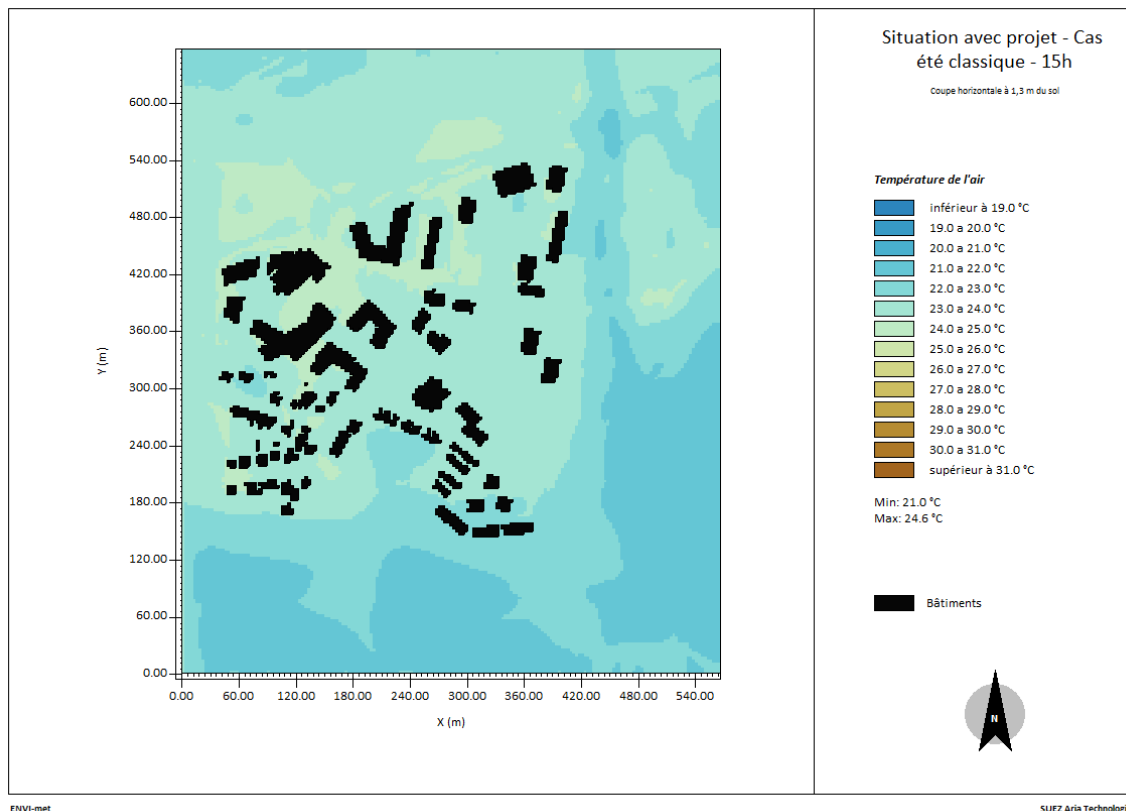


Figure 22 : écart de température de l'air entre la situation avec projet et la situation initiale – Cas été classique à 15h

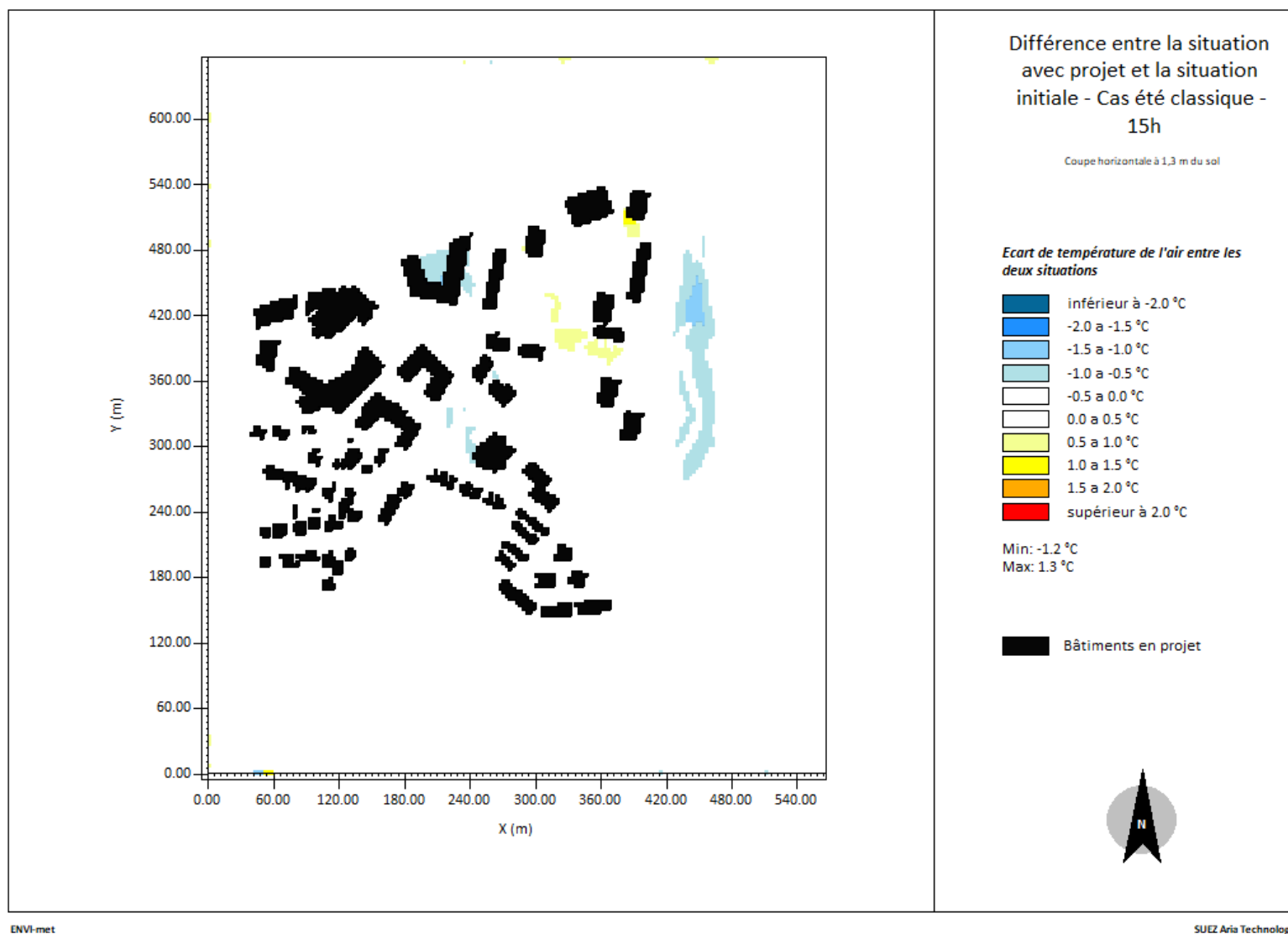


Figure 23 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation initiale – Cas été classique à 22h

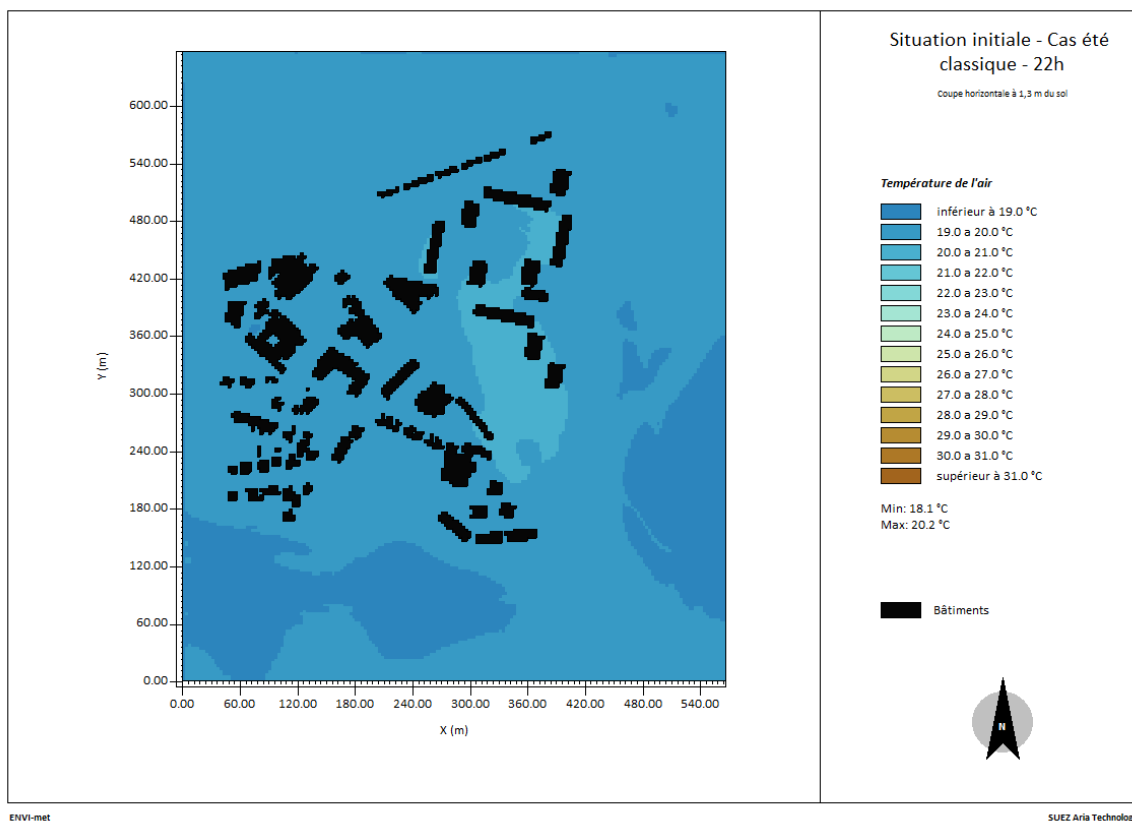


Figure 24 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation avec projet – Cas été classique à 22h

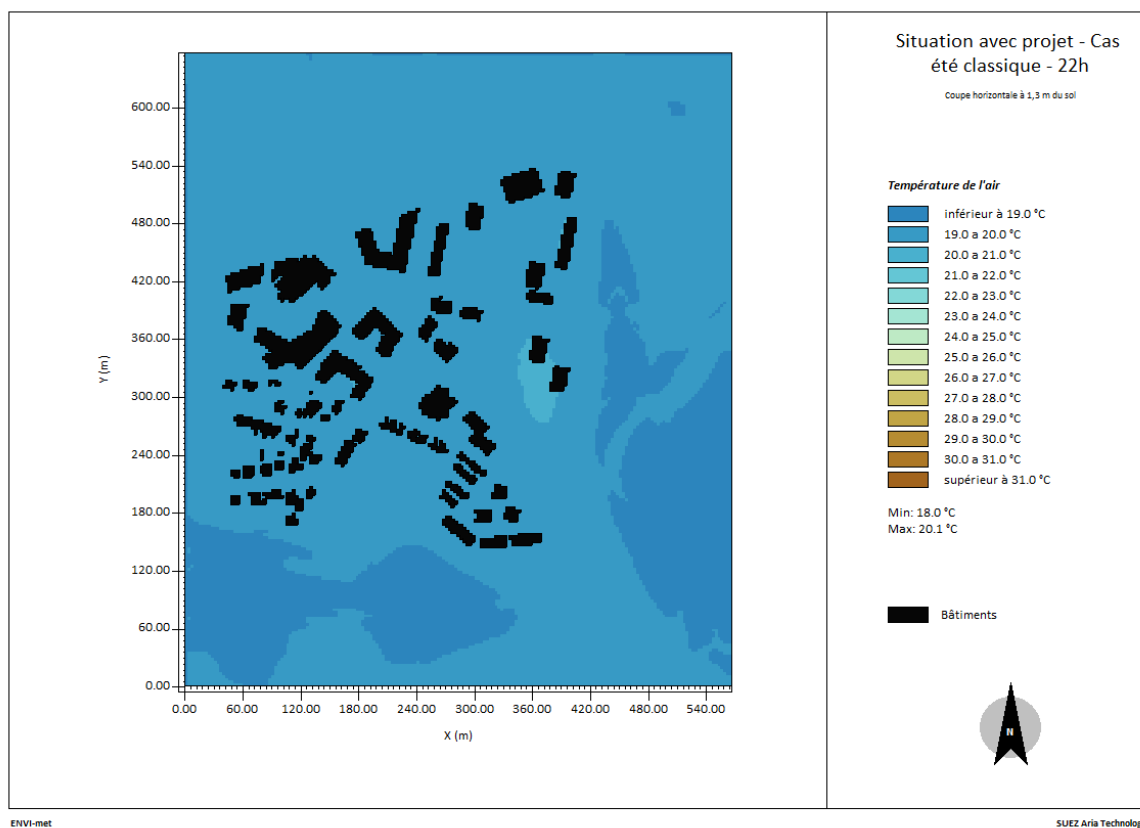


Figure 25 : écart de température de l'air entre la situation avec projet et la situation initiale - Cas été classique à 22h

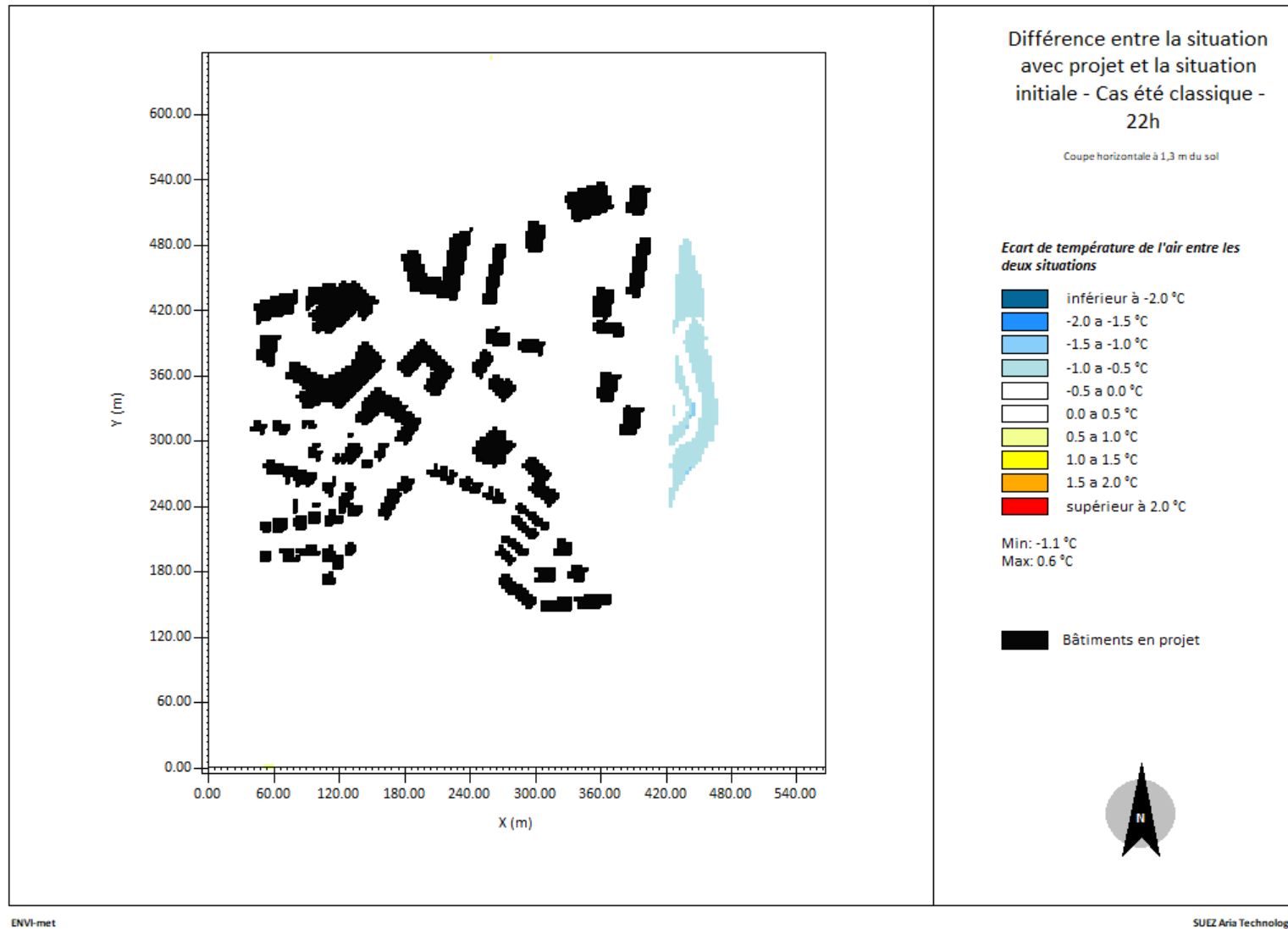


Figure 26 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation initiale – Cas été chaud à 15h

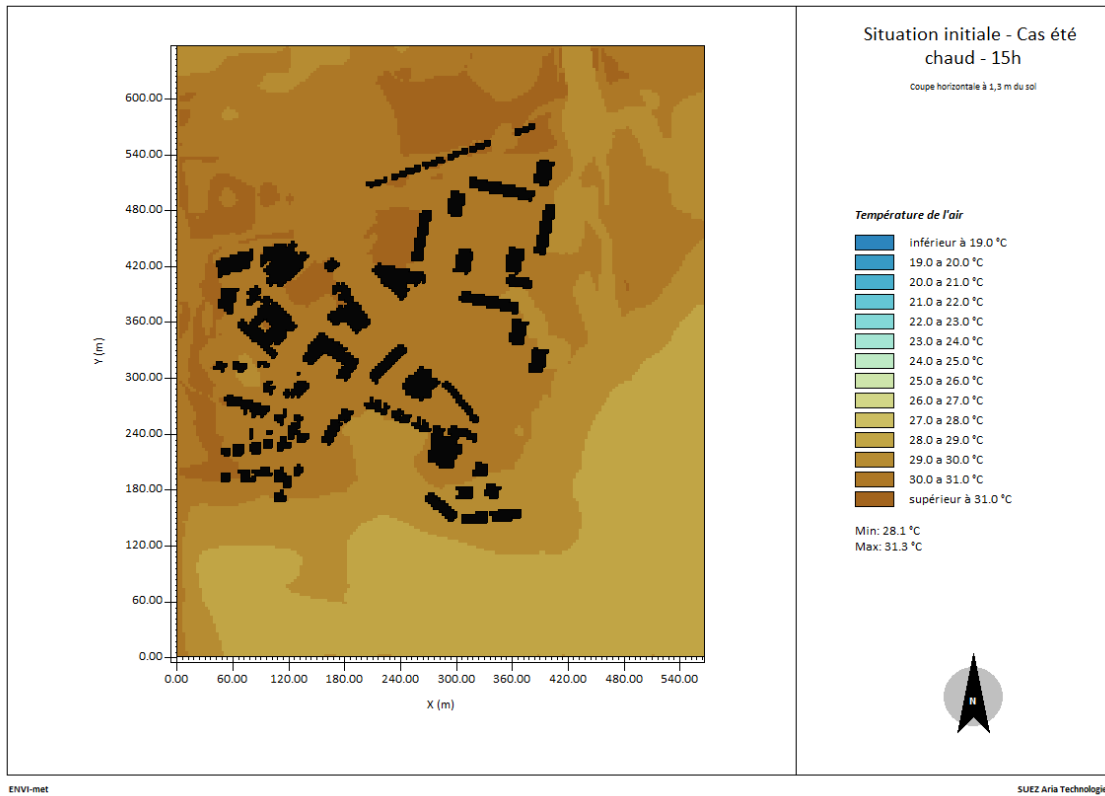


Figure 27 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation avec projet – Cas été chaud à 15h

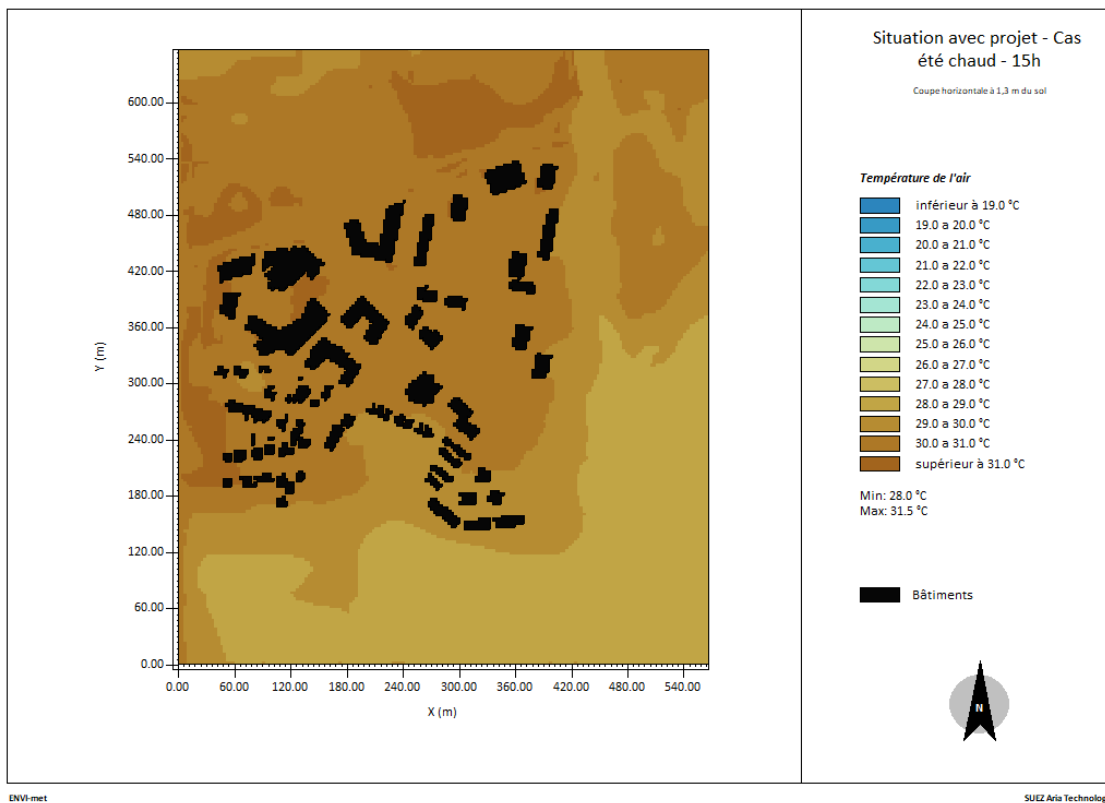


Figure 28 : écart de température de l'air entre la situation avec projet et la situation initiale - Cas été chaud à 15h

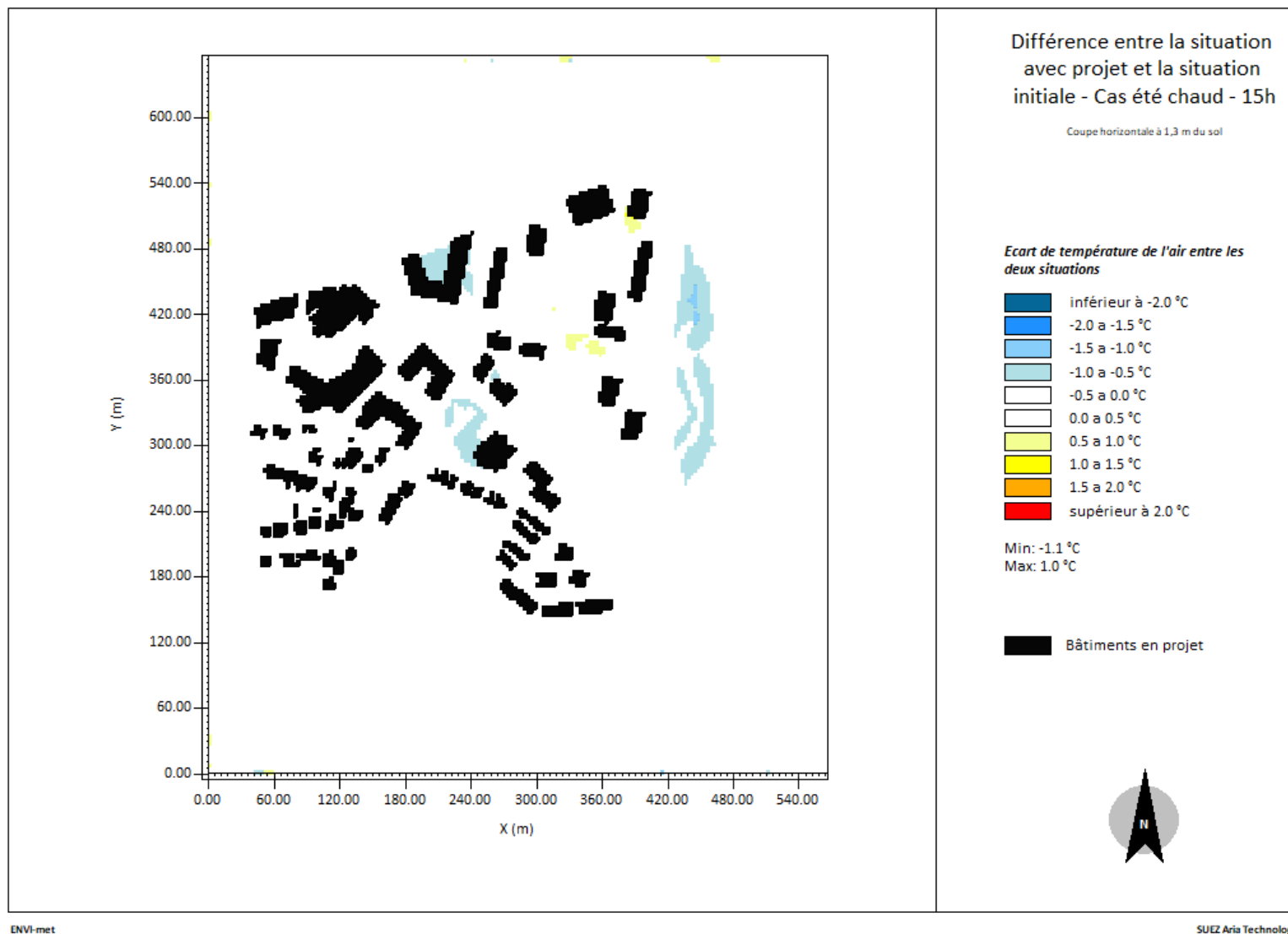


Figure 29 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation initiale – Cas été chaud à 22h

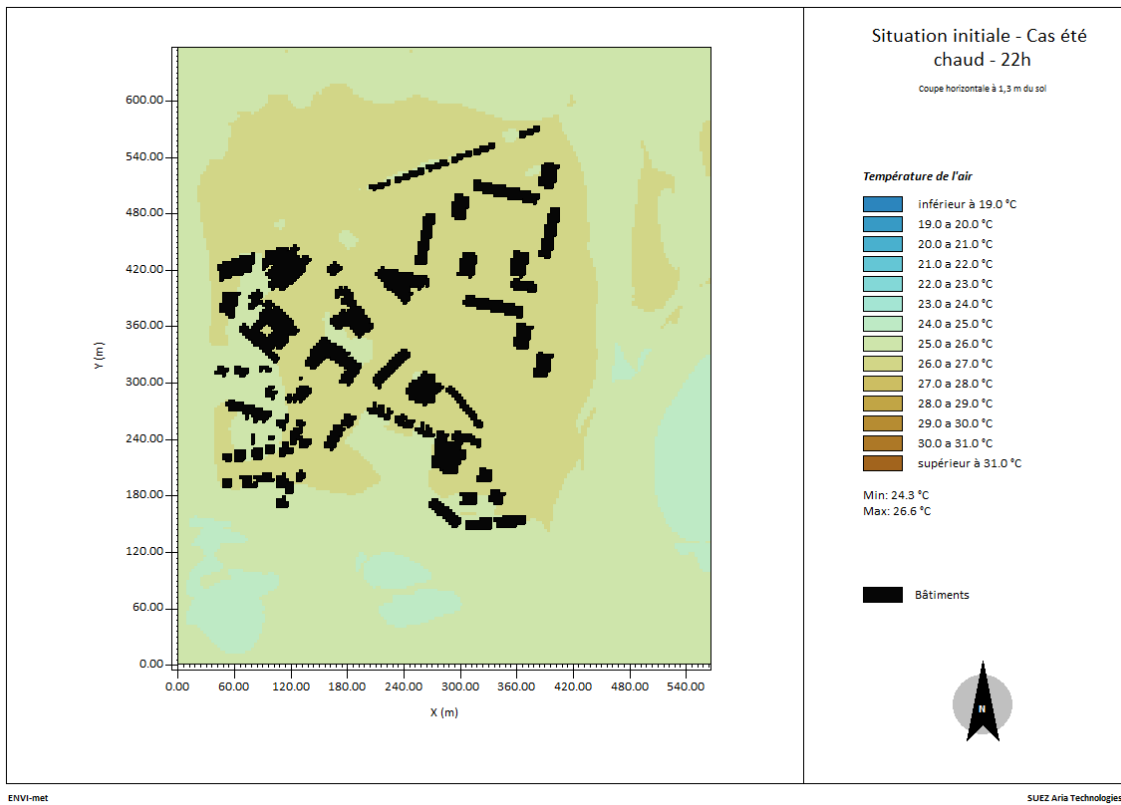


Figure 30 : température de l'air à 1,3 m du sol en situation avec projet – Cas été chaud à 22h

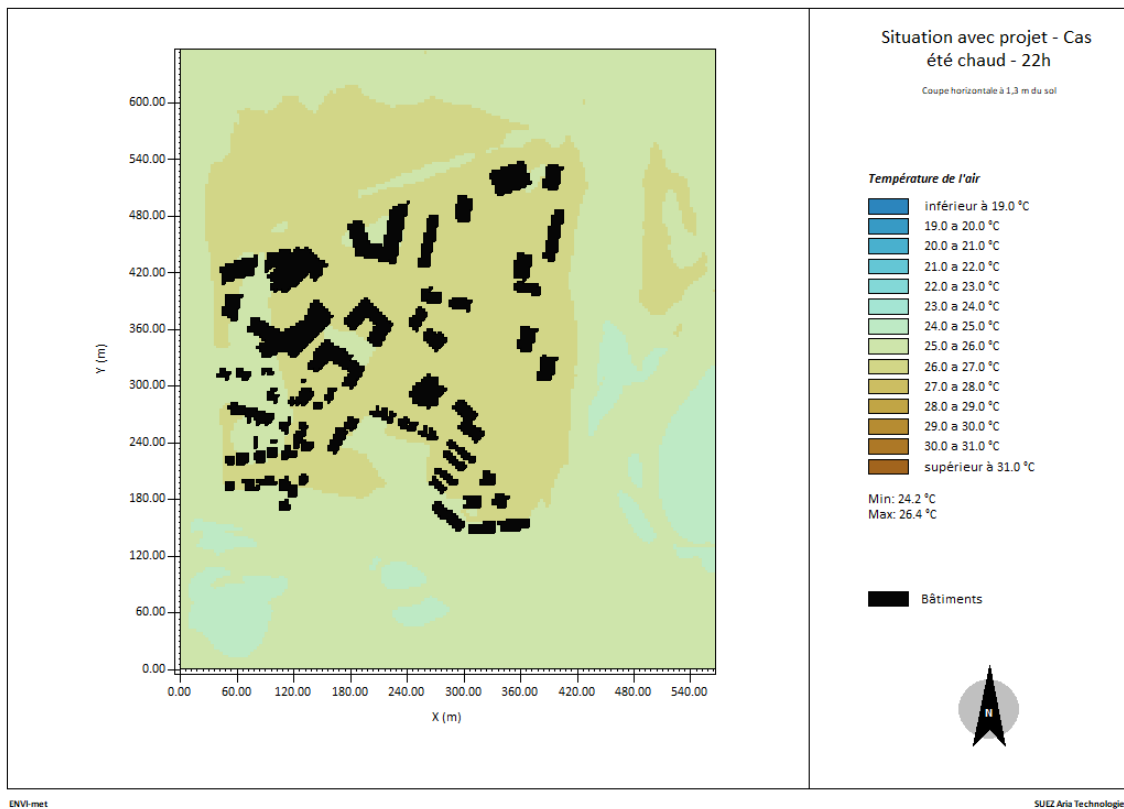
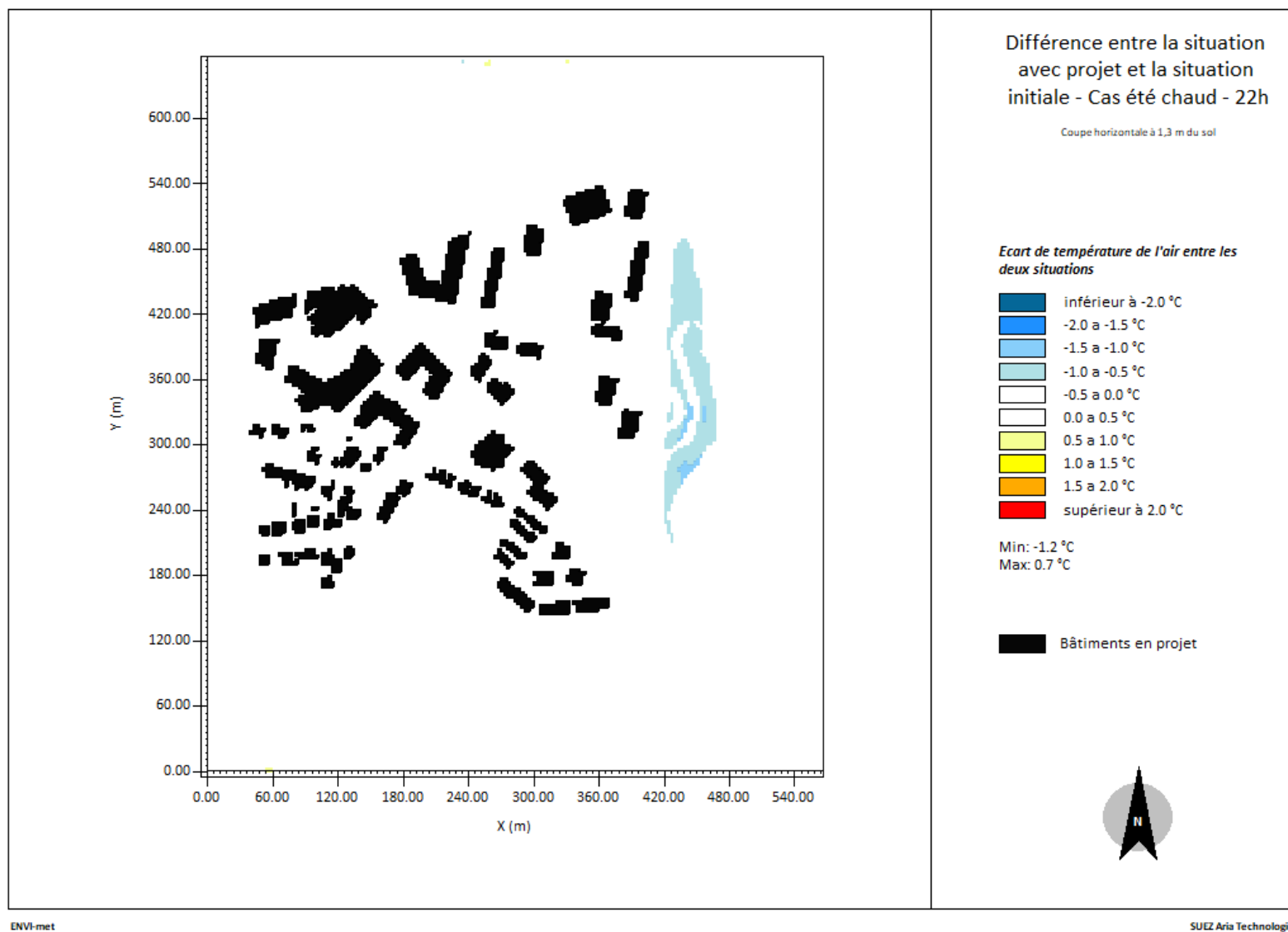


Figure 31 : écart de température de l'air entre la situation avec projet et la situation initiale - Cas été chaud à 22h



4.2.1.3 Température Physiologique Equivalente (PET)

Selon le Cerema⁷, « la Température Physiologique Équivalente (PET) est un indice de confort thermique intégrant la température de la peau et du corps, le taux de transpiration, et la vêtue ». Cet indice évalue donc la « température perçue » par les usagers des espaces extérieurs en station immobile (pas de déplacement pris en compte). Ainsi, ce paramètre est très intéressant à étudier pour avoir une vue d'ensemble de l'influence combinée de plusieurs variables climatiques. Le *Tableau 5* donne la correspondance entre la PET et la perception thermique d'un individu « moyen ».

Tableau 5 : correspondance entre la PET et la perception thermique d'un individu « moyen » (Source : Cerema)

Perception thermique d'un individu « moyen »	PET (°C)
Très chaud	> 41
Chaud	35 – 41
Chaud modéré	29 – 35
Légèrement chaud	23 – 29
Confortable	18 – 23
Légèrement frais	13 - 18
Froid modéré	8 – 13
Froid	4 - 8
Très froid	< 4

Les *Figure 32* à *Figure 43* représentent les PET à 1,3 m du sol obtenues pour la situation initiale et la situation avec projet dans les cas été classique et été chaud à 15h et à 22h, ainsi que les écarts de PET entre chaque paire de situation.

A 15h en situation initiale

Dans le cas été classique, les PET sont comprises entre 22,8°C et 58,6°C (*Figure 32*). Dans le cas été chaud, les PET sont comprises entre 29,9°C et 59,9°C (*Figure 38*).

Sur l'ensemble du domaine de simulation, dans le cas été classique, la perception thermique est comprise entre « confortable » et « très chaud ». Dans le cas été chaud, elle est comprise entre « chaud modéré » et « très chaud ».

Dans les deux cas, un important îlot de chaleur se forme dans l'espace encadré par les bâtiments A, C, E, G et K⁸. Ces bâtiments hauts (entre 28 et 38,3 mètres de haut, cf. *Figure 8*) empêchent l'air de circuler et ne forment pas d'ombre dans la zone centrale à ce moment de la journée. Des chemins piétons et des aires de jeux occupent cet espace. La perception thermique de ses occupants est qualifiée de « très chaude » d'après le *Tableau 5* (sensation la plus haute de l'échelle). D'autres îlots de chaleur, d'une surface plus restreinte, sont à signaler à l'angle des bâtiments H et F ainsi qu'au cœur du bâtiment en U aux coordonnées (150, 330).

Il apparaît que l'ombre portée par les bâtiments crée une sensation de relative fraîcheur. La zone au nord du domaine est très peu ombragée (route et voie ferrée), ce qui crée une sensation de chaleur.

⁷ « Confort thermique en milieu urbain : quelques outils disponibles pour l'aide à la décision ? », *Cahier des participants* réalisé pour l'atelier du 14 février 2017 destiné aux acteurs de l'aménagement, Métropole du Grand Lyon et Cerema

⁸ Plan page 4 du compte-rendu du « Comité de Pilotage interne DGA AMT », 9 avril 2024, NPNRU Projets de Renouveau Urban de Saint-Quentin-en-Yvelines, Projet de La Verrière – QPV du Bois de l'Etang

Les zones boisées au sud et à l'est du domaine créent de la fraîcheur. Les routes et sentiers qui les traversent se distinguent par leur sensation plus chaude.

A 22h en situation initiale

Dans le cas été classique, les PET sont comprises entre 17,0°C et 26,7°C (Figure 35). Dans le cas été chaud, les PET sont comprises entre 23,8°C et 32,0°C (Figure 41).

Sur l'ensemble du domaine de simulation, dans le cas été classique, la perception thermique est comprise entre « légèrement frais » et « légèrement chaud ». Dans le cas été chaud, elle est comprise entre « légèrement chaud » et « chaud ». Il est constaté que les écarts de perception thermique sont beaucoup moins marqués que dans l'après-midi.

Les zones les plus chaudes sont à proximité des bâtiments, notamment là où ont été identifiés des îlots de chaleur à 15h. Les zones boisées au sud et à l'est du domaine de simulation affichent le même ressenti thermique que les infrastructures de transport au nord.

A 15h en situation avec projet

Dans le cas été classique, les PET sont comprises entre 22,8°C et 28,7°C (Figure 33). Dans le cas été chaud, les PET sont comprises entre 29,8°C et 35,8°C (Figure 39).

A 22h en situation avec projet

Dans le cas été classique, les PET sont comprises entre 17,9°C et 26,9°C (Figure 36). Dans le cas été chaud, les PET sont comprises entre 24,1°C et 32,0°C (Figure 42).

Comparaison entre les deux situations

Globalement, le projet apporte une sensation de fraîcheur sur l'ensemble du périmètre du projet. À 22h, aucune zone n'est perçue comme plus chaude qu'en situation initiale (Figure 37 et Figure 43). À 15h, les zones où la perception de fraîcheur est supérieure en situation avec projet par rapport à la situation initiale (Figure 34 et Figure 40) se trouvent principalement sur :

- la promenade de l'aqueduc ;
- le nouvel îlot F ;
- le jardin des Noës ;
- les quelques mètres au nord des nouveaux bâtiments des trois îlots B, E et H.

Ces deux premières zones ont déjà été identifiées comme ayant une température de l'air plus fraîche au paragraphe 4.2.1.2. Dans le jardin des Noës, la perception de davantage de fraîcheur est due au nouveau « cœur de nature » apporté par le projet (plantations multi-strates, nouveaux arbres...). Quant aux nouveaux bâtiments des trois îlots B, E et H, ils créent de l'ombre là où il n'y en avait pas en situation initiale.

En revanche, les zones identifiées au paragraphe 4.2.1.2. où la température de l'air est supérieure en situation avec projet (Main street et entre les bâtiments D et K au nord-est du projet) sont également ressenties comme plus chaudes. Le nouveau parking au sud du bâtiment C apporte ponctuellement une sensation de chaleur supérieure à la situation initiale, où le sol n'était pas artificialisé.

Les cas été classique et été chaud mènent tous deux aux mêmes conclusions.

Figure 32 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été classique à 15h

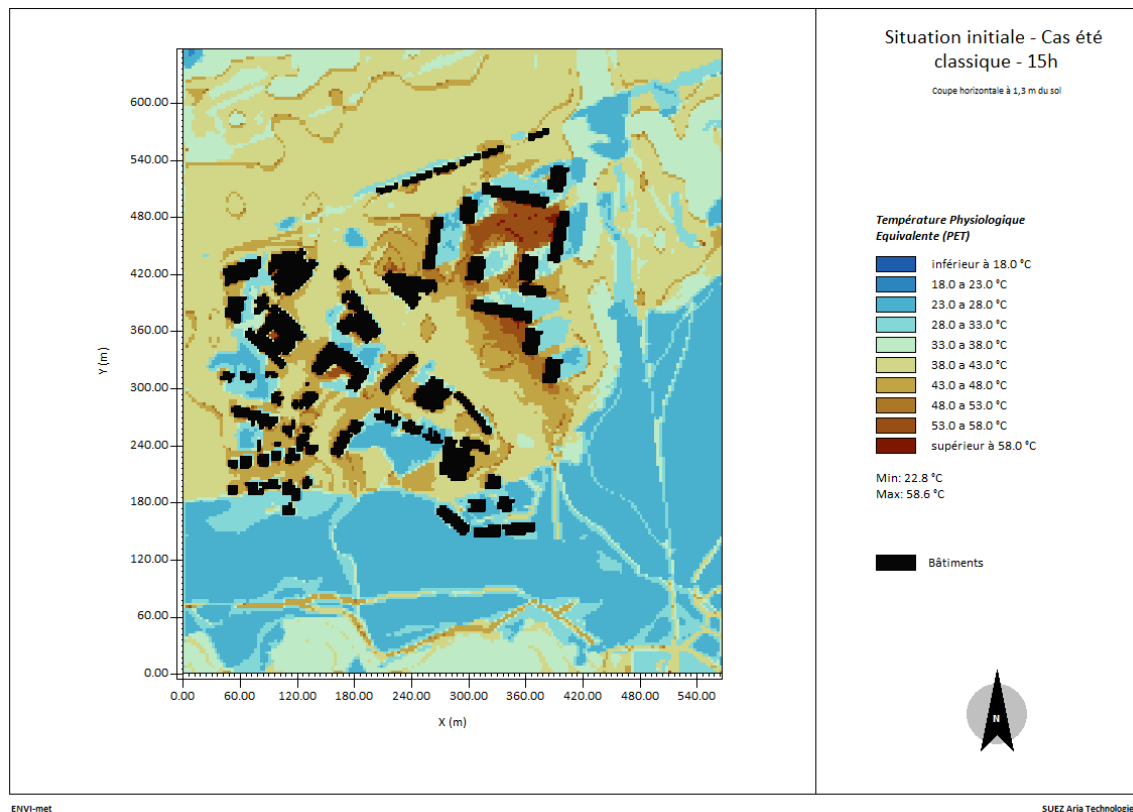


Figure 33 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été classique à 15h

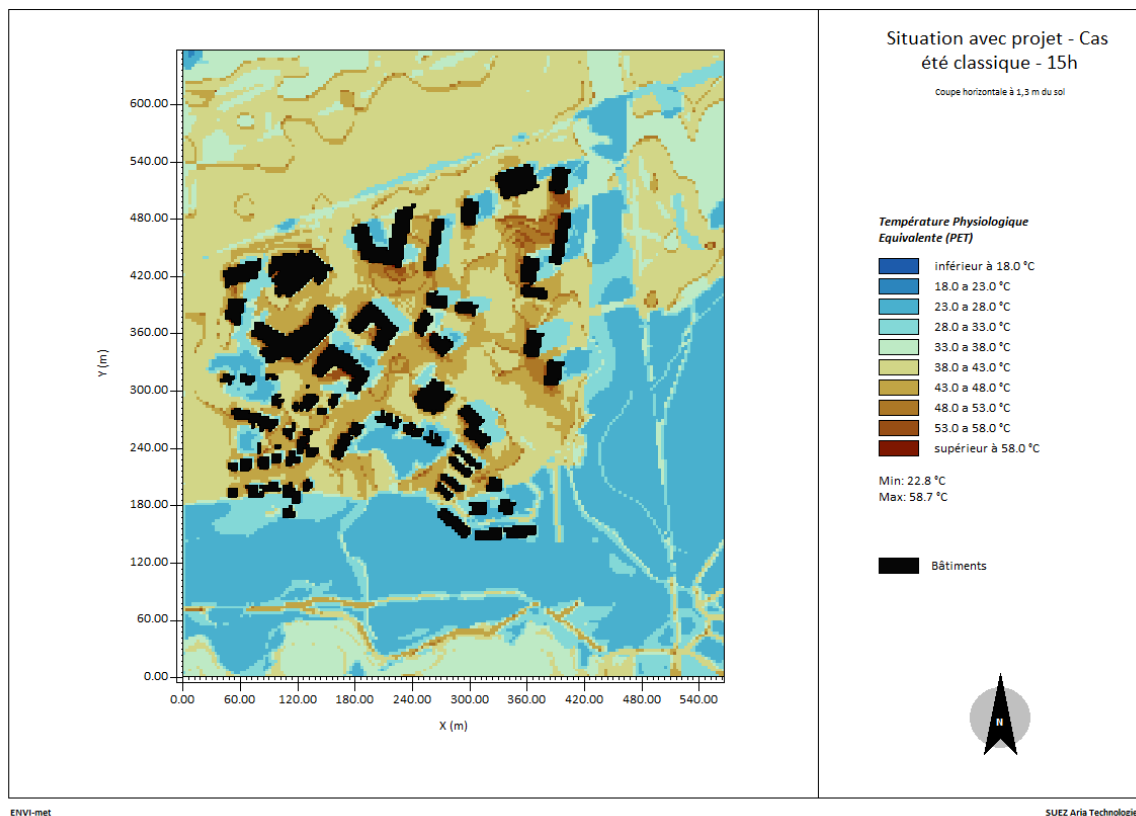


Figure 34 : écart de PET entre la situation avec projet et la situation initiale - Cas été classique à 15h

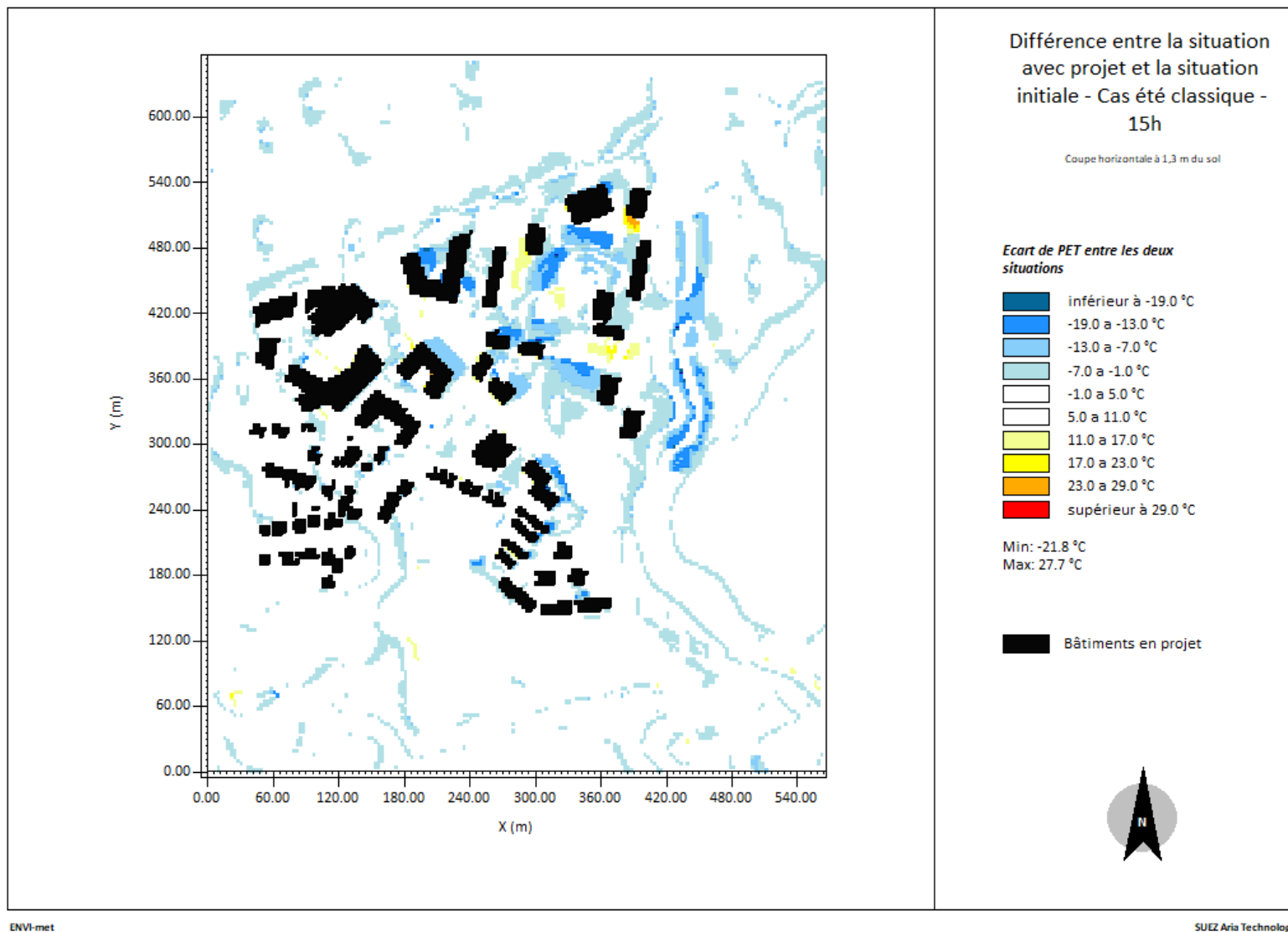


Figure 35 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été classique à 22h

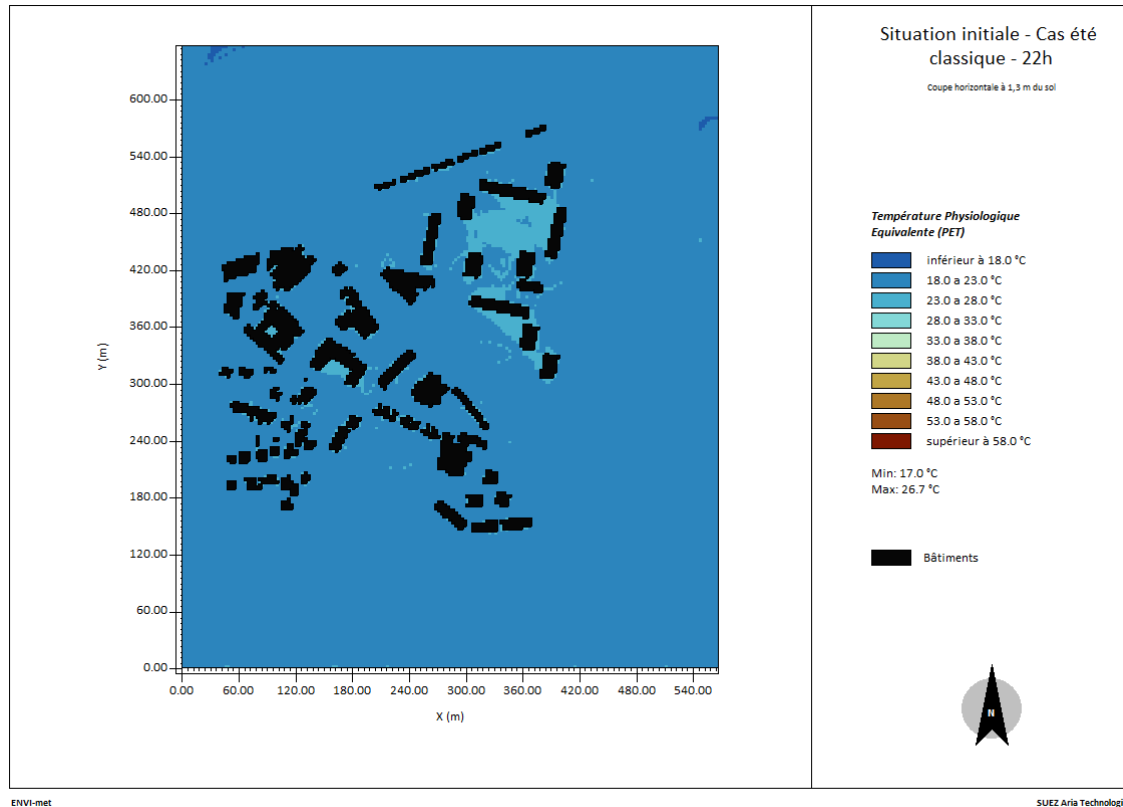


Figure 36 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été classique à 22h

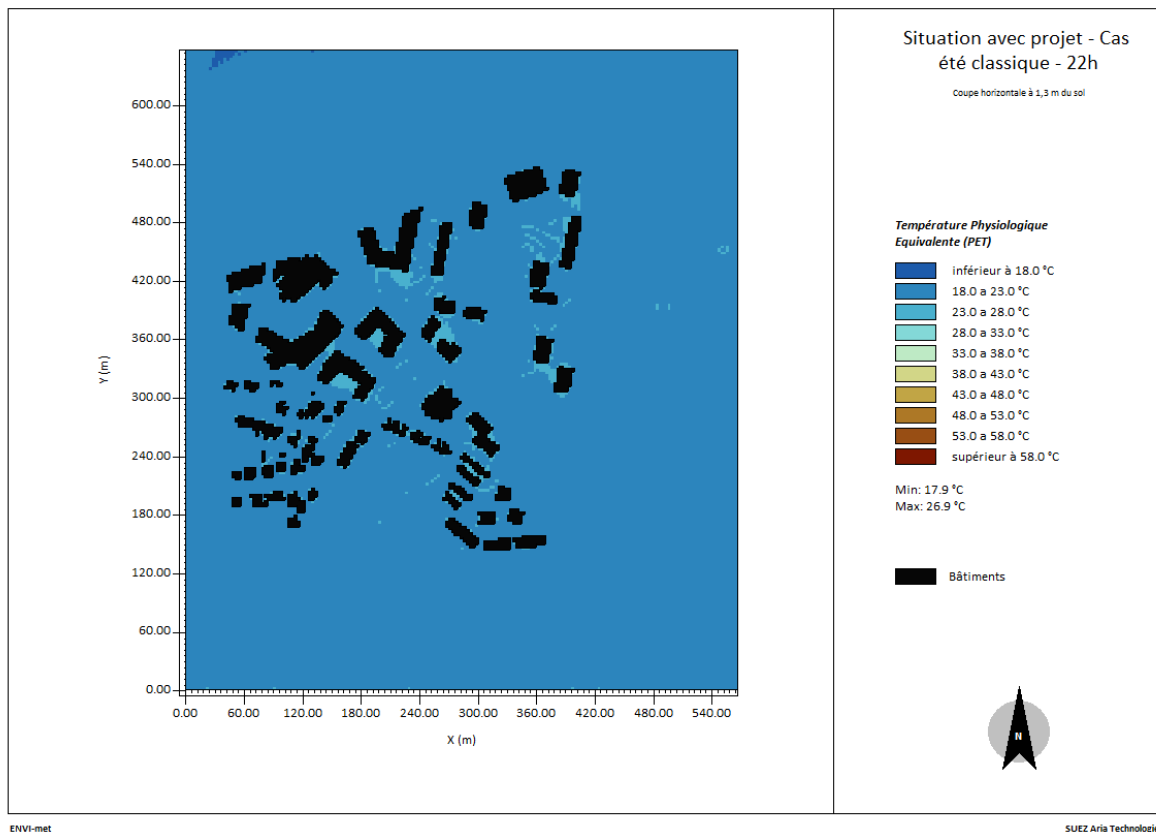


Figure 37 : écart de PET entre la situation avec projet et la situation initiale - Cas été classique à 22h

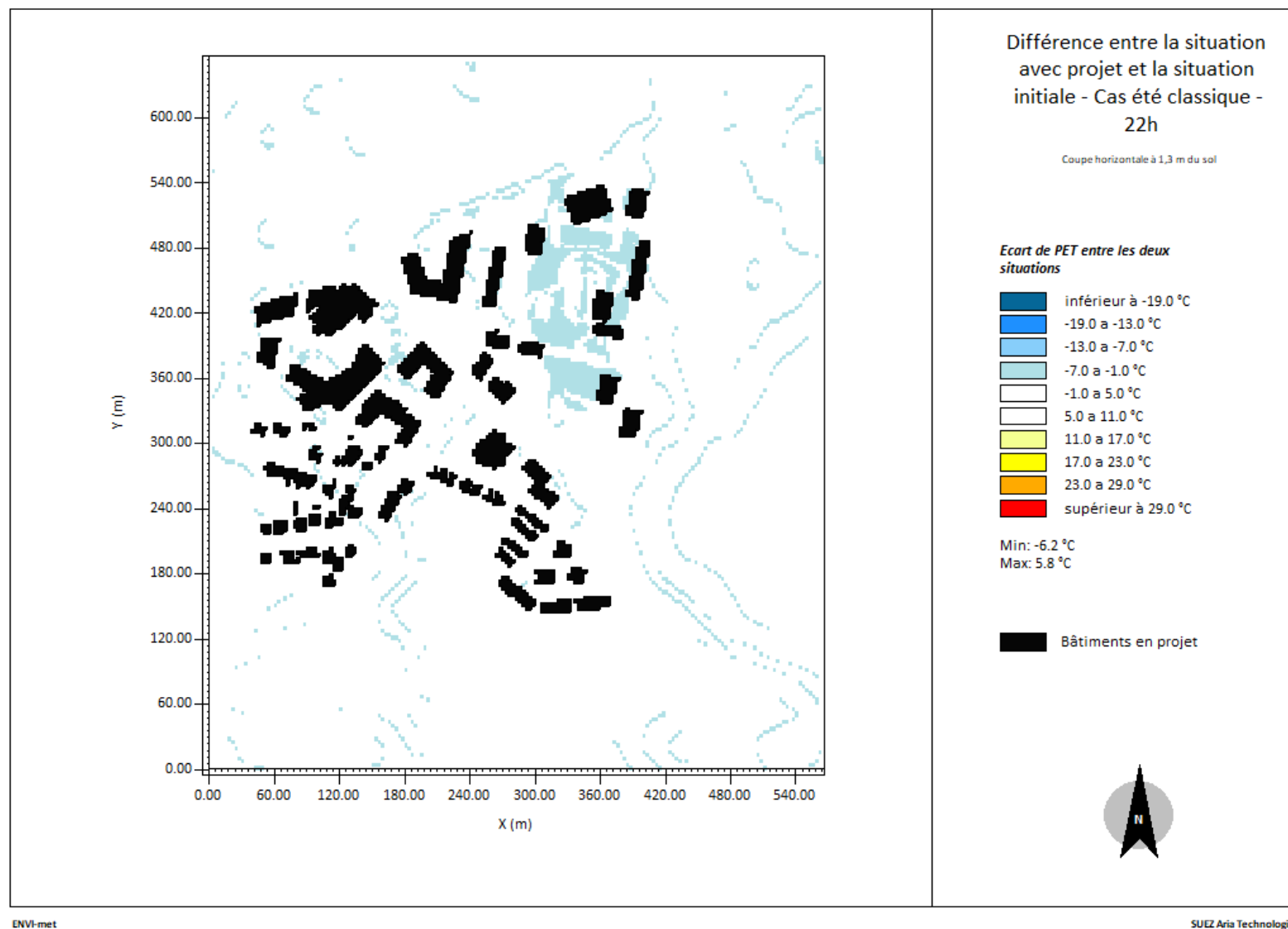


Figure 38 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été chaud à 15h

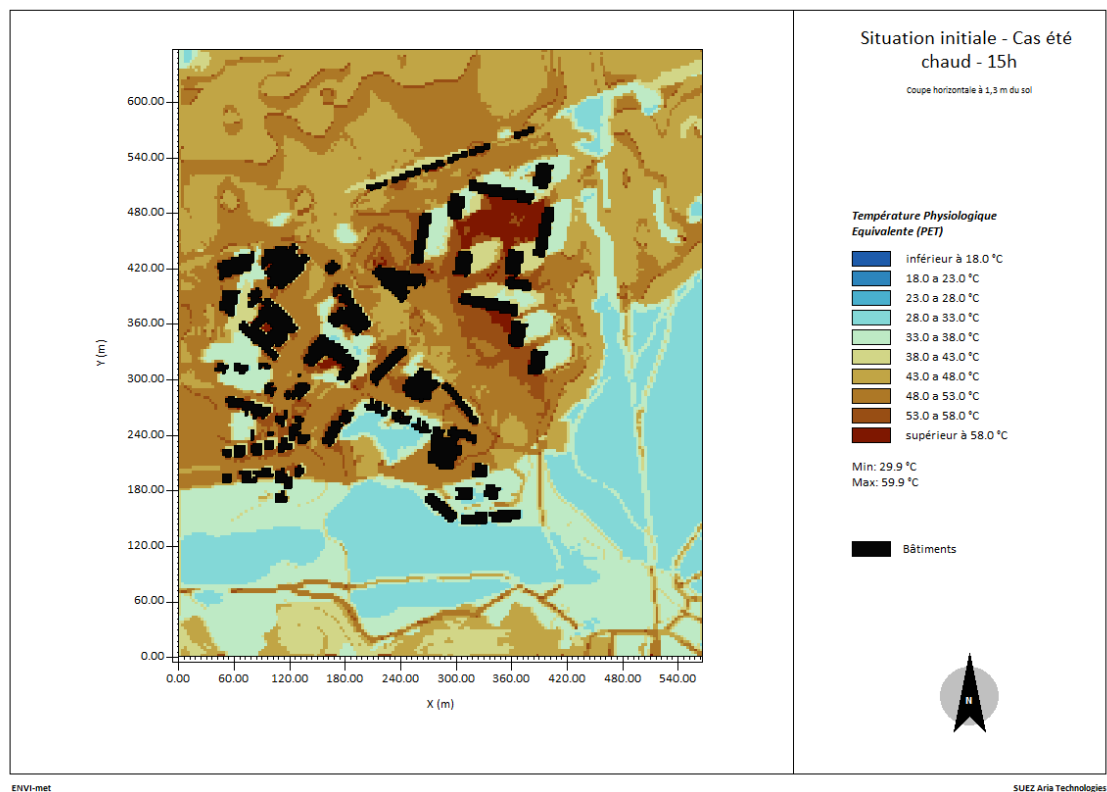


Figure 39 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été chaud à 15h

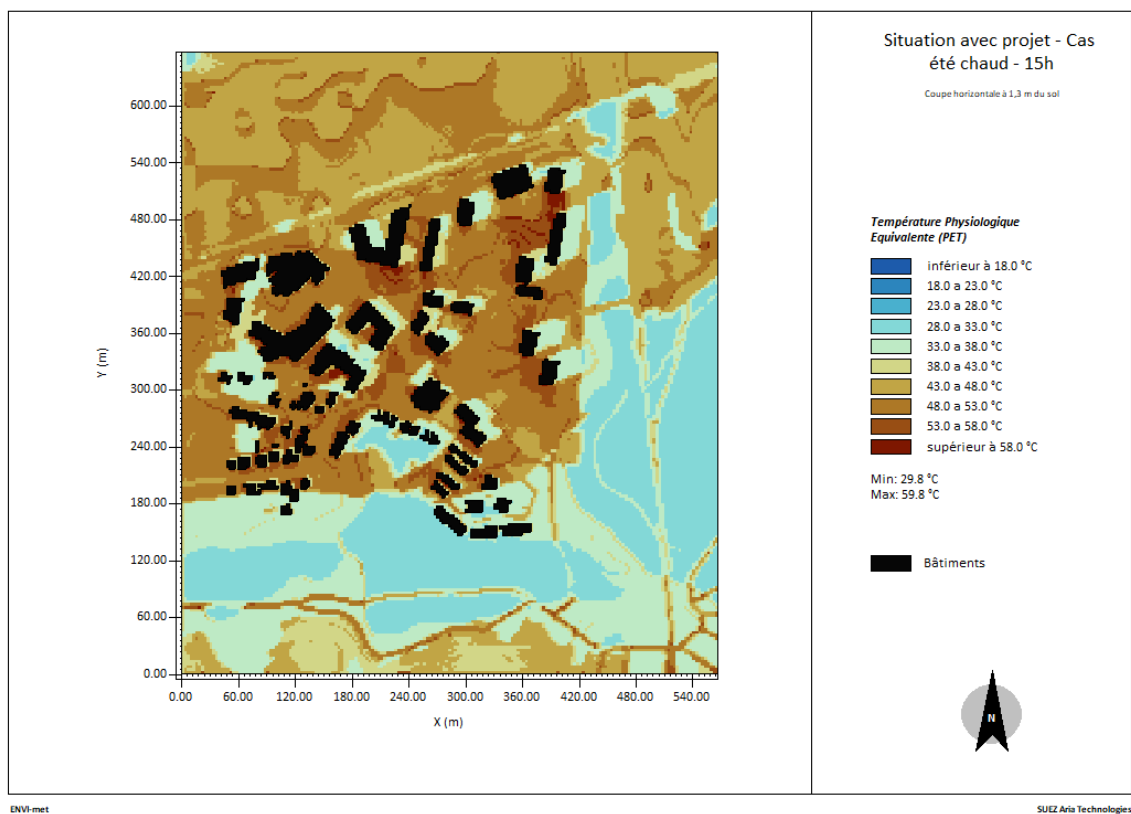


Figure 40 : écart de PET entre la situation avec projet et la situation initiale - Cas été chaud à 15h

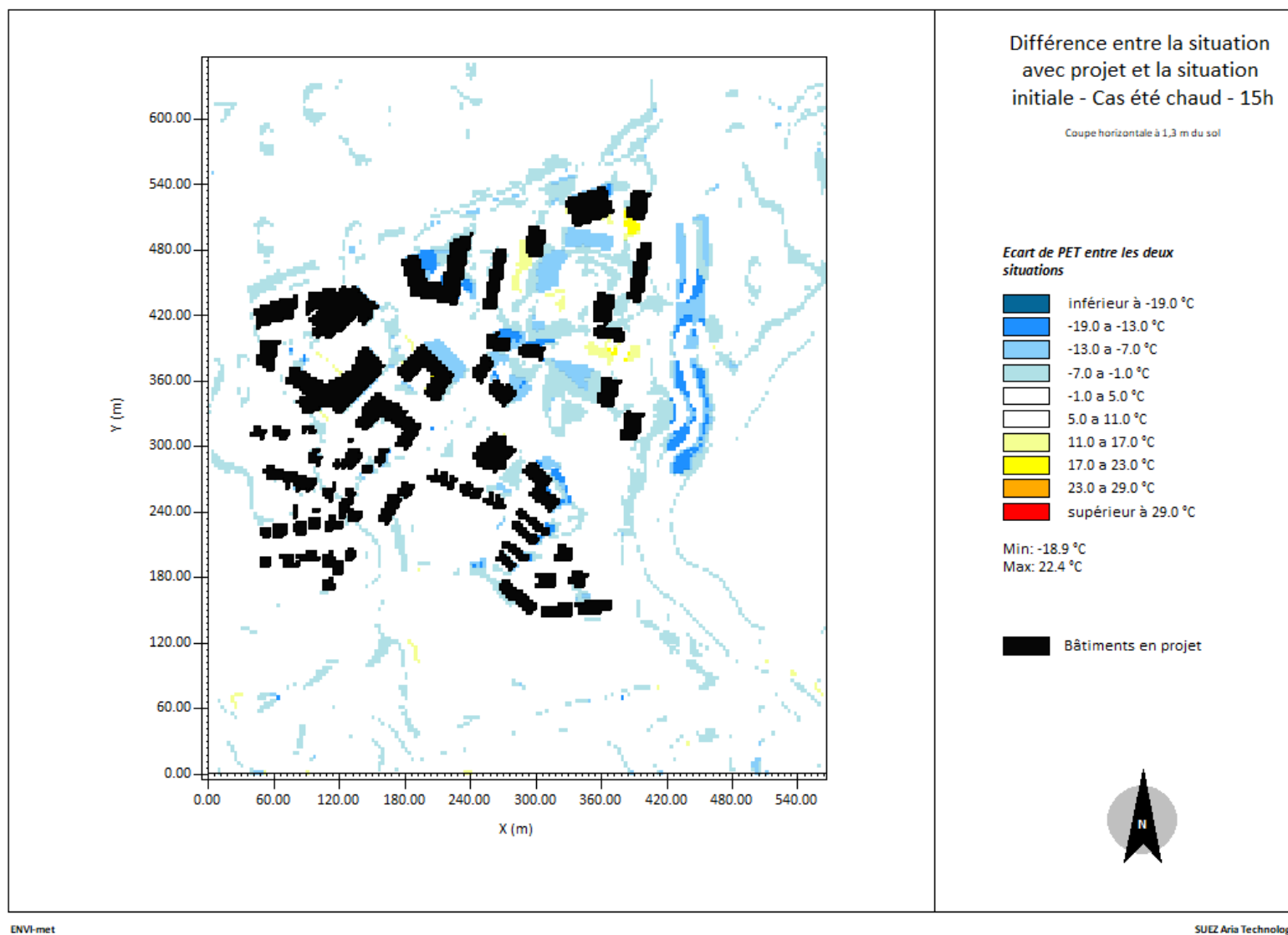


Figure 41 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été chaud à 22h

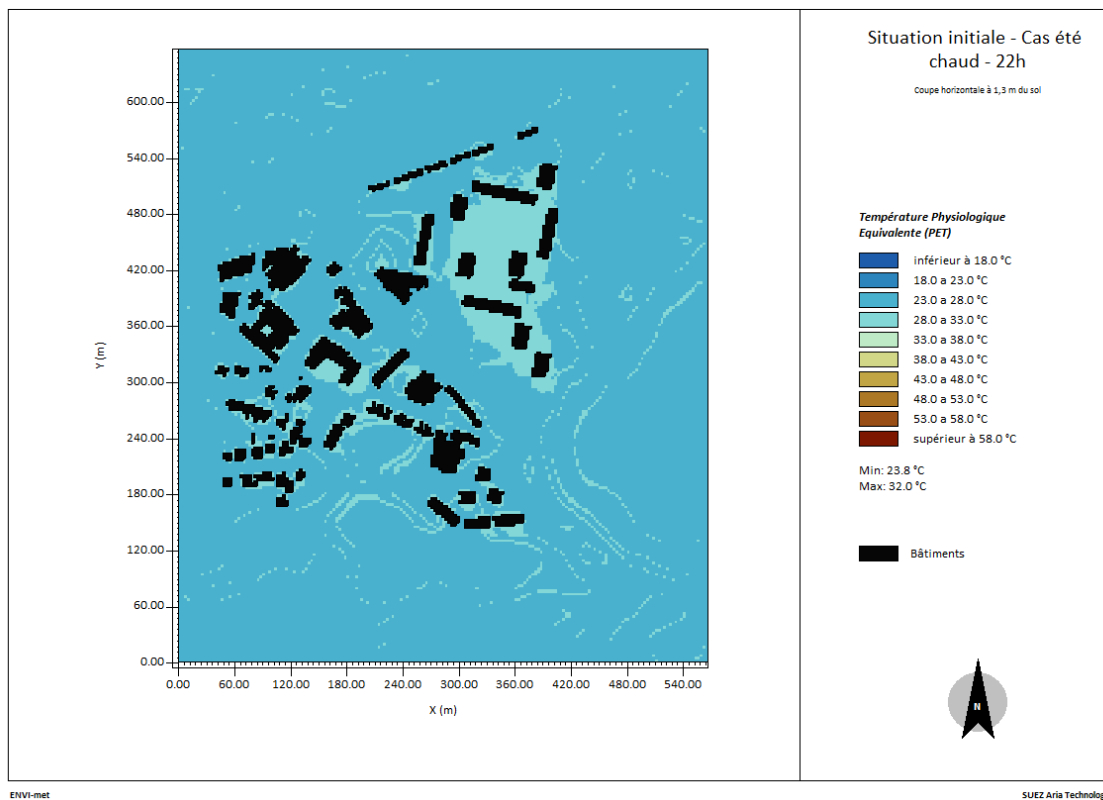


Figure 42 : Température Physiologique Equivalente (PET) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été chaud à 22h

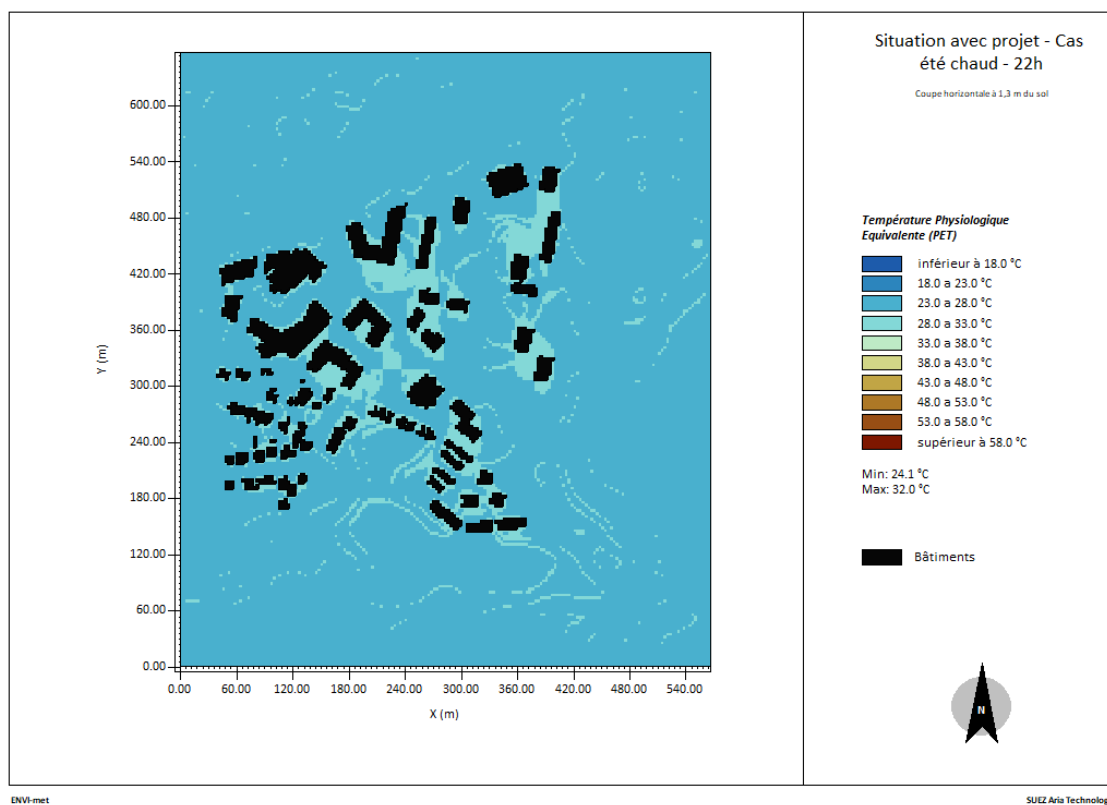
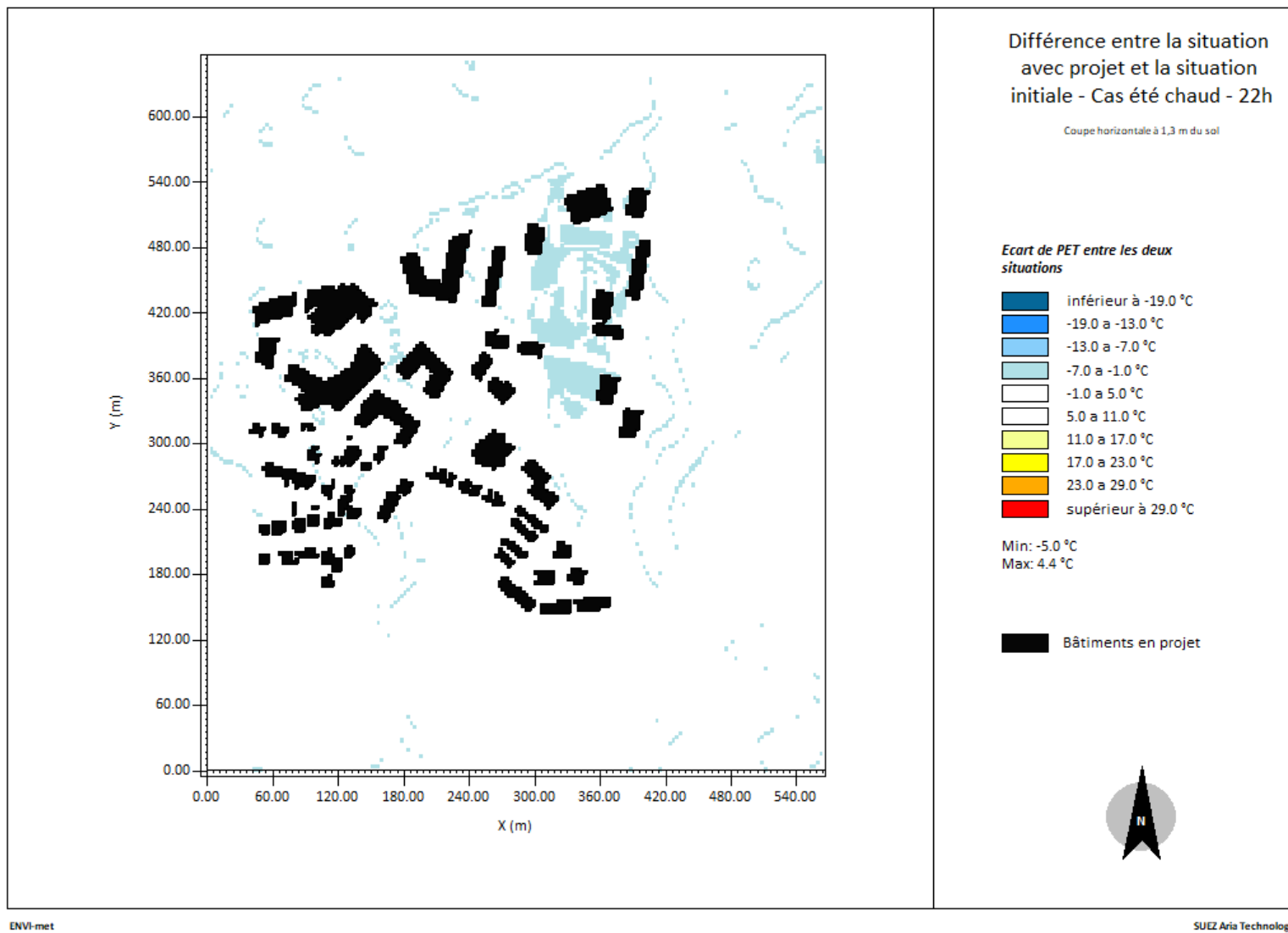


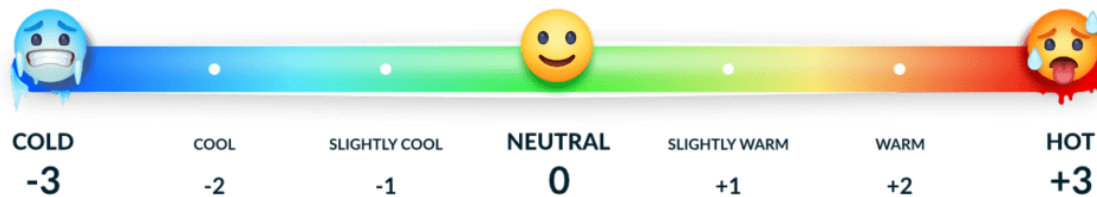
Figure 43 : écart de PET entre la situation avec projet et la situation initiale - Cas été chaud à 22h



4.2.1.4 Indice de confort PMV

Le PMV (*Predicted Mean Vote*) représente l'indice de confort des usagers. Il s'agit de l'avis moyen que donnerait un groupe important de personnes sur la sensation thermique ressentie dans une ambiance donnée, selon une échelle à sept niveaux allant du froid (-3) au chaud (+3). L'indice de confort est considéré comme agréable entre légèrement frais (-1) et légèrement chaud (+1). Cet indice est calculé à partir de la vitesse du vent, de sa direction et de la température moyenne radiante.

Figure 44 : échelle PMV (Source : <https://www.simscale.com>)



Les Figure 45 à Figure 52 représentent les résultats des indices de confort obtenus pour les situations initiale et avec projet, à 15h et 22h, dans les cas été classique et été chaud. Sur ces cartes, les zones en vert foncé et vert clair sont considérées comme agréables pour leurs usagers.

À 15h

- **Cas été classique** (Figure 45 et Figure 46) : l'indice PMV est compris entre -0,3 et 2,8 (sensation « agréable » à « très chaud ») en situation initiale comme en situation avec projet. Les sillages des bâtiments apparaissent en vert, c'est-à-dire qu'ils créent des zones thermiquement agréables.
- **Cas été chaud** (Figure 49 et Figure 50) : l'indice de confort PMV est compris entre 1,0 et 4,7 sur l'ensemble du domaine (sensation « légèrement chaud » à « très chaud »). Il est supérieur à 2 dans le sillage des bâtiments existants. Les espaces boisés au sud et à l'est du domaine sont « légèrement chauds ».

À 22h

Dans les deux cas et les deux situations, l'indice de confort PMV reste globalement stable sur l'ensemble du domaine d'étude : il est compris entre -1,4/-1,3 et -0,3 pour une journée d'été classique (sensation « légèrement froid » à « agréable »), et entre 0,2 et 1,1/1,2 dans le cas d'une journée chaude (sensation « agréable » à « légèrement chaud »).

Comparaison entre la situation avec projet et la situation initiale

Les différences observées entre les deux situations sont principalement localisées à proximité des bâtiments qui subissent des modifications (démolition et construction) et sur la promenade de l'aqueduc. Les interprétations à tirer sont les mêmes qu'au paragraphe 4.2.1.3 avec la Température Physiologique Equivalente (PET), que ce soit dans le cas été classique ou dans le cas été chaud.

Figure 45 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été classique à 15h

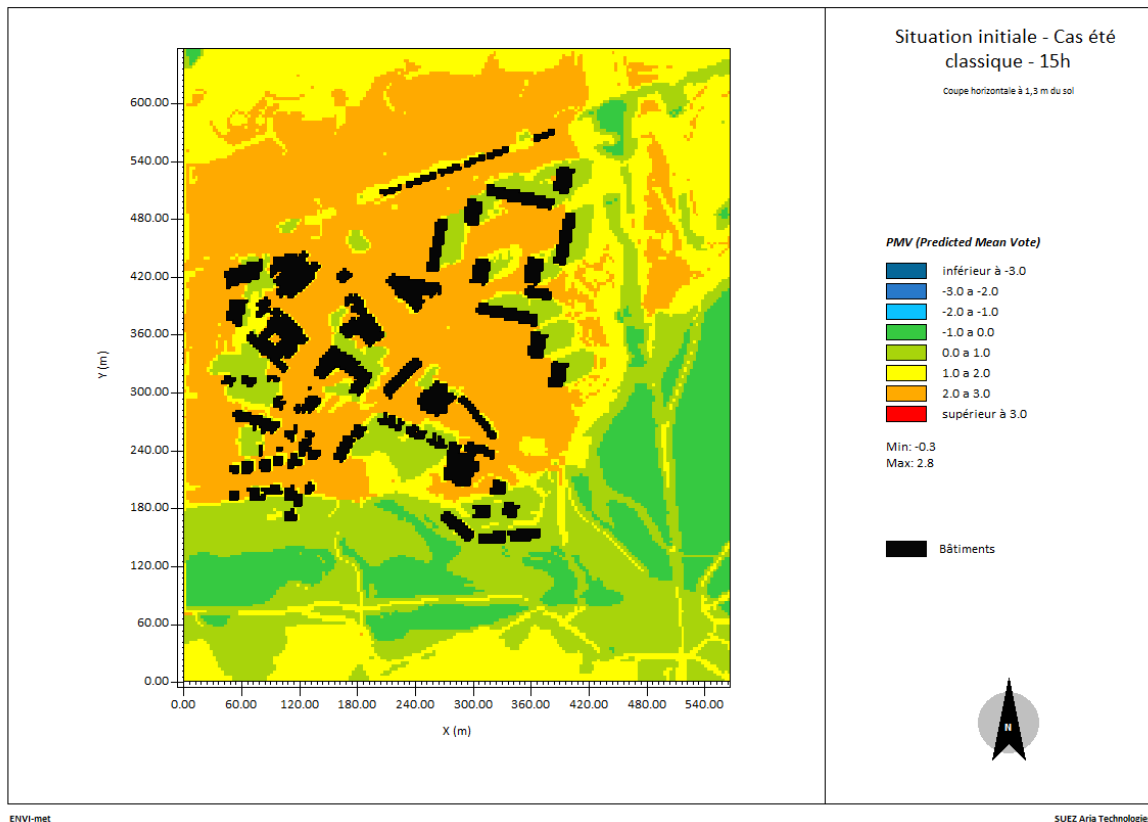


Figure 46 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été classique à 15h

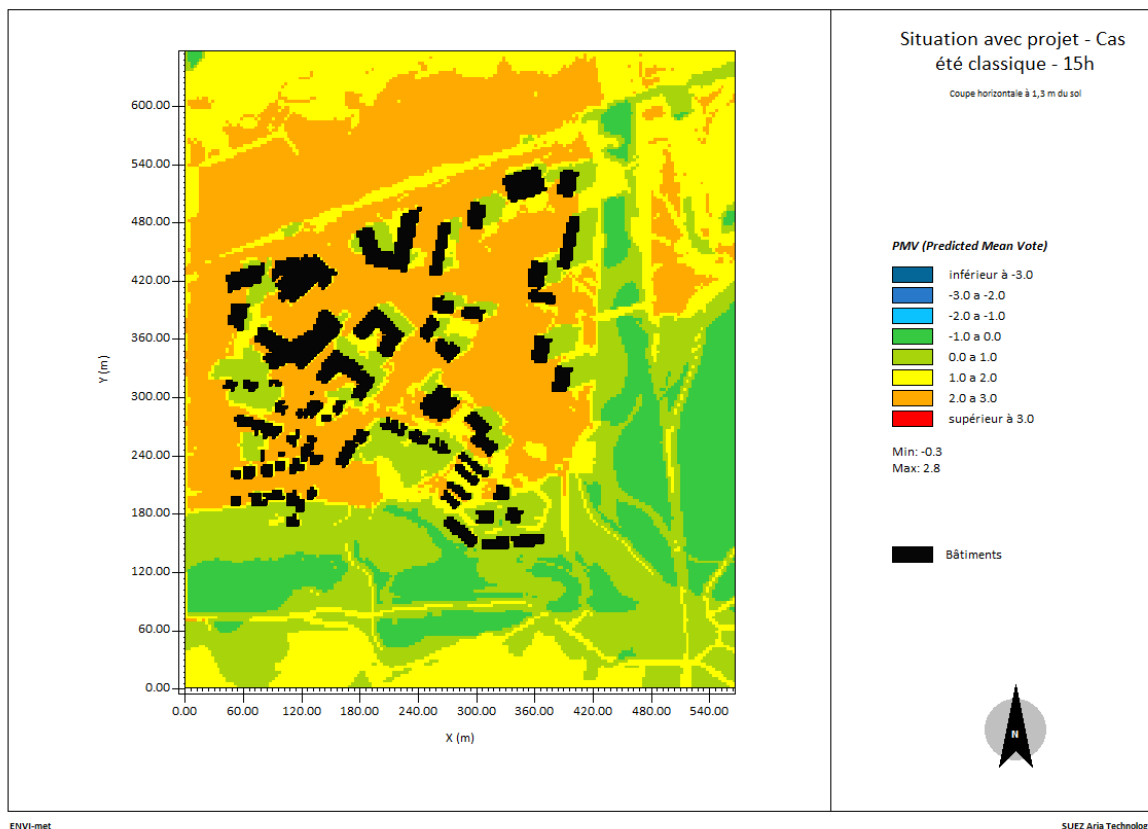


Figure 47 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été classique à 22h

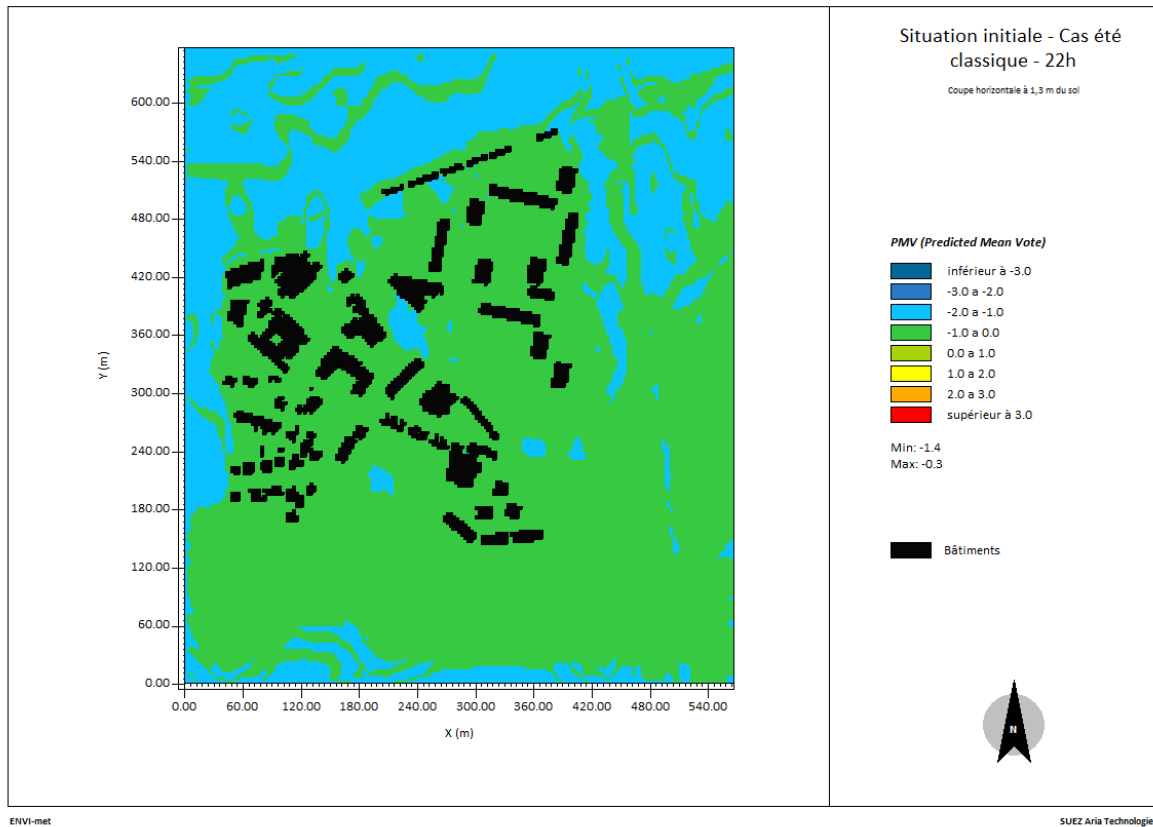


Figure 48 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été classique à 22h

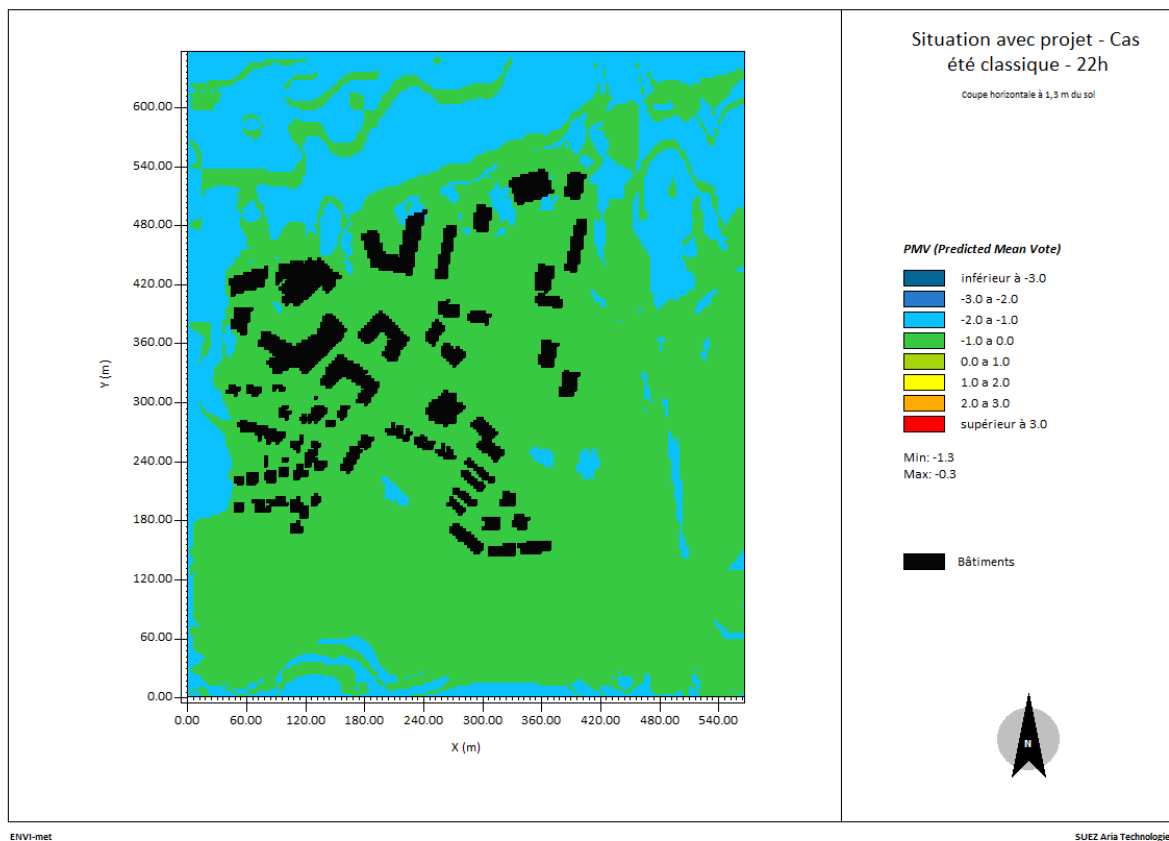


Figure 49 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été chaud à 15h

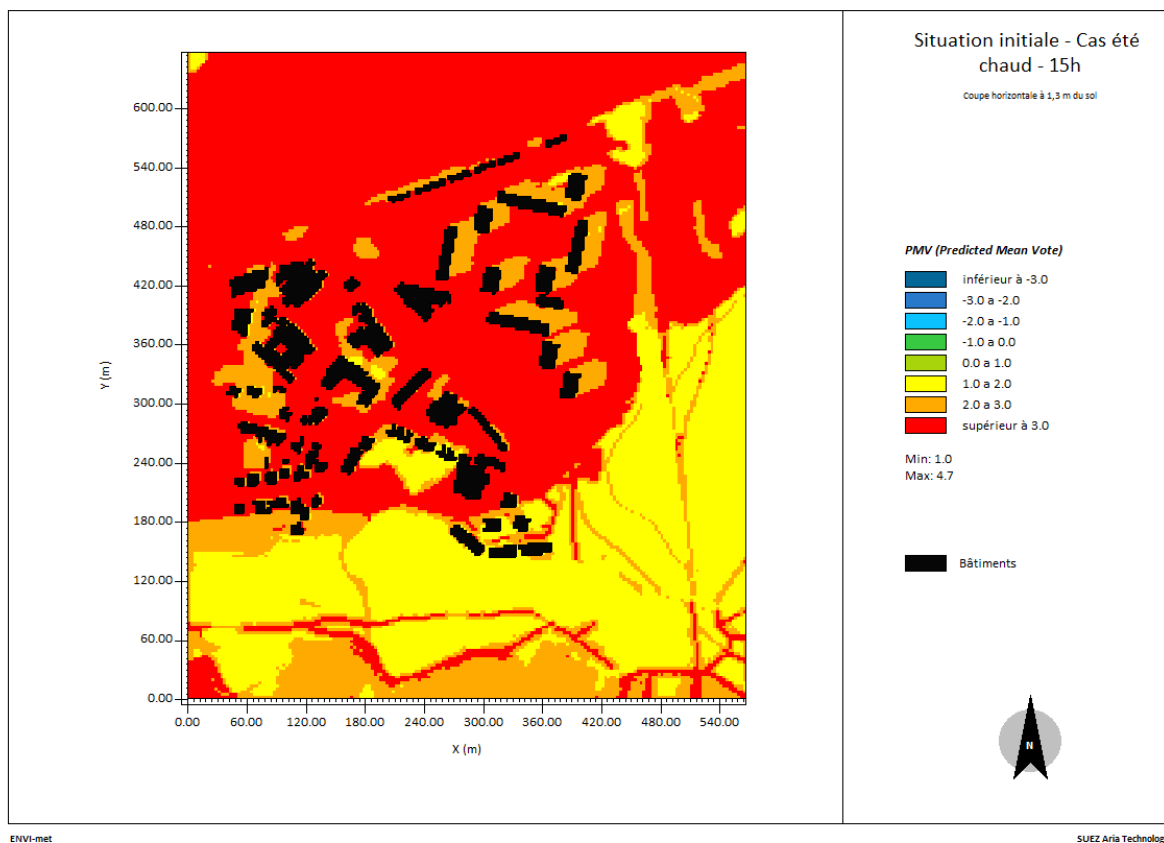


Figure 50 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été chaud à 15h

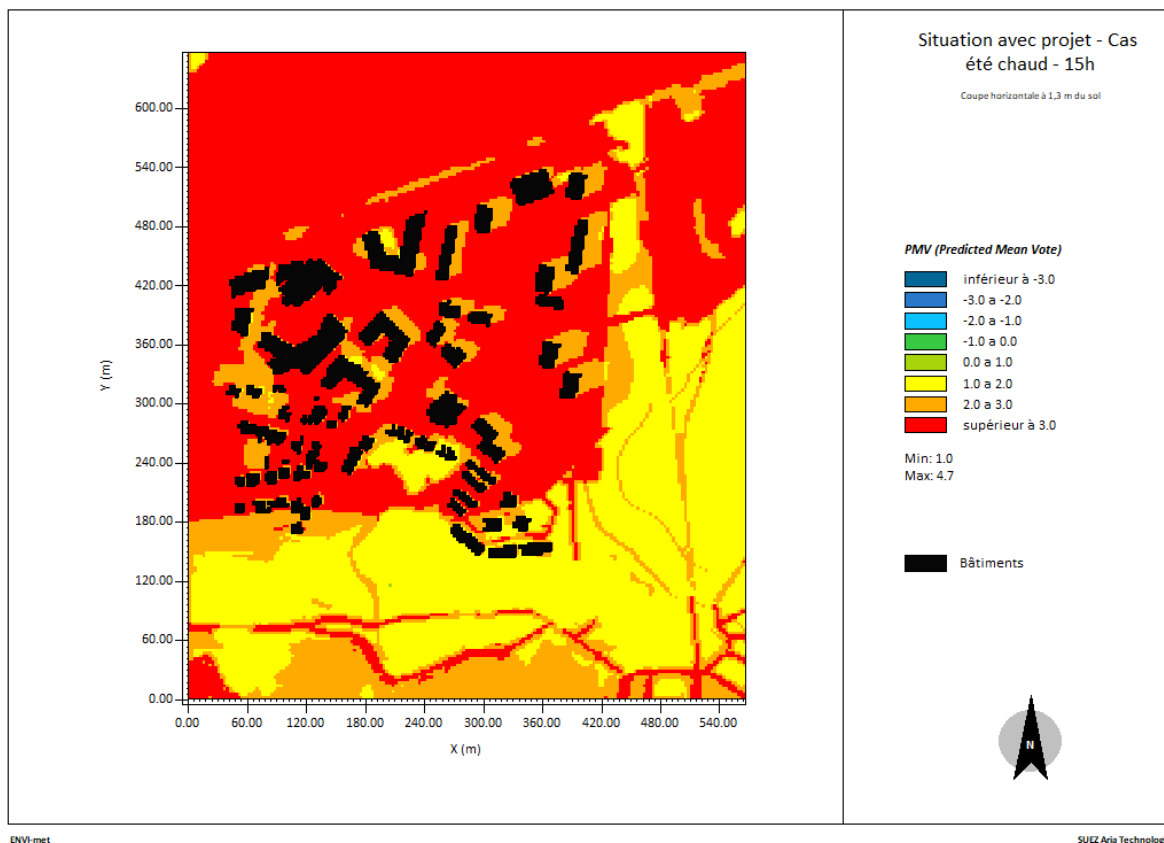


Figure 51 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation initiale - Cas été chaud à 22h

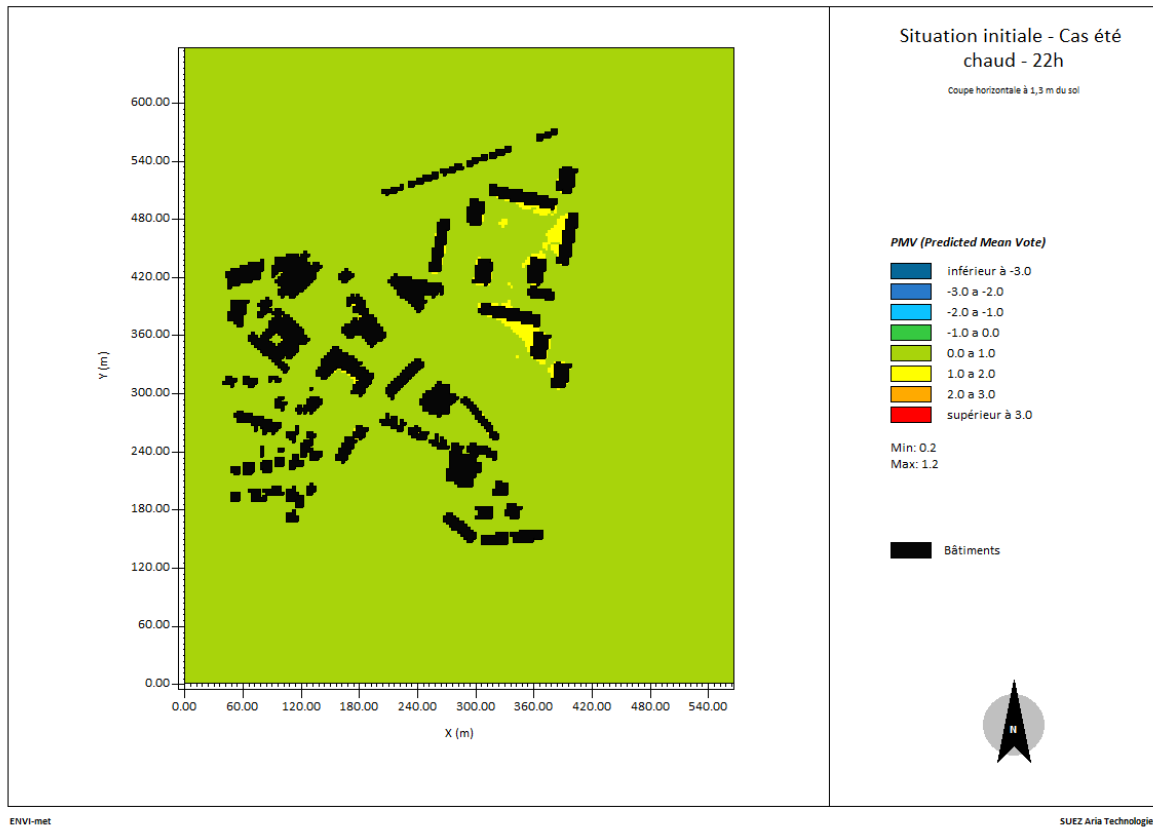
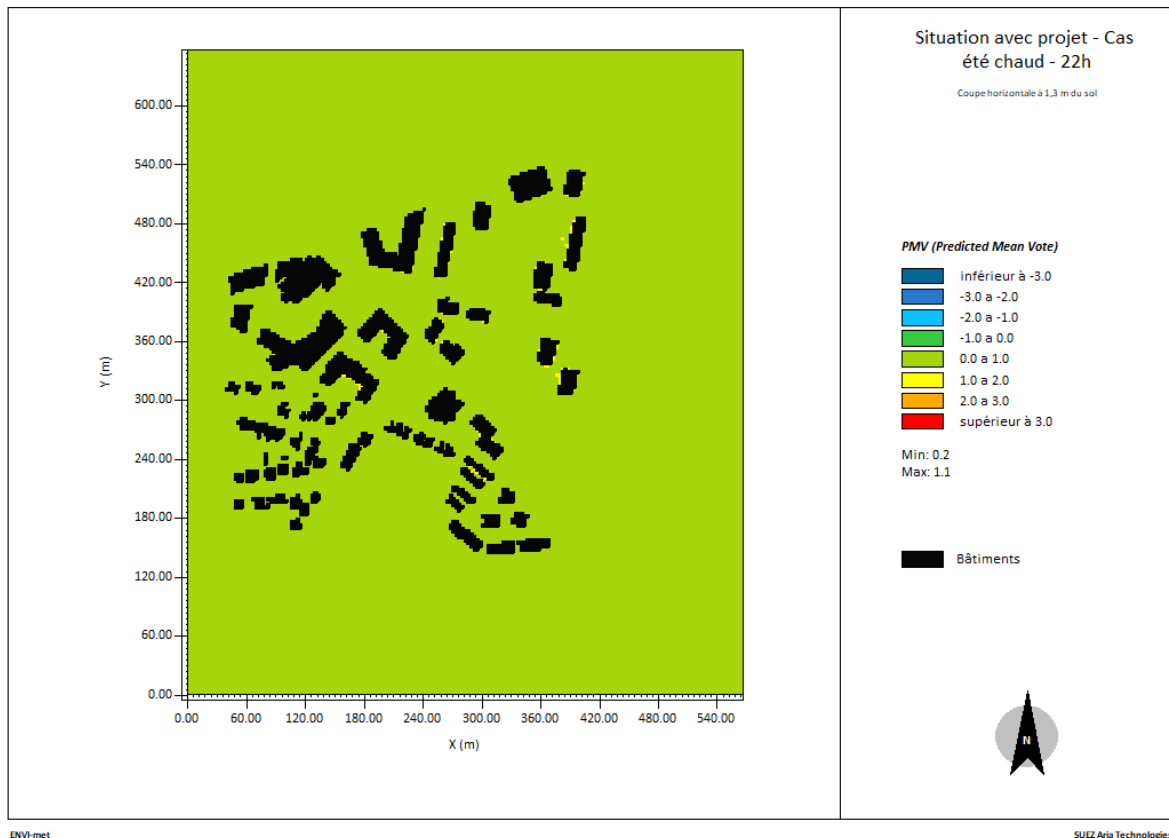


Figure 52 : PMV (Predicted Mean Vote) à 1,3 m du sol en situation avec projet - Cas été chaud à 22h



4.2.2 Résultats d'ensoleillement

4.2.2.1 Présentation des résultats

Le logiciel ENVI-met permet de simuler la durée d'ensoleillement dans les espaces extérieurs du domaine de simulation ainsi que sur les façades des bâtiments, en nombre d'heures sur une journée aux solstices et aux équinoxes. Ainsi, les résultats des simulations sont présentés à trois dates de l'année : 21 mars (printemps), 21 juin (été, soleil le plus haut dans l'année) et 21 décembre (hiver, soleil le plus bas dans l'année).

4.2.2.2 Durée d'ensoleillement dans les espaces extérieurs

Les *Figure 53* à *Figure 58* présentent les durées d'ensoleillement dans les espaces extérieurs en situation initiale et en situation avec projet à trois dates de l'année : 21 mars, 21 juin et 21 décembre.

Aux trois dates étudiées, les zones boisées sont celles qui reçoivent le moins d'ensoleillement, ce qui est propice en été à des espaces confortables pour les piétons.

À proximité des bâtiments, les durées d'ensoleillement ont tendance à être réduites par rapport à des zones jamais ombragées du fait des ombres portées générées par les bâtiments. Il est observé quelques espaces fortement ensoleillés en été (> 14 heures d'ensoleillement le 21 juin) à l'intérieur du périmètre du projet dans les deux situations (initiale et avec projet).

Figure 53 : ensoleillement dans les espaces extérieurs en situation initiale le 21 mars

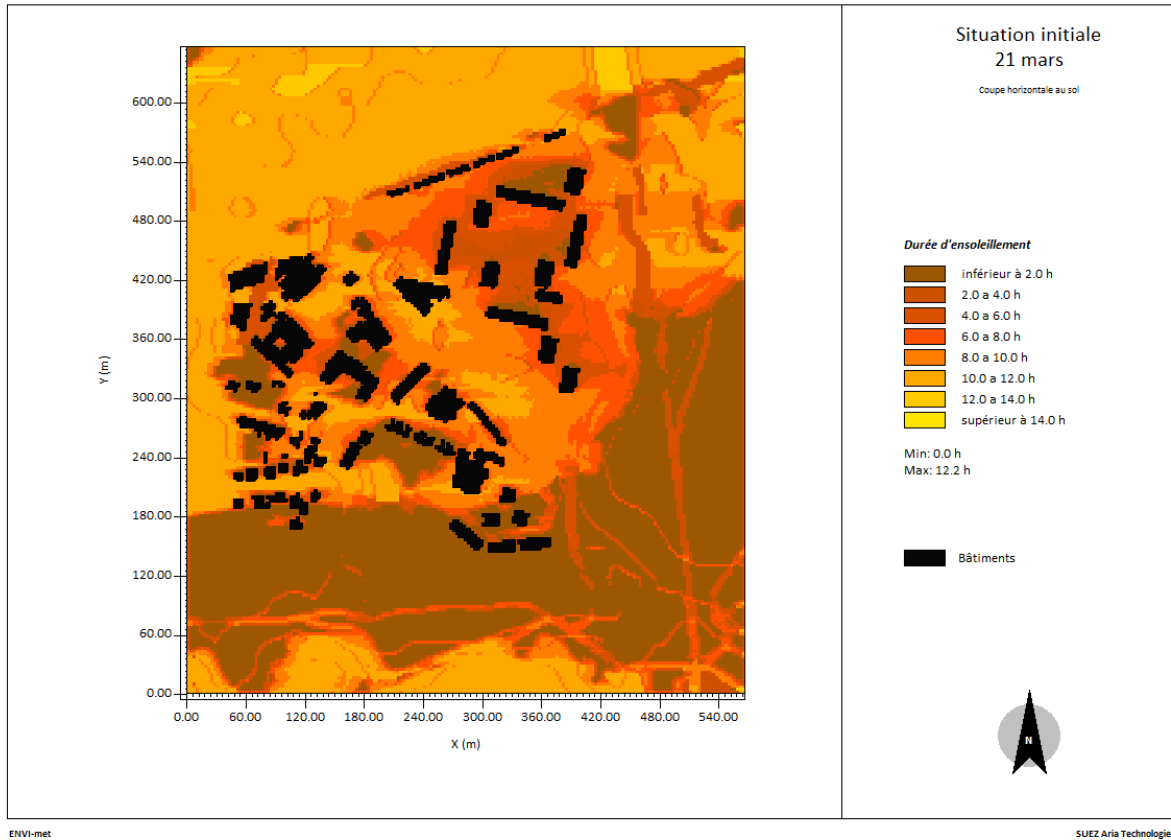


Figure 54 : ensoleillement dans les espaces extérieurs en situation avec projet le 21 mars

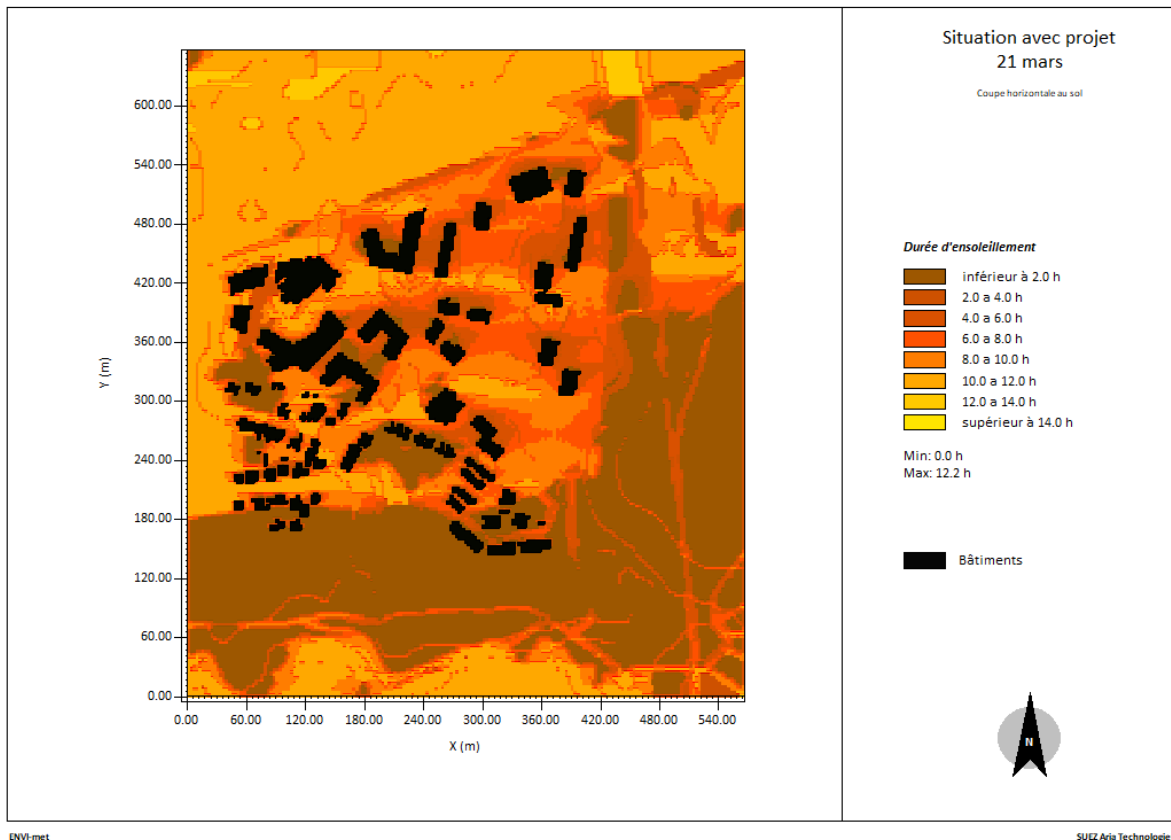


Figure 55 : ensoleillement dans les espaces extérieurs en situation initiale le 21 juin

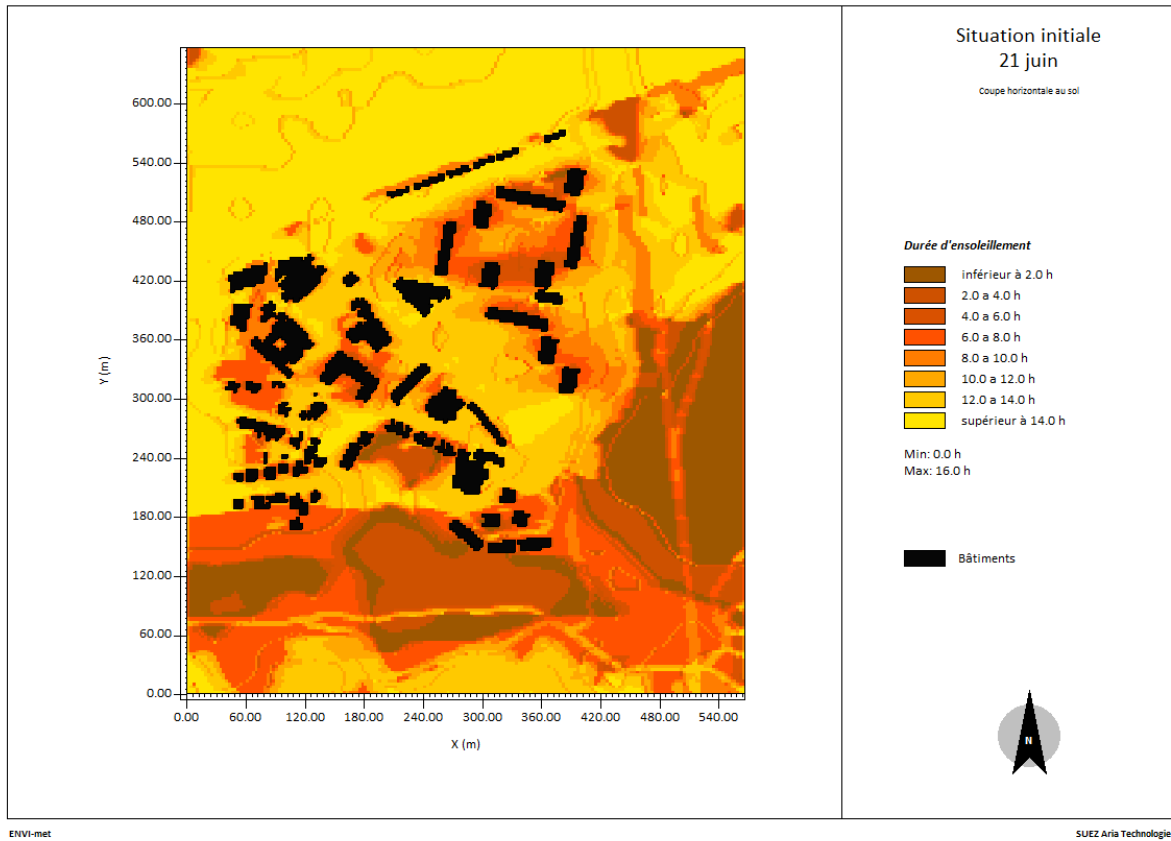


Figure 56 : ensoleillement dans les espaces extérieurs en situation avec projet le 21 juin

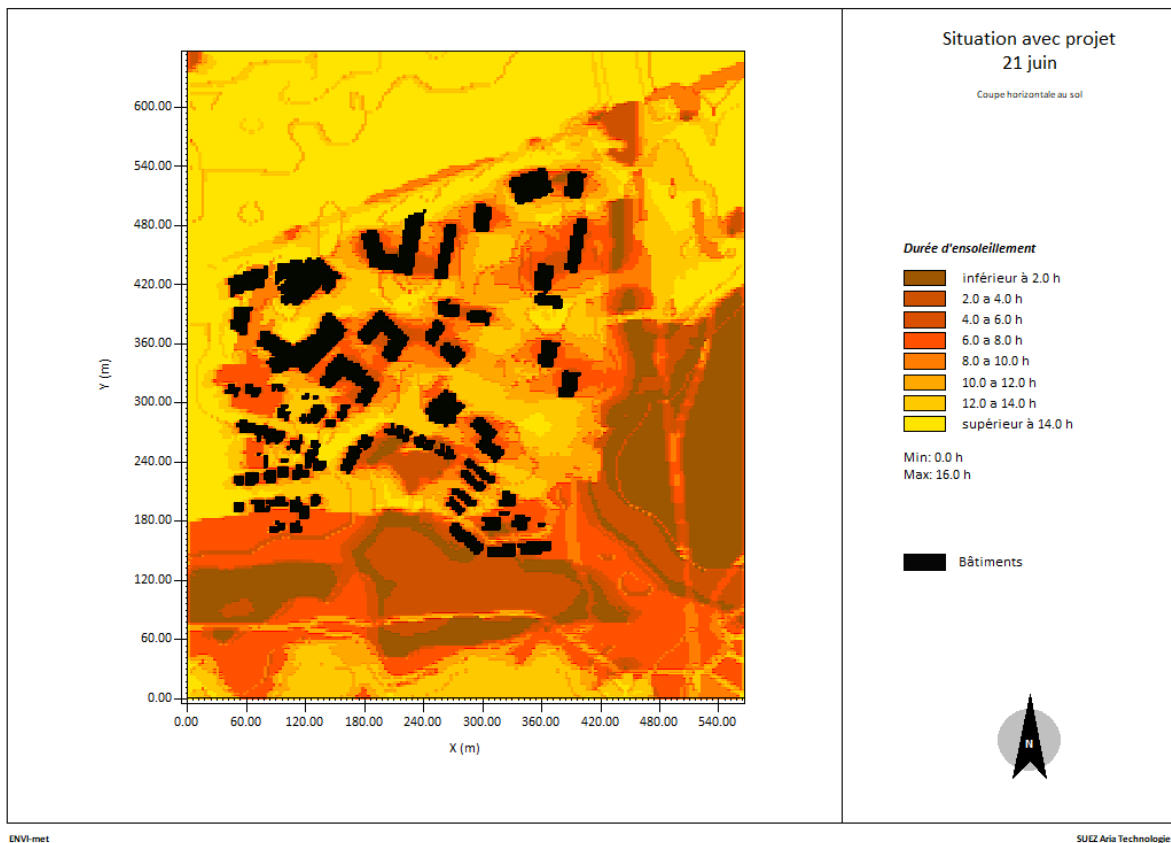


Figure 57 : ensoleillement dans les espaces extérieurs en situation initiale le 21 décembre

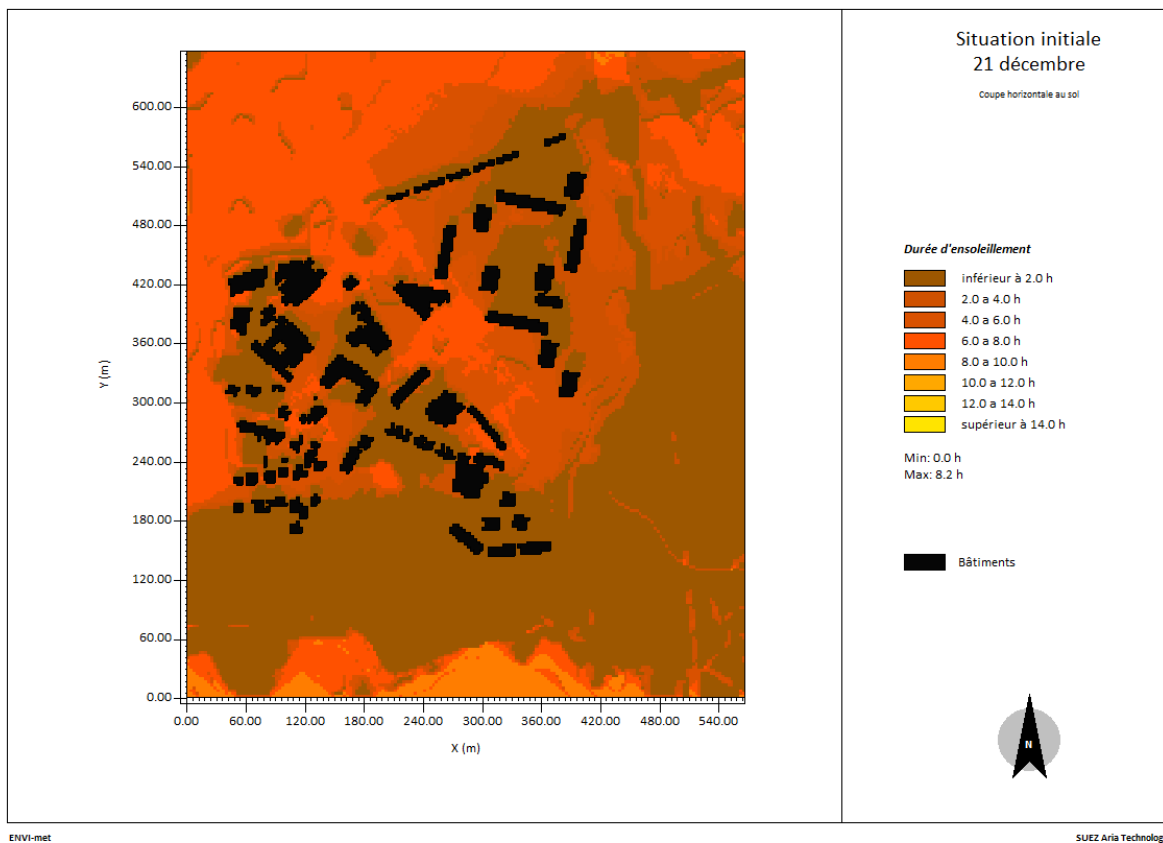
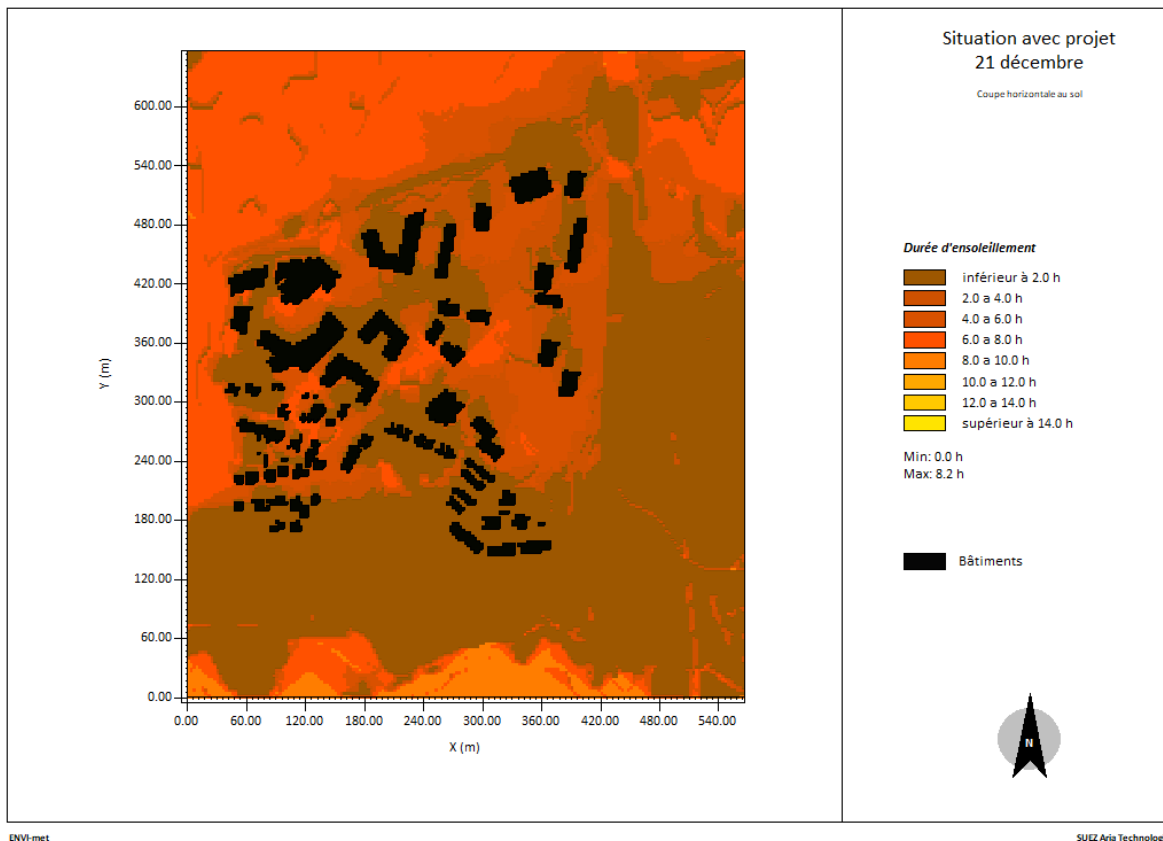


Figure 58 : ensoleillement dans les espaces extérieurs en situation avec projet le 21 décembre



4.2.2.3 Durée d'ensoleillement des façades

Les Figure 59 à Figure 64 présentent des vues 3D des durées d'ensoleillement des façades en situation initiale et en situation avec projet à trois dates de l'année : 21 mars, 21 juin et 21 décembre.

Comme il fallait s'y attendre, les niveaux les plus bas des grands immeubles reçoivent moins de soleil que les étages supérieurs.

Figure 59 : ensoleillement des façades en situation initiale le 21 mars

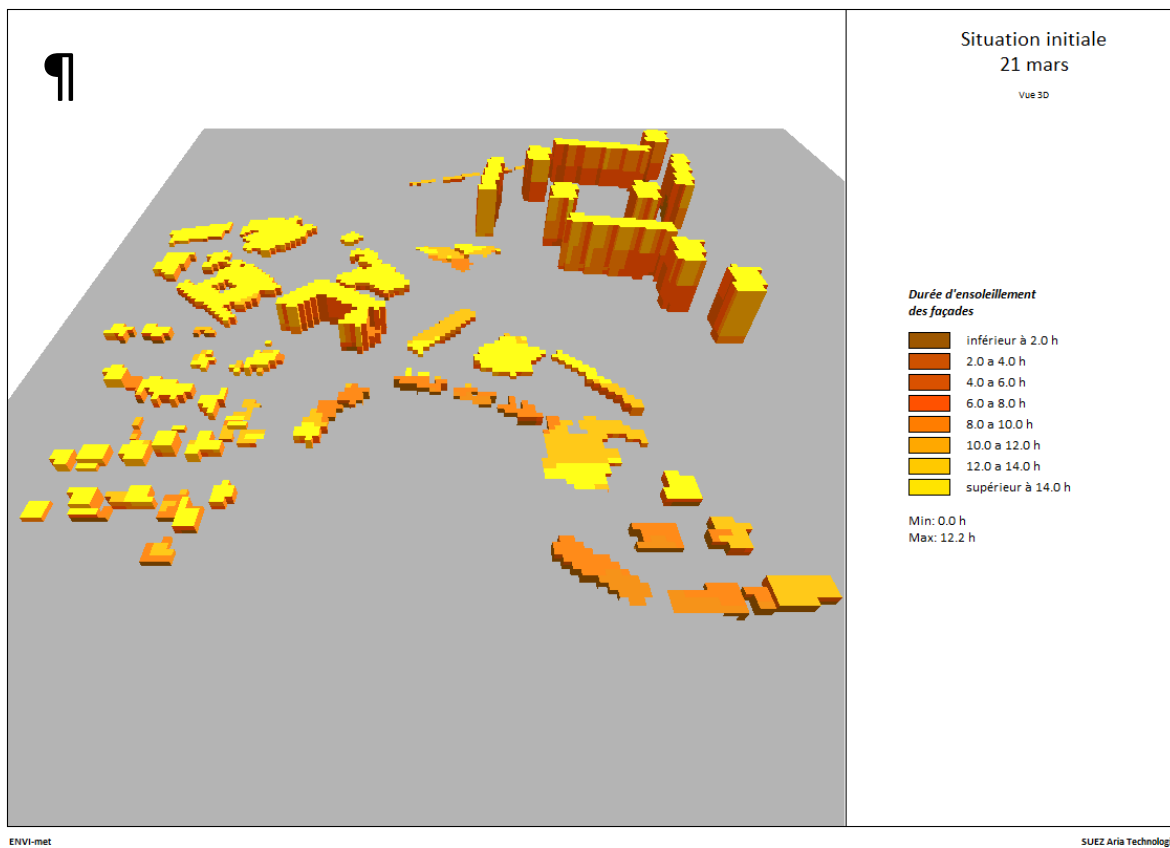


Figure 60 : ensoleillement des façades en situation avec projet le 21 mars

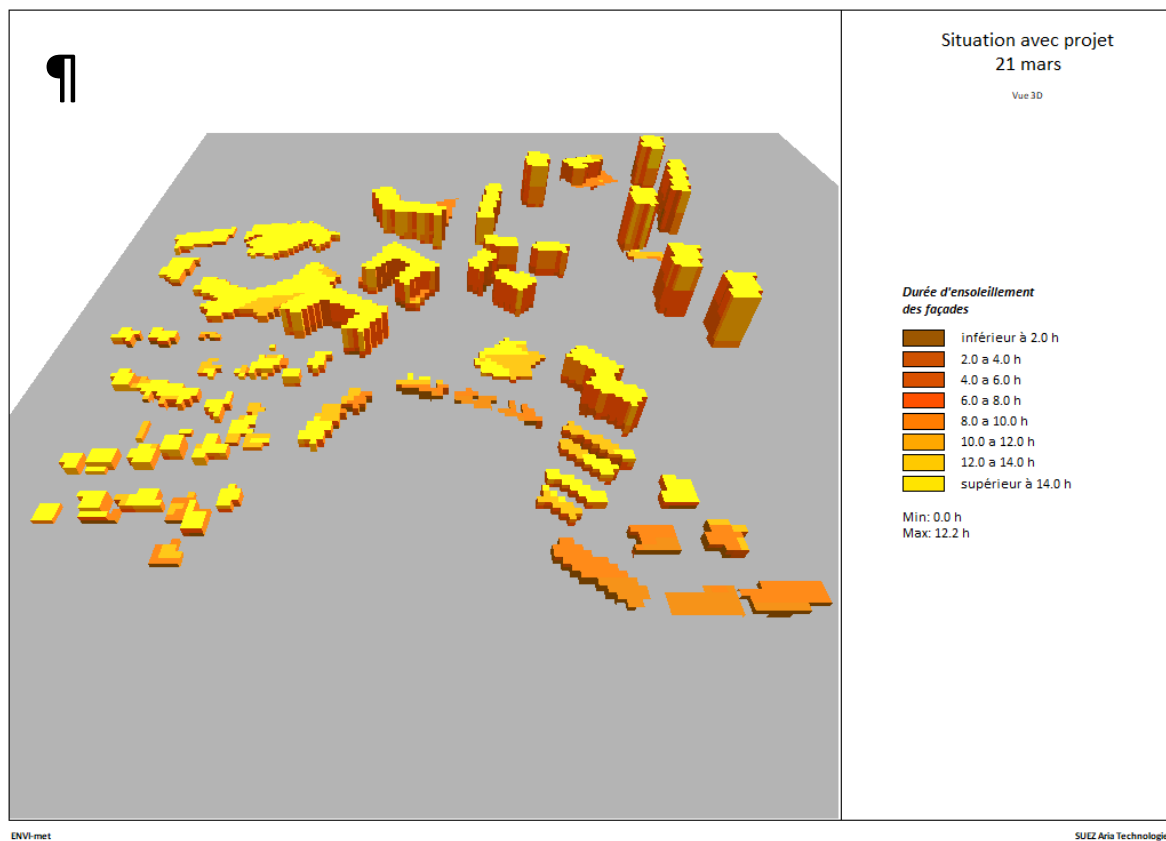


Figure 61 : ensoleillement des façades en situation initiale le 21 juin

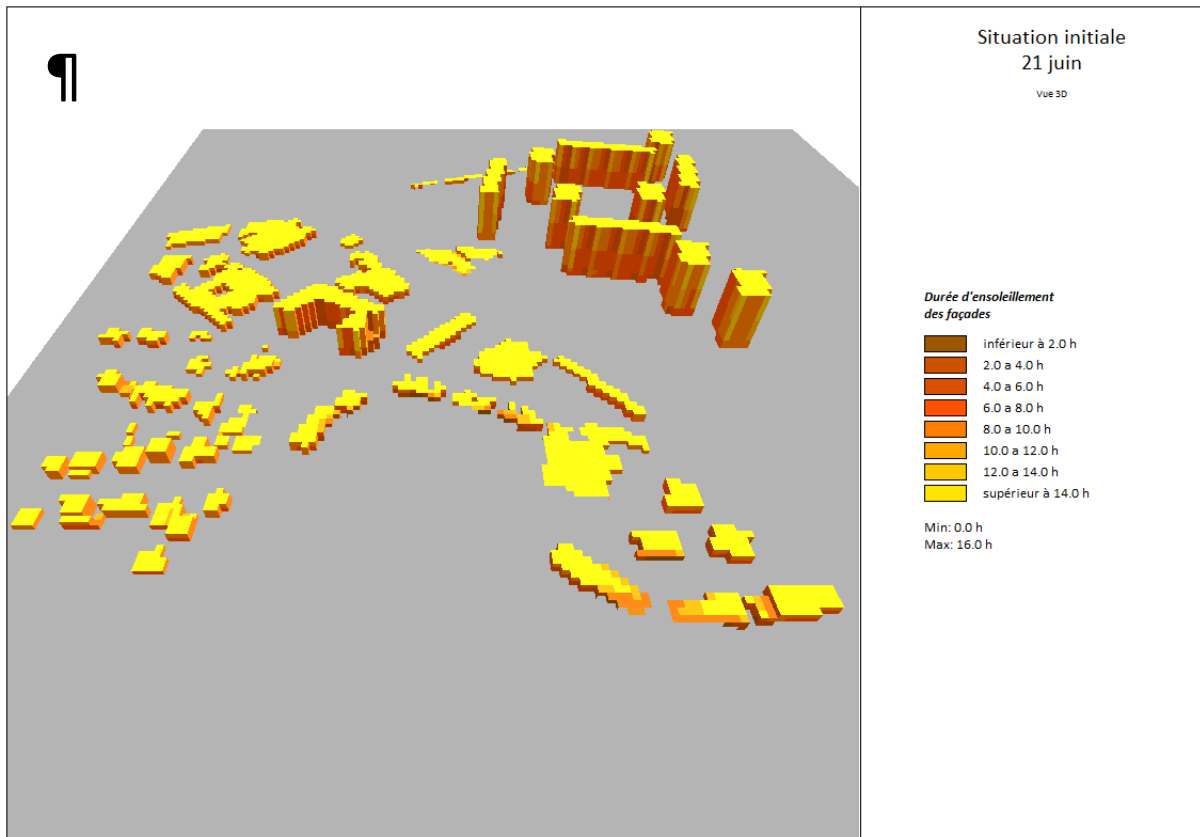


Figure 62 : ensoleillement des façades en situation avec projet le 21 juin

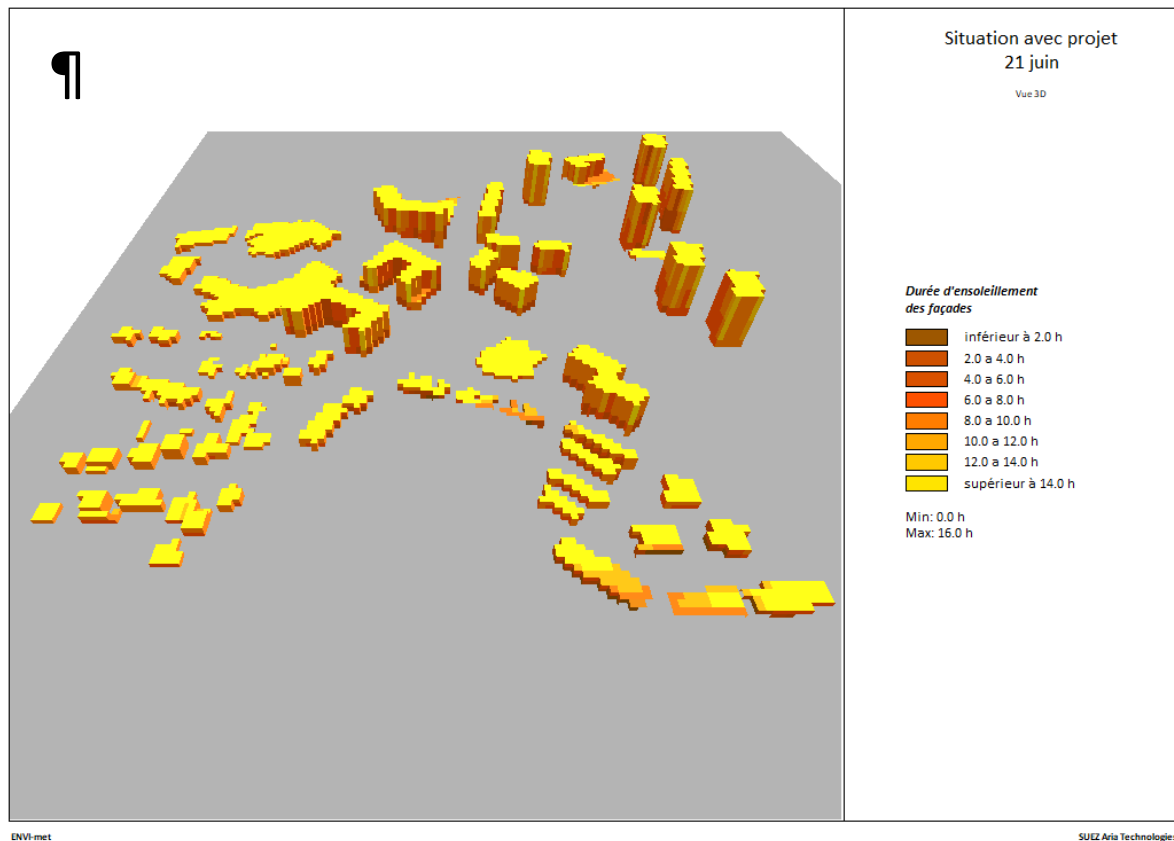


Figure 63 : ensoleillement des façades en situation initiale le 21 décembre

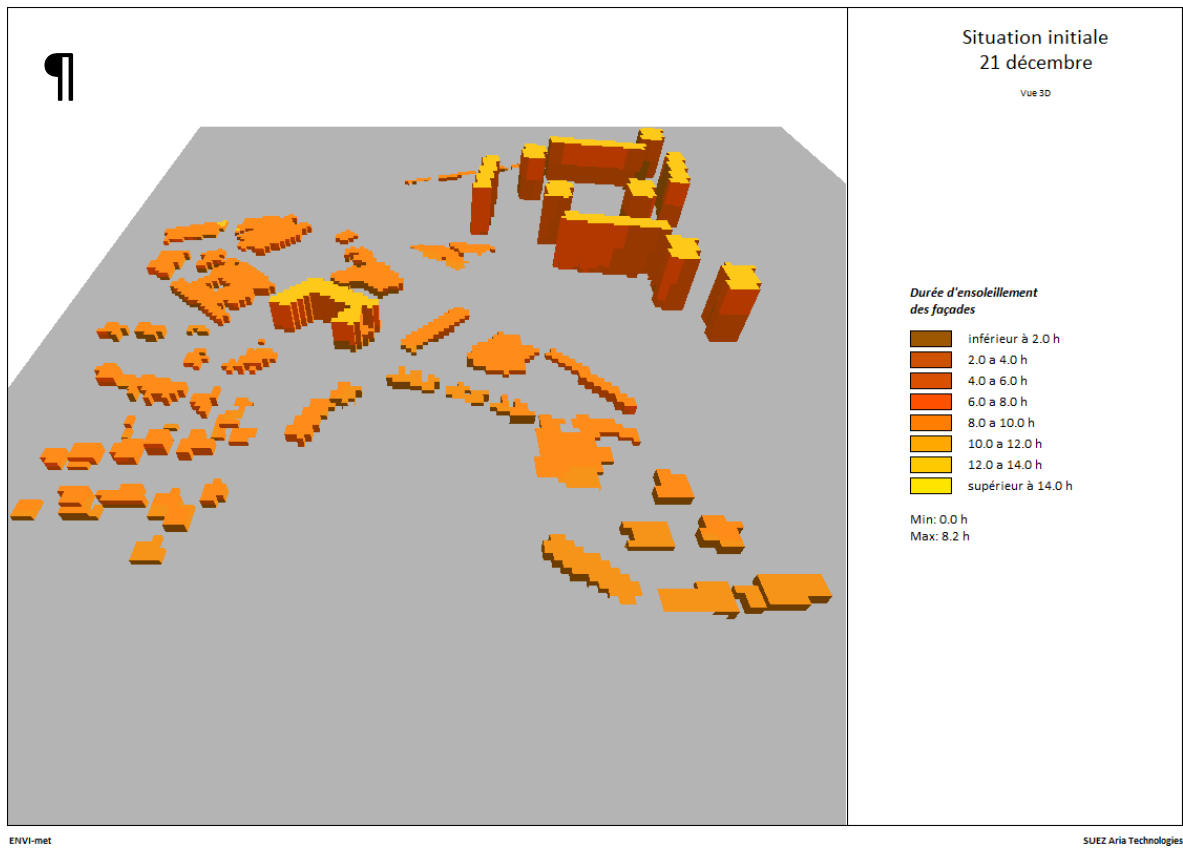
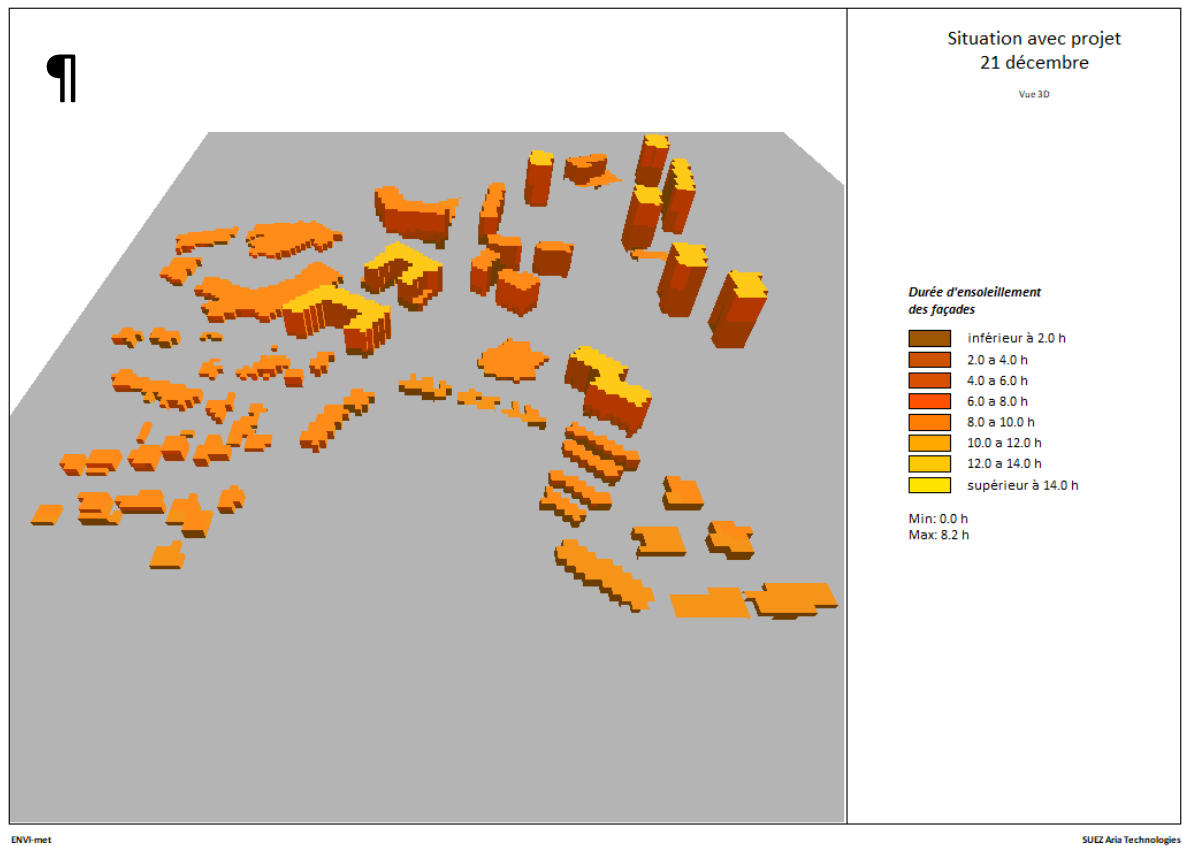


Figure 64 : ensoleillement des façades en situation avec projet le 21 décembre



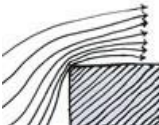
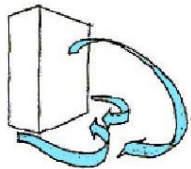
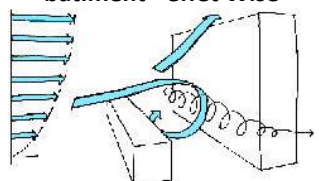
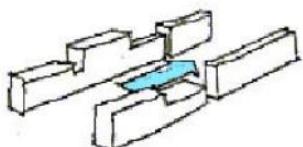
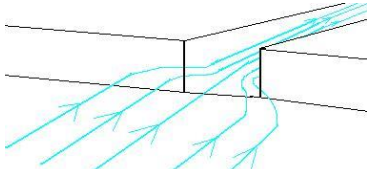
5 ETUDE DU CONFORT AU VENT

5.1 METHODOLOGIE

5.1.1 Principaux effets aérauliques en milieu urbain

Dans le contexte urbain, l'écoulement du vent est un paramètre très important car il est fortement influencé par les formes urbaines. Les effets aérauliques les plus courants dans les espaces urbains sont présentés dans le *Tableau 6*.

Tableau 6 : principaux effets aérauliques en zone urbaine (Source : Biao Wang, 20159)

Effet aéraulique	Description	Impact sur le confort au vent
Effet de coin 	Il représente un phénomène d'accélération localisée à l'angle d'un bâtiment.	L'effet de coin peut être gênant pour les piétons du fait de l'accélération de la vitesse du vent dans la zone critique.
Tourbillons à l'arrière d'un bâtiment - effet de sillage 	Phénomène de tourbillonnement à l'arrière d'une construction. Le phénomène est proportionnel à la surface du bâtiment qui s'oppose à l'écoulement principal du vent et la vitesse est faible au centre.	L'impact sur le confort au vent est dépendant de la hauteur et largeur du bâtiment.
Tourbillons à l'avant d'un bâtiment - effet Wise 	Création d'un rouleau tourbillonnaire devant un bâtiment lorsque celui-ci est proche d'un bâtiment plus petit implanté parallèlement.	L'effet Wise est très gênant pour les piétons du fait de la forte composante verticale de la vitesse du vent dans la zone critique.
Effet de canalisation 	Il apparait lorsqu'un ensemble de bâtiments forme un couloir dans le sens du vent.	Une canalisation n'est pas une cause de gêne en soi.
Effet Venturi 	Rétrécissement du passage qui amène à l'augmentation de la vitesse du vent, pour un débit identique.	La zone critique du confort se situe à l'étranglement. L'association de phénomènes de canalisation et de Venturi peut être une source de gêne importante.

L'écoulement du vent dépend donc à la fois des conditions météorologiques caractéristiques de la ville et des interactions aérodynamiques entre le vent et les bâtiments composant le tissu urbain.



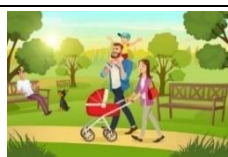

⁹ Biao Wang. Les impacts de la morphologie urbaine sur le vent : performance d'énergie éolienne à l'échelle de quartier. Energie électrique. INSA de Toulouse, 2015. Français. ffNNT : 2015ISAT0004ff. fftel-01245149

5.1.2 Critère de confort au vent

Le critère de confort au vent peut être établi de différentes manières, en intégrant différentes définitions des seuils de perception de l'inconfort par les usagers des espaces extérieurs. En France, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) a déterminé une valeur seuil de vitesse de vent égale à 3,6 m/s, qui caractérise une limite haute pour un lieu de stationnement piéton (terrasse d'un café par exemple). Le calcul de ce seuil se base essentiellement sur l'échelle de Beaufort, qui hiérarchise les vitesses de vent mesurées à 2 mètres du sol en fonction de leurs effets visibles sur l'environnement et le ressenti.

Pour évaluer correctement l'inconfort, la fréquence de gêne, correspondant au pourcentage du temps pendant lequel le seuil de la vitesse de vent de 3,6 m/s est dépassé, est calculée dans un premier temps puis elle est analysée en tenant compte des activités pratiquées sur la zone d'étude. Ainsi, on peut admettre localement des fréquences de dépassement importantes si la zone considérée est une zone de promenade ou des trottoirs. Inversement, une attention particulière est appliquée si la zone considérée correspond à des terrasses ou à des aires de jeux, la fréquence de gêne calculée devant rester inférieure à 5 % du temps. Le Tableau 7 indique la fréquence maximale de périodes d'inconfort ou de gêne considérée comme admissible pour différentes catégories d'activités^{10,11}.

Tableau 7 : fréquences de gêne maximales pour différentes catégories d'activités (source : CSTB)

Activités		Exemples	Fréquence de gêne maximale (en pourcentage du temps annuel)
	Station immobile prolongée	Terrasse de café, théâtre en plein air, piscine	Quelques pourcents
	Station immobile de courte durée	Jardin public, aire de jeux, rue commerçante	5 %
	Marche normale	Promenade pédestre, passage piétonnier, entrée d'immeuble	10 %
	Marche rapide	Parc auto, trottoir des avenues, belvédère	20 %

¹⁰ Pedestrian wind comfort assessment criteria: A comparative case study. Delpech, P., Baker, C. J., Blackmore, P. A., Koss, H., Sanz-Andres, A., Stathopoulos, T., & Willemsen, E., 2005

¹¹ Etude du confort au vent autour du projet de la Canopée des Halles à Paris, CSTB, rapport EN CAPE 09-179C, Octobre 2009

5.1.3 Présentation du modèle micro Swift

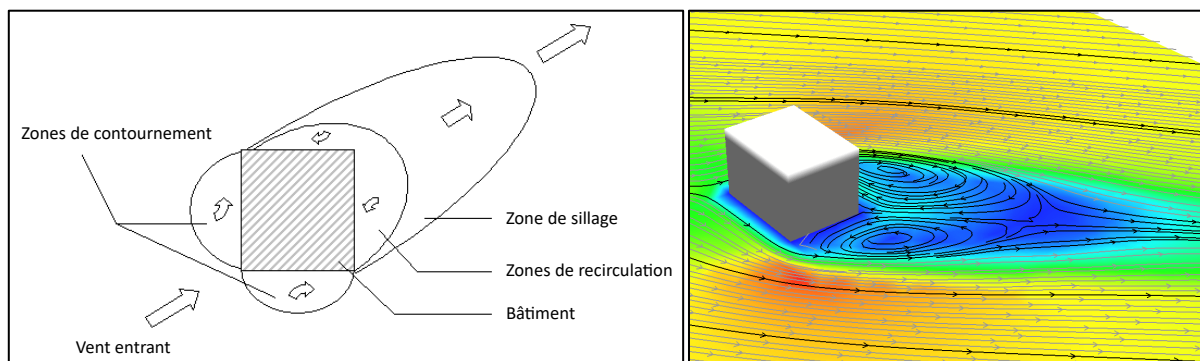
Compte tenu du contexte urbain de la zone d'étude, les simulations 3D du vent s'appuient sur le modèle météorologique micro SWIFT (de la chaîne PMSS) présent dans le logiciel **ARIA City**. Micro SWIFT permet de simuler l'écoulement du vent à petite échelle en présence d'obstacles, en un temps de calcul très inférieur aux solutions CFD complètes. Une description de micro SWIFT est présentée en Annexe 2.

Micro SWIFT prend en compte les conditions météorologiques d'une ou de plusieurs stations météorologiques, des variations dans l'espace de la topographie et de la rugosité du sol, et des différents obstacles présents dans la zone d'étude.

Les effets des obstacles sur l'écoulement sont notamment modélisés par création de zones spécifiques autour des bâtiments (Figure 65) :

- **Zone de contournement amont** : dans cette zone, le champ de vent contourne l'obstacle ;
- **Zone de recirculation** : derrière l'obstacle, une zone de recirculation est créée ;
- **Zone de sillage** : dans cette zone située derrière la zone de recirculation, le vent est modifié pour assurer une transition vers le champ de vent non influencé par l'obstacle.

Figure 65 : définition des zones d'écoulement autour d'un obstacle isolé avec micro SWIFT



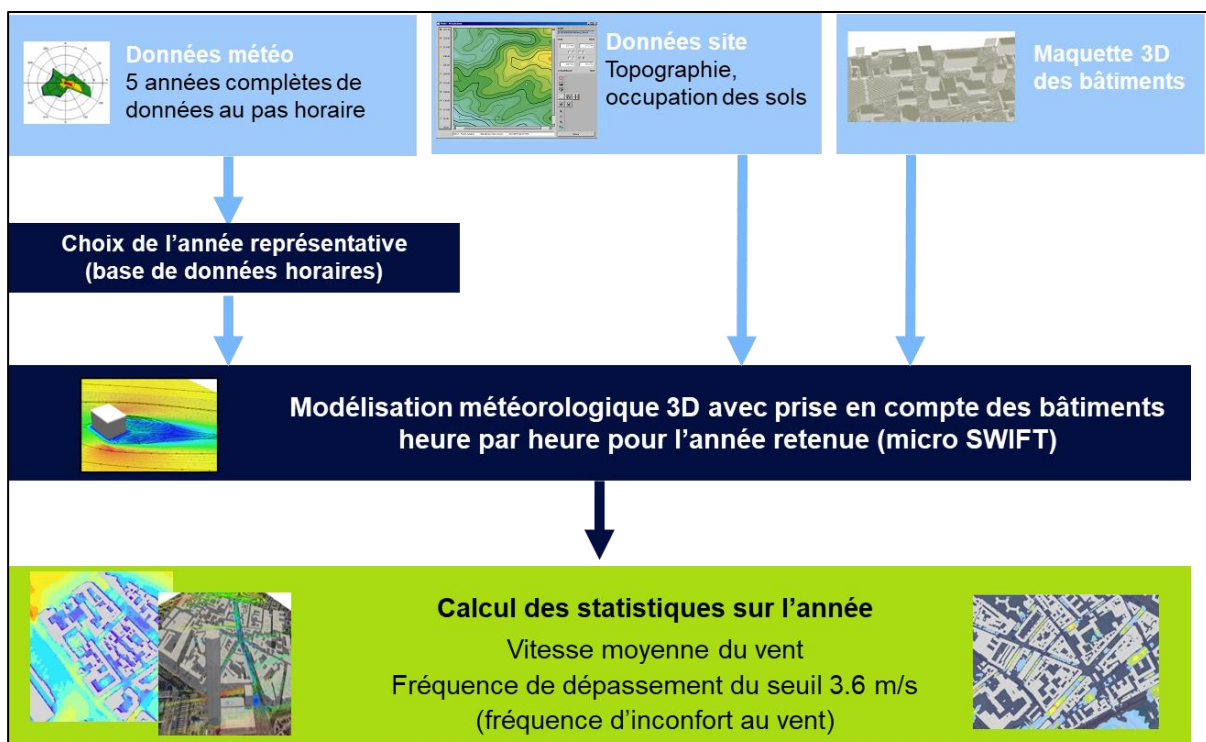
5.1.4 Présentation de la méthodologie appliquée

La méthodologie permettant de déterminer les zones d'inconfort au vent dans le domaine d'étude suit les étapes suivantes :

1. **Configurer les données d'entrée et le modèle micro SWIFT.** Cette étape consiste à préparer les données d'entrée nécessaires pour les simulations à savoir l'occupation des sols, les bâtiments, la topographie et les données météorologiques, et notamment le choix de l'année météorologique retenue pour les simulations.
2. **Simuler l'écoulement du vent.** Le moteur de calcul micro SWIFT simule l'écoulement du vent en 3D sur le domaine d'étude, heure par heure pour l'année retenue. Cela représente donc 8 760 conditions météorologiques simulées.
3. **Calculer des statistiques liées au vent :** à partir des résultats de micro SWIFT donnant les champs de vent heure par heure sur l'année retenue, les statistiques suivantes sont calculées en chaque point du domaine d'étude :
 - a. **vitesse moyenne du vent ;**
 - b. **fréquence de dépassement de la vitesse seuil de 3,6 m/s** correspondant à la fréquence de gêne (ou d'inconfort au vent).
4. **Visualiser graphiquement les résultats.** Des cartes 2D et 3D illustrent les résultats de vitesse moyenne et de fréquence d'inconfort au vent. Leur analyse permet d'identifier les zones d'inconfort au vent.

La Figure 66 présente la méthodologie mise en œuvre.

Figure 66 : méthodologie de l'étude



5.1.5 Grille de calcul avec micro SWIFT

Le but étant de modéliser les obstacles présents dans la zone d'étude et pouvant influencer sur les écoulements de l'air, ces obstacles ont été modélisés en fonction de leur volume et de leur hauteur. Les bâtiments ont été pris en compte avec une résolution de 3 mètres dans le plan horizontal et avec une hauteur qui dépend de la répartition des niveaux verticaux. Pour les simulations de l'écoulement du vent, il a été défini 17 niveaux verticaux répartis entre 0 et 310 m d'altitude. La hauteur de maille la plus petite est de 2 mètres près du sol et la plus grande maille, au niveau du plafond du domaine, atteint 130 mètres.

5.2 RESULTATS DE CONFORT AU VENT

5.2.1 Vitesse moyenne du vent

Les Figure 67 et Figure 68 présentent la vitesse du vent calculée en moyenne sur l'année sur l'ensemble du domaine d'étude, respectivement pour la situation initiale et la situation avec projet.

Il est observé que les vitesses du vent calculées en moyenne sur l'année sont variables sur le domaine d'étude. Des effets locaux de la topographie sont à noter, notamment au niveau des voies ferrées au nord-ouest du périmètre du projet : la vitesse est légèrement supérieure là où l'altitude augmente de quelques mètres (cf. Figure 7). Les effets de sillages derrière les bâtiments sont visibles avec notamment des vents plus faibles dans les zones de recirculation.

Sur l'ensemble du domaine d'étude, la vitesse moyenne du vent ne dépasse pas 3,1 m/s. En situation avec projet, elle atteint au plus 2,3 m/s. En situation initiale, deux zones à plus de 2,7 m/s (en rouge sur la carte) apparaissent aux angles du bâtiment F¹², l'un des bâtiments les plus hauts (cf. Figure 67). La proximité avec deux autres grands bâtiments (H au nord et B au sud) entraîne une accélération du vent. Étant donné qu'en situation avec projet, le bâtiment H est démoli (cf. Figure 68), il ne persiste donc qu'un léger effet de coin dans l'angle nord-ouest du bâtiment F. L'accélération du vent entre les bâtiments B et F est moindre également du fait d'un écoulement du vent différent à l'échelle du domaine d'étude.

Les Figure 69 et Figure 70 montrent un zoom 3D autour du bâtiment F. Les zones d'accélération du vent sont localisées pour la zone la plus au nord sur une allée piétonne reliant le parking à la plaine de jeux du Bois de l'Etang, et pour la zone la plus au sud sur un espace sans usage piéton.

En situation avec projet, une zone de vent moyen supérieur à 2,1 m/s apparaît entre les deux groupes de bâtiments les plus au sud du lot E. Cette zone, non construite en situation initiale, n'était alors pas sujette à une accélération du vent.

¹² Plan page 4 du compte-rendu du « Comité de Pilotage interne DGA AMT », 9 avril 2024, NPNRU Projets de Renouveau Urban de Saint-Quentin-en-Yvelines, Projet de La Verrière – QPV du Bois de l'Etang

Figure 67 : vitesse du vent en moyenne sur l'année - situation initiale

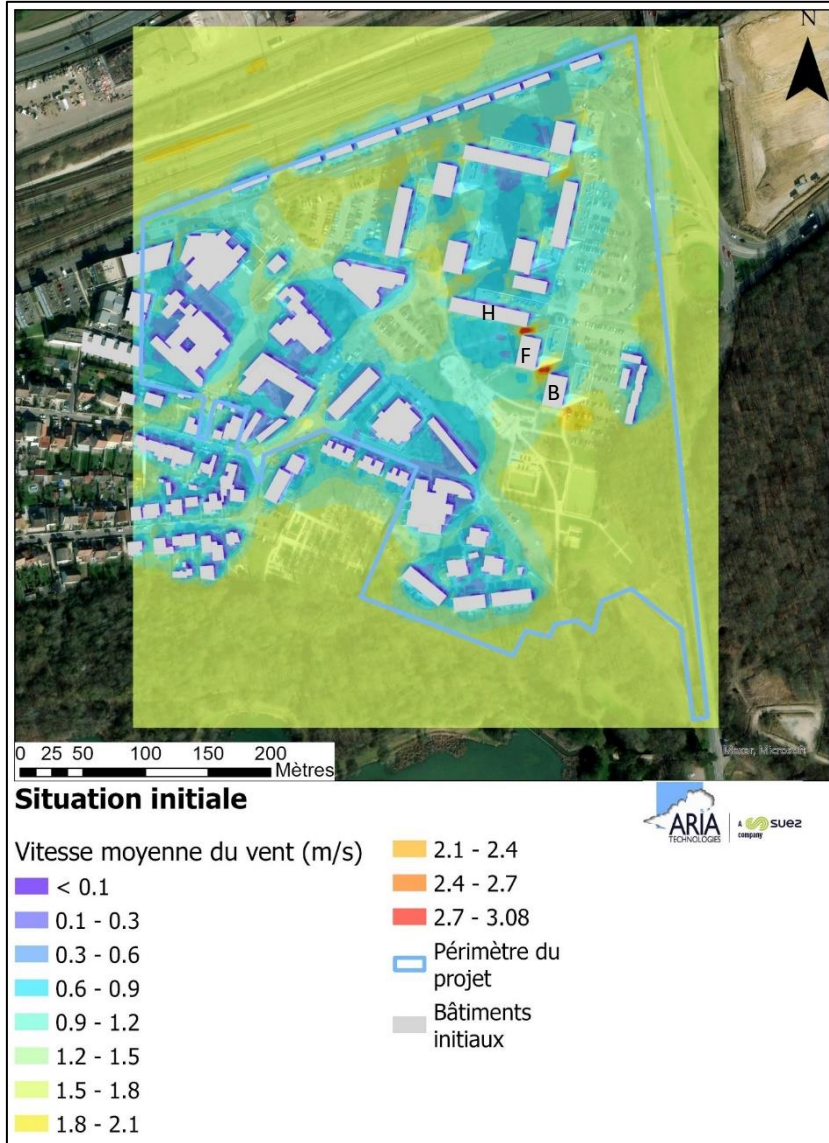


Figure 68 : vitesse du vent en moyenne sur l'année - situation avec projet

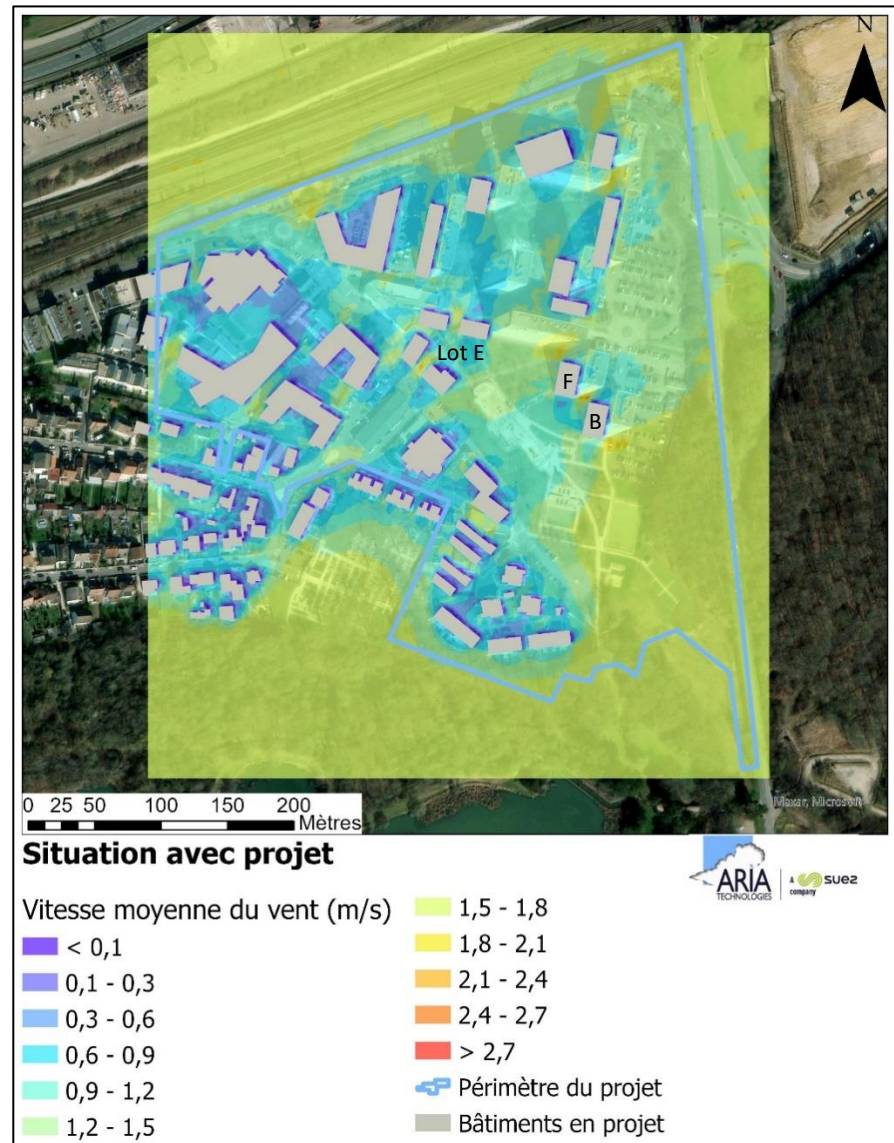


Figure 69 : vitesse moyenne du vent en situation initiale - Zoom 3D autour du bâtiment F

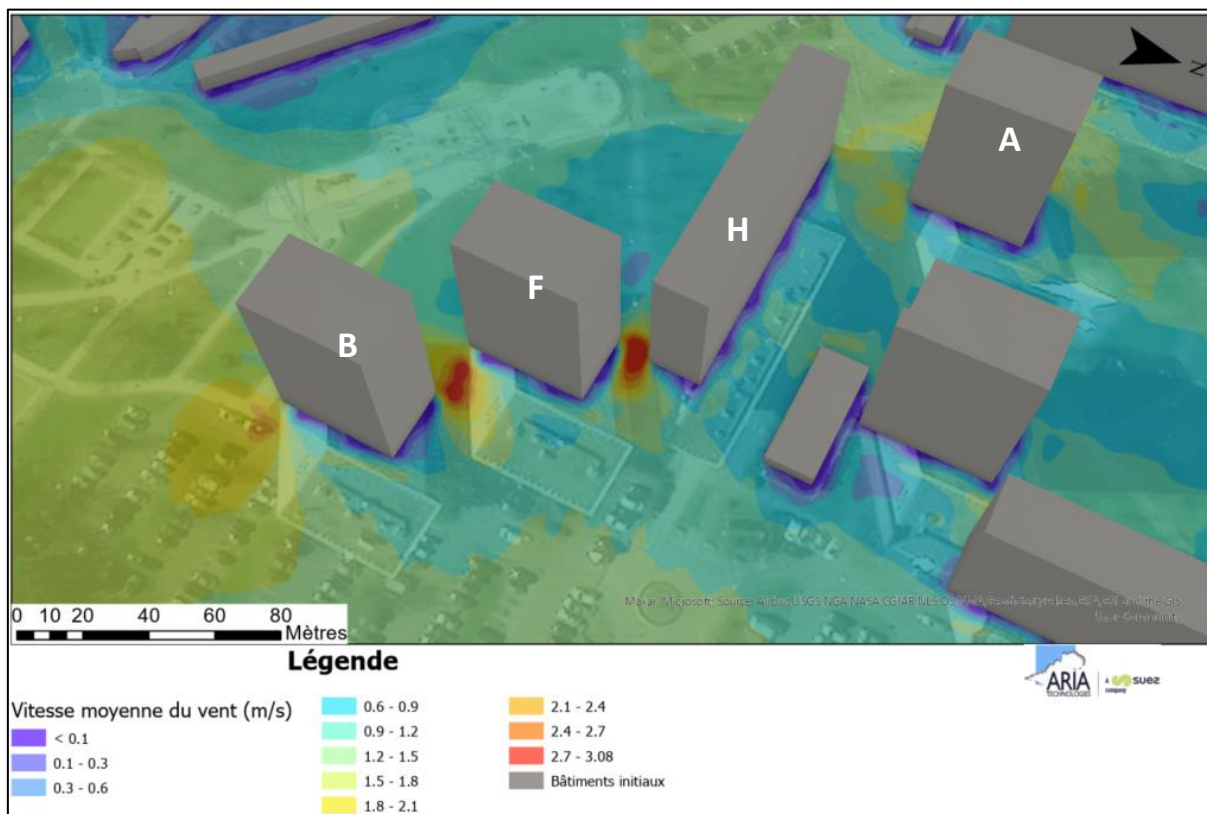
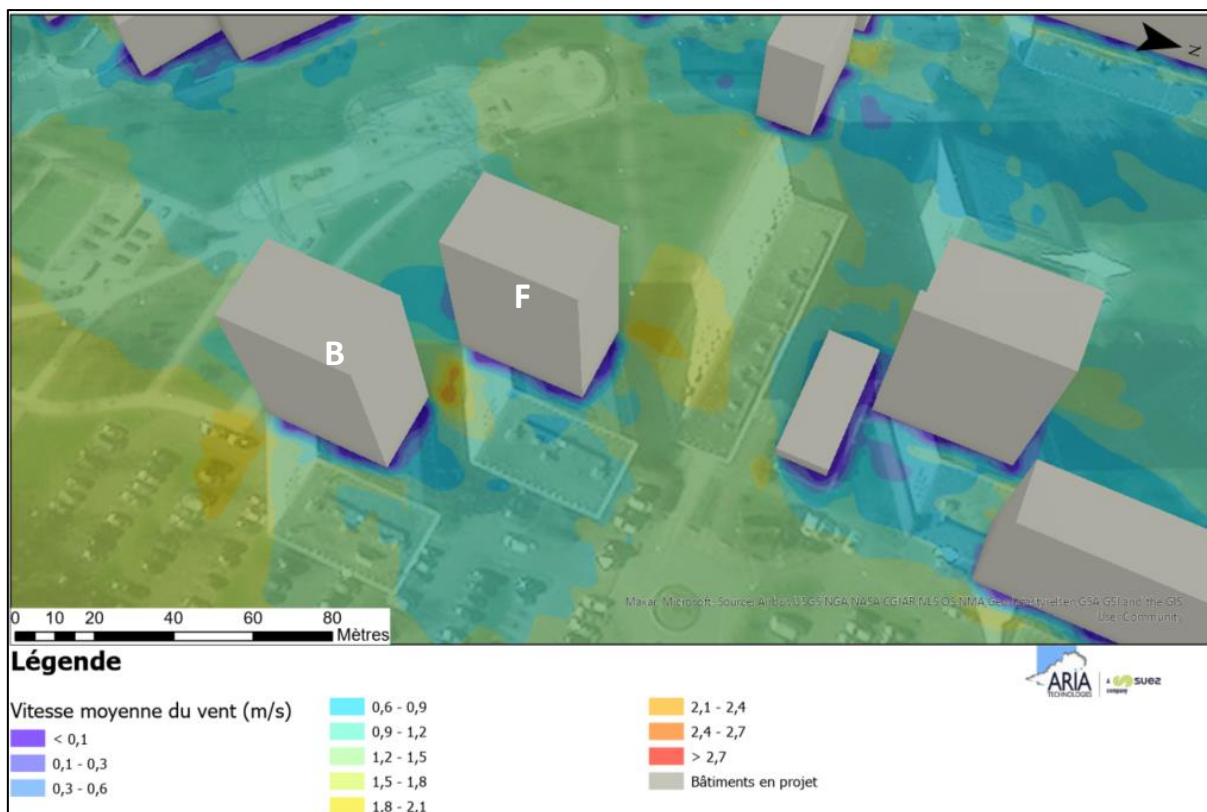


Figure 70 : vitesse moyenne du vent en situation avec projet - Zoom 3D autour du bâtiment F



5.2.2 Fréquence d'inconfort au vent

Les Figure 71 et Figure 72 présentent en chaque point du domaine d'étude la fréquence de dépassement du seuil de 3,6 m/s sur l'année correspondant à la fréquence d'inconfort, respectivement pour la situation initiale et pour la situation avec projet. Les Figure 73 et Figure 74 zooment autour du bâtiment F. Les Figure 75 à Figure 78 présentent les lignes de courant du vent pour les directions dominantes de la rose des vents (sud-ouest et nord-est).

Selon le Tableau 7 (cf. paragraphe 5.1.2), les cartographies peuvent être interprétées comme suit :

- Les zones bleues foncées (fréquence < 5 %) sont confortables pour une station immobile, qu'elle soit prolongée ou de courte durée ;
- Les zones bleues claires (fréquence < 10 %) sont confortables pour une marche normale ;
- Les zones vertes et jaunes (fréquence < 20 %) sont confortables pour une marche rapide ;
- Les zones oranges et rouges (fréquence > 20 %) sont inconfortables dans tous les cas.

En situation initiale comme en situation avec projet, les espaces extérieurs du périmètre du projet reçoivent globalement moins de 5 % du temps des vents de vitesse supérieure à 3,6 m/s. Ils peuvent donc être considérés comme confortables au vent pour tous types d'usages.

Le seuil de 3,6 m/s est dépassé 5 à 10 % du temps sur la partie sud-est du périmètre du projet (en bleu clair sur les cartes), à savoir les bois à l'ouest de la route départementale D58 et la zone est de la plaine de jeux (espace sportif et de loisir extérieur). Ces espaces sont donc jugés inconfortables vis-à-vis du vent pour la station immobile. Elles sont cependant confortables pour une personne en mouvement.

Situation initiale

En situation initiale, dans la zone nord-est du périmètre du projet, autour des bâtiments de hauteur supérieure à 26 m (cf. Figure 8), des fréquences de dépassement du seuil de confort supérieures à 10 % sont visibles (cf. Figure 71). Elles sont globalement localisées aux angles des bâtiments et orientées selon l'axe sud-ouest / nord-est, axe dominant de la rose des vents (cf. section 3.1.2.1). A l'exception des abords du bâtiment F, ces zones restent confortables pour la marche rapide. La zone d'inconfort au nord du bâtiment F est localisée sur une allée piétonne reliant le parking à la plaine de jeux du Bois de l'Etang. Celle située au sud du bâtiment F correspond à un espace sans usage piéton.

La Figure 73 zoome sur le bâtiment F. Les deux zones de survitesse identifiées en section 5.2.1 ressortent ici avec une fréquence de dépassement du seuil de confort supérieure à 20 %, voire à 30 % localement. Ces passages présentent donc un inconfort au vent quelle que soit l'activité pratiquée. Cela signifie que l'allée piétonne qui passe entre les bâtiments F et H n'est pas confortable pour ses usagers.

À cet endroit, les bâtiments forment un rétrécissement pour l'écoulement des vents venant du sud-ouest (direction prédominante d'après la section 3.1.2.1) et provoquent un effet Venturi (cf. Tableau 6), ce qui entraîne une accélération du vent. Cet effet est visualisé sur la Figure 75 présentant l'écoulement du vent (lignes de courant) pour un vent venant du sud-ouest, ainsi que sur la Figure 77 où le vent vient du nord-est. La zone entourée en rouge sur les Figure 75 et Figure 77 pointe ces effets autour du bâtiment F.

Situation avec projet

En situation avec projet, les fréquences de dépassement du seuil de confort supérieures à 10 % n'apparaissent plus qu'autour des hauts bâtiments les plus à l'est du périmètre du projet (cf. Figure 72). Le zoom de la Figure 74 montre que les zones d'inconfort pour la station immobile et la marche normale autour du bâtiment F sont moins intenses qu'en situation initiale (fréquence < 15 % au nord et < 30 % au sud). Les Figure 76 et Figure 78 montrent que les lignes de courant du vent se resserrent dans ces zones. D'après le plan de masse du projet (cf. Figure 2), ces zones sont destinées à desservir les logements. Elles restent donc des zones de passage.

L'espace entre les deux bâtiments les plus au sud du lot E, déjà identifié comme ayant une vitesse moyenne plus élevée qu'alentours en section 5.2.1, dépasse le seuil de confort au vent plus de 20 % du temps. Il n'est donc confortable pour aucune activité piétonne, qu'elle soit stationnaire ou dynamique.

Sur la Figure 76, la zone entourée en jaune montre qu'avec un vent venant du sud-ouest, le vent accélère fortement entre les deux bâtiments. En revanche, cet effet n'apparaît pas sur la Figure 78 avec un vent venant du nord-est. Ainsi, l'effet d'inconfort peut dépendre des conditions de vent.

En conclusion, dans l'ensemble, les espaces extérieurs du périmètre du projet en situation initiale et en situation avec projet peuvent être considérés comme confortables au vent pour un usage en marche normale. Une majorité des zones peut de plus accueillir des usages stationnaires (terrasses de café, bancs...).

Il est à noter que les espaces piétons entre les hauts bâtiments du nord-est du projet, en particulier le bâtiment F, orientés dans le sens des vents dominants (axe sud-ouest / nord-est), subissent des vents plus importants, entraînant des zones d'inconfort au vent particulièrement marquées (seuil dépassé plus de 10 % du temps) et inadaptées pour des usages stationnaires ou de marche normale. La configuration des bâtiments en situation projet améliore cette situation, sans pour autant résoudre complètement l'inconfort.

En situation avec projet, une attention particulière est à apporter à l'espace entre les deux bâtiments les plus au sud du lot E. Sous certaines conditions de vent dominant (vent venant du sud-ouest), leur disposition entraîne entre eux une zone d'inconfort pour toute activité piétonne.

Figure 71 : fréquence d'inconfort au vent - situation initiale

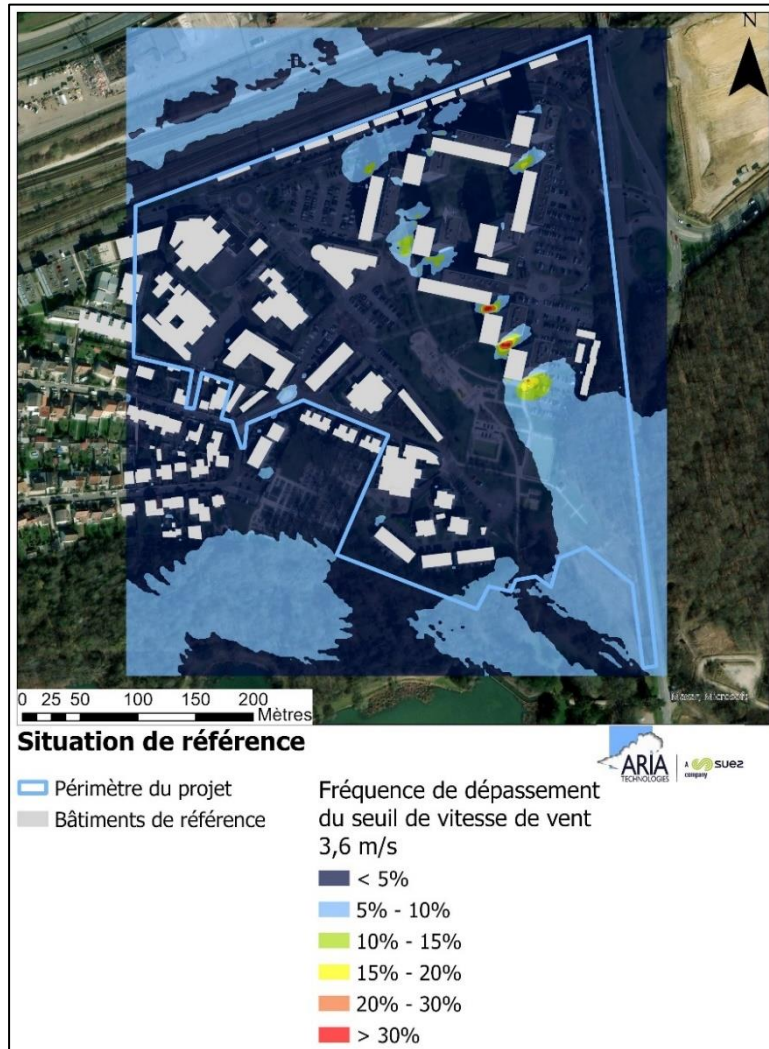


Figure 72 : fréquence d'inconfort au vent - situation avec projet

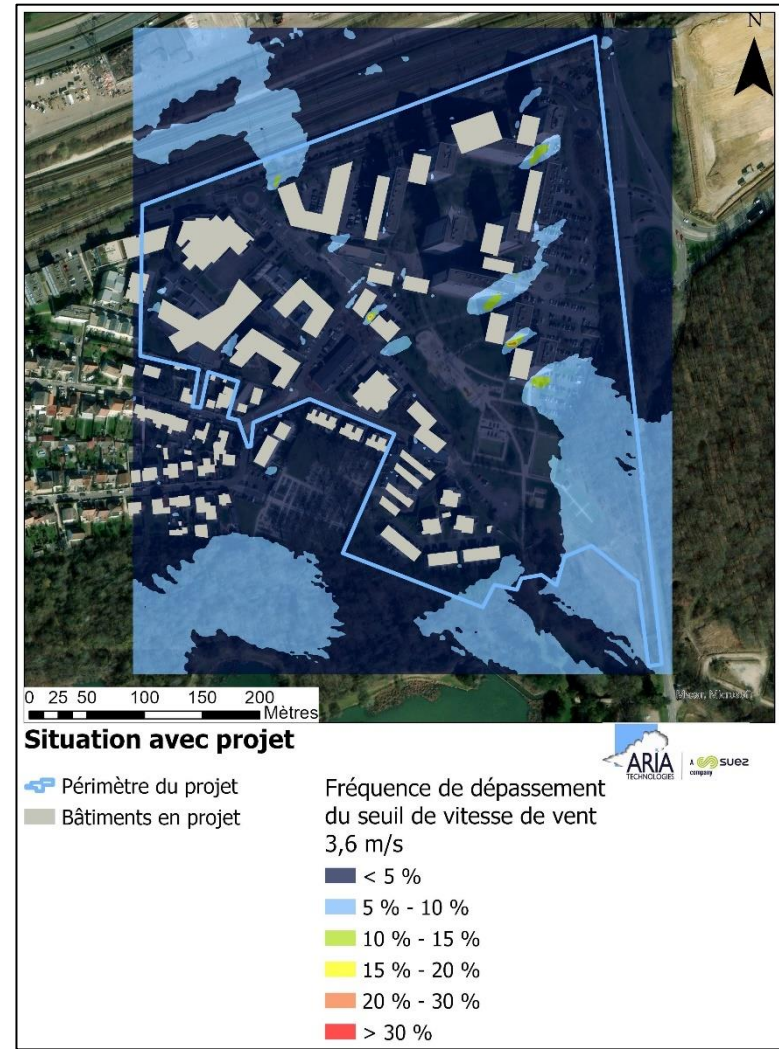


Figure 73 : fréquence d'inconfort au vent en situation initiale – Zoom 3D sur le bâtiment F

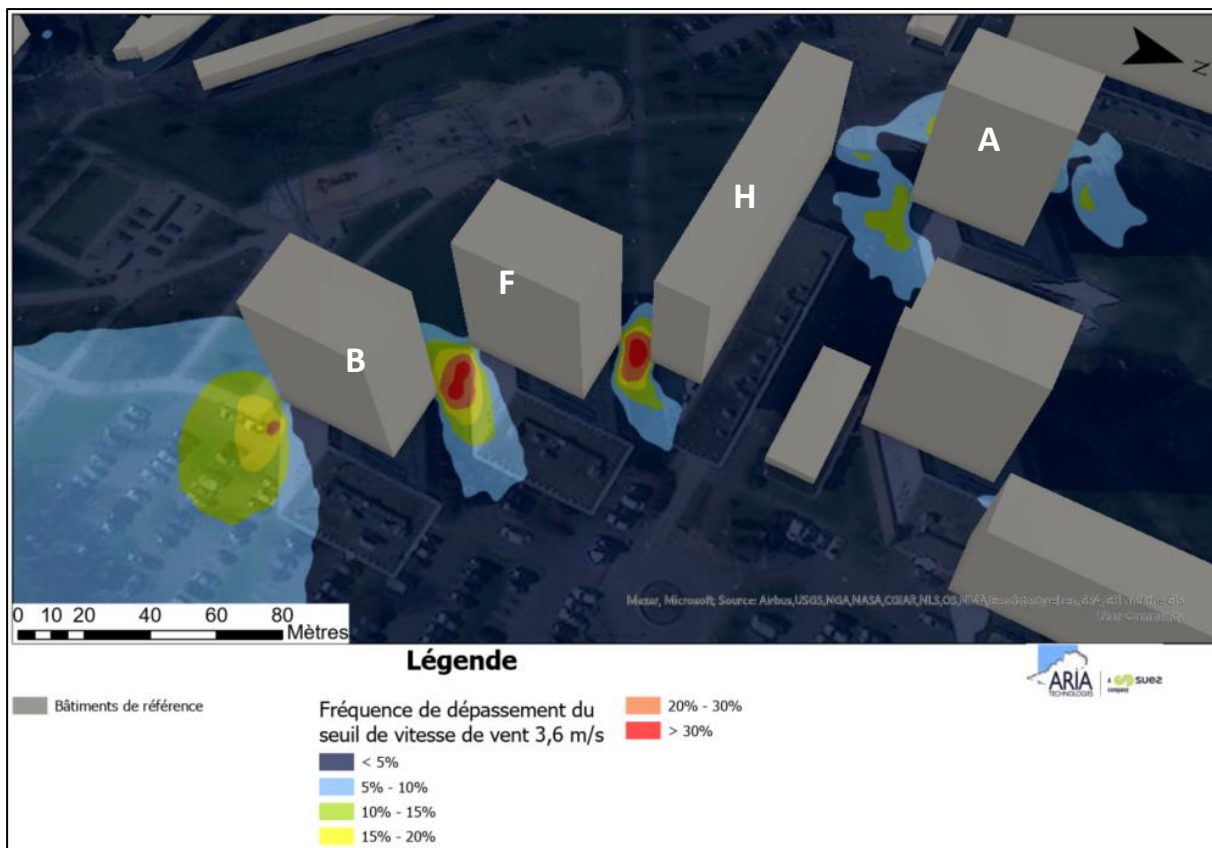


Figure 74 : fréquence d'inconfort au vent en situation avec projet – Zoom 3D sur le bâtiment F

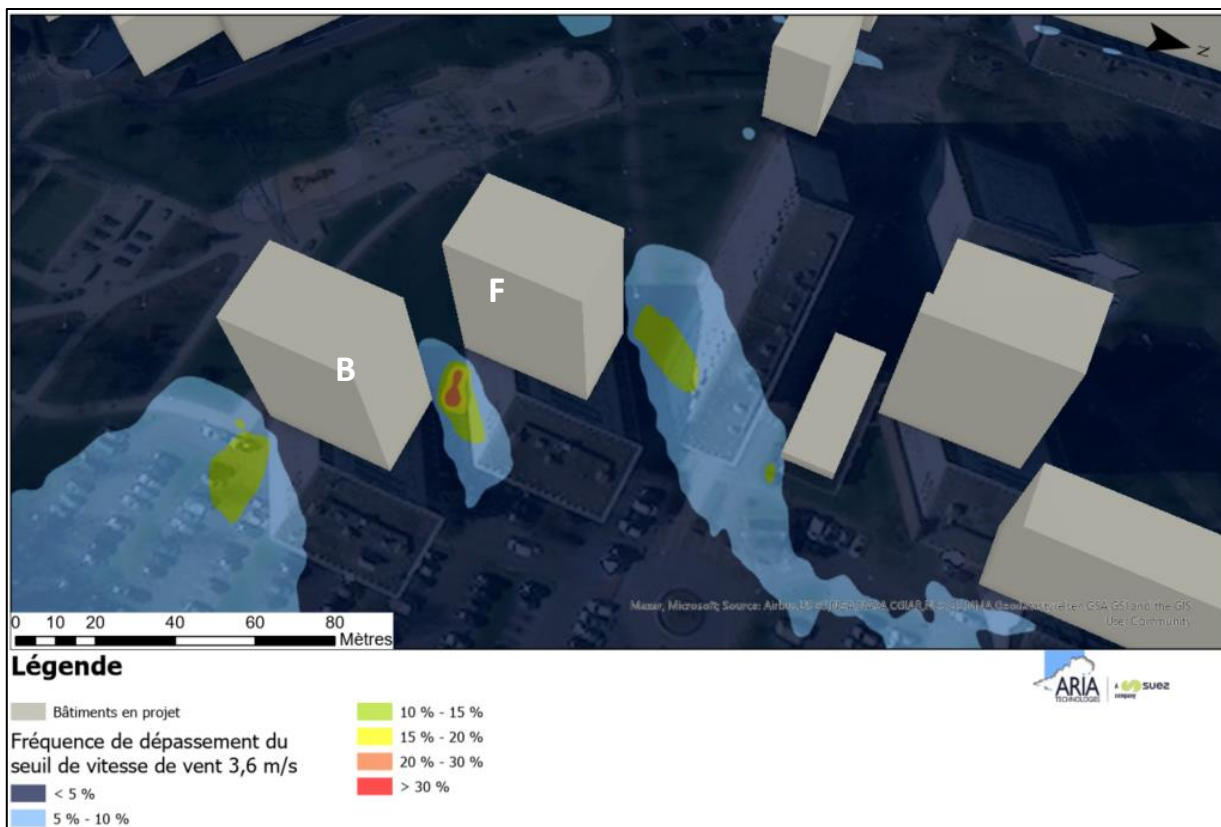


Figure 75 : lignes de courant pour un vent venant du sud-ouest – situation initiale

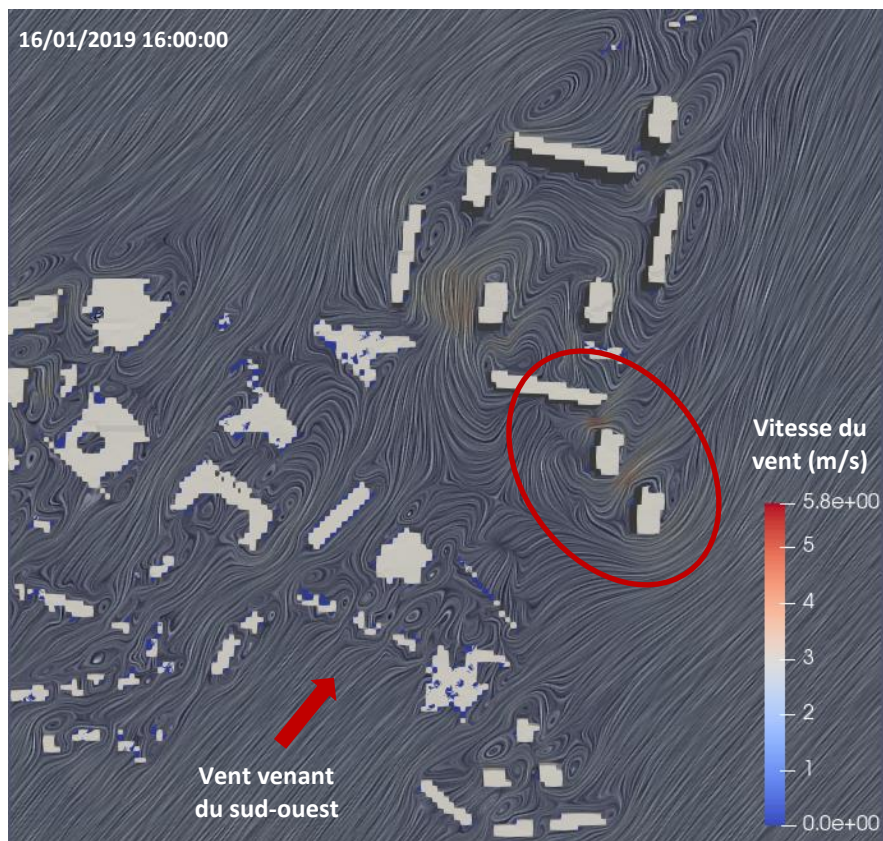


Figure 76 : lignes de courant pour un vent venant du sud-ouest – situation avec projet

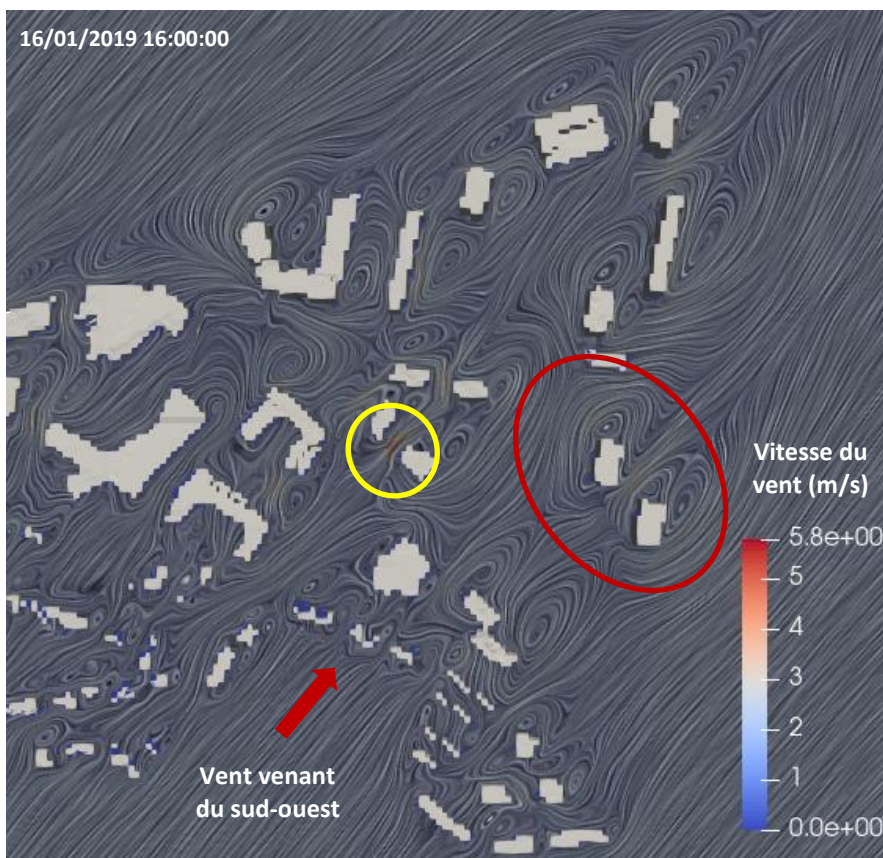


Figure 77 : lignes de courant pour un vent venant du nord-est – situation initiale

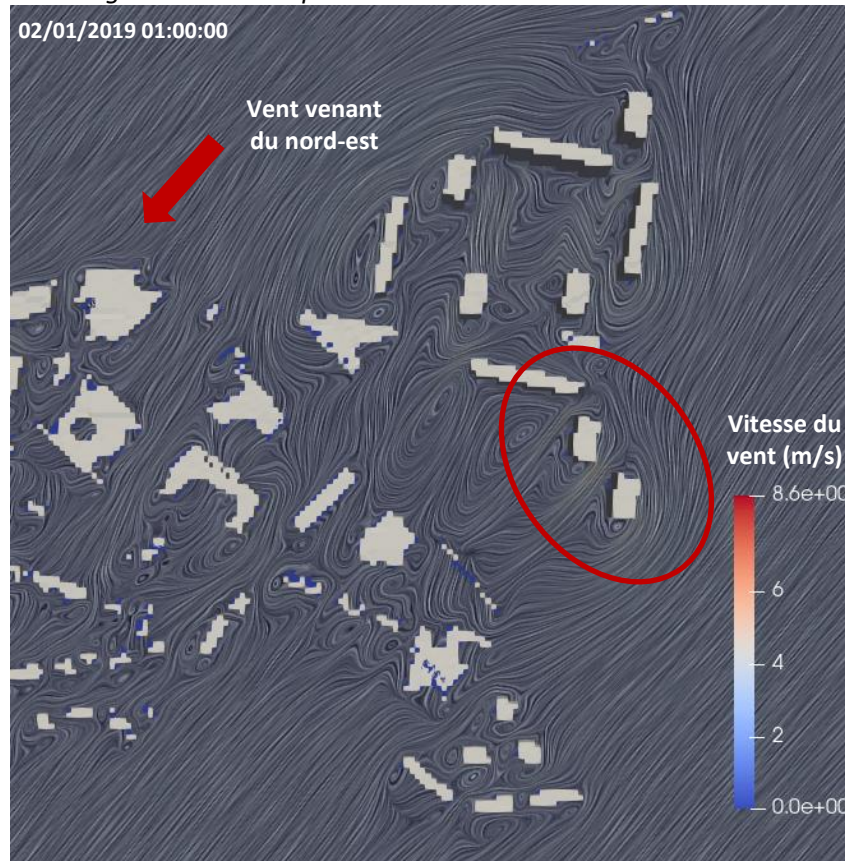
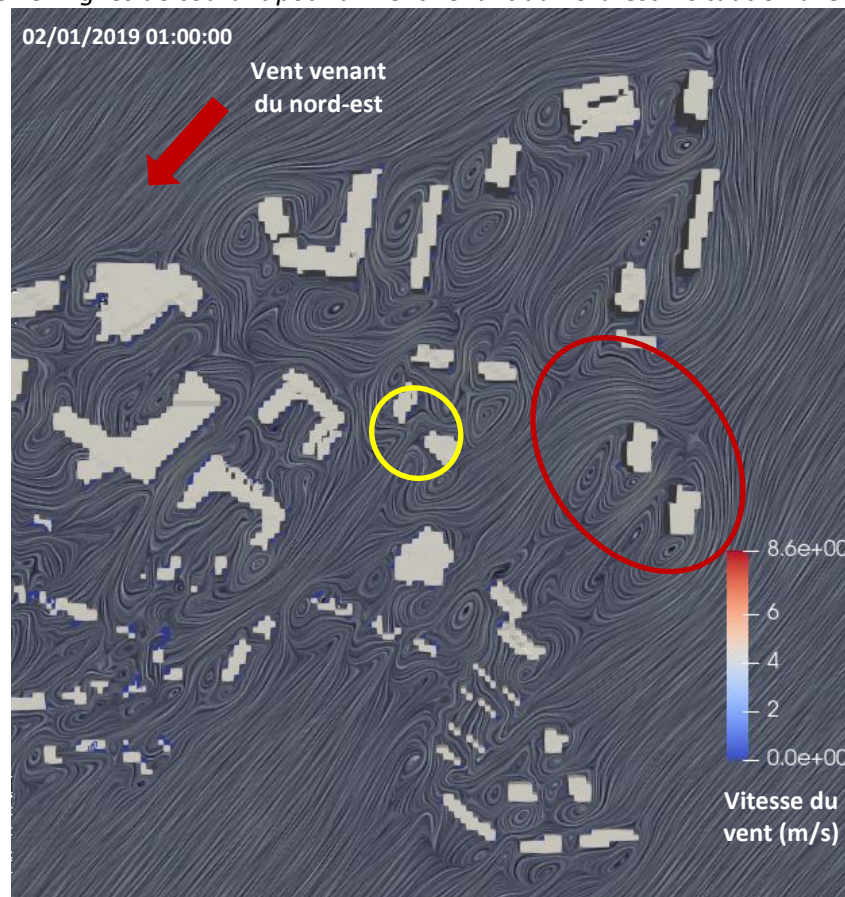


Figure 78 : lignes de courant pour un vent venant du nord-est – situation avec projet



6 SOLUTION D'ATTENUATION DE L'EFFET D'ICU

L'Institut Paris Région¹³ propose plusieurs solutions d'atténuation de l'effet d'îlot de Chaleur Urbain. Le Tableau 8 présente celles qui peuvent être appliquées dans le cadre du projet de Renouveau Urbain du quartier du Bois de l'Etang. Les éléments prévus dans le cadre du projet et cités dans la colonne de droite proviennent du Cahier des prescriptions (22/10/2024).

Tableau 8 : solutions d'atténuation de l'effet d'îlot de Chaleur Urbain

Solutions d'atténuation possibles		Prévu dans le cadre du projet
Augmentation de la couverture végétale	Plus de végétation de pleine terre : espaces verts, trames vertes...	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place d'une épaisseur végétale protectrice Avenue des Noës - Espace vert continu sur l'ensemble du quartier grâce à la démolition des bâtiments A, G et H - Plantations multi-strates dans le Jardin des Noës (lisières fraîches et bosquets) - Promenade de l'aqueduc : frange boisée sur la longueur est du quartier, désimperméabilisation d'une partie des anciens parkings - Plantation d'arbres-tiges sur les linéaires de stationnement, idéalement 1 arbre toutes les 3 places de stationnement - Désimperméabilisation des pieds d'arbre
	Potentiel de végétalisation des toitures terrasses	Toitures végétalisées sur les lots B, F et G (centre socio-culturel)
Augmentation des surfaces en eau	Potentiel d'usage de l'eau pour toitures végétalisées	Arrosage naturel des terrasses par la pluie
	Plus de sols perméables (rétention d'eau par le sol)	<ul style="list-style-type: none"> - Zones de circulation avec revêtement semi-perméable : mail piéton, promenade de l'aqueduc - Fosses de plantations continues connectées entre elles grâce à des structures adaptées sous les trottoirs et les stationnements (fosses de Stockholm, arbres de pluie)
	Matériaux perméables (places de parking enherbées non étanches)	Revêtement de surface drainant sur les places de stationnement (pavés à joints gazon ou sable, pavés ou enrobé drainants)
	Potentiel de récupération d'eau en pied d'immeuble, amélioration de la gestion de l'eau pluviale	<ul style="list-style-type: none"> - Parc central : clairières inondables et jardins en creux - Cheminement des eaux de pluie de la place de quartier vers les espaces verts
Augmentation de la surface d'ombrage	Plus d'arbres pour plus d'ombrage	Plantation d'arbres de force 16/18 respectant la palette végétale
Utilisation de matériaux à propriétés thermiques et optiques plus adaptés	Augmentation de l'albédo des toitures terrasses	Toitures végétalisées sur les lots B, F et G (centre socio-culturel)
	Augmentation de l'albédo des surfaces au sol (revêtements des chaussées...)	Préconisation environnementale : « Atteindre un albédo moyen > 0,3 sur les surfaces horizontales artificialisées du lot, tout en limitant le risque d'éblouissement des usagers au soleil et le rejet de chaleur (NB : calcul effectué selon les coefficients prescrits et seules les surfaces de pleine terre sont extraites du calcul) »

¹³ <https://www.institutparisregion.fr/>

Il est également possible de limiter la sensibilité des usagers/habitants du quartier en améliorant le confort thermique au travail et dans les logements (commerces, logements, espaces communs, espaces extérieurs).

7 CONCLUSION

Cette étude consiste à analyser le confort thermique et aéralique des piétons et résidents ainsi que l'ensoleillement dans le cadre du projet de Renouvellement Urbain du quartier du Bois de l'Etang à La Verrière (78).

Confort thermique

Avec le réchauffement climatique, les températures ont augmenté de plusieurs degrés, plus particulièrement dans les villes en période chaude, avec l'arrivée de canicules de plus en plus fréquentes. Ces températures risquent d'augmenter dans les années à venir.

Les simulations du confort thermique ont été réalisées avec le logiciel ENVI-met. Les résultats de l'étude ont permis d'établir et de comparer l'état initial et l'état avec projet.

Deux scénarios ont été étudiés : le cas d'un « été classique » et celui d'un « été chaud ». Pour chacun de ces scénarios, deux horaires ont été retenus : 15h et 22h. Trois grandeurs sont étudiées : la température de l'air, la Température Physiologique Equivalente (PET) et l'indice de confort PMV (Predicted Mean Vote). Les indices PET et PMV représentent la perception thermique des individus.

Situation initiale

Dans les deux scénarios, à 15h, les températures de l'air les plus élevées sont observées dans la zone centrale du domaine de simulation, là où sont modélisés des bâtiments, ainsi qu'au niveau des infrastructures de transport au nord du domaine. Les températures de l'air les plus faibles sont situées au niveau de la végétation la plus dense correspondant au sud du domaine d'étude, entre les dernières habitations du périmètre du projet et l'Etang des Noës.

Dans les deux scénarios, à 15h, les cartes de Température Physiologique Equivalente (PET) révèlent un important îlot de chaleur dans l'espace encadré par les bâtiments A, C, E, G et K¹⁴. Ces bâtiments hauts empêchent l'air de circuler et ne forment pas d'ombre dans la zone centrale à cette heure de la journée. Des chemins piétons et des aires de jeux occupent cet espace. L'indice PMV confirme la sensation de chaleur importante à cet endroit.

Les indices PET et PMV montrent tous deux que la température ressentie est relativement moindre à l'ombre des bâtiments, bien que la température de l'air n'y soit pas significativement inférieure. De même, les zones végétalisées sont perçues comme plus fraîches.

À 22h, les écarts de température entre les différentes zones du domaine d'étude sont moins marqués qu'à 15h, que ce soit dans le cas d'un été classique comme dans celui d'un été chaud. Le relargage de la chaleur emmagasinée par les zones les plus chaudes, à proximité des bâtiments, est bien visible sur les cartes de température de l'air et de PET.

En conclusion, en situation initiale, le ressenti thermique à l'intérieur du périmètre du projet est chaud, voire très chaud, dans l'après-midi et agréable en soirée.

¹⁴ Plan page 4 du compte-rendu du « Comité de Pilotage interne DGA AMT », 9 avril 2024, NPNRU Projets de Renouvellement Urbain de Saint-Quentin-en-Yvelines, Projet de La Verrière – QPV du Bois de l'Etang

Comparaison entre la situation avec projet et la situation initiale

Dans les deux cas (été classique et été chaud) et dans les deux situations (initiale et avec projet), à 15h, les zones les plus chaudes sont observées dans la zone centrale du domaine de simulation, là où sont modélisés des bâtiments, ainsi qu'au niveau des infrastructures de transport au nord du domaine. Les zones les moins chaudes sont situées au niveau de la végétation la plus dense correspondant au sud du domaine d'étude, entre les dernières habitations du périmètre du projet et l'Etang des Noës.

À 22h, les écarts de température entre les différentes zones du domaine d'étude sont moins marqués qu'à 15h. Les zones les plus chaudes et les plus froides se situent globalement aux mêmes endroits qu'à 15h.

À 15h, **la réduction de température de l'air apportée par le projet la plus marquée** (jusqu'à $-1,2^{\circ}\text{C}$) **est située sur la promenade de l'aqueduc**. La végétalisation de la bande est des parkings, la suppression de la boucle est de la route Résidence du Bois de l'Etang et l'aménagement de type « voie verte » apportent de la fraîcheur dans cette zone. Les autres zones plus fraîches en situation avec projet qu'en situation initiale sont localisées au cœur du nouvel îlot F, pourvu de toitures végétalisées, ainsi que ponctuellement sur le parking à l'ouest de la mosquée.

En revanche, **des zones plus chaudes en situation avec projet** (jusqu'à $+1,3^{\circ}\text{C}$) **apparaissent à 15h sur Main street et entre les bâtiments D et K au nord-est du projet**. La démolition des bâtiments A et G, réduisant l'ombre, ainsi que l'élargissement de la chaussée goudronnée en sont les principales causes. Ces zones ne ressortent cependant pas comme plus chaudes qu'en situation initiale à 22h.

En ce qui concerne le ressenti thermique des usagers des espaces extérieurs, globalement, le projet apporte une sensation de fraîcheur sur l'ensemble du périmètre. À 22h, aucune zone n'est perçue comme plus chaude qu'en situation initiale. À 15h, les zones où la perception de fraîcheur est supérieure en situation avec projet par rapport à la situation initiale se trouvent principalement sur :

- la promenade de l'aqueduc ;
- le nouvel îlot F ;
- le jardin des Noës (nouveau « cœur de nature ») ;
- les quelques mètres au nord des nouveaux bâtiments des trois îlots B, E et H.

En revanche, les zones où la température de l'air est supérieure en situation avec projet (Main street et entre les bâtiments D et K au nord-est du projet) sont également ressenties comme plus chaudes. Le nouveau parking au sud du bâtiment C apporte ponctuellement une sensation de chaleur supérieure à la situation initiale, où le sol n'était pas artificialisé.

Quelles que soient les grandeurs étudiées (température de l'air, indices PET et PMV), les cas été classique et été chaud mènent tous deux aux mêmes conclusions sur les écarts entre les situations avec projet et initiale.

Ensoleillement

Les durées d'ensoleillement au sol en situation initiale et en situation avec projet ont été calculées avec le logiciel ENVI-met à trois dates de l'année : 21 mars, 21 juin et 21 décembre. Aux trois dates étudiées, les zones boisées sont celles qui reçoivent le moins d'ensoleillement, ce qui est propice en été à des espaces confortables pour les piétons. À proximité des bâtiments, les durées d'ensoleillement ont tendance à être réduites par rapport à des zones jamais ombragées, du fait des ombres portées générées par les bâtiments. Il est observé quelques espaces fortement ensoleillés en été (> 14 heures d'ensoleillement le 21 juin) à l'intérieur du périmètre du projet.

L'ensoleillement des façades des bâtiments a également été présenté à ces trois dates. Il diffère selon l'orientation et la géométrie des bâtiments. Les niveaux les plus bas des grands immeubles reçoivent moins de soleil que les étages supérieurs.

Confort au vent

Cette étude aéraulique vise à définir le confort au vent des usagers des espaces extérieurs du projet de Renouvellement Urbain du quartier du Bois de l'Etang.

Les simulations ont été réalisées avec le modèle micro SWIFT, intégré au logiciel ARIA City. Les résultats de l'étude ont permis d'établir et de comparer la situation initiale et la situation avec projet en termes de confort au vent.

En situation initiale comme en situation avec projet, dans les espaces extérieurs du périmètre du projet, les vents de vitesse supérieure à 3,6 m/s apparaissent globalement moins de 10 % du temps. Ces zones extérieures peuvent donc être considérées comme confortables au vent pour un usage en marche normale. Il est à noter qu'une majorité des zones peuvent de plus accueillir des usages stationnaires (terrasses de café, bancs...).

Les espaces piétons entre les hauts bâtiments du nord-est du projet, en particulier le bâtiment F, orientés dans le sens des vents dominants (axe sud-ouest / nord-est), subissent des vents plus importants, entraînant des zones d'inconfort au vent particulièrement marquées (seuil dépassé plus de 10 % du temps) et inadaptées pour des usages stationnaires ou de marche normale. La configuration des bâtiments en situation projet améliore cette situation, sans pour autant résoudre complètement l'inconfort.

Enfin, en situation avec projet, une attention particulière est à apporter à l'espace entre les deux bâtiments les plus au sud du lot E. En effet, sous certaines conditions de vent dominant (vent venant du sud-ouest), leur disposition entraîne entre eux une zone d'inconfort pour toute activité piétonne, qu'elle soit stationnaire ou dynamique.

ANNEXES

Annexe 1 : présentation du modèle ENVI-met

Présentation d'ENVI-met

Dans le modèle ENVI-met, toutes les équations différentielles sont calculées par la méthode des différences finies et sont résolues par un schéma implicite (*forward in time*). Les équations combinées d'advection-diffusion sont résolues par une méthode implicite (*alternating direction implicit*) en combinaison avec un système d'advection amont.

Le modèle est tridimensionnel. Il résout les équations *fraiss* en fonction du temps, et simule les modifications « fortes » du vent (limites solides), comme celles dues aux murs, et les modifications plus « faibles » (barrières poreuses), comme celles dues à la végétation. Il est composé d'un modèle atmosphérique (équations de Navier-Stokes en condition non-hydrostatiques et incompressibles, approximation de Boussinesq, modèle de clôture de turbulence d'ordre 1.5), d'un modèle de sol (température, humidité, eau), d'un modèle de surface (bâtiments) et d'un modèle de végétation. Le modèle de sol permet le calcul du transfert de la chaleur surfacique à l'intérieur du sol et vice-versa. La partie hydrologique permet le calcul de l'eau disponible dans le sol.

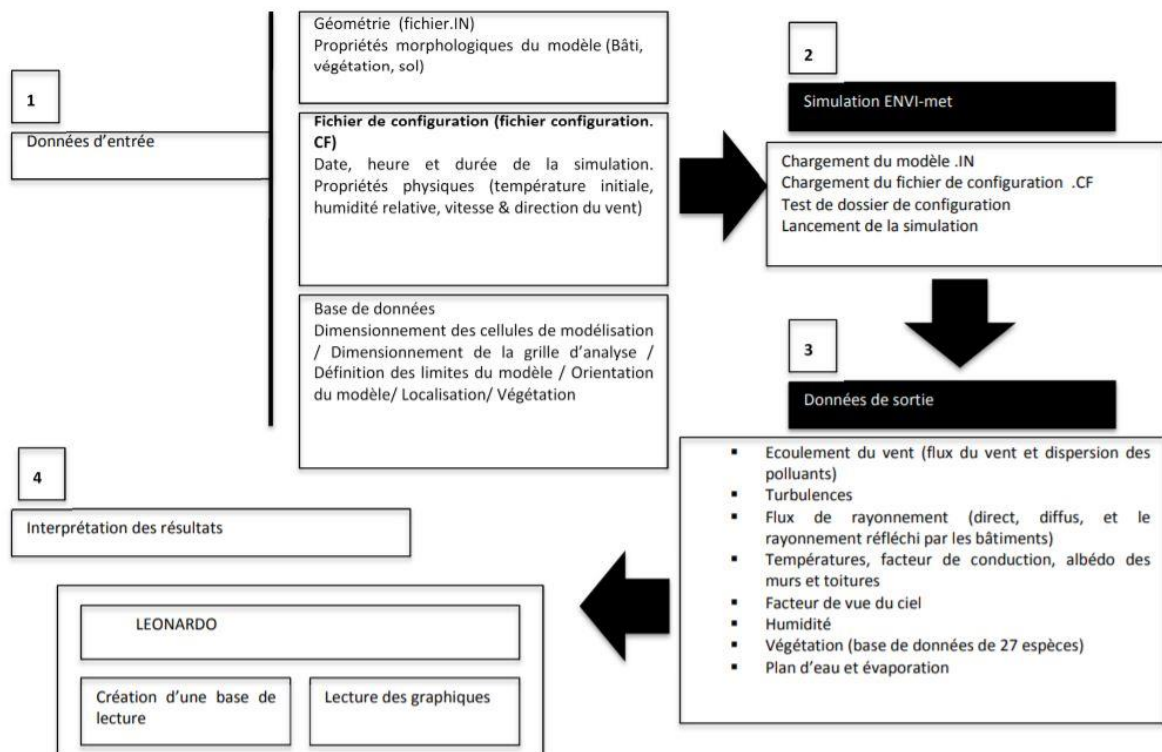
ENVI-met calcule la dynamique du microclimat durant un cycle journalier (24 ou 48 heures) en utilisant les lois fondamentales de la dynamique des fluides et la thermodynamique précédemment citées.

Le logiciel simule également les conditions autour et entre les bâtiments (interactions entre les surfaces extérieures d'un espace urbain ouvert) et les interactions entre les surfaces, l'air et la végétation. Le processus d'échange de la chaleur et de la vapeur au niveau du sol et des surfaces verticales, les turbulences, les échanges aux niveaux de la végétation, la bioclimatologie et la dispersion des parcelles, sont également simulés. Ces simulations sont effectuées à travers une grille d'analyse tridimensionnelle avec des coordonnées variables sur les axes x, y et z.

ENVI-met est un logiciel où l'ensemble des facteurs influencent le confort thermique. La vitesse du vent, la direction et la température moyenne radiante (TMRT) sont intégralement simulés afin de calculer les indices du confort thermique.

La Figure 79 représente le fonctionnement du modèle des données d'entrée jusqu'au traitement des sorties.

Figure 79 : structure du modèle ENVI-met



Afin de réaliser des simulations, le modèle a besoin en entrée d'un fichier de géométrie (la maquette), d'un fichier de configuration contenant la date, l'heure, la durée de simulation ainsi que les conditions initiales des propriétés physiques notamment pour la température initiale (*TA: Air dry bulb temperature*), l'humidité relative (*RH: relative humidity*), la vitesse et direction du vent (*V: wind speed*), le coefficient de transmission thermique U pour les murs, le paramètre U pour les toitures, l'albédo des murs, et l'albédo des toitures. Une valeur par défaut est également attribuée à la température du sol.

Parmi les données de sortie, la vitesse du vent, la radiation solaire et la température de l'air sont les paramètres les plus importants pour évaluer le confort thermique pour les hautes latitudes. Les indices thermo-physiologiques sont largement utilisés pour évaluer l'impact du climat sur le confort intérieur et extérieur. Ces indices combinent les différents paramètres microclimatiques avec le bilan d'énergie thermique. Parmi les plus souvent utilisés nous trouvons l'écoulement du vent (les flux du vent et la dispersion des polluants), les turbulences, les flux de rayonnement (direct, diffus et le rayonnement réfléchi par les bâtiments), la température, le facteur de conduction, la couverture nuageuse, l'humidité, le PMV (*Predicted Mean Vote*), et la Température Physiologique Equivalente (PET).

Annexe 2 : présentation du modèle micro SWIFT

Présentation de micro SWIFT

SWIFT appartient à la famille des modèles d'analyse objective à divergence nulle. Il est dérivé du modèle MINERVE, développé à partir de 1980 initialement par Electricité de France (EDF), qui a été appliqué à l'étude des sites nucléaires français. SWIFT a notamment été validé par EDF à l'occasion de campagnes météorologiques intensives, comportant une couverture météorologique à petite échelle rarement atteinte (jusqu'à 15 stations sol et 3 radars acoustiques vent). On peut citer entre autres les expériences EDF de CREYS-MALVILLE 1983, CHOOZ 1986, VALLEE DU RHONE 1989 et la Campagne Européenne FOS 1983.

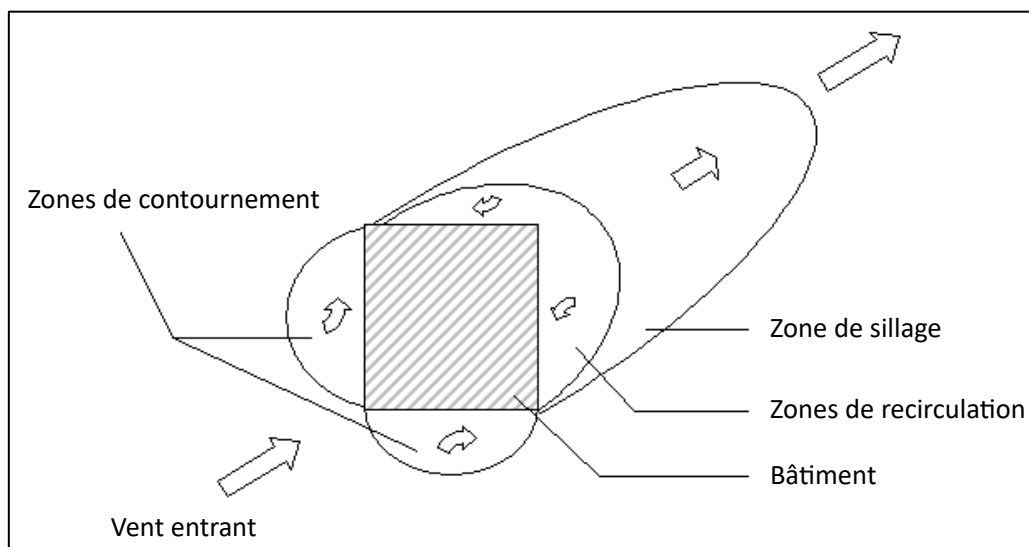
Micro SWIFT comporte trois étapes de calcul distinctes :

1. Interpolation des données existantes pour fournir une première ébauche des champs de vent et de température recherchés.
2. Ajustement itératif, par une méthode variationnelle, de la solution, destiné à créer un champ de vitesses à divergence nulle, en prenant en compte les contraintes imposées par la stabilité atmosphérique.
3. Calcul de la turbulence de fond (méthode EPA) et de la turbulence induite du fait de la présence de bâtiments.

Ainsi, l'effet des obstacles sur l'écoulement est modélisé par création de zones spécifiques autour des bâtiments :

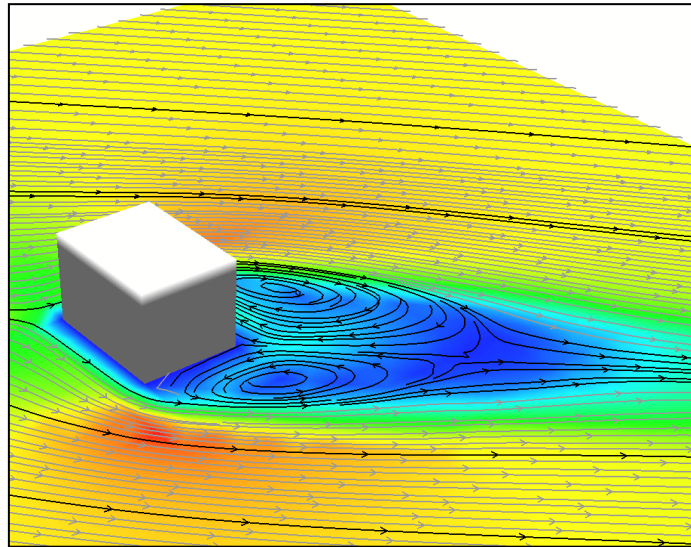
- **Zone de contournement amont** : dans cette zone, le champ de vent contourne l'obstacle ;
- **Zone de recirculation** : derrière l'obstacle, une zone de recirculation est créée ;
- **Zone de sillage** : dans cette zone située derrière la zone de recirculation, le vent est modifié pour assurer une transition vers le champ de vent non influencé par l'obstacle. Le vent est nul à la frontière recirculation/sillage et croît dans la zone de sillage jusqu'à atteindre les valeurs du champ non perturbé.

Figure 80 : définition des zones spécifiques autour d'un obstacle isolé



Dans ces régions, le champ de vitesse est initialisé à l'aide de diverses relations empiriques basées sur les dimensions du bâtiment et le vent incident, selon le principe exposé par Röckle (1990).

Figure 81 : exemple de champ de vent après ajustement pour un obstacle isolé



Lorsque les bâtiments sont suffisamment éloignés pour qu'aucune de leurs zones ne s'intersecte, ils sont considérés comme isolés. Lorsque certaines de leurs zones s'intersectent, des règles de priorité sont appliquées par micro SWIFT :

- Les zones de recirculation sont prioritaires sur les zones de déventement amont, qui elles, sont prioritaires sur les zones de sillage ;
- Des zones de *skimming* sont créées.

Figure 82 : définition des zones spécifiques pour un ensemble d'obstacles

