

Photo source:

Projet Couvent de la Résurrection – Étude sur modèle numérique 3D des impacts éoliens

Rapport No. R-0627

Préparé pour :

Groupe Immobilier Alliance Inc.
681, rue William
Montréal Québec H3C 0T9

Au nom de :

Mme. Lizane Proietti
Gestionnaire de projets en développement

25 juin 2024
Rapport Final

Lasalle|NHC Référence 08008419

Préparé par :

Lasalle NHC Inc.
9620 rue Saint-Patrick
Lasalle, QC, H8R 1R8
Tel: (514) 366-2970
www.lasalleNHC.com

Contact du projet Lasalle|NHC :

Wael Taha, ing., M. ing.
Ingénieur, Associé
wtaha@lasallenhc.com

Suivi du document

Date	Revision No.	Révisé par	Émis pour
29-02-2024	00	Tristan Aubel	Préliminaire

Rapport préparé par :



Marc Alexandre Allard, M. Sc. A.
Candidat à la profession d'ingénieur (CPI)
No OIQ : 6022431

Rapport révisé par:



Tristan Aubel, ing., M.Ing.
Ingénieur, Associé
No OIQ : 129611

CLAUSE DE LIMITATION DE RESPONSABILITÉ

Ce document a été préparé par Lasalle|NHC de façon conforme aux bonnes pratiques d'ingénierie et est destiné à l'usage exclusif de **Groupe Immobilier Alliance Inc.** ainsi que de leurs représentants autorisés dans le cadre spécifique du projet **Projet Couvent de la Résurrection – Étude sur modèle numérique 3D des impacts éoliens**.

Le contenu de ce document ne peut être appliqué ou utilisé, en tout ou en partie, par ou à l'avantage d'autres parties sans l'autorisation écrite de Lasalle|NHC. Aucune autre garantie, expresse ou tacite, n'est accordée.

Lasalle|NHC et ses directeurs, associés, employés et mandataires n'assument aucune responsabilité à l'utilisation ou au recours du présent document ou de son contenu par des parties autres que **Groupe Immobilier Alliance Inc.**

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	1
2	DESCRIPTION DU PROJET	2
3	RÉSUMÉ DE L'APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE.....	3
4	IMPACTS ÉOLIENS DU PROJET	5
4.1	Impacts sur les vitesses par vent de secteur OSO.....	5
4.2	Impacts sur les vitesses par vent de secteur NNE.....	6
4.3	Fréquences annuelles d'inconfort.....	7
4.3.1	Critère général – 25%.....	8
4.3.2	Critère de parcs – 10%	9
4.3.3	Dépassement de la vitesse de 20 m/s (72 km/h).....	10
5	CONCLUSION.....	11
6	RÉFÉRENCES	13

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 : Synthèse des paramètres de calcul 4

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Plan de localisation du projet

Figure 2 : Rose des vents annuelle – Aéroport P.-E.-Trudeau et Saint-Hubert

Figure 3 : Statistique des vents à l’aéroport international P.-E. Trudeau de Montréal

Figure 4 : Domaine de calcul

Figure 5 : Facteur de survitesse par vent de secteur OSO

Figure 6 : Facteur de survitesse par vent de secteur NNE

Figure 7 : Fréquences annuelles d’inconfort. Critère 25%

Figure 8 : Fréquences annuelles d’inconfort. Critère 10%

1 INTRODUCTION

Le Groupe Immobilier Alliance Inc. entreprend de construire 6 bâtiments résidentiels, modulant entre 5 et 23 étages, sur un site localisé au 5750 boulevard Rosemont à l'intersection de ce boulevard et de la rue Dickson à Montréal. Le site du projet comprend actuellement un ensemble de bâtiments religieux appartenant à l'ordre des Franciscains; soit un couvent, une chapelle et une infirmerie. La démolition de la chapelle et de l'infirmerie est prévue afin de construire les bâtiments des lots 3 et 6. Le secteur boisé à l'est du site du projet sera conservé.

Lasalle|NHC a été mandatée par Groupe Immobilier Alliance Inc. pour effectuer une étude sur modèle numérique afin d'évaluer l'impact de ce projet sur le régime des vents sur l'espace public adjacent, et plus particulièrement, sur le confort des piétons circulant à proximité ainsi que celui des usagers des zones de détente prévues au projet.

Les interactions du vent dans les différentes configurations (état de référence et état futur) ont été simulées à l'aide d'un modèle numérique tridimensionnel permettant de calculer les vitesses de l'air en mouvement en tout point du domaine d'intérêt.

Le présent rapport est divisé en 5 sections. Le projet est d'abord décrit à la section 2. La section 3 enchaîne ensuite avec un résumé de l'approche méthodologique guidant l'évaluation des impacts éoliens. La section 4 présente les résultats et la conclusion est exposée au chapitre 5. L'ensemble des figures est placé à l'annexe A à la fin du document.

2 DESCRIPTION DU PROJET

Le projet Couvent de la Résurrection est situé au 5750 boulevard Rosemont à Montréal dans l'arrondissement Rosemont-La-Petite-Patrie. Sur le site en question à l'intersection du boulevard Rosemont et de la rue Dickson se trouve présentement un ensemble de bâtiments religieux appartenant à l'ordre des Franciscains; soit un couvent, une chapelle et une infirmerie. Le projet consiste en la construction de 6 bâtiments résidentiels de 5 à 23 étages et la démolition de la chapelle, de l'infirmerie, mais la conservation du couvent et du boisé. Un bâtiment de 6 étages comportant des logements sociaux sera construit dans le cadre du lot 3, alors qu'un autre de 5 étages sera construit à la place de la chapelle et constituera le lot 6. Les bâtiments B1, A1 et A2, qui ont respectivement 8, 13 et 23 étages, sont tous associés au lot 4. Notons qu'un bâtiment résidentiel de 6 étages formant le basilaire de la tour A2 est lui aussi inclus dans le lot 4. Le couvent conservé constitue le lot 1 et le secteur boisé à l'est constitue le lot 2. La volumétrie totale du projet est présentée à la figure 1.

Le projet en question est localisé dans le secteur en face de l'hôpital Rosemont dans un quartier hétérogène combinant des bâtiments administratifs et hospitaliers imposants, des stationnements, des terrains de jeu et des bâtiments résidentiels et commerciaux de 2-3 étages. La construction du projet marquera donc une différence significative par rapport au bâti actuel, et pourrait entraîner des changements dans le régime des vents perçu au niveau des piétons circulant en périphérie. L'objectif de l'étude proposée est donc d'évaluer les impacts éoliens de ce projet.

Mentionnons aussi que les aires de détente suivantes sont prévues au projet :

- Deux terrasses communes ainsi que deux piscines extérieures sont localisées sur les toits des bâtiments A1 et A2 du lot 4.
- Trois zones de détente extérieures au niveau du sol sont aussi prévues, incluant le lot 5 situé au-devant de la façade sud-ouest du couvent.

Le confort des usagers de ces aires de détente sera donc aussi évalué dans le cadre de ce rapport.

3 RÉSUMÉ DE L'APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Les détails techniques concernant l'approche méthodologique de même que la littérature scientifique pertinente sont présentés à l'annexe de ce rapport. Une compréhension approfondie de la méthodologie par le lecteur n'est pas strictement nécessaire pour comprendre les principales conclusions émises dans cette étude. En effet, le présent chapitre a plutôt pour but d'offrir un bref résumé vulgarisé de l'approche méthodologique afin d'aider le lecteur dans l'interprétation des résultats présentés au chapitre suivant. Le schéma 1 synthétise la méthodologie alors que le tableau 1 résume les paramètres de calculs.

Les vitesses de l'air en mouvement sont calculées à l'aide du modèle numérique 3D OpenFoam. Dans les études d'impacts éoliens, le domaine modélisé s'étend généralement sur une superficie de plus ou moins 1 km². Tel qu'illustré sur la figure 4, le modèle est alimenté, aux extrémités du domaine, par des vents dont la vitesse augmente avec l'élévation. La distribution verticale (ou profil) de la vitesse de ces vents varie selon le milieu ambiant de la zone d'étude. La forme que prendra cette distribution verticale est d'ailleurs contrôlée par une constante nommée paramètre de rugosité α . Le modèle numérique inclut le quartier autour du projet à l'étude qui ont tendance à modifier le profil de vent vertical à l'approche de la zone d'étude.

Le modèle numérique est mis à profit pour simuler les directions dominantes de vent dans le secteur à l'étude. Dans les cas de Montréal et Laval, deux directions dominantes sont observées à la station météorologique de l'aéroport Pierre-Elliott-Trudeau, soit l'OSO et le NNE (voir figure 2 et 3). À proximité du projet à l'étude, les vents au niveau des piétons, soit à une hauteur de 1,8 m, sont analysés. Les résultats sont présentés sous forme de survitesse. De manière schématique, ce paramètre représente un ratio adimensionnel entre la vitesse du vent à l'entrée du modèle et celle au point d'intérêt. Par exemple, si la survitesse en un point donné est de 1,5 et que la vitesse du vent à l'entrée du modèle est de 10 km/h, la vitesse du vent en ce même point donné sera de 15 km/h (1,5x10 km/h). De même, si la survitesse en un point donné est de 0,5 et que la vitesse du vent à l'entrée du modèle est de 10 km/h, la vitesse du vent en ce même point donné sera de 5 km/h (0,5x10 km/h). L'exemple demeure simplifié pour des fins d'illustration, toutefois il faut noter que le paramètre de survitesse inclut également un terme de turbulence permettant de mieux caractériser le point d'intérêt. L'utilisation du concept de survitesse permet ainsi de déduire la vitesse du vent qui sera ressentie par le piéton en fonction de la vitesse du vent à l'entrée du modèle. Les survitesses calculées par le modèle sont affichées sous forme de carte de couleur en conditions de références ainsi qu'en conditions futures (en présence du nouveau projet) et ce, pour chaque direction dominante de vents (voir figures 5 et 6). Pour une direction donnée de vents, une diminution de la survitesse (de l'état de référence vers l'état futur) révèle une bonification du confort éolien. À l'opposé, une augmentation de la survitesse implique une dégradation du confort éolien.

Afin d'intégrer l'ensemble des directions dominantes de vent, le concept d'inconfort éolien est adopté. Ce concept consiste à utiliser les survitesses calculées par le modèle ainsi que les données horaires de vent à l'entrée du modèle afin de calculer le nombre de fois où la vitesse du vent ressentie par le piéton dépasse un certain seuil d'inconfort (6,11 m/s en été et 4,17 m/s en hiver). À cet effet, les données horaires de vent à l'entrée du modèle découlent des données mesurées à la station météorologique la plus proche, soit à l'aéroport Pierre-Elliott-Trudeau dans les cas de Montréal et Laval. Dans certaines situations, ces données mesurées peuvent être transposées directement à l'entrée du modèle alors que

dans d'autres situations, ces données mesurées doivent être recalées par un facteur de recalage k . L'inconfort éolien calculé par le modèle est affiché sous forme de carte de couleur en conditions de références ainsi qu'en conditions futures (en présence du nouveau projet). En guise d'exemple, une fréquence d'inconfort de 0,20 signifie que le seuil d'inconfort est excédé 20% du temps. À cet effet, les fréquences maximales d'inconfort éoliens étant admises ou tout simplement recommandées dépendent essentiellement de l'activité prévue sur la voie publique. En effet, un critère de 10% est généralement visé dans les parcs et les lieux de détente et 25% dans le reste des cas (voir figures 7 et 8).

Finalement, un dernier concept est adopté afin de tenir compte de la sécurité des piétons durant les événements de vents violents, soit le seuil de rafales. Ce dernier consiste à calculer le nombre de fois où la vitesse du vent ressentie par le piéton dépasse le seuil de rafales de 20m/s (72 km/h). La fréquence maximale de dépassement de ce seuil est généralement admise à 1%.

Tableau 3.1 : Synthèse des paramètres de calcul

Paramètres du vent	
Station météorologique de référence	Aéroport Pierre-Elliott-Trudeau
Directions dominantes	OSO et NNE
Rugosité α	0,25
Recalage k	0,9 ($Vent_{Entrée\ modèle} = 0,9\ Vent_{Mesuré\ à\ la\ station}$)
Seuil de confort éolien	6,11 m/s (22 km/h) en été 4,17 m/s (15 km/h) en hiver
Seuil de sécurité	20 m/s (72 km/h)
Caractéristiques du modèle	
Dimension du domaine	1,3 km x 1,3 km
Nombre de mailles	12 664 194
Résolution du maillage	10 m à 0,31 m

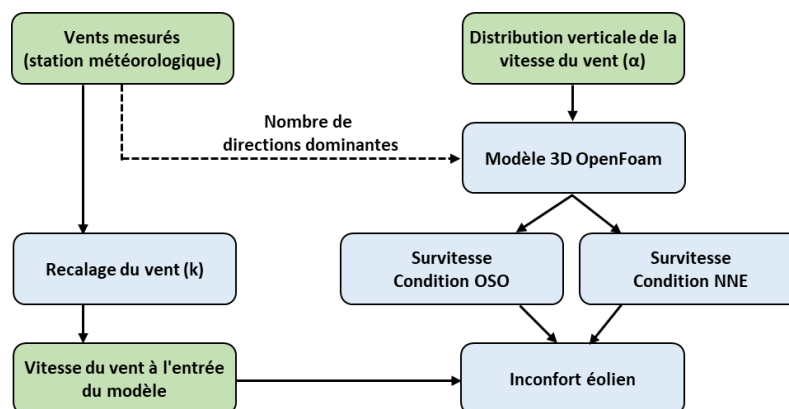


Schéma 1 : Résumé de l'approche méthodologique

4 IMPACTS ÉOLIENS DU PROJET

Les simulations aérodynamiques ont été réalisées pour les deux directions de vents dominants en conditions de référence et en conditions futures (en présence du nouveau projet). Les champs de facteurs de survitesse ont été extraits des simulations à hauteur de piéton, soit 1,8 m au-dessus du niveau de la rue, ainsi qu'à la hauteur des usagers des zones de détente, soit 1,8 m au-dessus de leurs niveaux respectifs. Les champs de fréquences totales de dépassement de la vitesse limite d'inconfort, toutes directions confondues, également désignées par le terme fréquences annuelles d'inconfort, ont ensuite été calculés pour toutes les configurations.

Le règlement d'urbanisme de l'arrondissement Rosemont-Petite-Patrie [4] présente les critères suivants à respecter :

- La vitesse moyenne du vent doit être calculée sur une période de base d'une heure;
- La période de référence pour l'évaluation de la rafale doit être de 2 secondes ou moins, avec une turbulence de 30 %;
- La vitesse de rafale doit être égale à 2 fois la vitesse moyenne;
- Tendre à ne pas générer d'impact éolien dont la vitesse moyenne au sol, calculée sur une base horaire, soit supérieure à 15 km/h en hiver et à 22 km/h en été, avec une fréquence de dépassement maximale correspondant à 25 % du temps sur une voie publique et à 10 % dans un parc, un lieu public et une aire de détente.
- Les rafales au sol générées par un projet de construction ne doivent pas dépasser une vitesse au sol de 20 m/s durant plus de 1 % du temps.

Les figures 5 et 6 illustrent les résultats obtenus pour les vents de secteur OSO et NNE respectivement. Les figures 7 et 8, quant à elles, présentent les fréquences annuelles d'inconfort, toutes directions confondues, pour chacune des configurations (conditions de références et futures).

4.1 Impacts sur les vitesses par vent de secteur OSO

La figure 5 affiche la survitesse au niveau des piétons, soit à une hauteur de 1,8 m du sol, en condition de vents en provenance de l'OSO. De plus, l'image c) illustre aussi la survitesse au niveau des usagers des zones de détente prévues au projet, à une hauteur de 1,8 m de leurs sols respectifs, pour la même condition de vent. Les lignes de courants illustrant le rabattement des vents en hauteur sur l'aire de détente comprise entre la tour A2 et la tour A1 sont démontrées dans l'image d).

Il est observé que l'intégration du projet au quartier a un impact sur les vents d'OSO. En effet, dû aux hauteurs élevées des nouveaux bâtiments par rapport au secteur adjacent, les vents sont concentrés davantage en conditions futures au-dessus des sections du boulevard Rosemont à l'ouest et au nord du site. Cela engendre une augmentation des survitesses locales au-dessus de l'intersection entre ce boulevard et la rue Dickson de 0,96 en conditions de références à 1,42 en conditions futures. De plus, il est dénoté que les vents déviés et concentrés par les tours A1 et A2 au-dessus des bâtiments du lot 3 et B1 sont à l'origine de l'effet de barre observé sur la rue Dickson, au-devant des façades nord-est des

bâtiments du lot 3 et B1. Cela cause une augmentation des survitesses locales de 0,06 en conditions de références à 1,45 en conditions futures à cet endroit.

Il est aussi relevé que des vents rabattus par la façade sud-ouest de la tour A2 au-dessus du secteur boisé à l'est cause une augmentation des survitesses locales de 1,09 en conditions de références à 1,54 en conditions futures à cet endroit. Il est à noter que ces vents soufflent aussi sur une portion de la rue Dickson à l'est du site. Par conséquent, une augmentation des survitesses locales de 0,72 en conditions de références à 1,06 en conditions futures est donc dénotée au-dessus de cette section de la rue Dickson.

Mentionnons qu'aucun changement n'est relevé, en conditions futures, par rapport aux conditions de référence, au-dessus des parcs Bois-des-pères et Francésca-Cabrini en ce qui concerne les survitesses. Une augmentation des survitesses de 0,76 en conditions de référence à 1,19 en conditions futures est toutefois relevée au-dessus de la portion nord du parc Pierre-Bédard. Celle-ci est due à la présence du bâtiment B1 qui soulève davantage les vents en hauteur, ce qui conduit à un recollement au niveau du sol plus loin, soit dans le secteur du parc Pierre-Bédard.

L'image c) de la figure 5 illustre les survitesses locales présentes au-dessus des zones de détente prévues au niveau du sol dans le cadre du projet. À partir de cette image, il peut être observé que la présence d'un rouleau tourbillonnaire au-devant des façades sud-ouest du bâtiment du lot 3 et B1 cause une augmentation des survitesses locales de 0,46 en conditions de référence à 1,21 en conditions futures au-dessus de l'aire de détente présente entre les constructions B1 et A1. De plus, il est aussi relevé que des vents rabattus par la façade sud-ouest du bâtiment A1 soufflent directement sur la zone de détente présente entre les tours A1 et A2, tel qu'illustré dans l'image d). Cela engendre une augmentation des survitesses locales de 1,01 en conditions de références à 1,43 en conditions futures à cet endroit. Mentionnons que le facteur de survitesse maximal relevé au-dessus de l'aire de détente du lot 5, située au-devant de la façade sud-ouest du couvent, est de 1,02. Ce facteur est causé par un léger effet de coin présent au passage de l'arête ouest du couvent en conditions futures.

L'image c) de la figure 5 illustre aussi les survitesses relevées au-dessus des deux terrasses communes et des deux piscines prévues sur les toits des bâtiments A1 et A2. À partir de cette image, il peut être observé que des vents en hauteur soufflent sur une portion importante de la terrasse commune de A1 ainsi que de la piscine extérieure. Le facteur de survitesse maximal relevé au coin ouest de cette terrasse est de 1,76. En ce qui concerne la terrasse commune et la piscine sur le toit de la tour A2, les survitesses relevées au-dessus de leurs surfaces demeurent relativement faibles ou modérées.

4.2 Impacts sur les vitesses par vent de secteur NNE

La figure 6 affiche la survitesse au niveau des piétons, soit à une hauteur de 1,8 m du sol, en condition de vents en provenance du NNE. De plus, l'image c) illustre aussi la survitesse au niveau des usagers des zones de détente prévues au projet, à une hauteur de 1,8 m de leurs sols respectifs, pour la même condition de vent. Les lignes de courants illustrant le rabattement des vents en hauteur sur l'aire de détente comprise entre la tour A2 et la tour A1 sont démontrées dans l'image d).

La présence des nouvelles volumétries engendre un impact sur les vents du NNE. En effet, il est observé que les vents sont en partie redirigés par la façade nord-est du bâtiment B1 sur la rue Dickson en

conditions futures. Ce phénomène cause une augmentation des survitesses locales de 0,11 en conditions de références à 0,74 en conditions futures au-dessus de cette portion de la rue Dickson. De plus, de façon similaire à ce qui est observé par vents d'OSO, les vents sont concentrés davantage en conditions futures au-dessus des sections du boulevard Rosemont à l'ouest et au nord du site. Cela engendre une légère augmentation des survitesses locales de 1,15 en conditions de références à 1,36 en conditions futures sur le boulevard Rosemont à l'ouest du couvent.

Il est aussi relevé que l'intégration de la tour A2 au quartier tend à bloquer les vents du NNE, ce qui engendre des diminutions des survitesses à plusieurs endroits du côté sud du site. En effet, du côté est du bâtiment 1, situé au sud-ouest du site, les survitesses sont réduites de 1,14 en conditions de références à 0,30 en conditions futures dû à ce phénomène. De plus, au sud du bâtiment 1, les survitesses locales diminuent aussi de 1,02 en conditions de références à 0,14 en conditions futures puisque l'effet de blocage des vents engendré par la tour A2 étend le sillage du bâtiment 1 vers le sud.

Mentionnons qu'aucun changement des survitesses n'est relevé, de conditions de références en conditions futures, au-dessus des parcs Bois-des-pères, Francésca-Cabrini ainsi que Pierre-Bédard.

L'image c) de la figure 6 illustre les survitesses locales présentes au-dessus des zones de détente prévues au niveau du sol dans le cadre du projet. À partir de cette image, il peut être observé que des vents rabattus par la façade nord-est du bâtiment A1 soufflent sur l'aire de détente présente entre les bâtiments A1 et B1. Ces vents engendrent un facteur de survitesse maximal de 1,03 au centre de cette zone. De plus, des vents rabattus par la façade nord-est de la tour A2 sont aussi présents au-dessus de l'aire de détente prévues entre les tours A1 et A2. Ce phénomène cause une augmentation des survitesses locales de 1,12 en conditions de références à 1,78 en conditions futures au-dessus de cette zone de détente. Il est à noter que ce phénomène est aussi illustré par les lignes de courants de l'image d). En ce qui concerne la zone de détente du lot 5, celle-ci est majoritairement protégée des vents, excepté à sa limite nord-ouest où un facteur de survitesse maximal de 1,22 est relevé.

L'image c) de la figure 6 illustre aussi les survitesses relevées au-dessus des deux terrasses communes et des deux piscines prévues sur les toits des bâtiments A1 et A2. À partir de cette image, il peut être observé que la terrasse commune sur le toit du bâtiment A1 est majoritairement protégée des vents en hauteur du NNE. Il faut toutefois mentionner que des vents en hauteur soufflent à la limite nord-est de cette terrasse ainsi que sur une portion de la piscine extérieure. Cela engendre un facteur de survitesse maximal de 1,26 à la limite nord-est de la terrasse. Il est aussi relevé que les vents en hauteur soufflent sur la terrasse commune et la piscine de la tour A2. Les survitesses résultantes sont toutefois relativement faibles avec un facteur de survitesse maximal de 0,46 au-dessus de la piscine.

4.3 Fréquences annuelles d'inconfort

Les fréquences d'inconfort sont calculées sur une base annuelle en prenant en compte l'ensemble des directions de vent considérées, les critères de vitesse limite en été (6,11 m/s) et en hiver (4,17 m/s) ainsi que les heures de circulation des piétons en fonction des saisons. Ces fréquences annuelles d'inconfort reflètent alors un cycle météorologique complet au cours d'une année.

Les figures 7 et 8, qui illustrent le champ des fréquences annuelles d'inconfort au niveau des piétons, permettent d'identifier les zones répondant aux critères établis par le règlement d'urbanisme de l'arrondissement Rosemont-Petite-Patrie [4]:

- 25 % : critère général établi pour la voie publique;
- 10 % : critère appliqué aux parcs ou lieux de détente;

Une telle comparaison des fréquences d'inconfort permet également d'avoir un portrait global du quartier et servir d'outil au développement d'aménagements d'espaces urbains.

4.3.1 Critère général – 25%

La figure 7 présente le champ des fréquences d'inconfort annuelles selon le critère de 25% établi dans le règlement d'urbanisme de l'arrondissement Rosemont-Petite-Patrie [4]. Ce critère est utilisé dans les lieux où la fonction principale est destinée au déplacement (rues, trottoirs, pistes cyclables, etc.). La figure 7 montre que le critère de 25% est respecté dans l'ensemble du domaine d'étude et ce, autant en conditions de référence qu'en conditions futures.

Des augmentations des fréquences annuelles d'inconfort sont relevées au-dessus des sections du boulevard Rosemont situées au nord et à l'ouest du site du projet. En effet, dû aux phénomènes de concentration des vents d'OSO et du NNE relevés dans ces secteurs, les fréquences d'inconfort passent de 11,1% en conditions de références à 20,9% en conditions futures au-dessus de l'intersection entre le boulevard Rosemont et la rue Dickson ainsi que de 18,2% en conditions de références à 20,4% en conditions futures à l'ouest du couvent.

De plus, il est aussi relevé que les fréquences annuelles d'inconfort augmentent de 0,2% en conditions de références à 18,7% en conditions futures au-dessus de la section de la rue Dickson située au-devant des façades nord-est des bâtiments du lot 3 et B1. Cette augmentation est engendrée par l'effet de barre relevé par vents d'OSO et le phénomène de redirection des vents du NNE observés dans ce secteur.

Au-dessus de la rue Dickson, à l'est du site du projet, les fréquences d'inconfort augmentent de 1,4% en conditions de références à 13,6% en conditions futures. Cela est dû à la présence de vents d'OSO rabattus par la façade sud-ouest de la tour A2 à cet endroit.

Des diminutions des fréquences annuelles d'inconfort sont observées à l'est et au sud du bâtiment 1 dû à la tendance de la tour A2 à bloquer les vents du NNE. En effet, les fréquences d'inconfort sont réduites de 14,3% en conditions de références à 0,2% en conditions futures à l'est du bâtiment 1 ainsi que de 18,8% à 12,4% au sud de ce dernier.

Mentionnons aussi que le modèle numérique ne reproduit pas les arbres et arbustes présents dans le domaine étudié. Ces éléments peuvent ralentir les vents soufflants à proximité et ainsi réduire les fréquences annuelles d'inconfort de façon local.

Ainsi, l'ajout du projet Couvent de la Résurrection ne conduit à aucun impact au niveau du confort éolien sur les voies publiques à proximité du projet en question.

4.3.2 Critère de parcs – 10%

La figure 8 présente le champ des fréquences d'inconfort annuelles selon le critère de 10% adopté pour les parcs ou lieux de détente dans le règlement d'urbanisme de l'arrondissement Rosemont-Petite-Patrie [4].

Il faut tout d'abord mentionner que des fréquences annuelles d'inconfort dépassant le critère de 10% sont relevées au-dessus des parcs Bois-des-pères, Francésca-Cabrini ainsi que Pierre-Bédard. Toutefois, puisque ces fréquences sont relevées autant en conditions de références qu'en conditions futures, la construction des bâtiments du projet n'est donc pas à l'origine du dépassement du critère de 10% observé au-dessus de ces parcs.

Il est aussi à noter que des fréquences annuelles d'inconfort à la limite ou dépassant le critère de 10% sont relevées au-devant de toutes les entrées principales des bâtiments du projet, excepté l'entrée sud-ouest du couvent menant à l'aire de détente du lot 5. Notons que les entrées principales sont encerclées en noir dans l'image c) de la figure 8. Des fréquences d'inconfort variant entre 9,5% et 14% sont en effet calculées au-devant de ces entrées, alors que la fréquence maximale relevée au-devant de l'entrée sud-ouest du couvent est de 5,3%.

Des fréquences annuelles d'inconfort dépassant le critère de 10% sont aussi calculées au-dessus des trois aires de détente au niveau du sol. En effet, une fréquence d'inconfort maximale de 13% est relevée à la limite nord-ouest du lot 5. De plus, les fréquences d'inconfort maximales calculées pour les deux autres zones de détente sont de 19,2% au-dessus de celle localisée entre les bâtiments B1 et A1 et de 23,4% au-dessus de celle présente entre les tours A1 et A2. Notons que ces zones de détente respectent tout de même le critère de 25% établi pour les zones où le déplacement des usagers pourrait être prépondérant. Ces fréquences d'inconfort sont causées par la présence des différents phénomènes aérodynamiques (rabattements, rouleau tourbillonnaire, effet de coin) observés par vents d'OSO et du NNE dans ces secteurs. Il est important de mentionner que le modèle numérique ne reproduit pas l'aménagement paysager prévu sur le site du projet, tel que l'implantation d'arbres et d'arbustes au niveau du sol. Ces éléments peuvent ralentir les vents soufflants à proximité et ainsi réduire les fréquences annuelles d'inconfort autour des entrées principales ainsi qu'au-dessus des aires de détente de façon local. Toutefois, puisque les fréquences d'inconfort relevées dépassent considérablement le critère de 10% à plusieurs endroits au-dessus des zones de détente au sol et que les effets bénéfiques de l'aménagement paysager actuellement prévu pourraient être limités sans amélioration, il est recommandé de :

- Conserver l'aménagement paysager prévu.
- Planter des arbres déjà matures et denses aux endroits spécifiés sur le plan d'implantation fourni lors des travaux afin que leurs effets sur les vents au sol se fassent ressentir dès l'inauguration du projet.
- Planter un couvert boisé relativement dense sur l'ensemble du périmètre et de la surface de l'aire de détente entre les tours A1 et A2, incluant sa portion sud-ouest. Le but est d'intercepter les courant verticaux provenant des rabattements observés avant qu'ils atteignent le sol. Précisons que ces courants sont plus près du bâtiment A1 pour des vents d'OSO et de A2 pour des vents du

NNE, ce qui explique pourquoi il faut recouvrir l'ensemble de la surface de la zone de détente. Des agencements d'écrans (naturels ou artificiels) d'au moins 2 à 3 m de haut pourraient aussi être implémentés afin de créer des zones abritées sur l'aire de détente. Cette approche pourrait toutefois créer des veines de courant concentrées autour des abris, ce qui causerait des augmentations locales des fréquences d'inconfort autour des abris.

- Planter des arbres matures à la limite nord-est de la zone de détente entre les bâtiments B1 et A1 afin de compléter son périmètre de couverture paysagère.
- Bonifier l'aménagement paysager à la limite nord-est de l'aire de détente du lot 5, particulièrement du côté nord-ouest de l'entrée du couvent, afin de réduire les fréquences d'inconfort causées par le léger effet de coin présent par vents d'OSO à cet endroit.

S'il n'est pas possible de planter des arbres déjà matures et denses aux endroits recommandés afin de réduire les fréquences annuelles d'inconfort, l'option d'apporter des modifications à la volumétrie des tours A1 et A2 afin de changer significativement le comportement des vents au-dessus des aires de détente au sol peut être considérée. Il est toutefois possible, en considérant l'avancement et le contexte du projet, que cette option ne soit pas réaliste.

Il faut aussi mentionner que des fréquences annuelles d'inconfort dépassant le critère de 10% sont relevées au-dessus des deux terrasses communes sur les toits des bâtiments A1 et A2. En effet, une fréquence d'inconfort maximale de 18% est calculée à la limite sud-ouest de la terrasse commune du bâtiment A1, alors qu'une fréquence de 14,3% est observée à la limite sud-ouest de la terrasse de la tour A2. Ces dépassements sont causés par les vents en hauteur de l'OSO et du NNE qui soufflent à ces endroits. Mentionnons que la piscine extérieure sur le toit de la tour A2 respecte le critère de 10%. Il est à noter que le modèle numérique ne reproduit pas les garde-corps autour des terrasses. Ceux-ci devraient contribuer à ralentir les vents de façon local et ainsi permettre de réduire les fréquences annuelles d'inconfort. De plus, il est recommandé d'installer des écrans brise-vent vitrés de 6 à 8 pieds de haut aux limites sud-ouest et nord-est des terrasses communes. Ces éléments pourront certainement protéger les terrasses et les piscines extérieures des vents en hauteur de l'OSO et du NNE et ainsi garantir le respect du critère de 10% sur l'ensemble de leurs surfaces.

4.3.3 Dépassement de la vitesse de 20 m/s (72 km/h)

La vitesse limite de rafales pour les piétons est une vitesse de 20 m/s (72 km/h). À cet effet, la fréquence limite de dépassement de cette vitesse est admise à 1% dans le règlement d'urbanisme de l'arrondissement Rosemont-Petite-Patrie [4]. Il est dénoté que l'intégration du projet au quartier n'engendre pas de nouveaux dépassements de ce critère en conditions futures. La construction des bâtiments du projet ne cause donc pas de dégradation au niveau des rafales de vent pour le quartier à l'étude.

5 CONCLUSION

L'étude par modélisation numérique tridimensionnelle des vents à Montréal a permis d'évaluer les impacts du projet Couvent de la Résurrection sur le confort des piétons circulant sur les rues adjacentes ainsi que des usagers des zones de détente en fonction des critères établis dans le règlement d'urbanisme de l'arrondissement Rosemont-Petite-Patrie [4].

Les résultats de modélisation démontrent que l'intégration des bâtiments du projet au quartier engendre des impacts sur le régime des vents d'OSO et du NNE. En effet, des augmentations des fréquences annuelles d'inconfort sont relevées sur le boulevard Rosemont et sur la rue Dickson. Toutefois, celles-ci demeurent relativement locales et ne conduisent pas à excéder le critère de 25% admis en bordure de voie publique et dans les lieux où la fonction principale est destinée au déplacement [4]. Il est aussi important de mentionner que la présence des nouveaux bâtiments améliore le confort éolien (fréquences annuelles d'inconfort plus faibles) sur les côtés est et sud du bâtiment 1.

Le critère limite de fréquences annuelles d'inconfort de 10%, utilisé pour les parcs et lieux de détente, n'est pas respecté au-dessus des parcs Bois-des-pères, Francésca-Cabrini ainsi que Pierre-Bédard. Mentionnons toutefois que cela est autant le cas en conditions de références qu'en conditions futures. L'intégration du projet au quartier n'est donc pas à l'origine du dépassement de ce critère au-dessus de ces parcs. Il est à noter que des fréquences annuelles d'inconfort à la limite ou dépassant le critère de 10% sont aussi relevées au-devant de chacune des entrées principales des bâtiments du projet, à l'exception de celle menant à l'aire de détente du lot 5.

Des fréquences d'inconfort dépassant le critère de 10% sont aussi relevées au-dessus des trois aires de détente au niveau du sol. Une fréquence maximale de 23,4% est en effet relevée au-dessus de la zone de détente présente entre les tours A1 et A2, là où des vents en hauteur d'OSO et du NNE sont rabattus par les façades sud-ouest et nord-est des tours A1 et A2 respectivement. Ces fréquences d'inconfort sont causées par la présence des différents phénomènes aérodynamiques (rabattements, rouleau tourbillonnaire, effet de coin) observés par vents d'OSO et du NNE dans ces secteurs. Il est important de mentionner que le modèle numérique ne reproduit pas l'aménagement paysager prévu sur le site du projet, tel que l'implantation d'arbres et d'arbustes au niveau du sol. Ces éléments peuvent ralentir les vents soufflants à proximité et ainsi réduire les fréquences annuelles d'inconfort autour des entrées principales ainsi qu'au-dessus des aires de détente de façon local. En considérant les phénomènes aérodynamiques observés au-dessus de ces aires de détente et leurs impacts sur les fréquences d'inconfort, il est recommandé de planter des arbres déjà matures et denses aux endroits spécifiés sur le plan d'implantation fourni lors des travaux. Il est aussi recommandé de planter un couvert boisé relativement dense sur l'ensemble du périmètre et de la surface de l'aire de détente entre les tours A1 et A2 pour briser les composantes verticales des rabattements avant d'atteindre le sol et générer des fortes vitesses, ainsi qu'à la limite nord-est de la zone de détente entre les bâtiments B1 et A1. De plus, la bonification de l'aménagement paysager au-dessus de l'aire de détente du lot 5 est aussi recommandé. Si ces recommandations ne peuvent pas être suivies, l'option d'apporter des modifications à la volumétrie des tours A1 et A2 afin de changer significativement le comportement des vents au-dessus des aires de détente au sol peut être considérée. Il est toutefois possible, en considérant l'avancement et le contexte du projet, que cette option ne soit pas réaliste.

Il est aussi à noter que le critère de 10% est respecté au-dessus de la piscine extérieure sur le toit de la tour A2, mais pas au-dessus de la terrasse commune qui l'entoure ainsi que sur la terrasse présente sur le toit du bâtiment A1. Les dépassements relevés sont causés par les vents en hauteur de l'OSO et du NNE qui soufflent sur ces zones de détente. Les fréquences annuelles d'inconfort les plus élevées sont localisées aux limites sud-ouest des deux terrasses. Il est à noter que le modèle numérique ne reproduit pas les garde-corps autour des terrasses. Ceux-ci devraient contribuer à ralentir les vents de façon local et ainsi permettre de réduire les fréquences d'inconfort. De plus, il est recommandé d'installer des écrans brise-vent vitrés de 6 à 8 pieds de haut aux limites sud-ouest et nord-est des terrasses communes. Ces écrans pourront certainement protéger les terrasses et les piscines extérieures des vents en hauteur de l'OSO et du NNE et ainsi garantir le respect du critère de 10% sur toute leurs surfaces.

Les résultats de modélisation démontrent aussi que la construction des bâtiments du projet n'engendre pas de nouveaux dépassements du critère de rafales de 1%, par rapport aux conditions de références, dans le quartier à l'étude.

6 RÉFÉRENCES

- [1] Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti - J. Gandemer et A. Guyot – Ministère de la Qualité de la vie - France 1976.
- [2] Architectural Aerodynamics by R.M. Aynsley, W. Melbourne and B.J. –Vickery - Applied Science Publishers Ltd. London.
- [3] Élaboration d’outils méthodologiques et techniques d’aide à la conception d’ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes - S. Reiter – Thèse de doctorat de l’Université Catholique de Louvain, Belgique.
- [4] Le Règlement d’urbanisme de l’arrondissement Rosemont-Petite-Patrie (01-279), codification administrative mise à jour le 20 mars 2023.

ANNEXE A

DÉTAILS TECHNIQUES EN LIEN AVEC L'APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

1. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE	A1
1.1 Représentation de l'air en mouvement.....	A1
1.2 Critères d'évaluation du confort éolien.....	A1
1.3 Données de référenceA5.....	A4
1.4 Transposition au site à l'étude.....	A5
1.5 Vitesses locales et fréquences d'inconfort.....	A5
2. ANALYSE DU RÉGIME DES VENTS	A6
2.1 Station météorologique de référence.....	A6
2.2 Analyse statistique de la direction et de la vitesse des vents.....	A7
2.2.1 Direction.....	A7
2.2.2 Vitesse.....	A7
3. MODÈLE NUMÉRIQUE	A9
3.1 Le modèle numérique.....	A9
3.2 Domaine de calcul.....	A9
3.3 Conditions aux limites.....	A10

1. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

1.1 Représentation de l'air en mouvement

L'écoulement simulé doit avoir les mêmes caractéristiques que l'air arrivant sur le site étudié. En négligeant les phénomènes thermiques pouvant affecter la stabilité de l'atmosphère, la distribution verticale de la vitesse du vent peut s'exprimer comme suit :

$$\frac{U}{U_g} = \left(\frac{z}{z_g} \right)^\alpha \quad (3.1)$$

où

- U : vitesse moyenne du vent à l'altitude z;
- z : altitude au-dessus du sol;
- z_g : épaisseur de la couche limite atmosphérique;
- U_g : vitesse moyenne du vent à l'altitude z_g, au-delà de laquelle la vitesse n'est plus influencée par la nature du site rencontré par le vent.

Les paramètres α et z_g dépendent essentiellement du type de rugosité du sol, c'est-à-dire de la hauteur et de la densité des bâtiments du secteur élargi d'étude. La valeur de α varie typiquement entre 0,14, pour un environnement de lac ou de plaine qui apparaît comme une surface relativement "lisse", et 0,36 au-dessus d'un centre-ville de grande hauteur et dense, considéré comme étant fortement "rugueux" [1].

Afin que le profil de vent se développe selon les spécificités du tissu urbain existant, l'ensemble du quartier englobant la zone d'étude est généralement inclus dans le modèle numérique. Cela permet ainsi d'établir correctement le patron d'écoulement du vent incident.

1.2 Critères d'évaluation du confort éolien

Tous les auteurs ayant entrepris de caractériser le confort ou l'inconfort des piétons soumis aux vents définissent, tout d'abord, un seuil, autrement dit, une vitesse limite à partir de laquelle le vent est incommodant et considèrent ensuite la fréquence avec laquelle ce seuil est dépassé en un site donné. Le régime des vents est alors jugé acceptable si cette fréquence est inférieure à une limite qui dépend de la vocation du site. Cette fréquence peut s'exprimer en nombre d'heures par an, sur la base de 8 760 heures par année.

Le seuil (la vitesse limite) est défini en considérant les effets physiques du vent sur un individu et on constate que les valeurs adoptées par divers auteurs diffèrent grandement en fonction des objectifs recherchés : certains auteurs s'intéressent surtout à la sécurité des piétons et adoptent alors un seuil élevé, de l'ordre de 20 m/s (72 km/h). Cette vitesse correspond sensiblement à celle de vents susceptibles d'empêcher la marche ou de provoquer la chute des piétons.

D'autres études abordent plus spécifiquement la question du confort et établissent le seuil à une valeur susceptible de provoquer des effets incommodes sans être dangereux : vents capables de soulever la poussière, de décoiffer, de rendre impossible la lecture d'un journal, etc. Les vitesses limites retenues selon cette perspective, que nous adopterons, sont alors plus faibles, de l'ordre de 5 m/s (18 km/h).

Il s'agit là d'ordres de grandeur et il faut, pour aller plus loin, préciser ce qu'on entend par « vitesse du vent ». Le vent est en effet, par nature, fortement variable d'un instant à l'autre et l'enregistrement des vitesses, en un point donné, révèle des fluctuations aléatoires liées à la nature turbulente de l'écoulement de l'air dans la couche limite terrestre. On doit ainsi distinguer la vitesse moyenne du vent et les vitesses extrêmes observées pendant les rafales. Plus précisément, la valeur instantanée de la vitesse du vent $u(t)$ est rapportée à sa valeur moyenne U et les fluctuations autour de cette moyenne sont en général bien représentées par une loi normale, caractérisée par son écart-type σ .

Divers auteurs ont ainsi retenu des combinaisons variées de U et σ pour définir la vitesse limite requise pour caractériser le seuil d'inconfort. On trouve ainsi, aux deux extrêmes, les critères proposés respectivement par Gandemer [1] et Melbourne [2] :

$$U + \sigma \leq 6 \text{ m/s} \quad (3.2)$$

$$U + 3,5 \sigma \leq 9 \text{ m/s} \quad (3.3)$$

Cette disparité n'est toutefois qu'apparente, et les deux critères ci-dessus correspondent pratiquement à la même situation; on constate en effet que l'écart-type σ n'est pas indépendant de la vitesse moyenne et croît avec elle. L'intensité de la turbulence :

$$i = \frac{\sigma}{U} \quad (3.4)$$

est en effet comprise entre 0,15 et 0,30 pour la majorité des cas pratiques et l'écart-type σ est donc de l'ordre de 0,25U. Un vent correspondant à la limite d'inconfort selon Grandemer [1] est donc un vent dont la vitesse moyenne est donnée par :

$$U + 0,25U = 6 \text{ m/s} \quad (3.5)$$

$$U = 6/1,25 = 4,8 \text{ m/s} \quad (3.6)$$

alors que la vitesse moyenne limite selon Melbourne [2] correspond à :

$$U + 0,875 U = 9 \text{ m/s} \quad (3.7)$$

$$U = 9/1,875 = 4,8 \text{ m/s} \quad (3.8)$$

soit une valeur identique à la précédente.

Les deux critères ne s'écartent l'un de l'autre que dans des situations extrêmes où la turbulence du vent s'éloigne des valeurs typiques citées précédemment : turbulence dans le sillage immédiat d'un bâtiment aux arêtes vives, par exemple, et la définition de Gandemer nous semble alors préférable. Cette dernière privilégie des vitesses instantanées ne s'écartant que peu de la valeur moyenne, qu'on observe donc fréquemment, alors que Melbourne s'intéresse aux pics violents et rares, dans une optique qui s'apparente, ici encore, à l'analyse de la sécurité des piétons plus qu'à leur confort.

Le critère adopté :

$$U + \sigma \leq 6,11 \text{ m/s} \quad (3.9)$$

doit maintenant être corrigé pour tenir compte des effets thermiques. Nous avons retenu ce critère sans le modifier pour les mois relativement chauds, avril à septembre inclus, alors que l'on adopte plutôt :

$$U + \sigma \leq 4,17 \text{ m/s} \quad (3.10)$$

pour les mois plus froids d'octobre à mars. Ceci correspond sensiblement à la règle communément admise, citée par Melbourne [2], selon laquelle il faut augmenter les vitesses d'un degré Beaufort pour tenir compte d'un refroidissement de 20°F.

L'analyse du confort éolien est limitée aux heures pendant lesquelles les piétons sont les plus nombreux, soit :

- de 6 h 00 à 22 h 00 d'avril à septembre inclus;
- de 8 h 00 à 18 h 00 d'octobre à mars inclus.

Ces périodes correspondent à 4 750 heures dans l'année (54 % de la durée totale), et les vents observés en dehors de ces périodes (en particulier pendant la nuit) ne sont pas comptés comme incommodants.

La fréquence avec laquelle les vents inconfortables peuvent être tolérés dépend de la vocation du site ou de l'artère. Le tableau 1 résume les valeurs généralement admises [1] pour les fréquences d'inconfort, lesquelles sont exprimées en heures par année.

Il est à souligner que la Ville de Laval ne dispose pas de critère numérique pour définir l'inconfort éolien. Toutefois, les règlements de la Ville de Montréal et de ses arrondissements touchant les impacts éoliens définissent les fréquences maximales d'inconfort admissibles pour les divers secteurs de la ville. Par exemple dans le cas de l'arrondissement du Sud-Ouest, l'extrait du règlement stipule qu'en bordure d'une voie publique, une fréquence limite de dépassement de 25 % est généralement admise. Les parcs et lieux de détente sont soumis à une limite de 10 %. Les vitesses seuil sont de 6 m/s en été et de 4 m/s en hiver.

Tableau 1 Fréquence d'inconfort communément admise selon l'activité

Activité	Nombre maximum d'heures pendant lesquelles le seuil d'inconfort est atteint ou dépassé⁽¹⁾
Station immobile prolongée terrasse de café, théâtre en plein air, piscine...	438 h/an (ou 5 %)
Station immobile courte jardin public, aire de jeux, rue commerçante, galerie...	876 h/an (ou 10 %)
Marche normale promenade pédestre, passage piétonnier, entrée d'immeuble...	1 314 h/an (ou 15 %)
Marche rapide parc auto, trottoir des avenues, belvédère...	2 190 h/an (ou 25 %)

1.3 Données de référence

L'analyse des impacts éoliens d'un projet immobilier repose sur des données statistiques du régime des vents (vitesse et direction) applicable au site à l'étude. En règle générale, ces informations proviennent de stations météorologiques permanentes situées à proximité du site, et disposent de données horaires sur des périodes suffisamment longues. On doit également s'assurer que la station choisie permette une mesure du vent exempte des effets locaux du relief et du bâti avoisinant. Pour les projets situés sur l'île de Montréal ainsi qu'à Laval, on utilise généralement les statistiques de vent compilées à la station météo d'Environnement Canada de l'aéroport Pierre-Elliott-Trudeau (Dorval). À la section 2.1 de l'annexe A, on discute du choix de cette station.

⁽¹⁾ Il est à noter que chaque arrondissement établit son règlement et que les valeurs admissibles peuvent ainsi varier d'un arrondissement à l'autre.

1.4 Transposition au site à l'étude

Des données de vent fiables et détaillées ne sont que très rarement disponibles au site immédiat des projets à l'étude et, comme on vient de le mentionner, on doit généralement faire appel aux données de stations météorologiques situées à proximité. En vue de calculer l'impact des aménagements projetés sur les fréquences d'inconfort éolien, il importe au préalable de transposer ou de «recaler» la vitesse moyenne du vent $U_{\text{météo}}$ obtenue à la station météo à une valeur correspondante U_{site} aux abords du site à l'étude :

$$U_{\text{site}} = k U_{\text{météo}} \quad (3.11)$$

où k est le coefficient de recalage. Les vitesses $U_{\text{météo}}$ et U_{site} sont évaluées à une hauteur $z = 10$ m par rapport au sol, une valeur standard pour les relevés de vents dans les stations météo. À Laval ainsi qu'à Montréal, le coefficient de recalage k varie essentiellement entre 0.65 et 1.0 dépendamment de la densité urbaine du secteur à l'étude. À cet effet, une valeur de 1.0 signifie que les conditions éoliennes sur le site du projet sont pratiquement identiques aux conditions à l'aéroport Pierre-Eliot-Trudeau.

En l'absence de données mesurées directement sur le site, on peut faire appel à la théorie pour l'évaluation de k . En effet, en appliquant l'équation (3.1) à l'emplacement de la station, puis au site à l'étude, on obtient :

$$k = \left(\frac{Z_{g\text{météo}}}{10} \right)^{\alpha_{\text{météo}}} \left(\frac{10}{Z_{g\text{site}}} \right)^{\alpha_{\text{site}}} \quad (3.12)$$

1.5 Vitesses locales et fréquences d'inconfort

L'influence d'un nouveau bâtiment sur les conditions éoliennes locales est exprimée à l'aide d'un paramètre de confort, aussi appelé facteur de survitesse :

$$\psi = \frac{U + \sigma}{(U + \sigma)_{\text{site}}} = \frac{U + \sigma}{k U_{\text{météo}} (1 + i_{\text{site}})} \quad (3.13)$$

où $U + \sigma$ correspond à la valeur maximale du vent à hauteur de piéton en un point donné du site à l'étude. La valeur de ψ est obtenue sur modèle réduit (soufflerie ou hydraulique) ou modèle numérique, en

comparant les vitesses locales $U+\sigma$ liées à la présence des bâtiments avec la vitesse nominale $(U+\sigma)_{\text{site}}$ établie sur le site sans l'influence des aménagements projetés.

En introduisant l'intensité de la turbulence i_{site} caractéristique du vent incident soufflant sur le site, l'équation (3.13) peut s'écrire comme suit :

$$U_{\text{météo}} = \frac{U + \sigma}{k \psi (1 + i_{\text{site}})} \quad (3.14)$$

En substituant, pour chacun des points considérés pour l'analyse du confort éolien, les limites de $U+\sigma$ correspondant aux seuils de confort estival et hivernal, soit les valeurs de 6 et 4 m/s des équations (3.9) et (3.10), on peut obtenir le vent moyen correspondant $U_{\text{météo}}$ à la station météo de référence et en déduire les probabilités ou fréquences d'inconfort en chaque point.

2. ANALYSE DU RÉGIME DES VENTS

2.1 Station météorologique de référence

Deux stations météorologiques principales sont situées à proximité du site : celle de l'aéroport P.-E.-Trudeau à Montréal et celle de l'aéroport de Saint-Hubert sur la rive sud. La figure 2 donne, pour ces deux sites, la rose des vents obtenue sur une base annuelle. À la station de l'aéroport Pierre-Elliott-Trudeau, deux secteurs sont prédominants : le premier, centré sur l'ouest-sud-ouest (OSO) prévaut 37 % du temps alors que le deuxième, le secteur nord-nord-est (NNE), compte pour 20 % des observations. Les secteurs dominants de l'OSO et du NNE, qui représentent ainsi près de 60 % des épisodes de vent, correspondent à l'orientation de la vallée du Saint-Laurent encaissée entre les Laurentides et les Appalaches.

Le régime des vents à Saint-Hubert est semblable, mais la fréquence des vents des secteurs OSO et du NNE est diminuée au profit des vents du Nord et du Sud (figure 2). Ces derniers sont favorisés par l'orientation Nord-Sud de la vallée du Richelieu.

Pour les études d'impacts éoliens touchant l'île de Montréal ainsi que Laval, on doit privilégier les données de l'aéroport Pierre-Elliott-Trudeau puisque la tendance nord-sud des vents observés à Saint-Hubert est avant tout applicable à la rive Sud de Montréal.

2.2 Analyse statistique de la direction et de la vitesse des vents

2.2.1 Direction

La figure 3a illustre les roses des vents obtenues d'après les données recueillies à l'aéroport Pierre-Elliott-Trudeau (1980 - 2013) sur une base annuelle ainsi que pour les périodes printemps-été et automne-hiver [3]. Tel que mentionné précédemment, la prédominance des directions de vent centrées sur les secteurs OSO et NNE est manifeste tout au long de l'année. Par rapport à la moyenne annuelle, les mois les plus chauds (avril à septembre) indiquent une certaine diminution des vents du secteur NNE au profit de ceux de l'OSO, et particulièrement du SO. Par contre, les mois d'automne et d'hiver (octobre à mars) s'accompagnent d'une augmentation marquée de la fréquence des vents du NNE. Pour les vents dominants du secteur OSO, on observe alors que les composantes O et OSO deviennent plus importantes que celles du SO.

L'ensemble de ces résultats confirme donc que, pour des immeubles situés à Laval et sur l'île de Montréal, l'étude des impacts éoliens peut être concentrée sur les vents dominants des secteurs OSO et NNE. Les autres directions, beaucoup moins fréquentes, ne font l'objet d'examen que dans des cas d'intérêt particulier.

2.2.2 Vitesse

La figure 3b donne la fréquence des vitesses moyennes du vent obtenue sur une base annuelle pour les secteurs de l'OSO et du NNE. On observe essentiellement que les vents de l'OSO sont, en moyenne, plus forts que ceux du NNE. Ainsi, les vents de l'OSO excèdent 15 km/h près de 55 % du temps alors que seulement 45% des vents du NNE dépassent cette valeur.

Comme on l'a déjà souligné, l'analyse du confort des piétons tient uniquement compte des statistiques de vitesses de vent correspondant aux heures normales de circulation des piétons :

- 6 h 00 à 22 h 00 pour les mois d'avril à septembre inclusivement;
- 8 h 00 à 18 h 00 d'octobre à mars inclusivement.

À partir des données de vent historiques recueillies à la station météo de l'aéroport P.-E.-Trudeau, on peut établir la fréquence annuelle des vents de l'OSO et du NNE en fonction de la vitesse observée aux heures de circulation des piétons.

Le tableau 2 exprime ces résultats en donnant la fréquence annuelle correspondant à douze (12) classes distinctes de vitesses du vent. D'avril à septembre, par exemple, entre 6 h 00 et 22 h 00, des vents de l'OSO de 21 à 25 km/h sont observés pendant 4567 heures ce qui correspond, sur 34 ans de données (298 228 heures), à une fréquence de 1,5%.

Tableau 2 Fréquence des vents dominants en fonction de leur vitesse et des heures considérées pour l'étude du confort des piétons

(Station météo de l'aéroport Pierre-Eliot-Trudeau (Dorval))

Vitesse (km/h)	SECTEUR OSO				SECTEUR NNE			
	ÉTÉ avril à septembre 06:00 à 22:00		HIVER octobre à mars 08:00 à 18:00		ÉTÉ avril à septembre 06:00 à 22:00		HIVER octobre à mars 08:00 à 18:00	
	Fréquence	Nombre heures	Fréquence	Nombre heures	Fréquence	Nombre heures	Fréquence	Nombre heures
1 à 5	0,5 %	1627	0,30 %	900	0,37 %	1094	0,25 %	754
6 à 10	2,3 %	6801	1,03 %	3079	1,27 %	3792	0,92 %	2751
11 à 15	3,1 %	9248	1,57 %	4694	1,60 %	4761	1,32 %	3944
16 à 20	3,0 %	8827	1,89 %	5624	1,14 %	3401	1,06 %	3171
21 à 25	1,5 %	4567	1,21 %	3600	0,48 %	1436	0,47 %	1392
26 à 30	1,4 %	4034	1,36 %	4049	0,33 %	997	0,39 %	1162
31 à 35	0,5 %	1629	0,74 %	2202	0,13 %	385	0,15 %	457
36 à 40	0,1 %	427	0,27 %	816	0,03 %	97	0,06 %	182
41 à 45	0,1 %	310	0,19 %	560	0,02 %	54	0,04 %	113
46 à 50	0,0 %	103	0,08 %	248	0,01 %	28	0,01 %	42
51 à 55	0,0 %	26	0,02 %	68	0,00 %	8	0,00 %	8
Plus de 55	0,0 %	21	0,02 %	61	0,00 %	14	0,00 %	4
TOTAL	12,6 %	37620	8,7 %	25901	5,4 %	16067	4,7 %	13980

En additionnant les probabilités du tableau 2, on obtient, pour les secteurs OSO et NNE et les heures considérées pour l'étude du confort des piétons, la fréquence annuelle avec laquelle une vitesse du vent est atteinte ou dépassée à la station météo de P.-E.-Trudeau. Ces fréquences cumulatives, illustrées graphiquement à la figure 3c, servent de base à l'analyse des conditions de confort des piétons.

3. MODÈLE NUMÉRIQUE

3.1 Le modèle numérique

La modélisation des écoulements de vent dans Laval a été effectuée à l'aide d'un modèle numérique tridimensionnel de la suite OpenFoam, qui résout par la méthode des volumes finis les équations de base de la dynamique des fluides (équations de Navier-Stokes).

La turbulence de l'écoulement est modélisée à l'aide de la formulation Spalart-Almaras (SA), en régime stationnaire. Ce modèle est largement utilisé en aérodynamique et dans les cas de figure faisant intervenir un écoulement non confiné. La prise en compte de la turbulence permet non seulement d'aboutir à une solution réaliste du champ moyen d'un écoulement turbulent, mais aussi d'évaluer l'intensité turbulente en chacun des points du domaine de calcul. Comme on l'a déjà mentionné à la section 1 de l'annexe A, la turbulence, jouant un rôle important dans l'évaluation des impacts éoliens, doit être évaluée.

Bien qu'intrinsèquement non stationnaire, la turbulence peut être modélisée avec une approche stationnaire en utilisant un paramètre de viscosité turbulente permettant de caractériser l'intensité turbulente, qui est normalement donnée par le rapport entre l'écart type et la vitesse moyenne. En effet, les travaux sur banc d'essais numérique menés par notre entreprise ont permis de mettre en évidence une relation explicite entre l'intensité turbulente en régime non stationnaire et la viscosité turbulente du modèle SA en régime stationnaire. Ainsi, les simulations effectuées en régime stationnaire dans un domaine complexe permettent d'obtenir la vitesse moyenne de l'écoulement et l'intensité turbulente qui sont les intrants du calcul des fréquences d'inconfort des piétons (voir section 1 de l'annexe A). L'intérêt de cette méthodologie est d'éviter un maillage démesurément fin et des temps de calcul extrêmement longs.

3.2 Domaine de calcul

Le domaine modélisé s'étend généralement sur une superficie de plus ou moins 1 km² et le projet en question est positionné relativement au centre de la maquette virtuelle. Le domaine de calcul s'étend verticalement sur 200 m, ce qui place la frontière du modèle à une altitude suffisante pour ne pas être affectée par les bâtiments du secteur. La figure 4 illustre le domaine de calcul.

Le volume défini par le domaine de calcul a été discrétisé à l'aide d'un maillage hexaédrique permettant de prendre en compte la géométrie des bâtiments. La taille des mailles est variable selon l'importance des détails de l'écoulement que l'on recherche. Au voisinage du sol, par exemple, ainsi que près de la surface des nouveaux bâtiments, les mailles ont une taille caractéristique de 0,60 m. À l'inverse, au voisinage de la frontière supérieure du domaine de calcul, les mailles ont une taille caractéristique de 10 m.

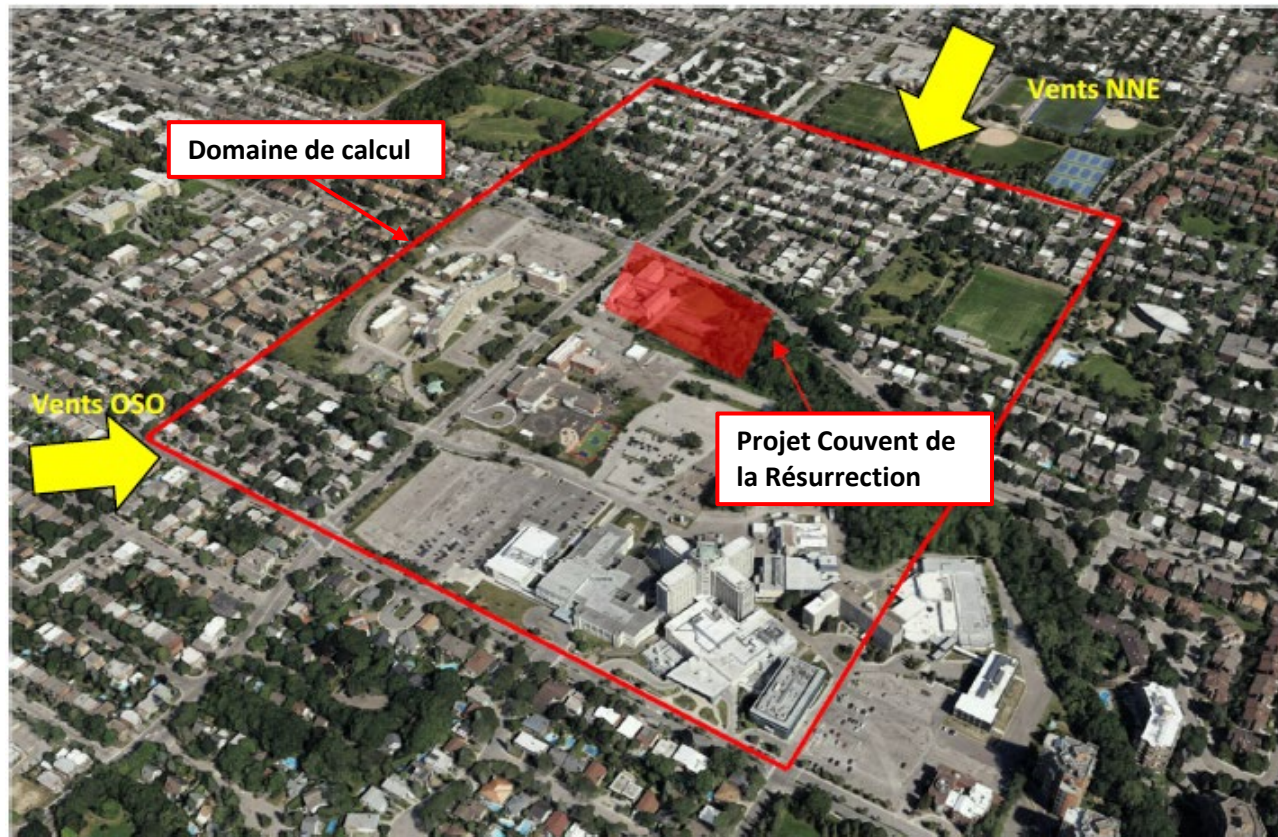
3.3 Conditions aux limites

Les directions du vent modélisées correspondent aux vents dominants prévalant sur l'île de Montréal, soit les directions OSO et NNE (voir section 2 de l'annexe A). Compte tenu de l'orientation du domaine de calcul, une condition de vitesse a été imposée aux frontières nord-nord-ouest et sud-sud-ouest, pour les vents de secteur OSO et à la frontière nord-nord-est pour les vents de secteur NNE (voir figure 2 de l'annexe A). La condition de vitesse se traduit par un profil de vitesses logarithmique caractéristique de la couche limite atmosphérique développée au-dessus du secteur d'étude. Les résultats étant essentiellement présentés en termes de facteurs de survitesse (défini par le symbole Ψ dans la section 1 de l'annexe A), la vitesse absolue imposée au modèle est arbitraire. À titre indicatif, mentionnons que la vitesse d'entrée du site à 10 m du sol a été fixée à 10 m/s.

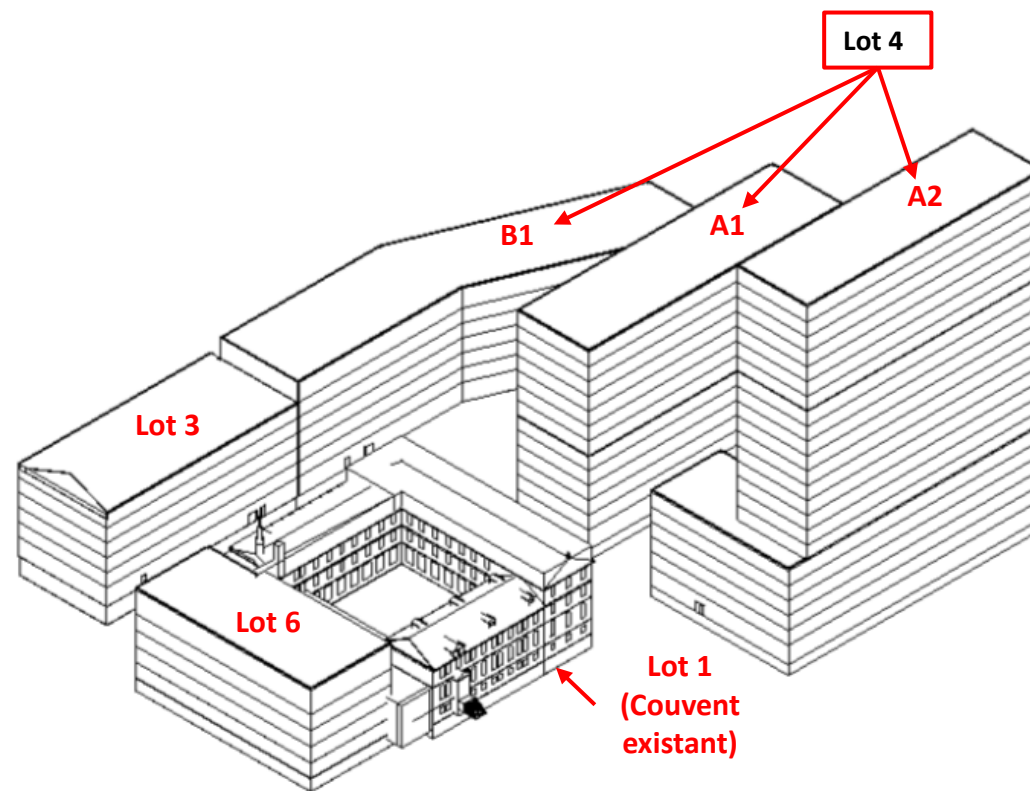
Les paramètres caractérisant la turbulence ont été réglés de manière à ce que l'intensité turbulente de l'écoulement incident imposé aux frontières du modèle soit représentative de celle d'un vent non perturbé soufflant au-dessus d'un tissu urbain, soit une valeur typique de $i=0,25$. Il est à noter qu'à l'intérieur du domaine de calcul, c'est essentiellement l'interaction avec les bâtiments qui conditionne l'intensité turbulente, des valeurs variables seront alors calculées par le modèle.

L'écoulement aux parois (sol et murs des bâtiments) a été traité par des fonctions de paroi qui permettent de s'affranchir de résoudre les couches limites et donc de réduire la taille du maillage et les temps de calculs.

Les autres frontières du modèle correspondent à des sorties libres où la pression atmosphérique a été imposée, cette dernière étant définie comme pression de référence dans tout le domaine de calcul.

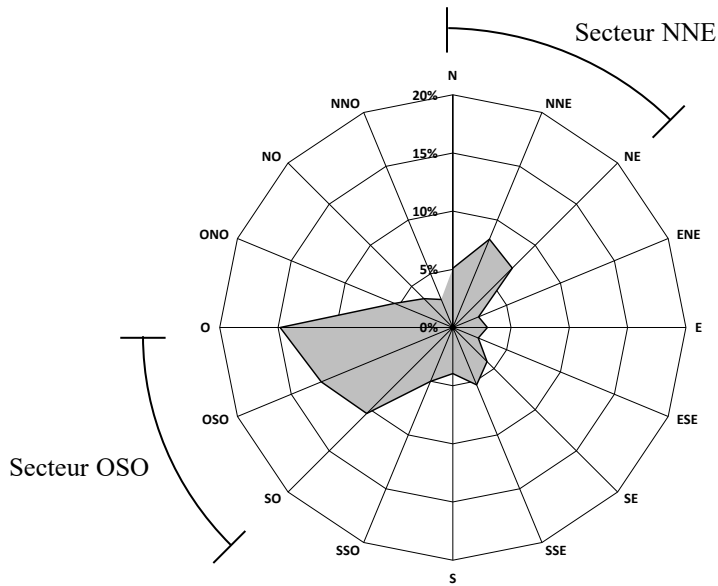


a) Localisation du projet Couvent de la Résurrection

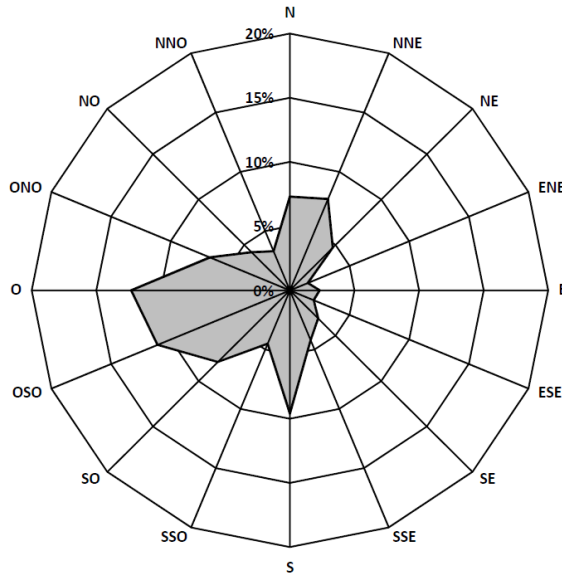


b) Rendu 3D du projet Couvent de la Résurrection

lasalle nhc		
CLIENT :		
Groupe Immobilier Alliance Inc.		
PROJET :		
Projet Couvent de la Résurrection – Étude sur modèle numérique 3D des impacts éoliens		
TITRE :		
Plan de localisation du projet		
PRÉPARÉ PAR :	REF. CLIENT :	REF. LASALLE :
M.A.A	-----	08008419
DATE :	FIGURE :	
Février 2024	1	



a) Aéroport international P.-E.-Trudeau de Montréal



b) Aéroport de Saint-Hubert

lasalle **nhc**

PROJET :
Projet Couvent de la Résurrection – Étude sur modèle numérique 3D des impacts éoliens

CLIENT :
Groupe Immobilier

TITRE :
Rose des vents annuelle – Aéroport P.-E.-Trudeau et Saint-Hubert

Alliance Inc.

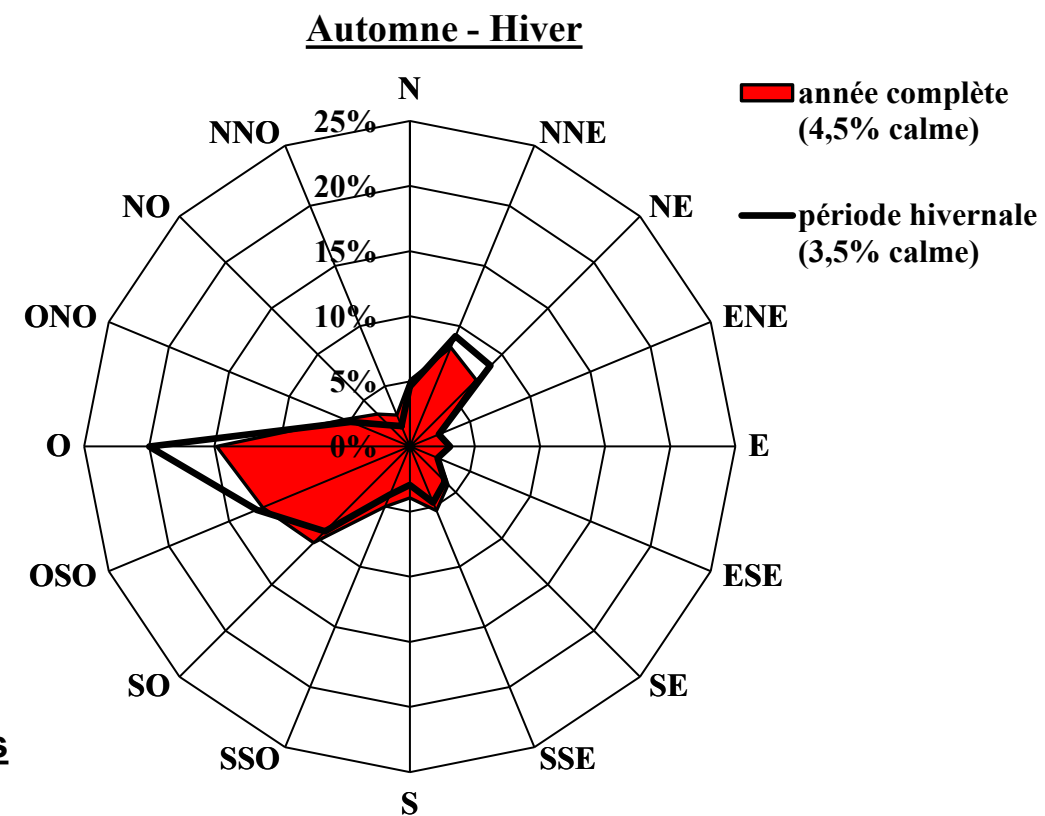
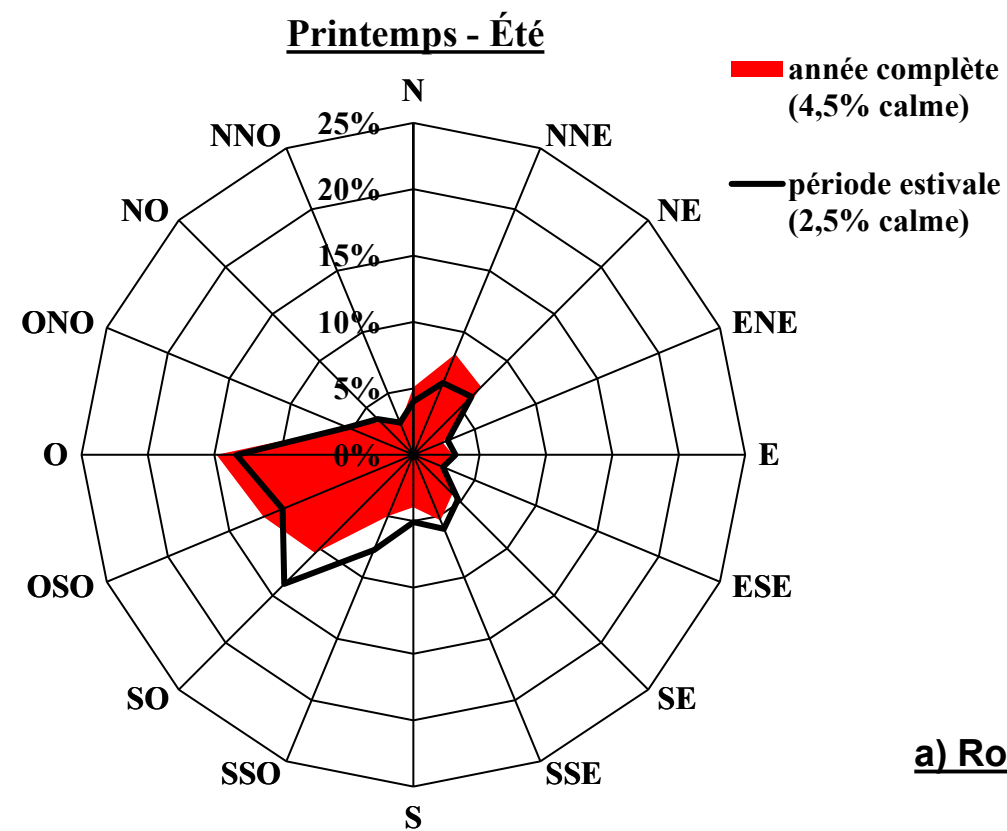
DATE :
Juillet 2023

PRÉPARÉ PAR :
M.A.A

REF. CLIENT :

REF. LASALLE :
08008419

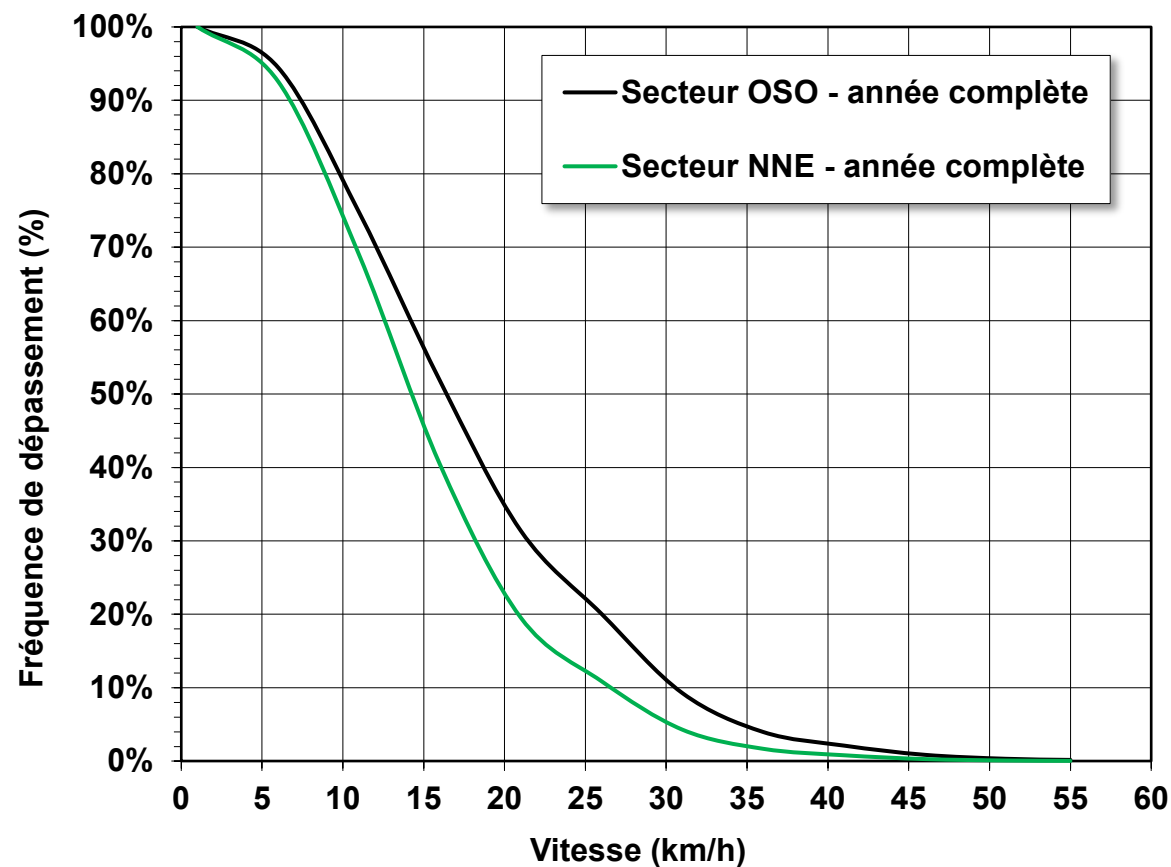
FIGURE :
2



a) Rose des vents

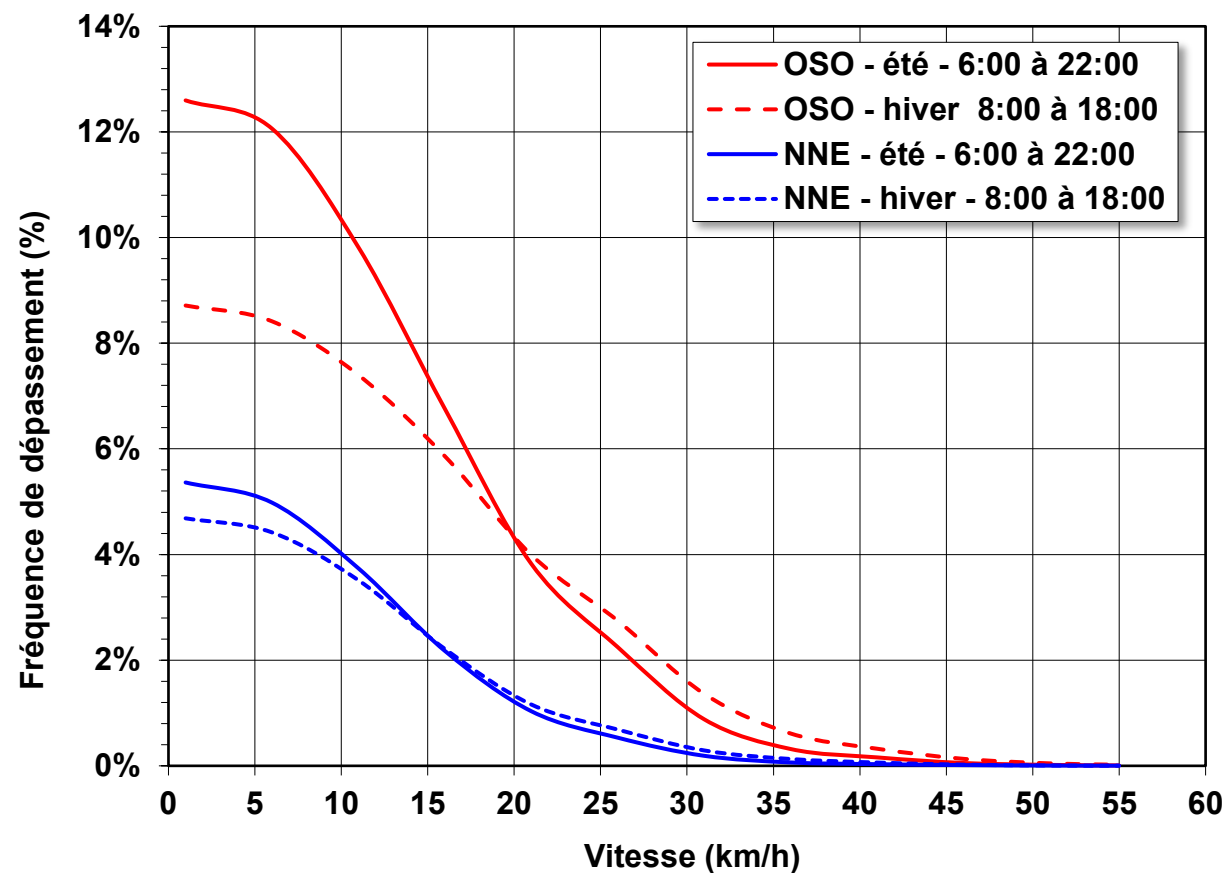
b) Fréquence de dépassement des vitesses des vents OSO et NNE sur l'année

Source: Station météorologique Montréal/Pierre-Elliott-Trudeau INTL A, 1980-2015



c) Fréquence de dépassement des vents des secteurs OSO et NNE observés pendant les heures de circulation des piétons

Source: Station météorologique Montréal/Pierre-Elliott-Trudeau INTL A, 1980-2015



CLIENT :

Groupe Immobilier Alliance Inc.

PROJET :

Projet Couvent de la Résurrection – Étude sur modèle numérique 3D des impacts éoliens

TITRE :

Statistique des vents à l'aéroport international P.-E. Trudeau de Montréal

PRÉPARÉ PAR :

M.A.A

REF. CLIENT :

REF. LASALLE :

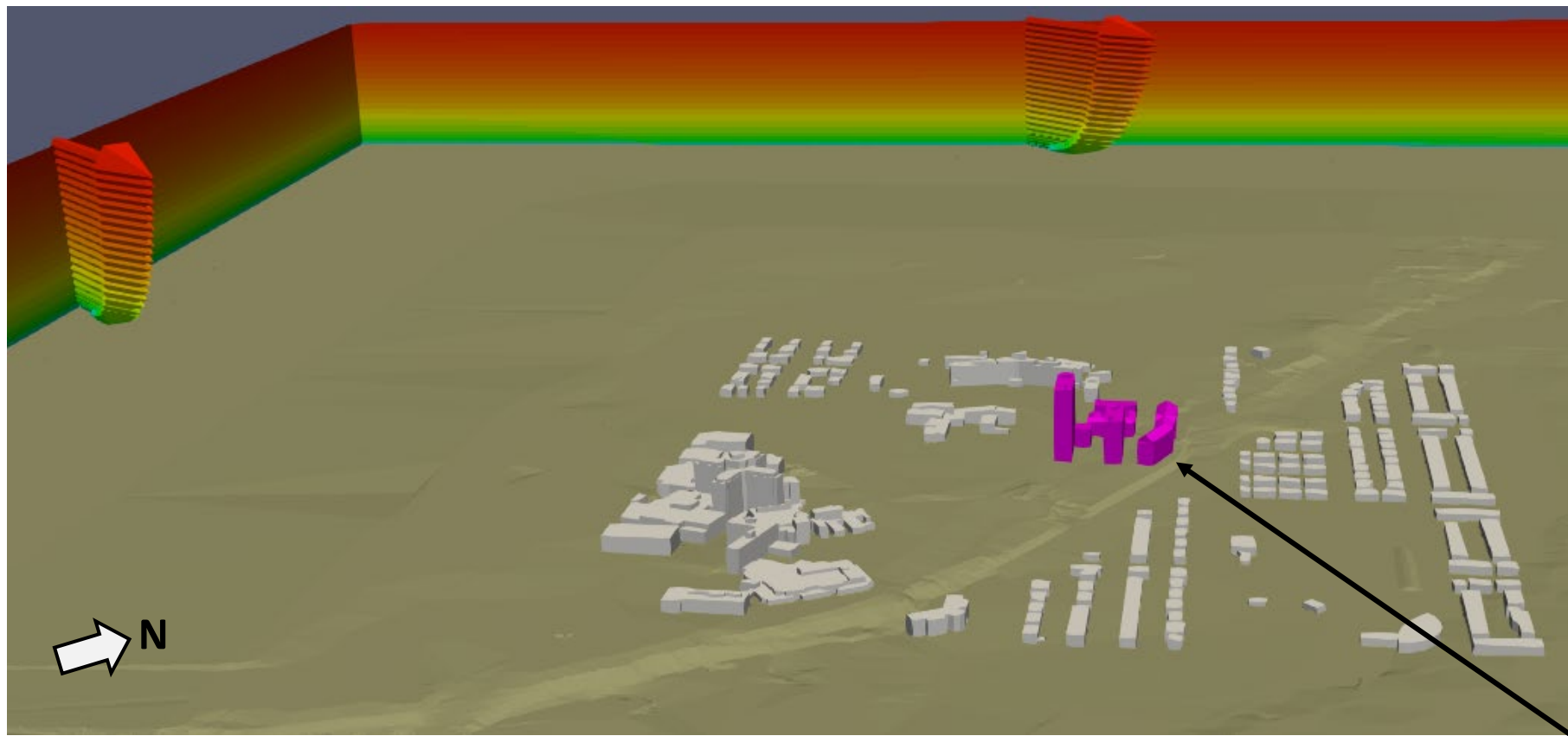
08008419

DATE :

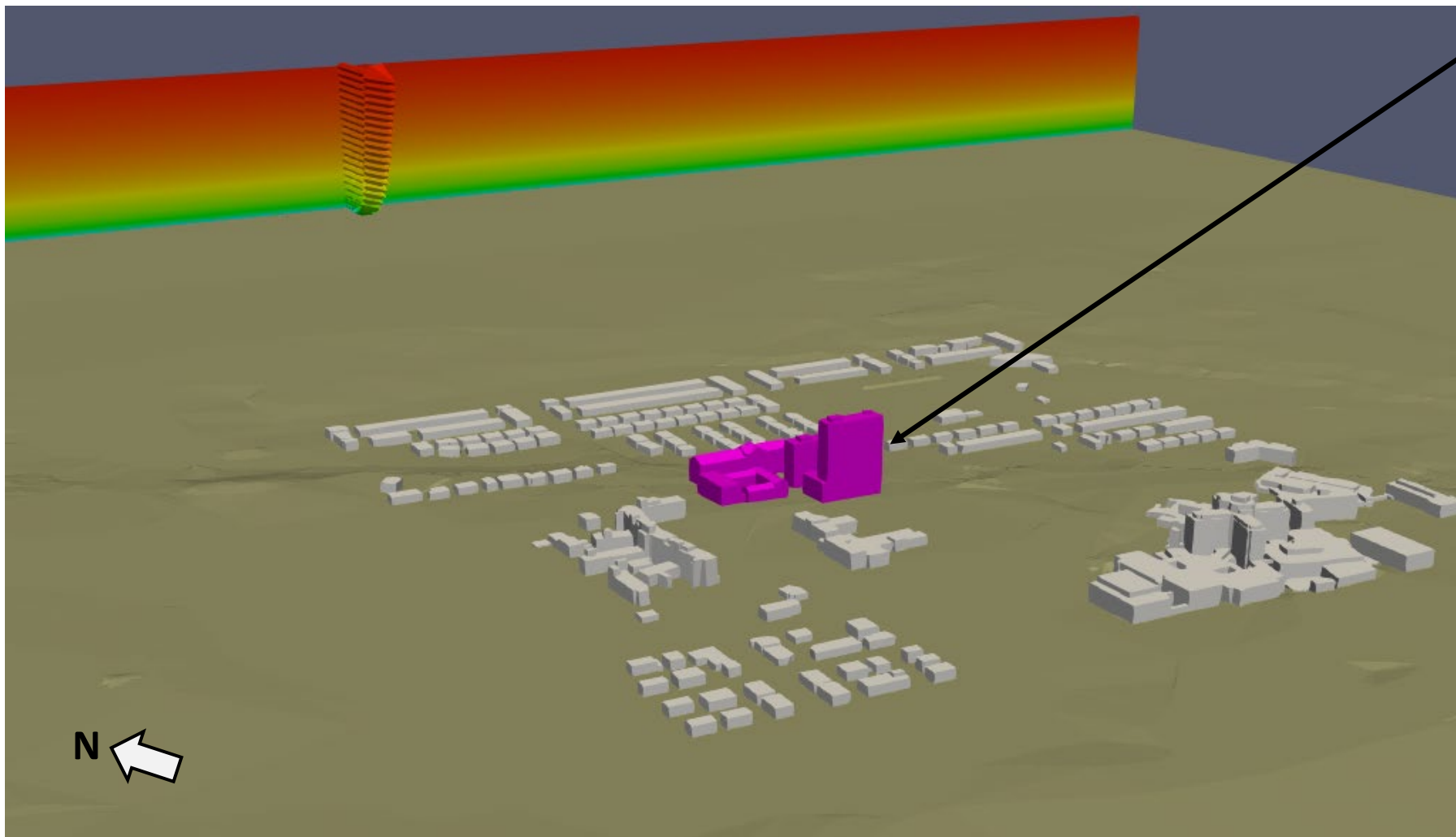
Juillet 2023

FIGURE :

3

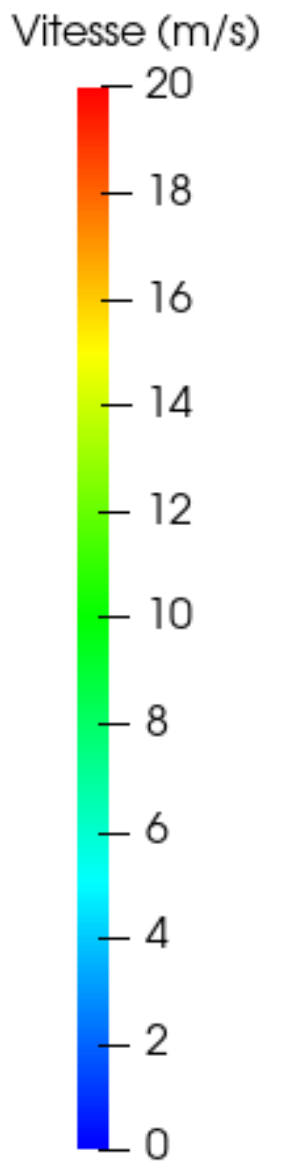


a) Domaine de calcul et profil de vitesses à l'entrée du modèle par vent de secteur OSO.



b) Domaine de calcul et profil de vitesses à l'entrée du modèle par vent de secteur NNE.

Projet Couvent de la Résurrection



lasalle nhc

CLIENT :

**Groupe Immobilier
Alliance Inc.**

PROJET :

Projet Couvent de la Résurrection –
Étude sur modèle numérique 3D des
impacts éoliens

TITRE :

Domaine de calcul

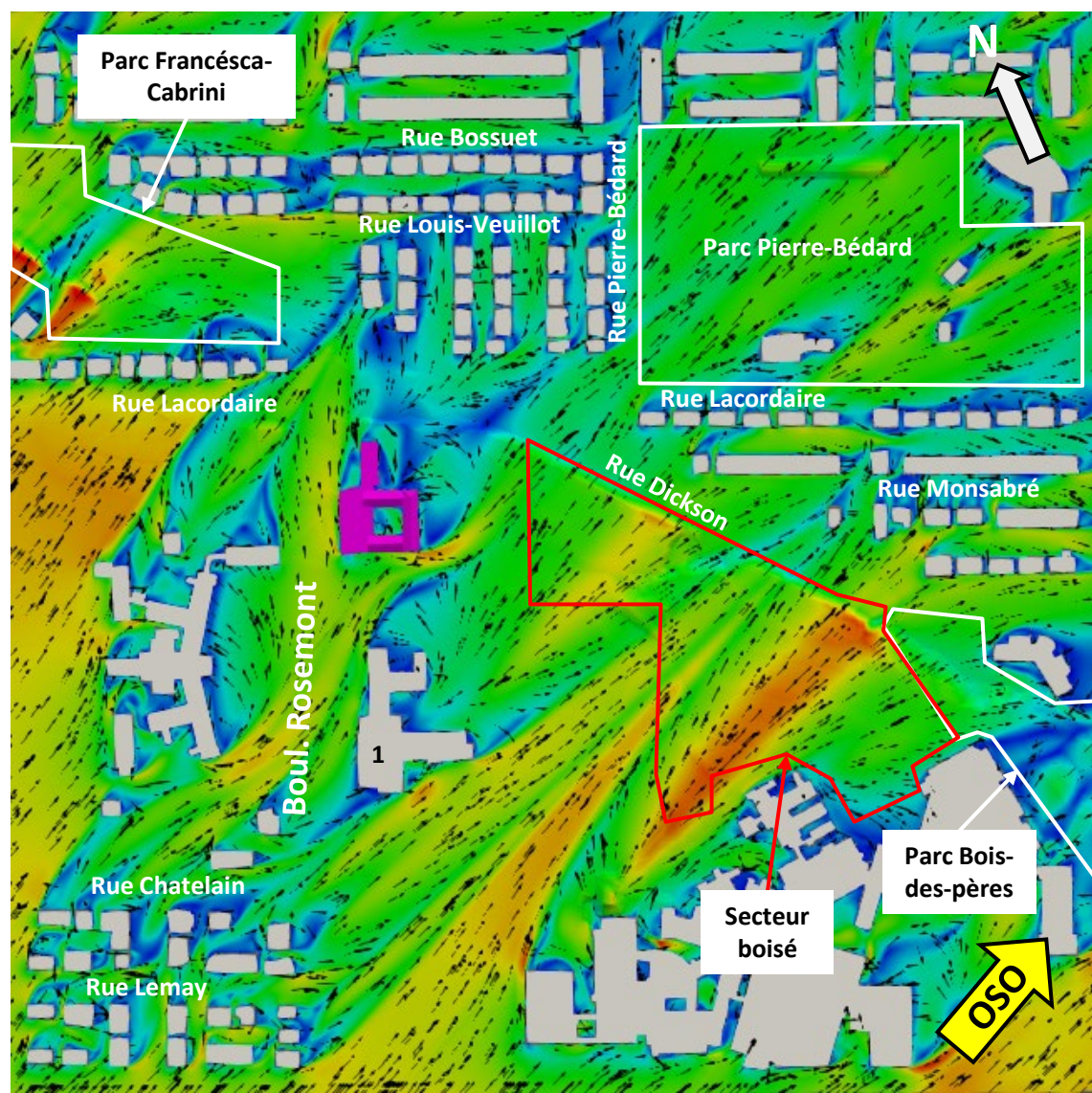
PRÉPARÉ PAR :
M.A.A

REF. CLIENT :

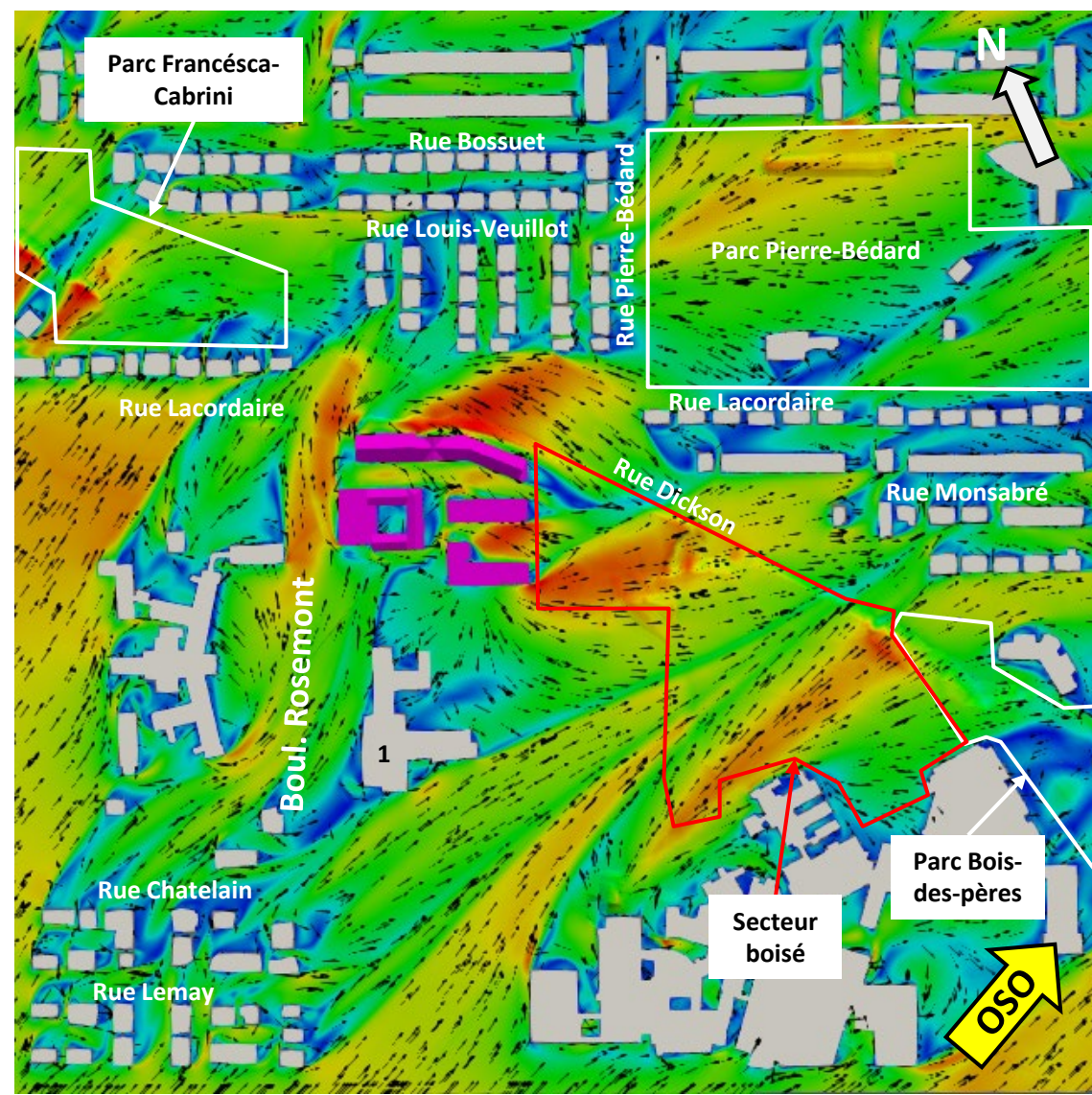
REF. LASALLE :
08008419

DATE:
Février 2024

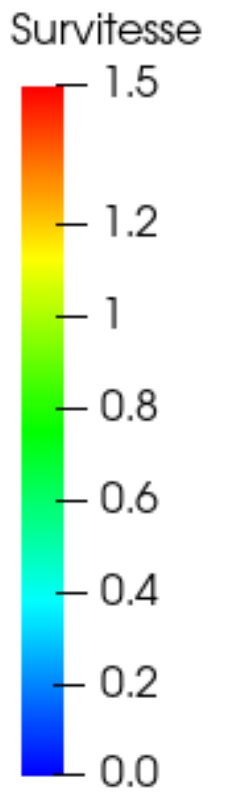
FIGURE :
4



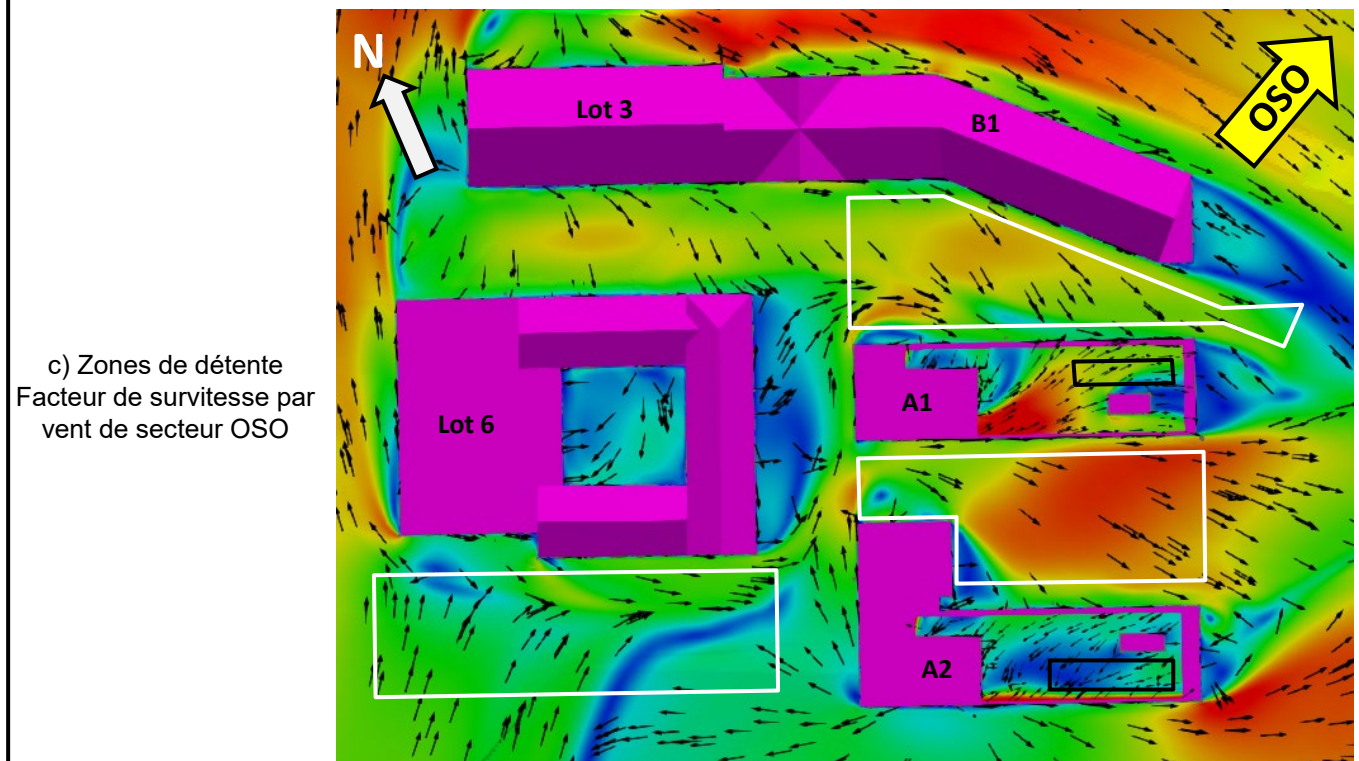
a) Conditions de référence
Facteur de survitesse par vent de secteur OSO



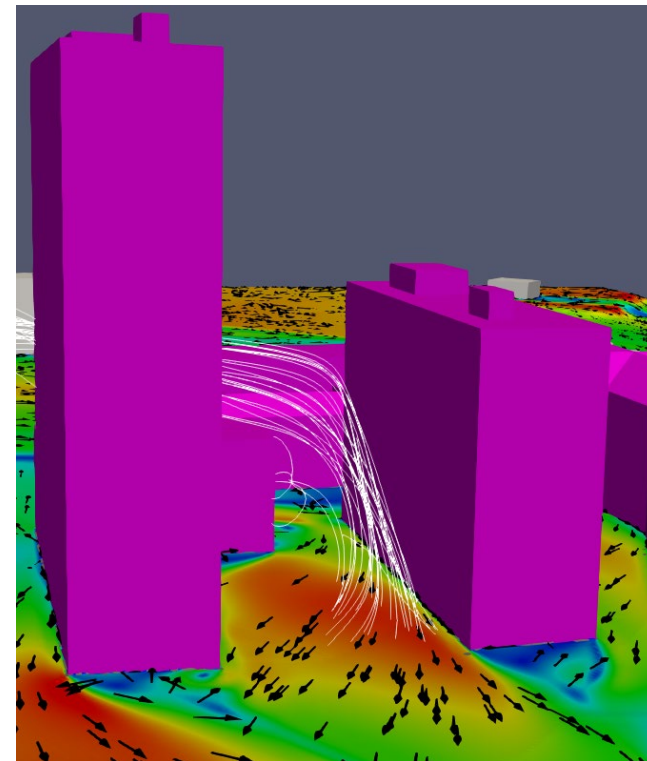
b) Conditions futures
Facteur de survitesse par vent de secteur OSO



Note : Les figures illustrent les conditions de vent au niveau des piétons, soit à 1,8 m au-dessus du sol, ainsi qu'au niveau des usagers des zones de détente, soit à 1,8 m au-dessus de leurs niveaux respectifs.

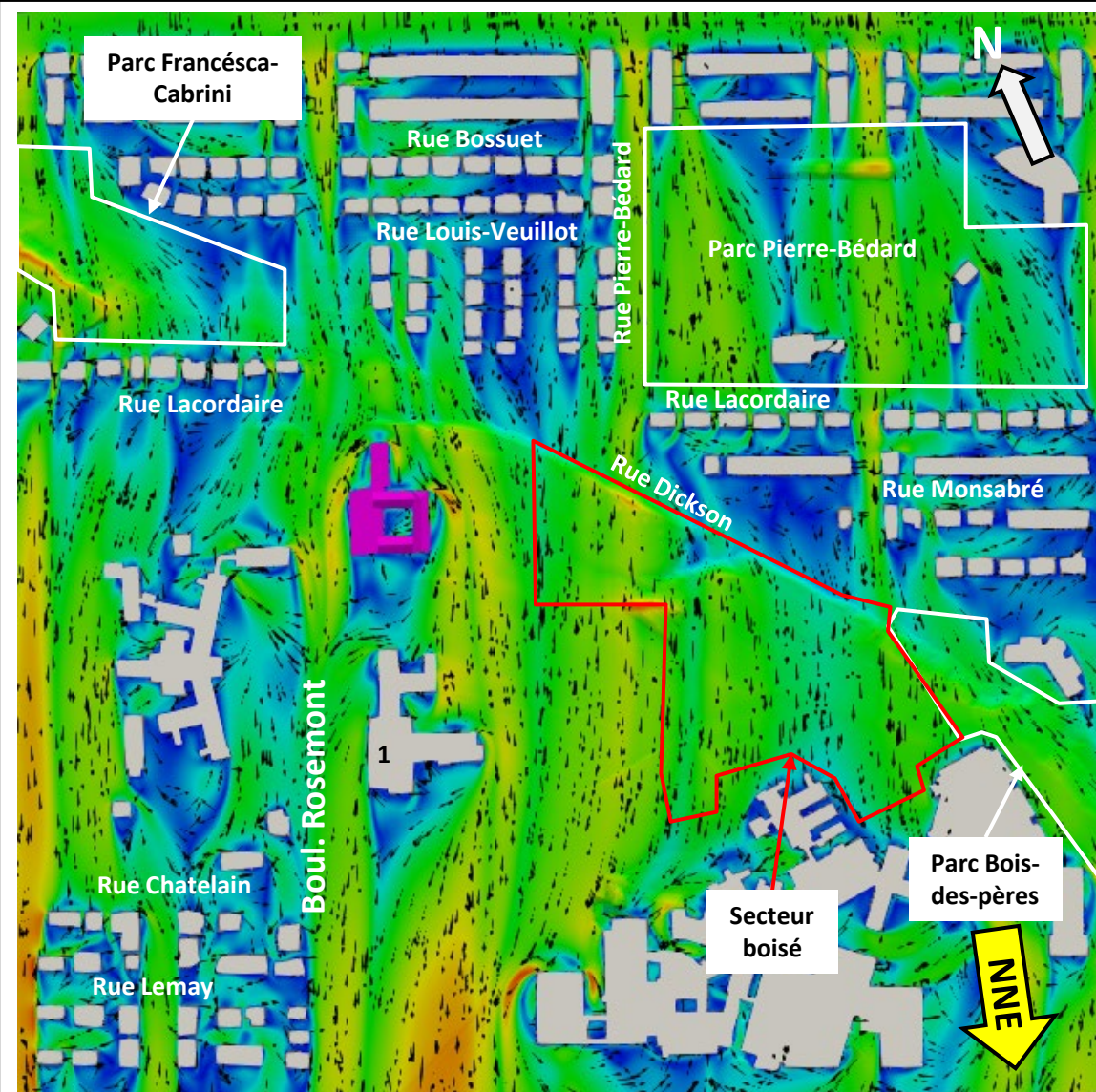


c) Zones de détente
Facteur de survitesse par vent de secteur OSO

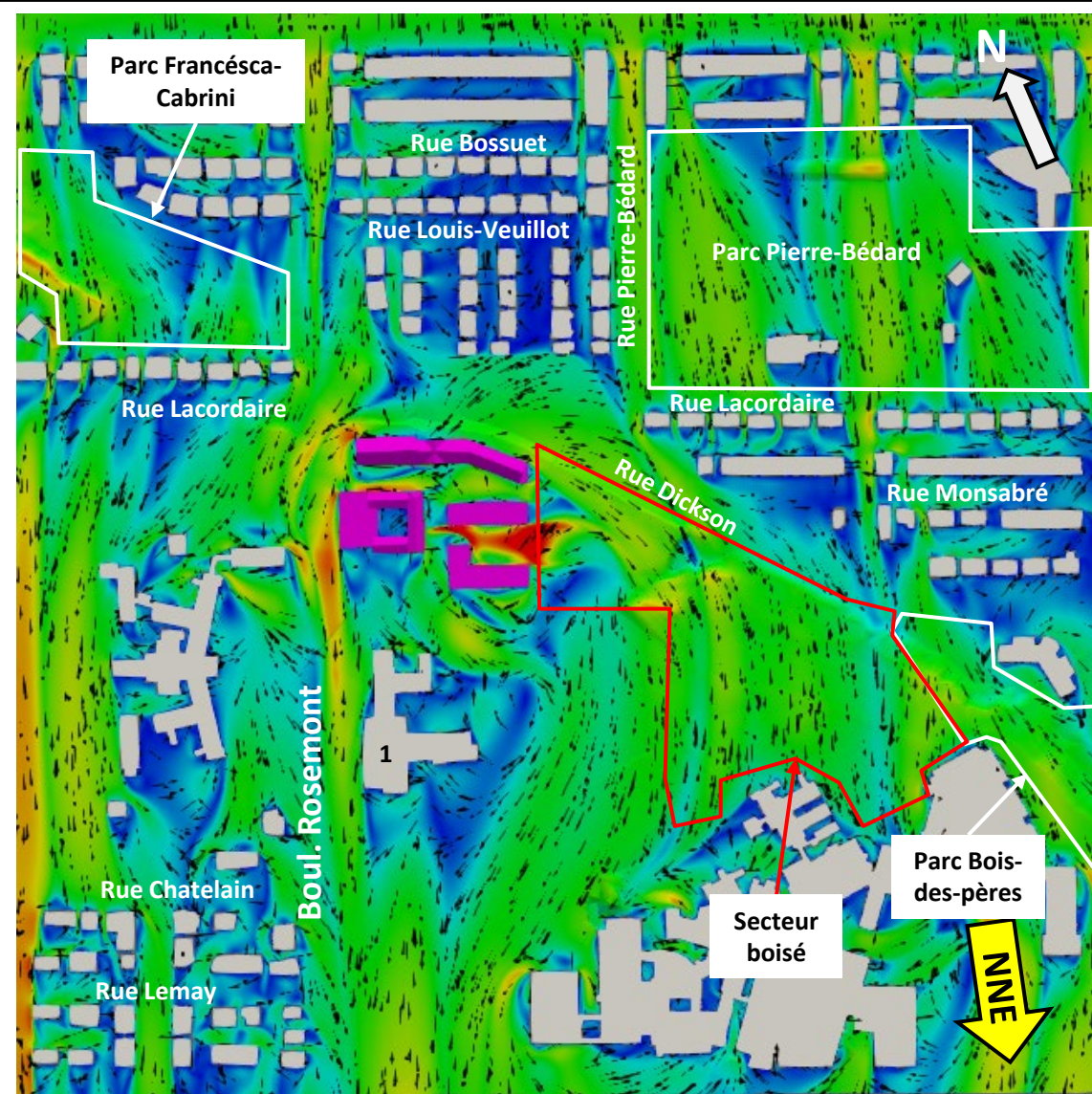


d) Lignes de courant illustrant le rabattement des vents de l'OSO sur l'aire de détente

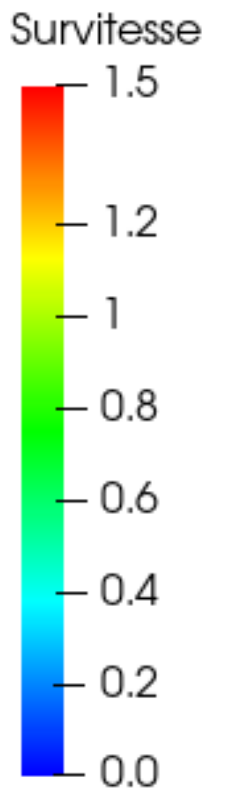
lasalle nhc		
CLIENT : Groupe Immobilier Alliance Inc.		
PROJET : Projet Couvent de la Résurrection – Étude sur modèle numérique 3D des impacts éoliens		
TITRE : Facteur de survitesse par vent de secteur OSO		
PRÉPARÉ PAR : M.A.A	REF. CLIENT : -----	REF. LASALLE : 08008419
DATE : Février 2024	FIGURE : 5	



a) Conditions de référence
Facteur de survitesse par vent de secteur NNE

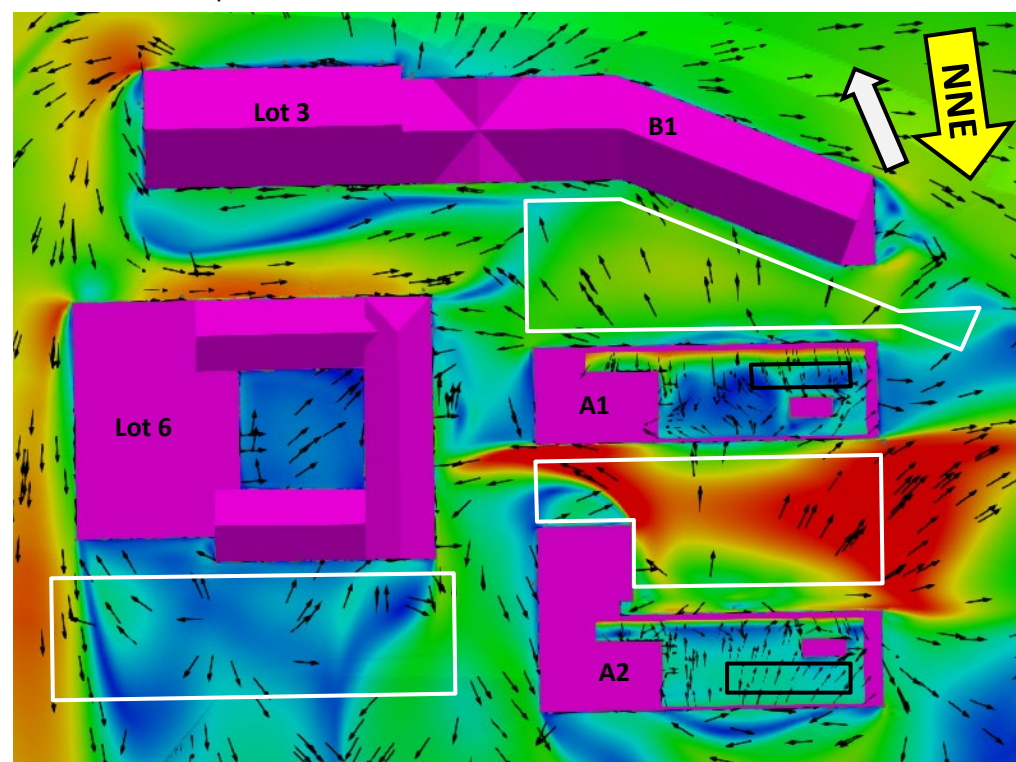


b) Conditions futures
Facteur de survitesse par vent de secteur NNE

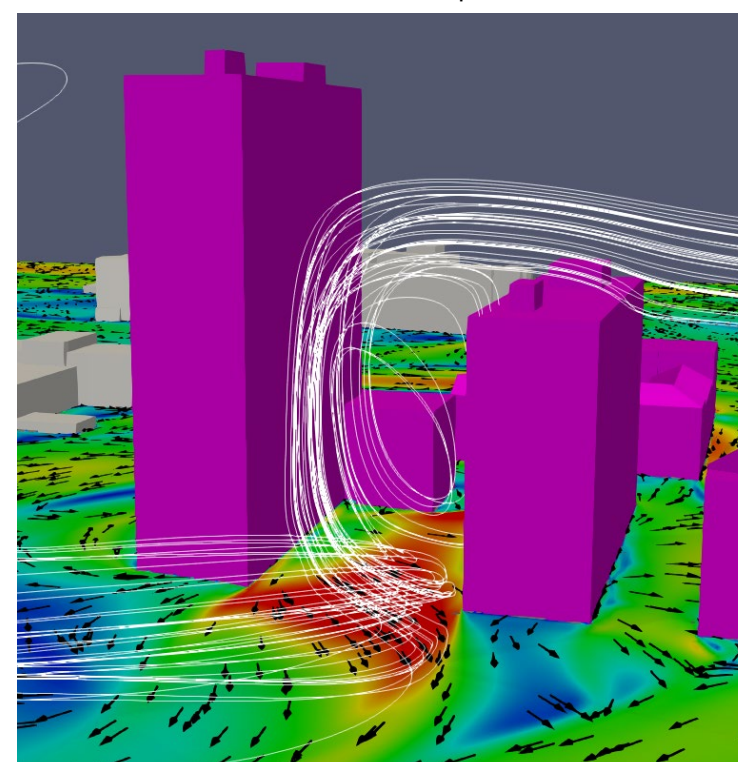


Note : Les figures illustrent les conditions de vent au niveau des piétons, soit à 1,8 m au-dessus du sol, ainsi qu'au niveau des usagers des zones de détente, soit à 1,8 m au-dessus de leurs niveaux respectifs.

c) Zones de détente
Facteur de survitesse par vent de secteur NNE



d) Lignes de courant illustrant le rabattement des vents du NNE sur l'aire de détente



lasalle nhc

CLIENT :

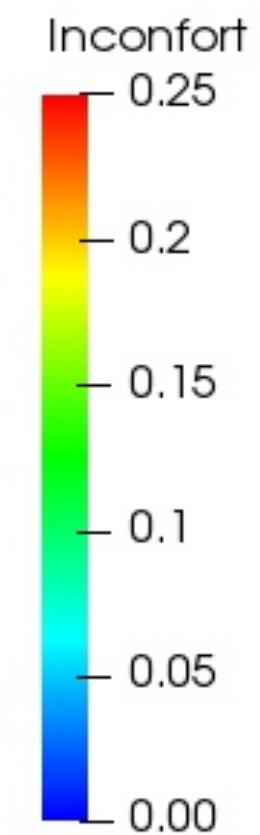
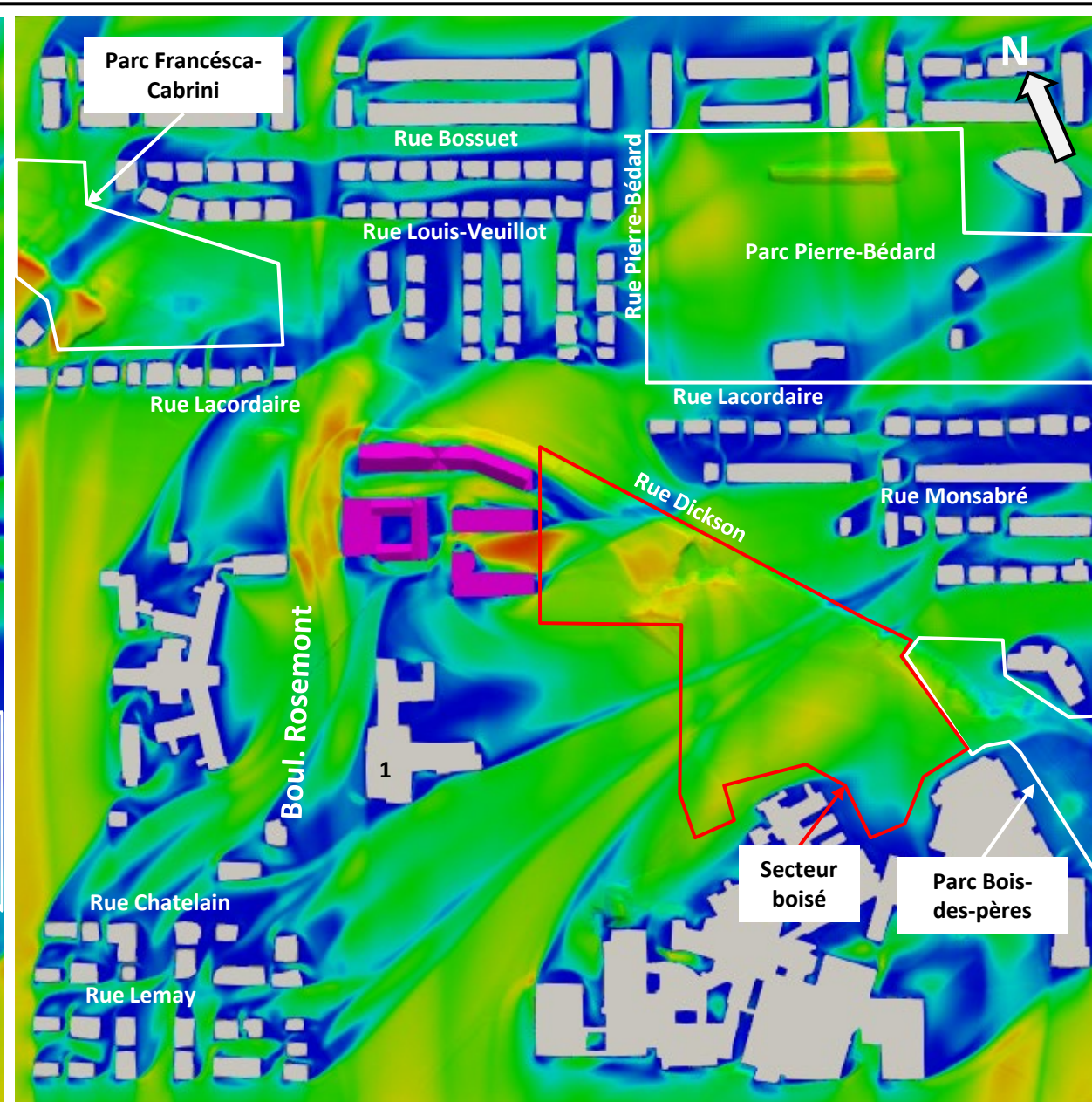
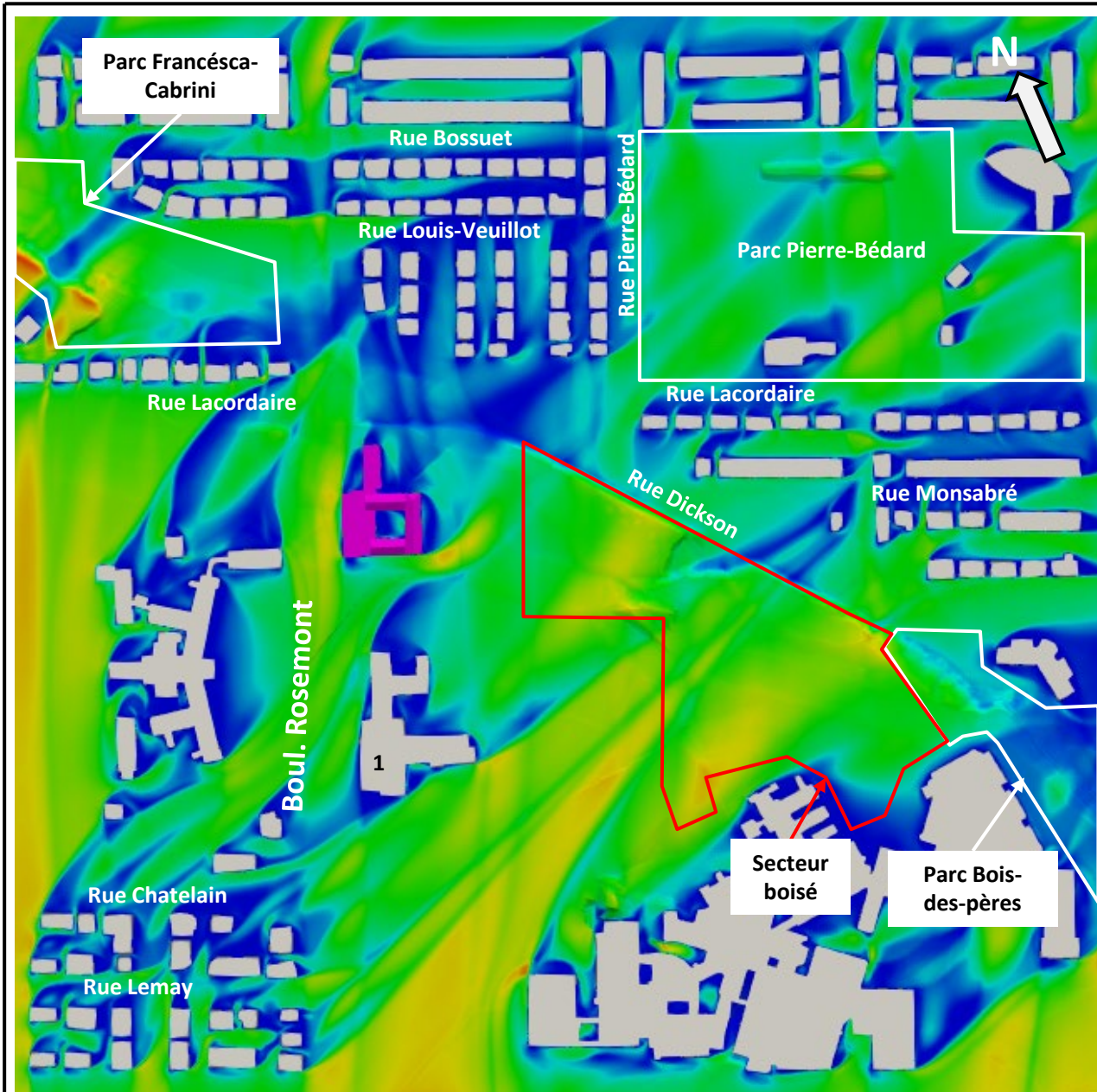
**Groupe Immobilier
Alliance Inc.**

PROJET :
Projet Couvent de la Résurrection –
Étude sur modèle numérique 3D des
impacts éoliens

TITRE :
Facteur de survitesse par vent de
secteur NNE

PRÉPARÉ PAR : M.A.A	REF. CLIENT : -----	REF. LASALLE : 08008419
------------------------	------------------------	----------------------------

DATE : Février 2024	FIGURE : 6
------------------------	----------------------



a) Conditions de référence – Fréquences annuelles d'inconfort **inférieures à 25%**
Critère général pour toutes les rues du secteur

b) Conditions futures – Fréquences annuelles d'inconfort **inférieures à 25%**
Critère général pour toutes les rues du secteur

Critère relatif aux fréquences d'inconfort:

- 25%: Critère général pour toutes les rues.
- 15%: Critère pour certaines rues commerçantes
- 10%: Critère pour les parcs et lieux de détente.

Note : Les figures illustrent les conditions de vent au niveau des piétons, soit à 1,8 m au-dessus du sol.

lasalle nhc

CLIENT :

**Groupe Immobilier
Alliance Inc.**

PROJET :

Projet Couvent de la Résurrection –
Étude sur modèle numérique 3D des
impacts éoliens

TITRE :

Fréquences annuelles d'inconfort
Critère 25%

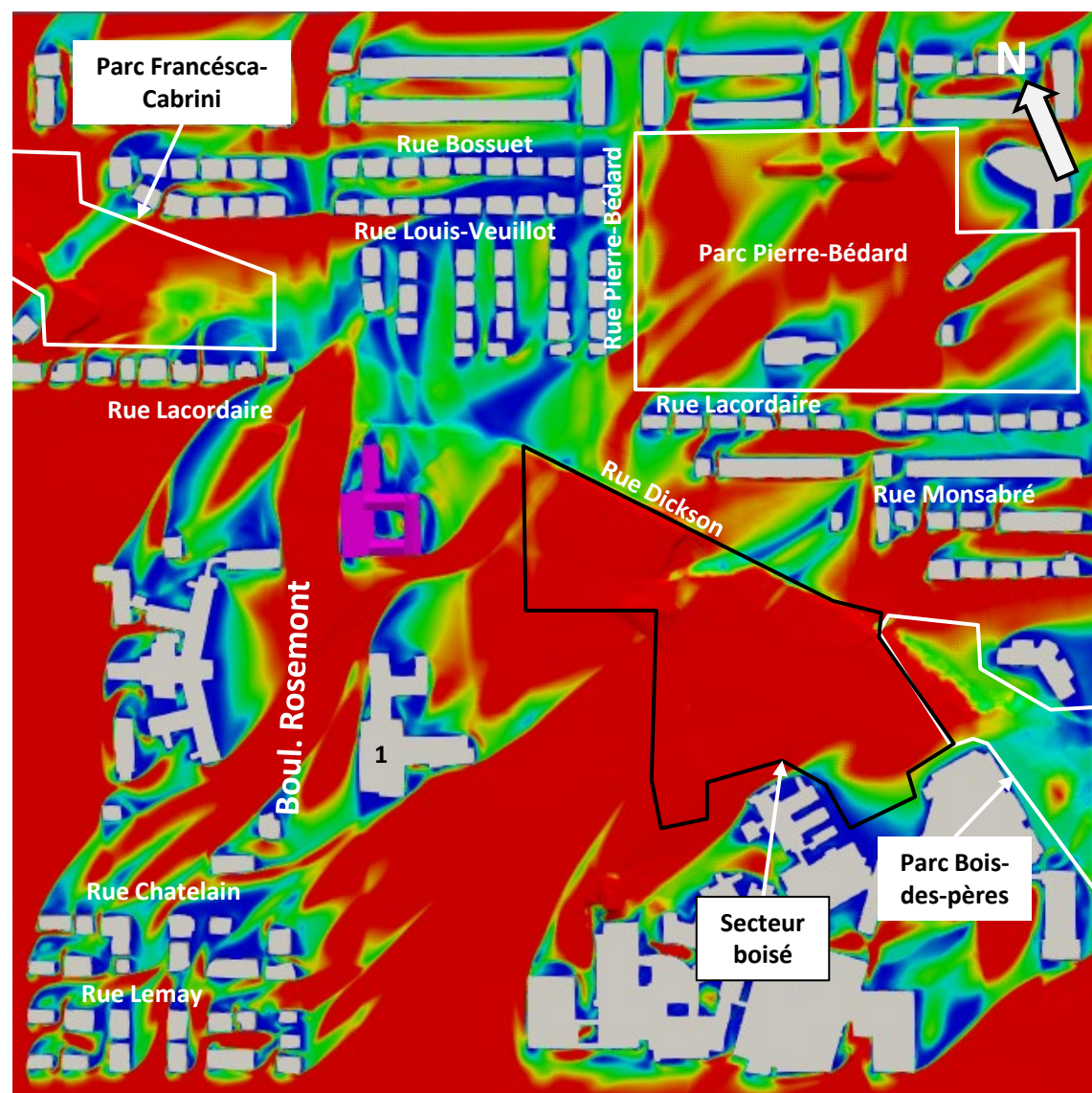
PRÉPARÉ PAR :
M.A.A

REF. CLIENT :

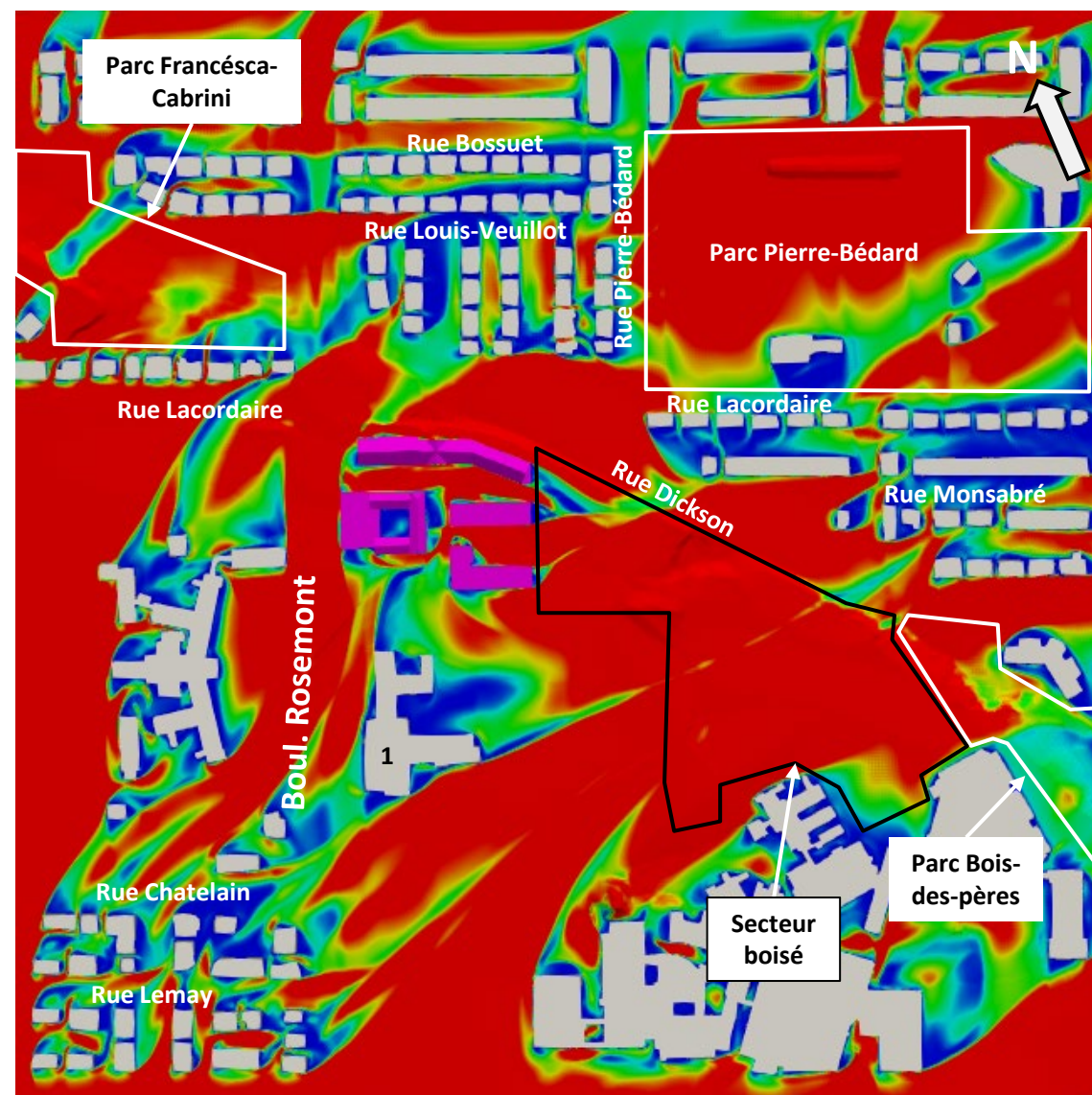
REF. LASALLE :
08008419

DATE:
Février 2024

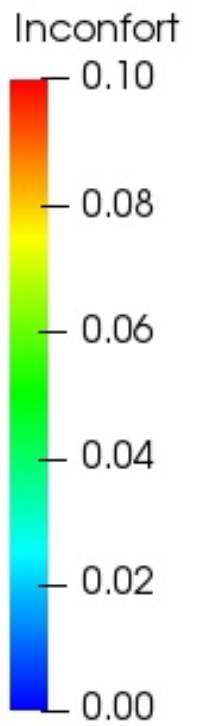
FIGURE :
7



a) Conditions de référence – Fréquences annuelles d'inconfort **inférieures à 10%**
Critère pour les parcs et les lieux de détente



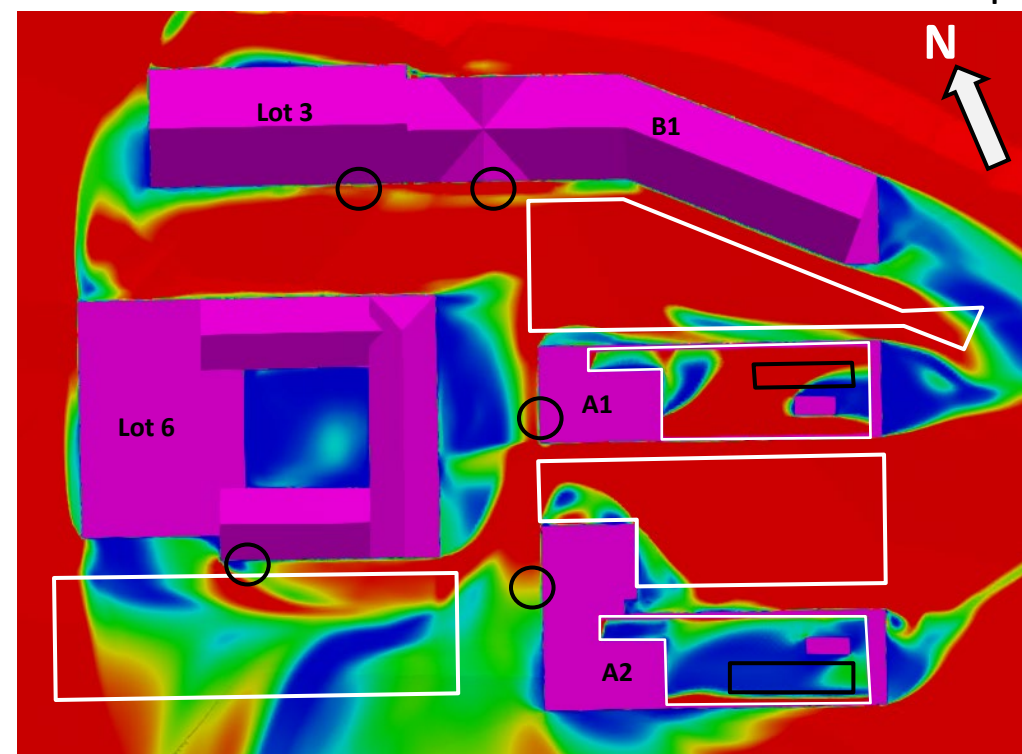
b) Conditions futures – Fréquences annuelles d'inconfort **inférieures à 10%**
Critère pour les parcs et les lieux de détente



Critère relatif aux fréquences

d'inconfort:

- 25%: Critère général pour toutes les rues.
- 15%: Critère pour certaines rues commerçantes
- 10%: Critère pour les parcs et lieux de détente.



c) Zones de détente – Fréquences annuelles d'inconfort **inférieures à 10%**
Critère pour les parcs et les lieux de détente

Note : Les figures illustrent les conditions de vent au niveau des piétons, soit à 1,8 m au-dessus du sol, ainsi qu'au niveau des usagers des zones de détente, soit à 1,8 m au-dessus de leurs niveaux respectifs.

lasalle nhc

CLIENT :

**Groupe Immobilier
Alliance Inc.**

PROJET :

Projet Couvent de la Résurrection –
Étude sur modèle numérique 3D des
impacts éoliens

TITRE :

Fréquences annuelles d'inconfort
Critère 10%

PRÉPARÉ PAR :

M.A.A

REF. CLIENT :

REF. LASALLE :

08008419

DATE :

Février 2024

FIGURE :

8