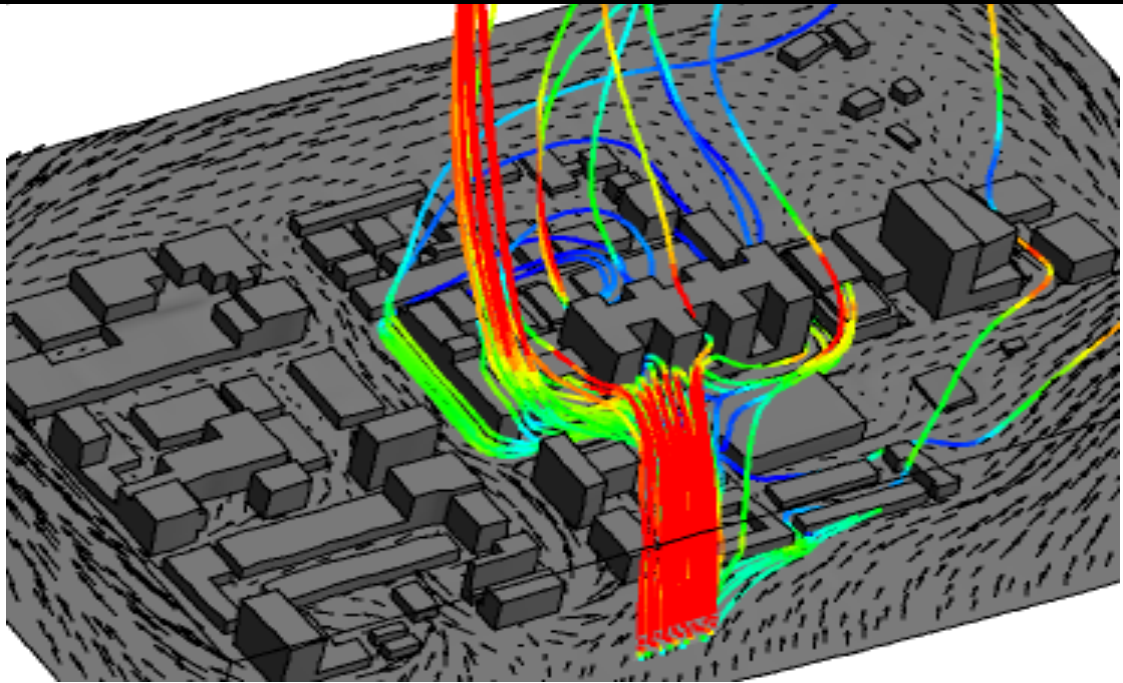


Birtz Bastien Beaudoin Laforest - Corriveau Girard - Yelle Maillé
ARCHITECTES



**CENTRE HOSPITALIER DE L'UNIVERSITÉ
DE MONTRÉAL (CHUM) - Site 1000 Saint-Denis**

Modélisation numérique des impacts éoliens



Le Groupe-Conseil LaSalle

Rapport no 1610
27 avril 2006



Le Groupe-Conseil LaSalle Inc.

9620, rue Saint-Patrick, LaSalle(Québec) Canada H8R 1R8

Téléphone : (514) 366-2970 / Télécopieur : (514) 366-2971

Site internet : www.gcl.qc.ca

Courrier électronique : gcl@gcl.qc.ca

Rapport présenté à

***Birtz Bastien Beaudoin Laforest - Corriveau Girard - Yelle Maillé
ARCHITECTES***

***CENTRE HOSPITALIER DE L'UNIVERSITÉ
DE MONTRÉAL (CHUM)
Site 1000 Saint-Denis***

Modélisation numérique des impacts éoliens

Rapport no 1610

27 avril 2006

Préparé par :

Tristan Aubel, ing.

Marc Villeneuve, ing.

228-105 (925)

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	ii
LISTE DES FIGURES	ii
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 DESCRIPTION DES AMÉNAGEMENTS PROJETÉS	1
3.0 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE	3
3.1 Représentation de l'air en mouvement	3
3.2 Critères d'évaluation du confort éolien	3
3.3 Données de référence	7
3.4 Transposition au site à l'étude	7
3.5 Vitesses locales et fréquences d'inconfort.....	8
4.0 ANALYSE DU RÉGIME DES VENTS	9
4.1 Station météorologique de référence.....	9
4.2 Analyse statistique de la direction et de la vitesse des vents	11
4.2.1 Direction	11
4.2.2 Vitesse.....	11
4.3 Relevés effectués sur le site.....	13
5.0 MODÉLISATION NUMÉRIQUE	14
5.1 Modèle numérique	14
5.2 Numérisation du secteur à l'étude	14
5.3 Conditions aux limites.....	14
6.0 IMPACT ÉOLIEN DU PROJET	16
6.1 Vents du OSO.....	16
6.2 Vents du NNE	17
6.3 Fréquences annuelles d'inconfort des piétons	18
6.0 CONCLUSIONS	20
RÉFÉRENCES	21

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 3.1 : Fréquence d'inconfort admissible selon l'activité.....	6
TABLEAU 4.1 : Fréquence des vents dominants en fonction de leur vitesse et des heures considérées pour l'étude du confort des piétons	12

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Plan de localisation	1
Figure 2 : Conditions d'aménagement actuelles et futures	2
Figure 3 : Roses des vents annuelles – Aéroport de Dorval et Saint-Hubert.....	10
Figure 4 : analyse statistique des vents – aéroport Pierre-Elliot Trudeau (Dorval).....	22
Figure 5 : visualisation des lignes de courant générées par un vent de OSO	23
Figure 6 : visualisation des lignes de courant générées par un vent de NNE.....	24
Figure 7 : Résultats de modélisation – vent de secteur OSO	25
Figure 8 : Résultats de modélisation – vent de secteur NNE.....	26
Figure 9 : Fréquence d'inconfort des piétons.....	27

1.0 INTRODUCTION

Dans le cadre du projet du Centre hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM), situé au 1000 rue Saint-Denis, le Groupe-Conseil Lasalle (GCL) a été mandaté par le consortium Birtz Bastien Beaudoin Laforest – Corriveau Girard – Yelle Maillé architectes en vue de réaliser une étude des impacts éoliens associés aux aménagements projetés.

L'étude, qui repose sur l'utilisation d'un modèle numérique tridimensionnel simulant l'interaction entre les vents dominants et le bâti urbain, vise essentiellement à quantifier les fréquences de confort (ou d'inconfort) éolien ressenties par les piétons accédant au site ou circulant en périphérie, dans les conditions d'aménagement actuelles et futures.

Le présent rapport rend compte de la méthodologie et des résultats de l'étude selon cinq sections distinctes. Après une brève description du site à l'étude (section 2), la section 3 résume l'approche méthodologique ayant guidé l'évaluation des impacts éoliens. La section 4 présente ensuite une analyse du régime des vents applicable au site à l'étude. Les grandes lignes de la modélisation numérique sont exposées à la section 5 et la section 6 présente finalement les résultats obtenus.

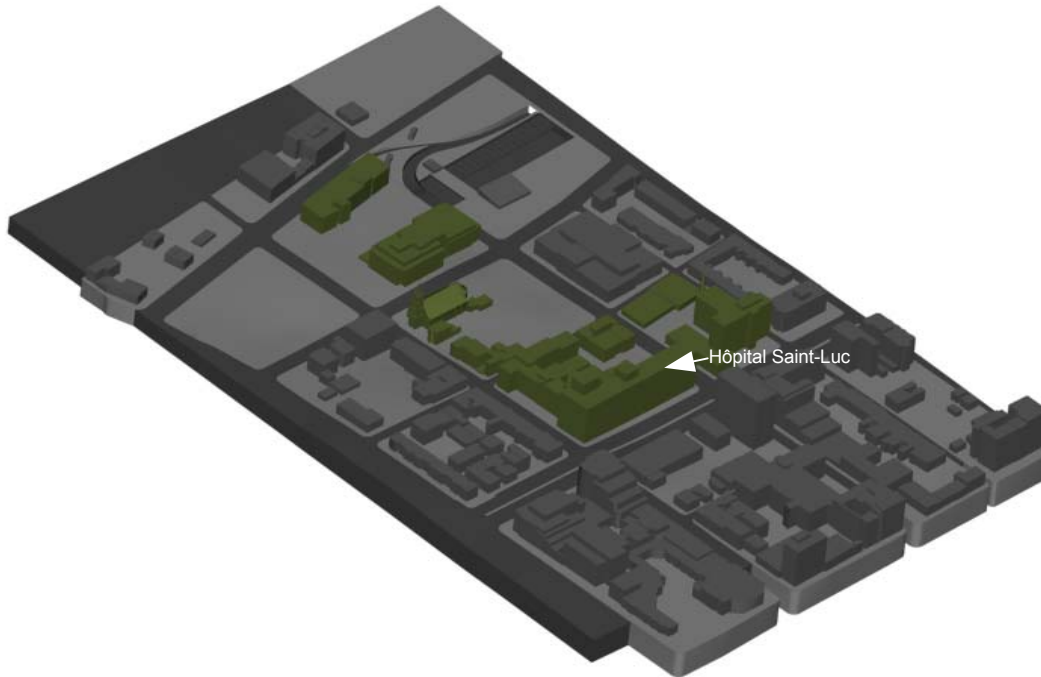
2.0 DESCRIPTION DES AMÉNAGEMENTS PROJÉTÉS

Le projet du CHUM est centré sur le quadrilatère composé par les rues Sanguinet et Saint-Denis à l'ouest et à l'est et par les rues Saint-Antoine et René-Lévesque au sud et au nord (figure 1).

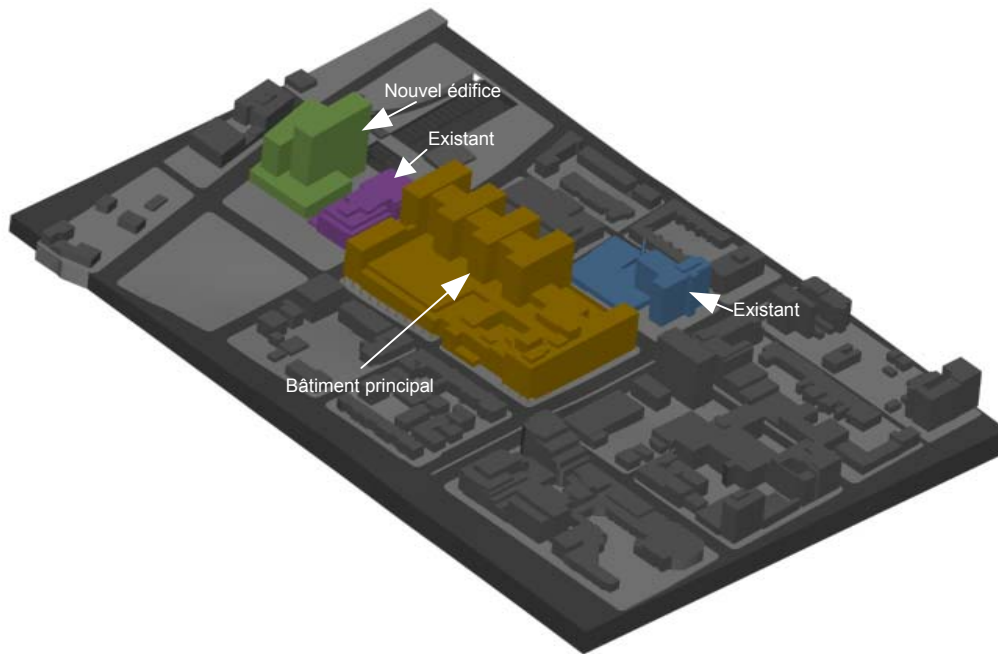


Figure 1 : Plan de localisation

La figure 2 illustre les conditions d'aménagement actuelles et projetées. Par rapport à la configuration actuelle du secteur, les modifications les plus importantes associées au projet surviennent dans le quadrilatère René-Lévesque – Viger – Sanguinet – Saint-Denis, où est érigé le bâtiment principal du nouveau centre hospitalier, derrière l'emplacement actuel de l'hôpital Saint-Luc (figure 2). Un nouvel immeuble en hauteur est également prévu au sud du complexe principal, entre les rues Viger et Sainte-Antoine (indiqué en vert à la figure 2). Le projet prévoit finalement des réfections ou modifications de deux édifices existants.



a) Conditions actuelles



b) Conditions futures



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :

**Centre hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM) – Site 1000 Saint-Denis
Étude des impacts éoliens**

CLIENT :

**Birtz Bastien Beaudoin Laforest
Corriveau Girard
Yelle Maillé
ARCHITECTES**

TITRE :

Conditions d'aménagement actuelles et futures

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

TA - MV

REF. CLIENT :

REF. LASALLE :

FIGURE :

2

3.0 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

3.1 Représentation de l'air en mouvement

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 de sol. La valeur de α est faible ($\alpha = 0,14$) dans un environnement de lac ou de plaine, qui apparaît comme une surface relativement "lisse". Elle augmente à $\alpha = 0,25$ pour un vent balayant une forêt ou une zone de banlieue et atteint $\alpha = 0,36$ au-dessus d'un centre ville dense, fortement "rugueux" [1].

3.2 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, ou 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 correspondant 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] :

$$U + \sigma \leq 6 \text{ m/s}$$

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

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 :

$$i = \frac{\sigma}{U} \tag{3.2}$$

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 :

$$U + 0,25U = 6 \text{ m/s}$$

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

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

$$U + 0,875 U = 9 \text{ m/s}$$

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

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, car elle privilégie des vitesses instantanées ne s'écartant que peu de la valeur moyenne et 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 :

$$U + \sigma \leq 6 \text{ m/s} \quad (3.3)$$

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 :

$$U + \sigma \leq 4 \text{ m/s} \quad (3.4)$$

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 3.1 résume les ordres de grandeur généralement admis [1] pour les fréquences d'inconfort, lesquelles sont exprimées en heures par année.

TABLEAU 3.1 : Fréquence d'inconfort admissible selon l'activité

Activité	Nombre maximum d'heures pendant lesquelles le seuil d'inconfort est atteint ou dépassé
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%)

Il est à souligner que les règlements de la Ville de Montréal touchant les impacts éoliens définissent les fréquences maximales d'inconfort admissibles pour les principales artères du centre-ville. Dans la zone à l'étude, les rues de la Gauchetière, entre les rues Sanguinet et Hôtel-de-Ville, et Saint-Denis, entre les rues Sainte-Catherine et René-Lévesque sont sujettes à restriction, avec une fréquence d'inconfort ne devant pas dépasser 15%. Aux entrées des lieux

publics comme la station de métro Champ-de-Mars et l'entrée de l'hôpital (rue Saint-Denis) la fréquence d'inconfort ne doit pas dépasser 10%. Partout ailleurs la limite à ne pas dépasser est fixée à 25%.

3.3 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 disposant de données horaires sur des périodes suffisamment longues. On doit également s'assurer que la station choisie permet une mesure du vent exempte des effets locaux du relief et du bâti avoisinants. Pour les projets situés sur l'île de Montréal, on utilise généralement les statistiques de vent compilées à la station météo d'Environnement Canada de l'aéroport Pierre-Eliot Trudeau (Dorval). La section 4.1 discute du choix de cette station.

3.4 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 $U_{météo}$ obtenue à la station météo à une valeur correspondante U_{site} aux abords du site à l'étude :

$$U_{site} = k U_{météo} \quad (3.5)$$

où k est le coefficient de recalage. Les vitesses $U_{météo}$ 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.

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 :

$$k = \left(\frac{Z_{g,météo}}{10} \right)^{\alpha_{météo}} \left(\frac{10}{Z_{g,site}} \right)^{\alpha_{site}} \quad (3.6)$$

Pour la station météorologique de Dorval, on suppose des conditions de banlieue et on pose $\alpha_{météo} = 0,25$ et $Z_{g\ météo} = 330$ m. Pour le secteur à l'étude, au centre-ville, on utilise $\alpha_{site} = 0,36$, $Z_{g\ site} = 400$ m [1]. On obtient alors un coefficient de recalage de $k = 0,635$, ce qui implique qu'à 10 m du sol, la vitesse du vent sur le site à l'étude équivaut à 63,5% de la valeur enregistrée au même moment à la station de Dorval.

Comme on le verra à la section 4.3, des relevés ponctuels de la vitesse du vent effectués sur le site du CHUM ont permis de préciser la valeur du coefficient k , qui a été fixée à 71% pour l'ensemble de la présente étude.

3.5 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 :

$$\psi = \frac{U + \sigma}{(U + \sigma)_{site}} = \frac{U + \sigma}{k U_{météo} (1 + i_{site})} \quad (3.7)$$

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 $(U + \sigma)_{site}$ établie sur le site sans l'influence des aménagements projetés.

En fixant l'intensité de la turbulence sur le site à $i_{site} = 0,3$, on peut reformuler l'équation (3.7) comme suit :

$$U_{météo} = \frac{U + \sigma}{1,3k\psi} \quad (3.8)$$

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 (3.3) et (3.4), on peut obtenir le vent moyen correspondant $U_{météo}$ à la station météo de référence et en déduire les probabilités ou fréquences d'inconfort en chaque point.

4.0 ANALYSE DU RÉGIME DES VENTS

4.1 Station météorologique de référence

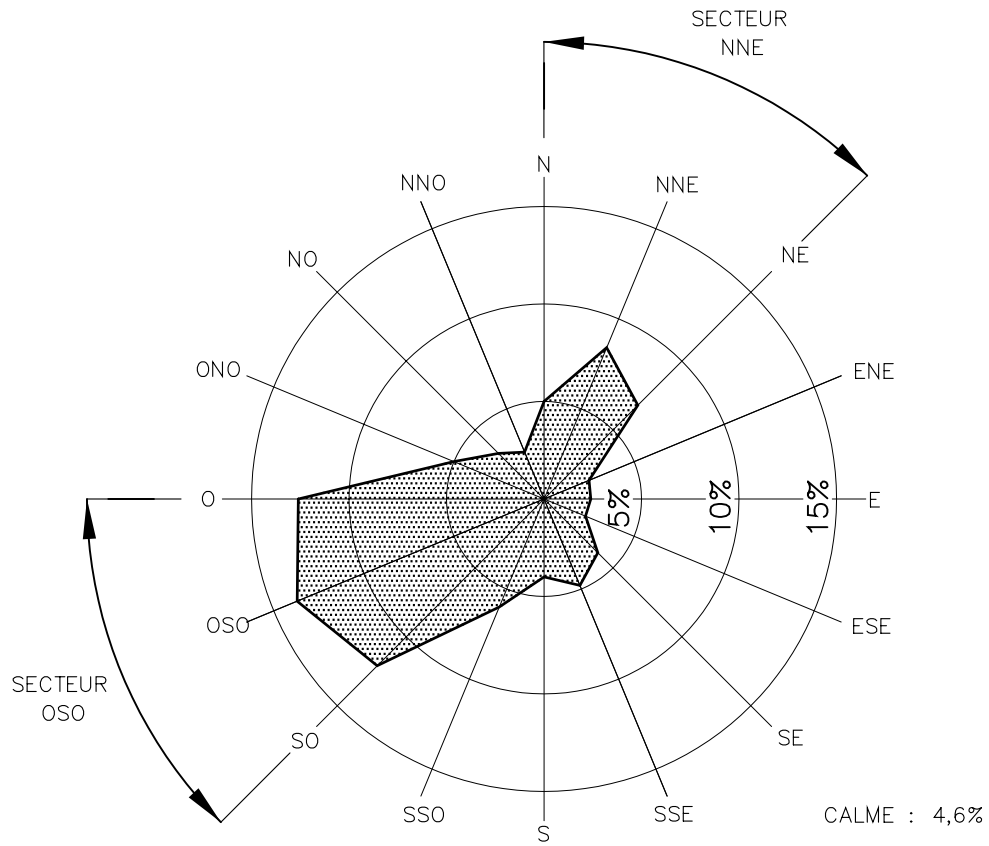
Deux stations météorologiques principales sont situées à proximité du site: celle de l'aéroport de Dorval (à environ 15 km au OSO) et celle de l'aéroport de Saint-Hubert (12 km à l'est). La figure 3 donne pour ces deux sites la rose des vents obtenue sur une base annuelle. À Dorval, deux secteurs sont prédominants: le premier, centré sur l'ouest-sud-ouest prévaut 38% du temps alors que le secteur nord-nord-est compte pour 20% des observations. Les secteurs dominants du 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 3). Ces derniers sont favorisés par l'orientation nord-sud de la vallée du Richelieu.

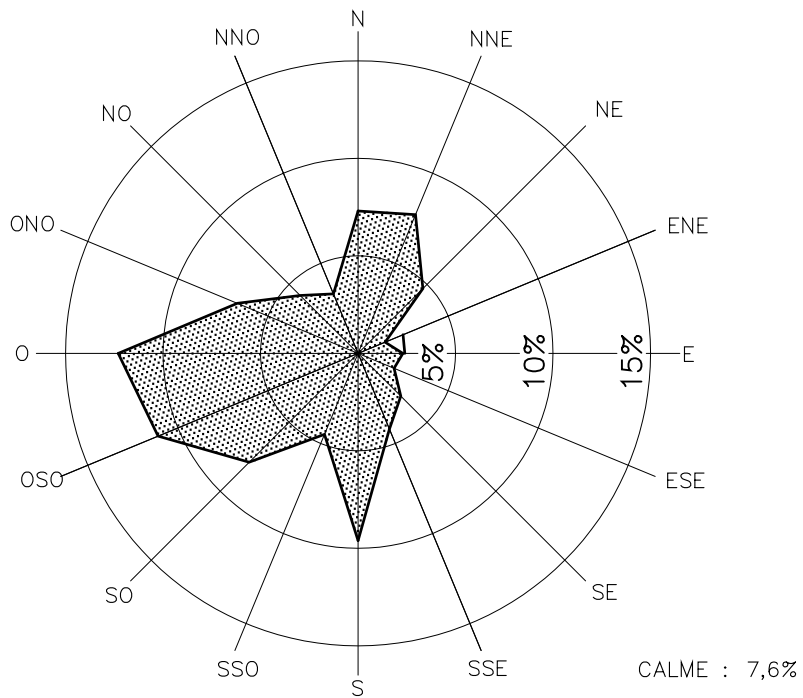
Pour les études d'impacts éoliens touchant l'île de Montréal, on doit privilégier les données de l'aéroport de Dorval puisque la tendance nord-sud des vents observés à Saint-Hubert est avant tout applicable à la rive sud de Montréal.

Des données de vent sont également disponibles pour deux stations de moindre importance situées encore plus près du site à l'étude, soient celles de McGill et McTavish. Toutefois, ces deux stations sont situées au pied du mont Royal et les données qui y ont été recueillies subissent l'influence de la montagne (effets de protection, de déflecteur...). Par surcroît, Environnement Canada ne compile pas pour ces stations de statistiques détaillées sur la fréquence de la direction et de la vitesse des vents.


Dans ces conditions, on choisit comme référence la station météorologique de l'aéroport de Dorval.



a) Aéroport P.E. Trudeau (Dorval)



a) Aéroport de St-Hubert

Le Groupe-Conseil LaSalle Inc.  9620, rue Saint-Patrick LaSalle, Québec Canada H8R 1R8	PROJET: Centre hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM) Étude des impacts éoliens	DESSINÉ PAR: P.T.	RÉF. CLIENT: -	RÉF. LASALLE: -
	TITRE: ROSES DES VENTS ANNUELLES AÉROPORTS P.E. TRUDEAU ET ST-HUBERT	ÉCHELLE: -	DATE: AVRIL 2006	FIGURE: 3

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

4.2.1 Direction

La figure 4a illustre les roses des vents obtenues d'après les données recueillies à l'aéroport de Dorval (1951-1980) 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 clairement évidente 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 celle du SO.

L'ensemble de ces résultats confirme donc que, pour des immeubles situés 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.

4.2.2 Vitesse

La figure 4b 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 41% 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 :

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

À partir des données de vent historiques recueillies à la station météo de l'aéroport de Dorval, 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 4.1 exprime ces résultats en donnant la fréquence annuelle correspondant à huit (8) classes distinctes de vitesses du vent. Par exemple, d'avril à septembre, entre 6:00 et 22:00, des vents de l'OSO de 20 à 28 km/h sont, en moyenne, observés pendant 394 heures ce qui correspond, sur une base annuelle (8 760 heures), à une fréquence de 4,50%.

TABLEAU 4.1 : 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-Elliott Trudeau (Dorval))

Période	Avril à septembre 6:00 à 22 heures				Octobre à mars 8:00 à 18 heures			
	OSO		NNE		OSO		NNE	
Vitesse (km/h)	Fréquence %	Nombre d'heures	Fréquence %	Nombre d'heures	Fréquence %	Nombre d'heures	Fréquence %	Nombre D'heures
1 à 5	1,13	99	0,97	85	0,43	38	0,38	33
6 à 11	2,77	243	1,60	140	0,97	85	0,78	68
12 à 19	6,93	607	3,20	280	2,52	221	1,82	159
20 à 28	4,50	394	1,36	119	2,40	210	1,21	106
29 à 38	1,34	117	0,33	29	1,38	121	0,47	41
39 à 49	0,23	20	0,04	4	0,37	32	0,13	11
50 à 61	0,02	2	0,01	1	0,06	5	0,03	3
62 et plus	0,00	0	0,01	0	0,00	0	0,00	0
TOTAL	16,92	1482	7,52	658	8,13	712	4,82	421

En additionnant les probabilités du tableau 4.1, 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 Dorval. Ces fréquences cumulatives, illustrées graphiquement à la figure 4c, servent de base à l'analyse des conditions de confort des piétons.

4.3 Relevés effectués sur le site

Une série de mesures de la vitesse du vent a été effectuée le 13 avril 2006 dans la zone à l'étude, entre 12h et 16h. Ces relevés visaient à préciser le facteur de recalage défini à la section 3.4.

Des vents d'ouest d'une vitesse moyenne horaire de 28,5 km/h ont été enregistrés à l'aéroport de Dorval durant cette période. Sur le site, la direction et la vitesse du vent ont été relevées à une cinquantaine de points dispersés dans toute la zone à l'étude. L'ensemble de ces points a donné une vitesse moyenne de 14 km/h à 2 m du sol.

En ramenant cette valeur à 10 m du sol, on obtient un coefficient de recalage de $k = 0,89$ entre la station de Dorval et le site. Ce coefficient de recalage paraît toutefois élevé. Comme on l'a mentionné précédemment, la station de Dorval est située dans une zone faiblement urbanisée (banlieue) qui donnerait théoriquement un coefficient de recalage de 0,635 avec le centre ville.

Si l'on écarte les valeurs qui sont clairement dues à des rafales, la vitesse moyenne est plutôt de 12,5 km/h. Le coefficient de recalage serait alors 0,783 (à 10 m du sol).

Afin de concilier le degré d'urbanisation autour de la station de Dorval avec les mesures in situ, on a fixé le coefficient de recalage à $k = 0,71$ pour l'ensemble de l'étude.

5.0 MODÉLISATION NUMÉRIQUE

5.1 Modèle numérique

La modélisation des écoulements de vent dans le quartier du futur CHUM est effectuée à l'aide du modèle numérique tridimensionnel CFX5, développé par la firme ANSYS, qui résout par la méthode des volumes finis les équations de base de la dynamique de fluides (équations de Navier-Stokes). Le modèle a été utilisé en régime stationnaire.

5.2 Numérisation du secteur à l'étude

Le secteur à l'étude a été numérisé d'après la représentation tridimensionnelle du quartier, fournie par les architectes pour les conditions d'aménagement actuelles et futures. La maquette 3D était délimitée par les rues Sainte-Catherine au nord, Saint-Jacques au sud, Hôtel-de-Ville à l'ouest et Berri à l'est (figure 2).

Afin d'obtenir des conditions aux limites adéquates, ce quadrilatère a été élargi d'environ 100 m dans chaque direction. Le domaine de calcul s'étend donc sur 600 m dans la direction est-ouest et sur 800 m dans la direction nord-sud. Sur la verticale le domaine atteint l'élévation 200 m. Le sol, défini par la topographie du secteur constitue la limite inférieure du domaine.

Le secteur à l'étude est divisé en 500 000 éléments (ou mailles) qui constituent un maillage hexaédrique non structuré. Le maillage par blocs, effectué à l'aide du logiciel ANSYS ICEM CFD, permet de prendre en compte la géométrie de chacun des bâtiments (ou groupes de bâtiments). La taille des mailles est variable selon l'importance des détails de l'écoulement que l'on recherche. Par exemple, autour du bâtiment principal du futur CHUM, le maillage est raffiné dans ses dimensions horizontales (environ 3 m par 3 m) et verticale (1,3 m près du sol).

5.3 Conditions aux limites

Les directions du vent modélisées correspondent aux vents dominants relevés sur l'île de Montréal (voir section 4.0), soit les vents de secteur OSO et NNE.

Un profil logarithmique de vitesses représentatif des conditions de vent au centre-ville (cf. section 3.1) a été imposé comme condition d'entrée à la limite du modèle située au vent :

$$U(z) = 2.04z^{0.36}$$

Avec U la vitesse et z l'élévation à partir du sol.

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

Le sol et les bâtiments sont considérés comme des murs dont la rugosité a été négligée (pas de frottement sur les murs).

6.0 IMPACTS ÉOLIENS DU PROJET

6.1 Vents du OSO

De manière générale, l'alignement des nouveaux bâtiments entre les rues Sanguinet et Saint-Denis crée une obstruction notable qui dévie vers le sud les vents incidents du OSO. Le secteur situé à l'est de la rue Saint-Denis est alors le siège de faibles vitesses, la zone étant protégée par les nouveaux bâtiments.

La présence du nouveau bâtiment principal (entre Sanguinet et Saint-Denis) qui s'élève à environ 80 m au dessus du sol, contribue à rabattre le vent vers la rue Sanguinet, entraînant ainsi une augmentation des vitesses dans cette rue. La figure 5b illustre ce phénomène de rabattement qui explique l'augmentation du coefficient de survitesse obtenue au point 15 (figures 7 et 9). Le point 18 se trouve alors dans une zone de stagnation caractérisée par des vitesses moyennes faibles et une turbulence accrue (figures 7). Il importe de souligner que les piétons empruntant la rue Sanguinet seront protégés de cet effet de rabattement par le fait que le trottoir est en retrait par rapport à la façade du bâtiment (porte-à-faux). De plus la géométrie discontinue de la façade atténue la force du rabattement. Dans la rue de la Gauchetière, à l'ouest de la rue Sanguinet, le sens de l'écoulement s'inverse suite à la réalisation du projet à cause de l'effet de rabattement. Actuellement la rue canalise le vent vers l'aire de stationnement de l'hôpital Saint Luc, alors que dans les conditions futures l'écoulement résultant s'engouffre plutôt dans ce tronçon de la rue dans le sens inverse du vent moyen (figure 7).

Aux points 10 et 21, les vitesses augmentent par vents du OSO à cause des effets de coin qui contribuent aussi à la génération de turbulence (figure 7). Dans le cas du point 10, la pointe de turbulence reste localisée près du coin du bâtiment.

Les points 4, 5, 6, 11 et 12 situés sur le boulevard René-Lévesque, sont davantage exposés au vent en conditions futures à cause des effets combinés de l'apport de vitesses venant de la rue Sanguinet (dû au rabattement) et de la canalisation créée par l'alignement du boulevard.

Sur la rue Viger, en conditions actuelles, le tronçon qui longe l'église à proximité de l'intersection avec la rue Saint-Denis (entre les points 22 et 23, figure 7), est exposé aux accélérations causées par l'effet de coin de l'église et par l'effet de canalisation de la rue. En conditions futures, ce

tronçon se retrouve abrité par le nouveau bâtiment principal du CHUM. Toutefois, la turbulence générée par le nouveau bâtiment apparaît alors plus importante dans cette zone (figure 7). Des phénomènes tourbillonnaires instationnaires pourraient contribuer ponctuellement à accroître l'inconfort des piétons dans ce tronçon de la rue Viger.

L'accès du CHUM sur la rue Saint Denis reste relativement abrité du vent. Les vitesses moyennes y sont faibles (pas d'effet d'accélération dû au coin du bâtiment) et la turbulence y est limitée (figure 7).

L'imposant bâtiment qui sera construit sur la rue Saint-Antoine contribue à dévier encore plus vers le sud les vents issus du secteur OSO. Une forte accélération est alors à prévoir aux points 25 et 29 (effet de coin). Actuellement, une partie de l'écoulement passe par l'aire de stationnement située au sud du bâtiment Vidéotron. De fortes vitesses sont alors observées à la sortie du métro Champ-de-Mars. En conditions futures, la déviation du vent contribue à une légère diminution de vitesse à la sortie du métro. Le confort des piétons en sera ainsi amélioré.

6.2 Vents du NNE

Comme par vents du OSO, les vents issus du NNE tendent à être déviés vers le sud par la présence des nouveaux immeubles en hauteur.

L'effet de rabattement sur le bâtiment principal est beaucoup moins prononcé que par vent de OSO (figure 6). En effet, la géométrie de ce coté de l'édifice est en gradins, ce qui permet de limiter le rabattement à la portion inférieure de l'écoulement (faibles vitesses). En conditions actuelles, le rabattement sur l'hôpital Saint Luc est limité à la rue Saint-Denis juste au sud du boulevard René-Lévesque, une partie de l'écoulement étant alors dirigée sur René-Lévesque et l'autre portion canalisée par la rue Saint-Denis. L'entrée de l'hôpital est alors le siège d'une turbulence notable (figure 8). En conditions futures, un léger rabattement redirige une partie de l'écoulement vers la rue Saint-Denis avec un point de stagnation situé au niveau de la rue de la Gauchetière. Devant l'entrée du futur CHUM, les vitesses moyennes sont plus faibles suite au projet et le niveau de turbulence considérablement réduit, ce qui rend l'entrée de l'hôpital plus confortable. Aux points 16 et 19 les coefficients de survitesses diminuent (figure 9).

Aux points 12 et 23 des effets de coin contribuent, en conditions futures, à augmenter la vitesse d'écoulement ainsi que la turbulence (figure 8).

En conditions actuelles, la présence de l'aire de stationnement de l'hôpital Saint Luc rend la rue Sanguinet plus exposée au vent de NNE, avec une turbulence moyenne. Le nouveau bâtiment principal protège la rue Sanguinet sur une longueur importante (les vitesses moyennes sont à la baisse aux points 15 et 18). Toutefois, l'effet de canalisation dans le boulevard René-Lévesque, combinée à la suppression d'une partie du bâtiment au coin sud-ouest de l'intersection avec la rue Sanguinet, contribuent à l'apparition d'une zone de vitesses plus élevées où la turbulence est relativement forte (point 9).

Du fait de la suppression de l'aire de stationnement située au sud du bâtiment Videotron, l'écoulement ne peut passer que par les rues Viger et Saint-Antoine. Ces tronçons deviennent ainsi plus exposés aux vitesses importantes et à la turbulence (figure 8) et l'inconfort des piétons y est accru (points 22, 23, 26, 27, 28). Par ailleurs, la station de métro Champ-de-Mars se retrouve protégée par ce nouveau bâtiment et les vitesses moyennes diminuent considérablement (point 24). Le confort des usagers du métro est alors accru, même si des effets dus à la turbulence, légèrement plus importante, apparaissent.

6.3 Fréquences annuelles d'inconfort des piétons

On évalue l'impact éolien du projet sur le confort des piétons en calculant les fréquences annuelles d'inconfort avant et après la réalisation du projet. La figure 9 permet, pour les conditions actuelles et futures, de comparer ces fréquences avec les critères d'acceptabilité de la Ville de Montréal décrits à la section 3.5.

Au voisinage des entrées des principaux édifices publics (essentiellement : métro Champ-de-Mars et entrée du CHUM sur Saint-Denis), les fréquences d'inconfort sont faibles (inférieures à 10%). Le projet améliore considérablement les conditions éoliennes à la station de métro (point 24), la fréquence d'inconfort passant de 6% à 0%. Toutefois, le niveau de turbulence ayant augmenté, les effets instationnaires pourraient dégrader ponctuellement les conditions futures.

Dans les tronçons d'artères jugées sensibles par le règlement (en l'occurrence les rues de la Gauchetière, entre Sanguinet et Hôtel-de-Ville, et Saint-Denis, entre Sainte-Catherine et René-Lévesque) les fréquences d'inconfort sont bien inférieures à la limite imposée de 15% (points 1, 6, 7, 17 et 18).

Pour tous les autres points considérés, les fréquences d'inconfort sont inférieures à 25%, limite fixée par le règlement de la ville.

Dans l'ensemble, les critères de la ville relatifs au confort des piétons sont donc respectés après la réalisation du projet.

6.0 CONCLUSIONS

La modélisation numérique tridimensionnelle des écoulements de vent autour du futur Centre hospitalier de l'Université de Montréal (CHUM) a permis de mettre en évidence les impacts éoliens du projet sur le confort des piétons. Seuls les vents dominants sur l'île de Montréal ont été simulés, soit les vents issus des secteurs OSO et NNE.

D'une manière générale, le projet a tendance à faire dévier les vents vers le sud car l'alignement des nouveaux bâtiments élevés joue un rôle de déflecteur. Malgré les effets de rabattement sur ces édifices, et les nouvelles concentrations d'écoulement, notamment sur les rues Saint-Antoine, Viger et René-Lévesque, les fréquences d'inconfort respectent les limites fixées par le règlement de la Ville de Montréal.

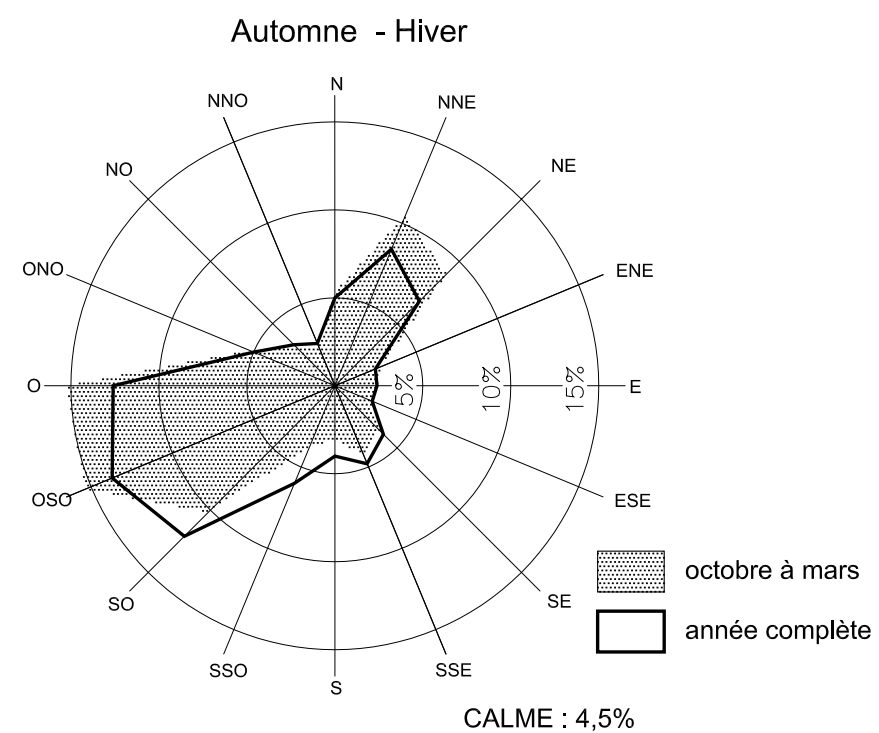
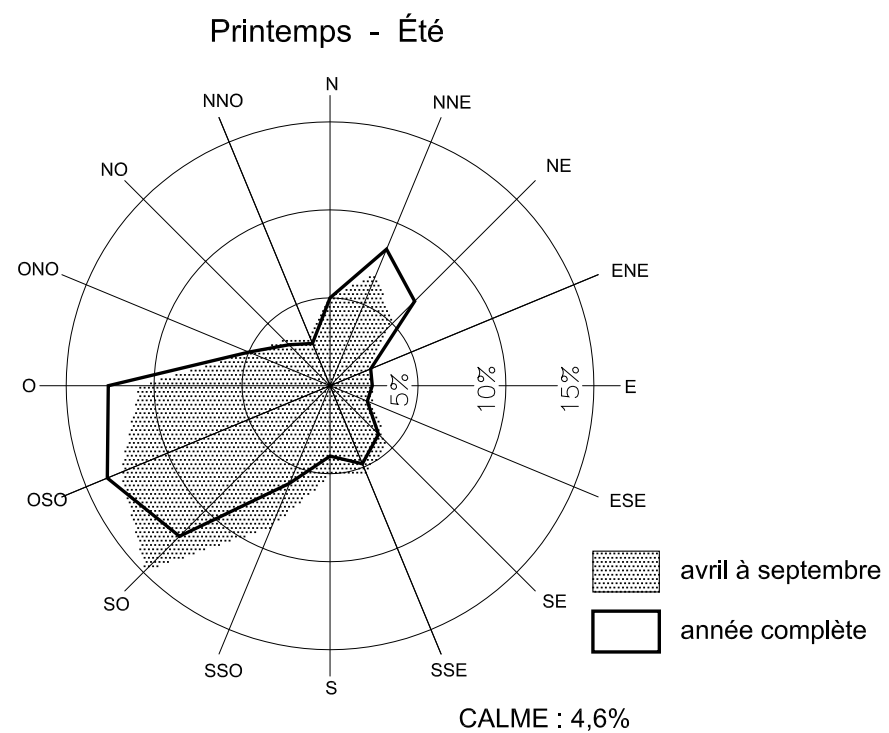
À la lumière des résultats de cette étude, il apparaît que les impacts éoliens sur le confort des piétons sont acceptables et qu'aucune mesure de mitigation n'est à prévoir.

RÉFÉRENCES

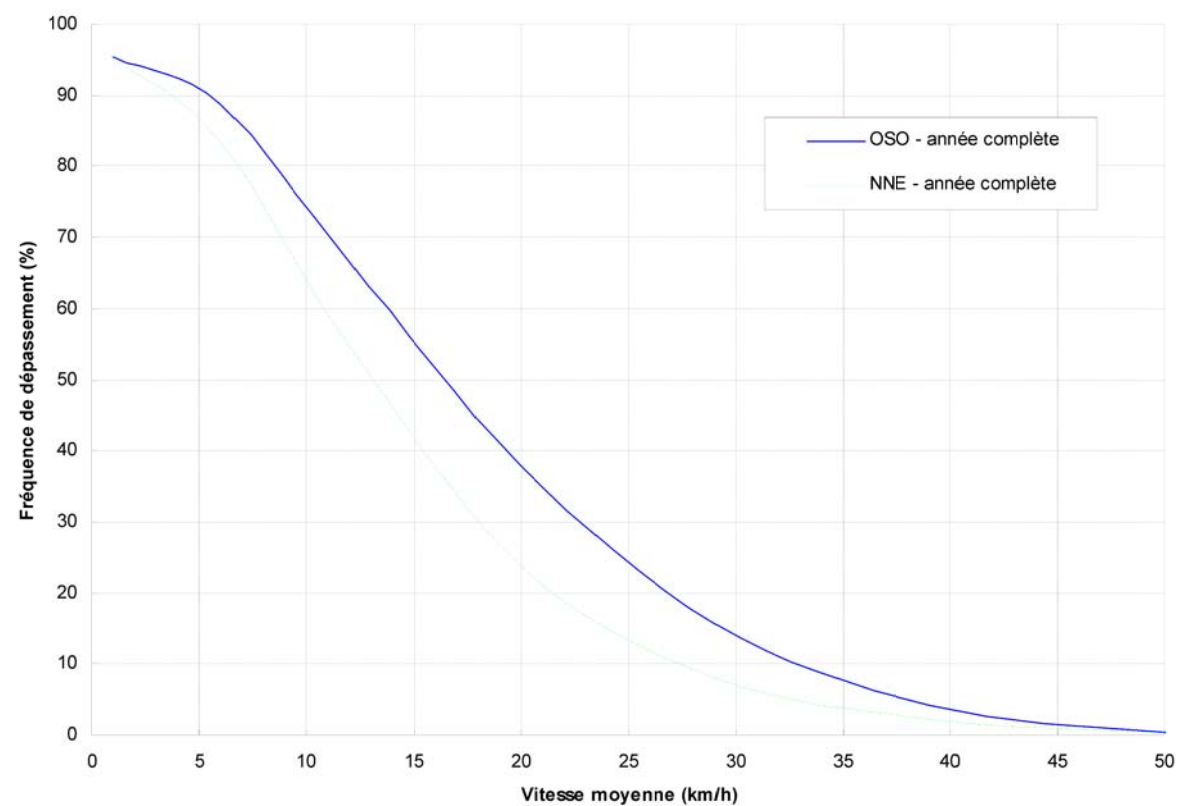
- [1] : Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti - J. Gandemer et A. Guyot - Ministère de la Qualité de la vie - France 1976

- [2] Architectural Aerodynamics by R.M. Aynsley, W. Melbourne and B.J. Vickery - Applied Science Publishers Ltd. London

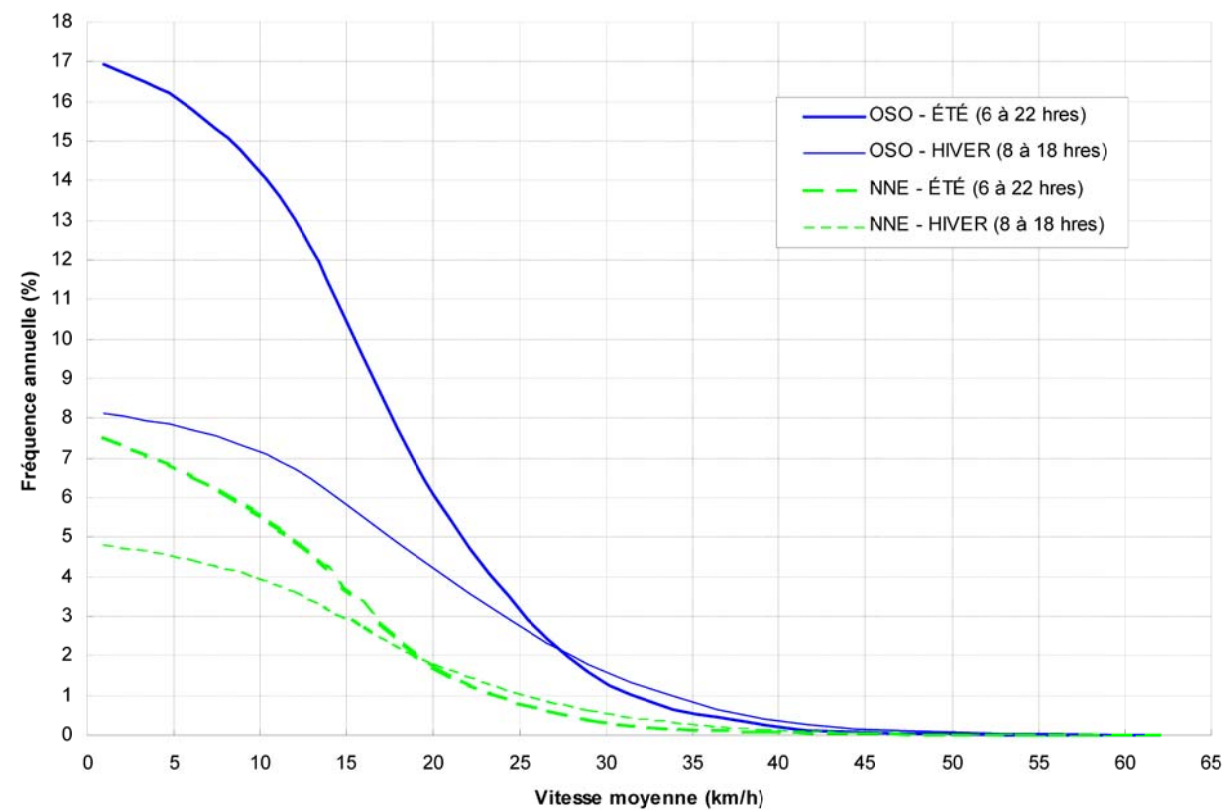
- [3] Données des stations DSP-3, Montréal Intl A, Environnement Canada, service de l'environnement atmosphérique, 1983.



a) Roses des vents



b) Vents des secteurs OSO et NNE -
Fréquence de dépassement des vitesses



c) Fréquence annuelle des vents du OSO et du NNE
observés pendant les heures de circulation des piétons

Le Groupe-Conseil LaSalle Inc.

9620, rue Saint-Patrick
LaSalle, Québec
Canada H8R 1R8

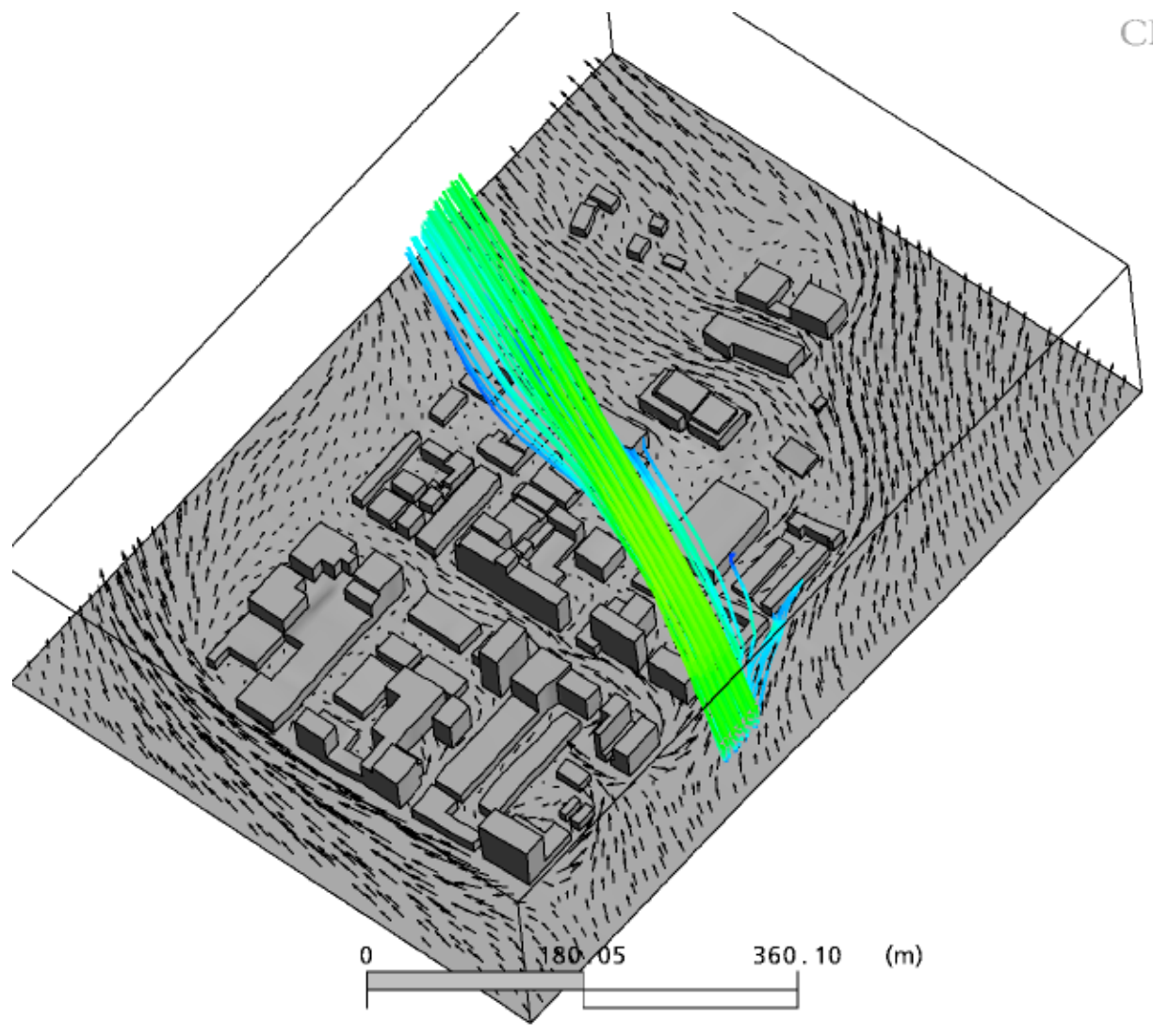
Birtz Bastien Beaudoin Laforest
Coriveau Girard
Yelle Maille
ARCHITECTES

PROJET: Centre hospitalier
de l'Université de Montréal (CHUM)
Étude des impacts éoliens

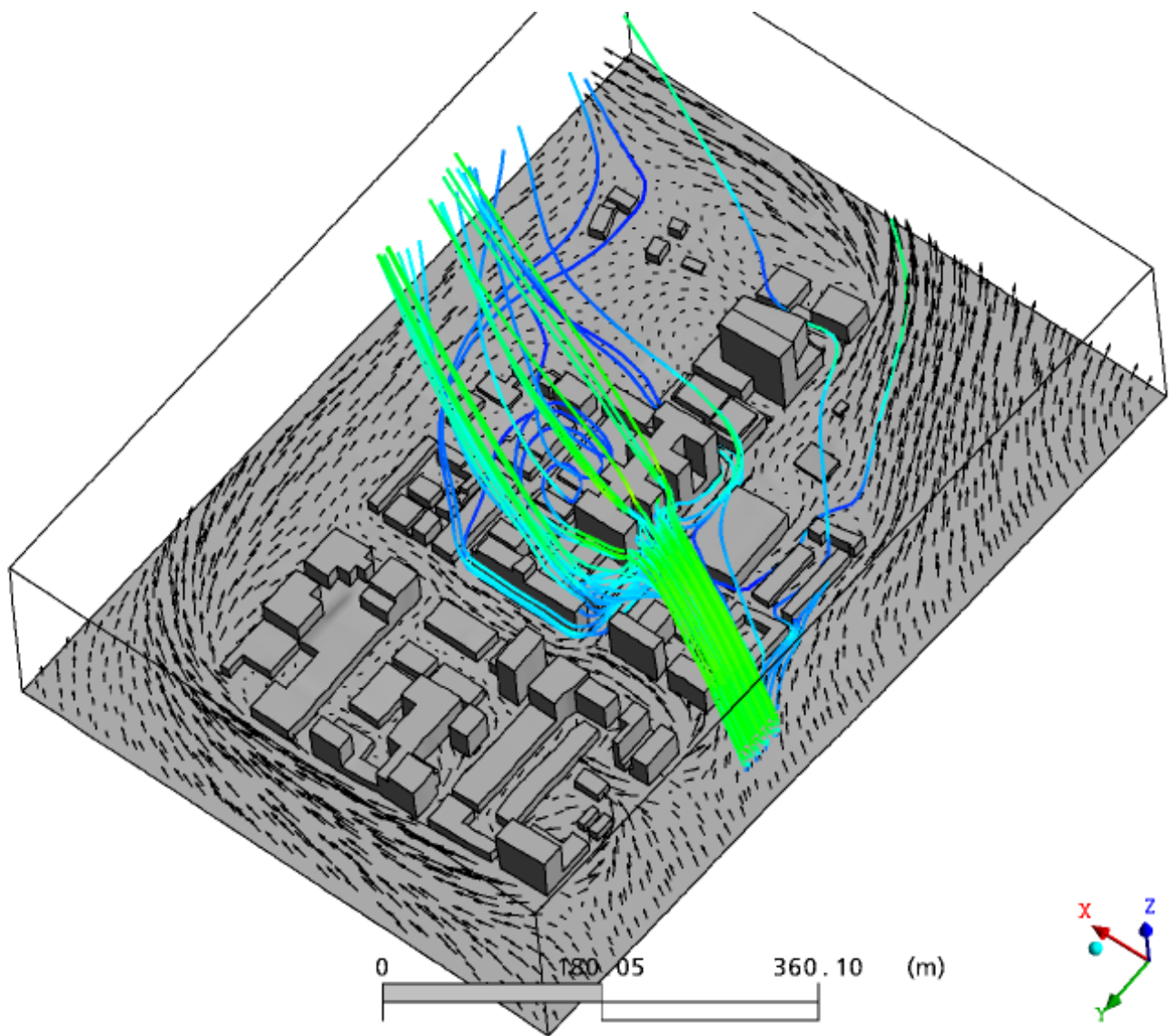
TITRE: Analyse statistique des vents
tation météorologique de l'aéroport
P.E. Trudeau (Dorval)

DESSINÉ PAR: P.T.	RÉF. CLIENT: -	RÉF. LASALLE: -
----------------------	-------------------	--------------------

ÉCHELLE: -	DATE: AVRIL 2006	FIGURE: 4
---------------	---------------------	--------------



a) Conditions actuelles



b) Conditions futures



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT :
**Birtz Bastien Beaudoin Laforest
 Corriveau Girard
 Yelle Maillé
 ARCHITECTES**

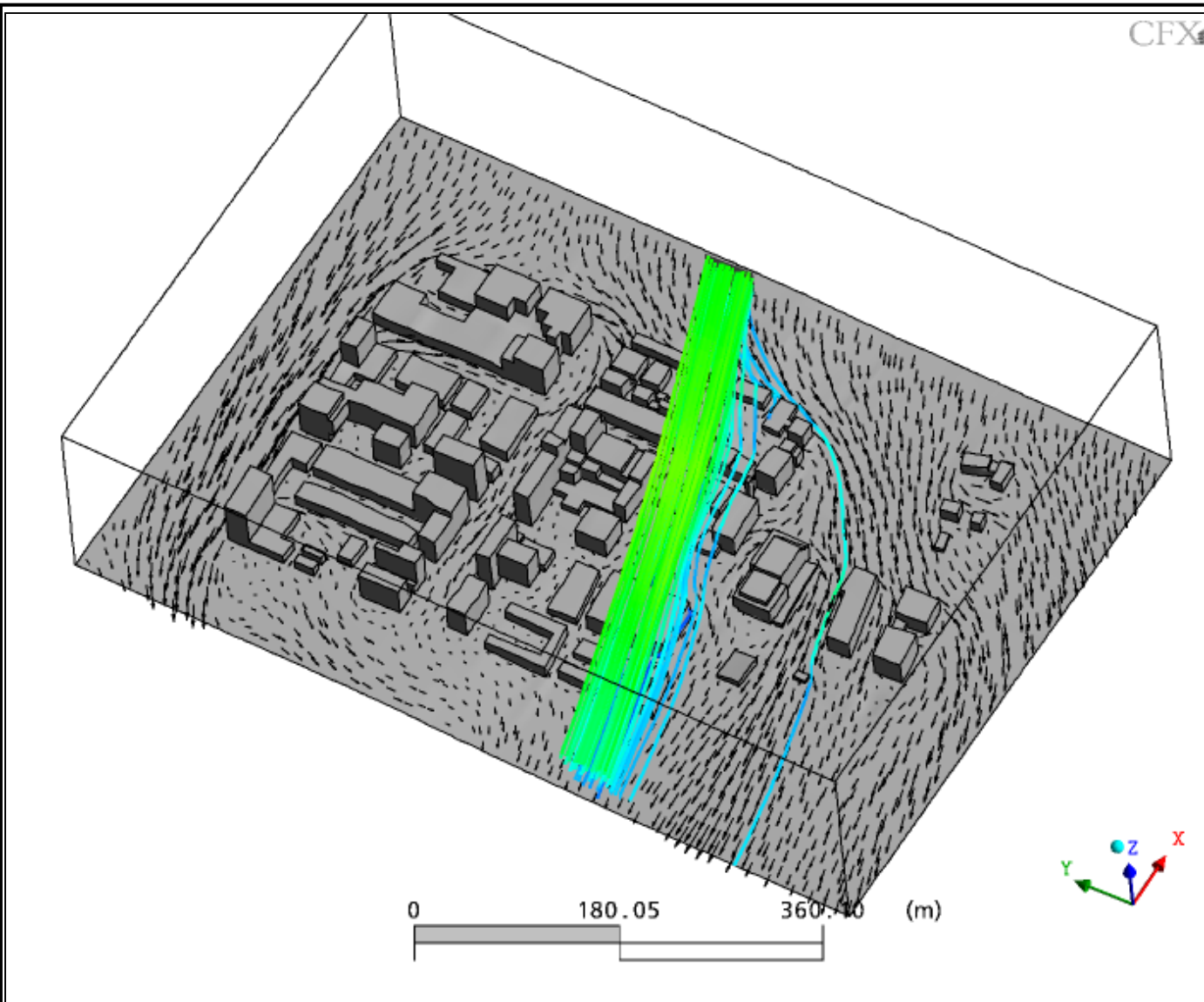
PROJET:
 Centre hospitalier de l'Université de
 Montréal (CHUM) - Site 1000 Saint-
 Denis
ÉTUDE DES IMPACTS ÉOLIENS

TITRE :
 Visualisation des lignes de courant
 générées par un vent de OSO

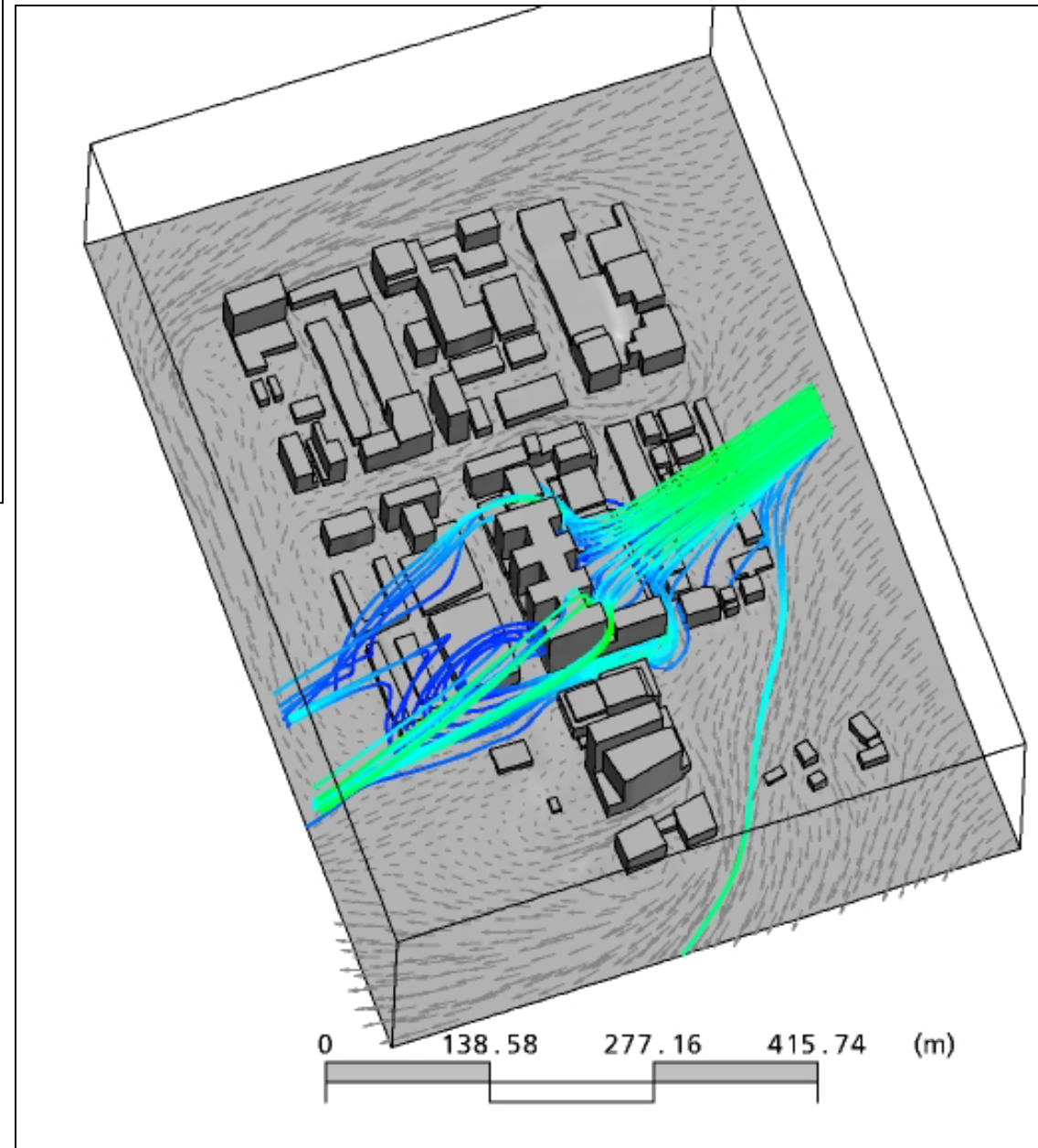
PRÉPARÉ PAR : T.A	REF. CLIENT : -----	REF. LASALLE : -----
----------------------	------------------------	-------------------------

DATE: Avril 2006	FIGURE : 5
---------------------	----------------------

CFX



a) Conditions actuelles



b) Conditions futures



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT :

**Birtz Bastien Beaudoin Laforest
Coriveau Girard
Yelle Maillé
ARCHITECTES**

PROJET :

Centre hospitalier de l'Université de
Montréal (CHUM) - Site 1000 Saint-
Denis

ÉTUDE DES IMPACTS ÉOLIENS

TITRE :

Visualisation des lignes de courant
générées par un vent de NNE

PRÉPARÉ PAR :

T.A

REF. CLIENT :

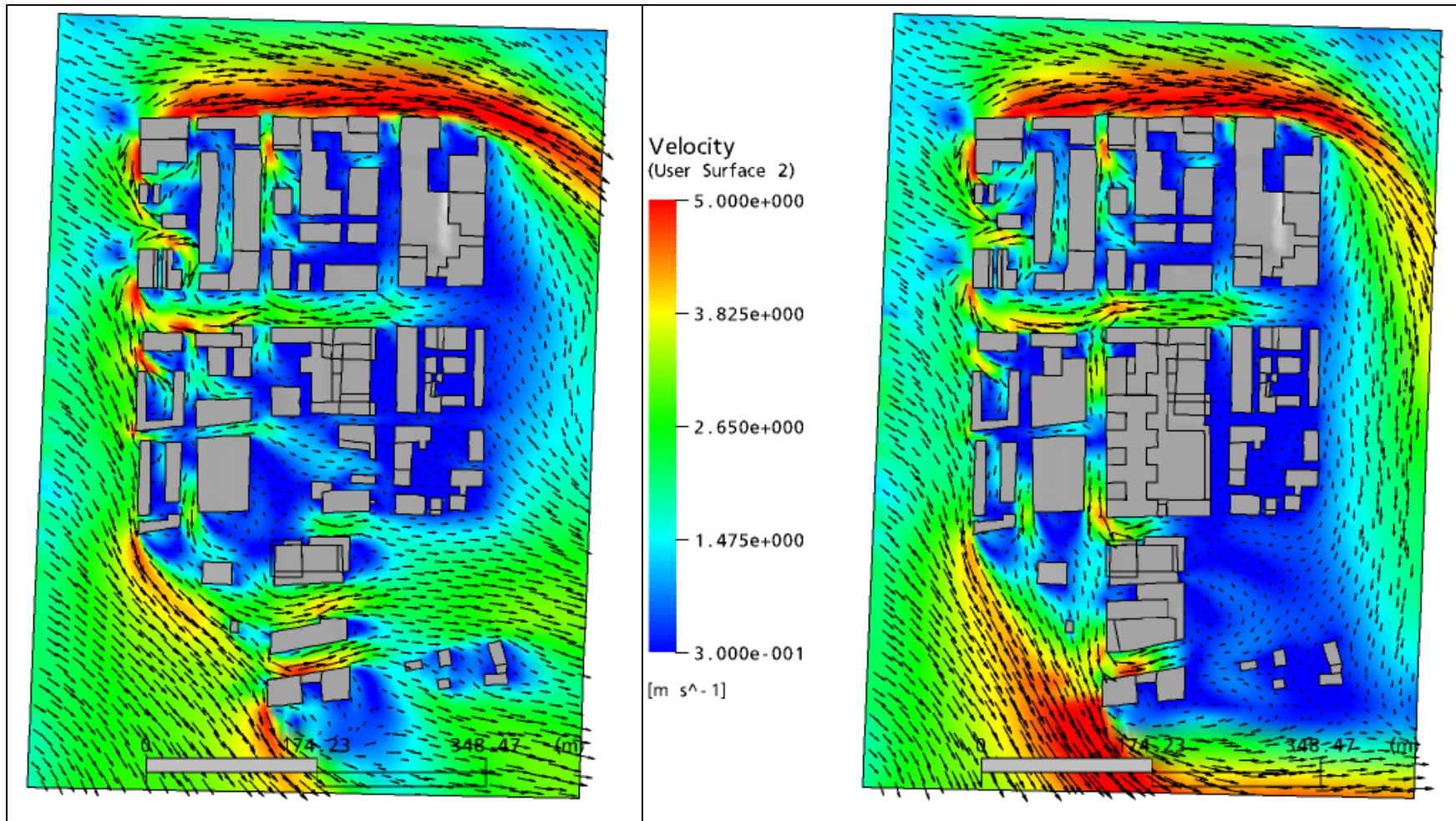
REF. LASALLE :

DATE:

Avril 2006

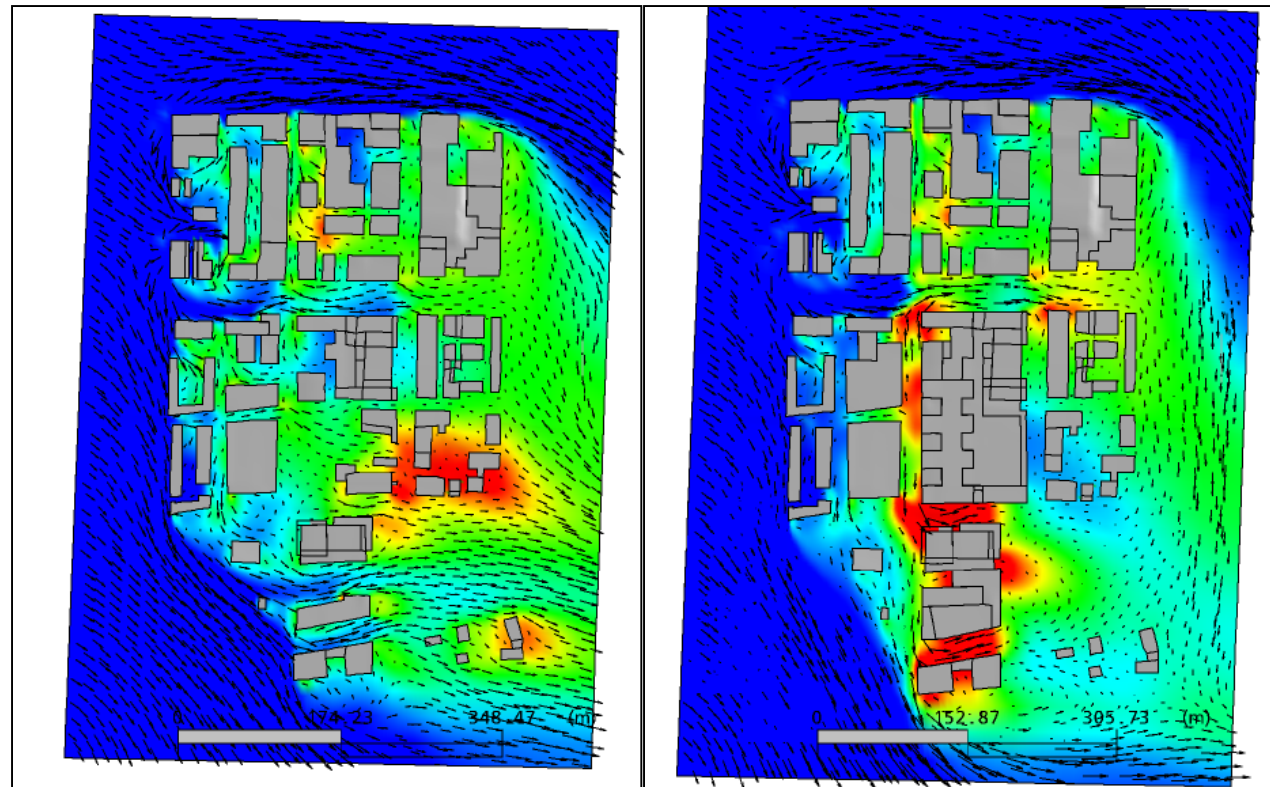
FIGURE :

6



a) Champ de vitesses à 1,5 m du sol, actuel

b) Champ de vitesses à 1,5 m du sol, futur



c) Turbulence à 1,5 m du sol, actuel

d) Turbulence à 1,5 m du sol, futur




Le Groupe-Conseil LaSalle

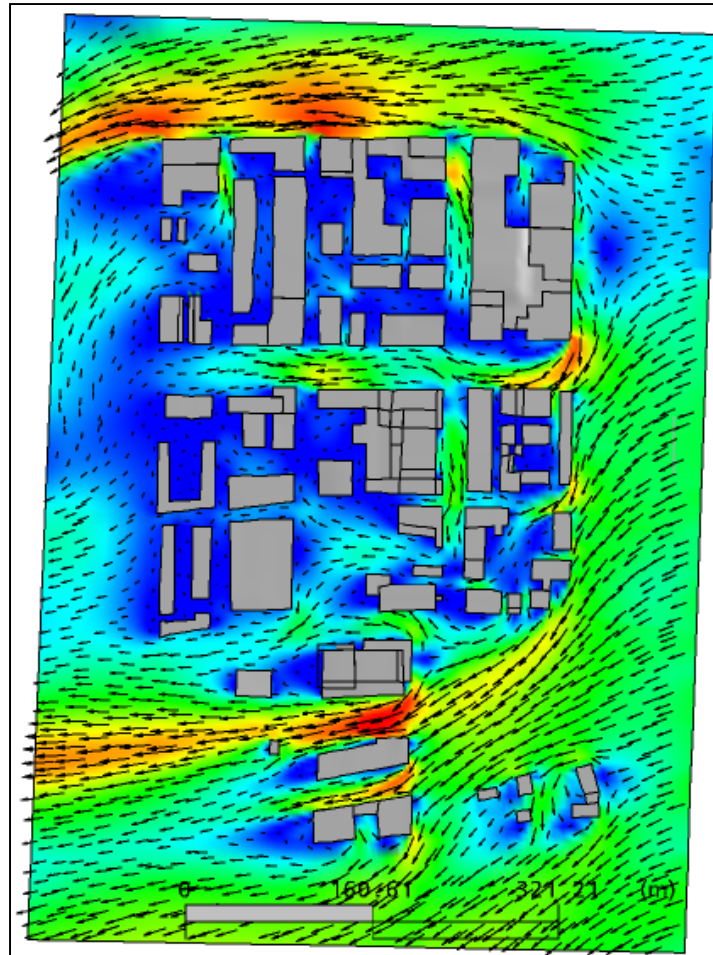
CLIENT :
**Birtz Bastien Beaudoin Laforest
 Corriveau Girard
 Yelle Maillé
 ARCHITECTES**

PROJET:
 Centre hospitalier de l'Université de
 Montréal (CHUM) - Site 1000 Saint-
 Denis
ÉTUDE DES IMPACTS ÉOLIENS

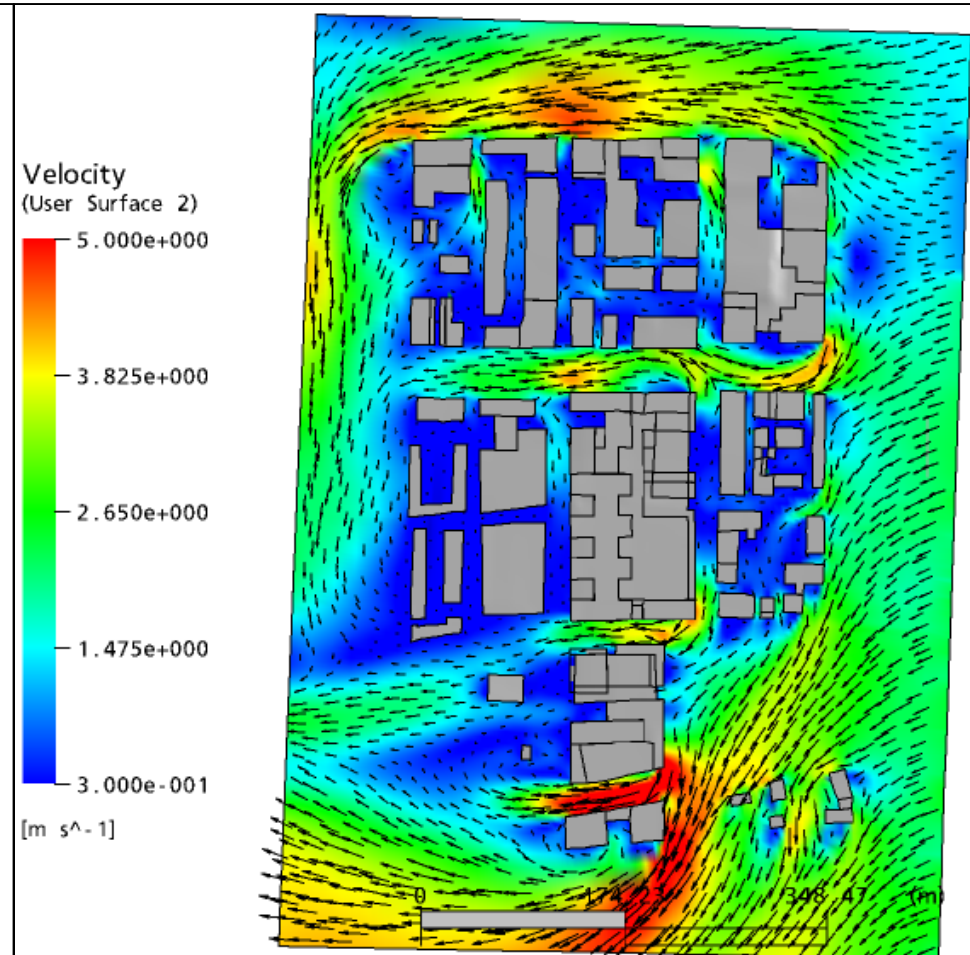
TITRE :
 Champ des vitesses et turbulence par
 vent duOSO

PRÉPARÉ PAR : T.A	REF. CLIENT : -----	REF. LASALLE : -----
----------------------	------------------------	-------------------------

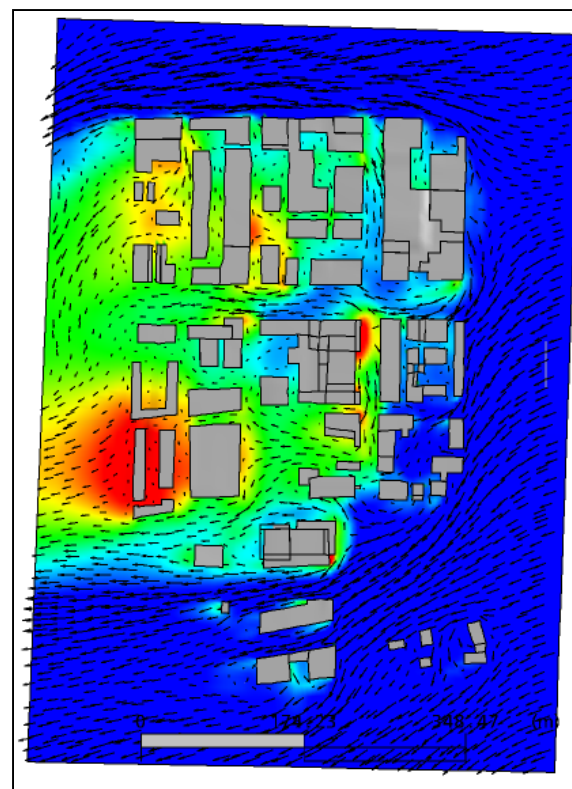
DATE: Avril 2006	FIGURE : 7
---------------------	----------------------



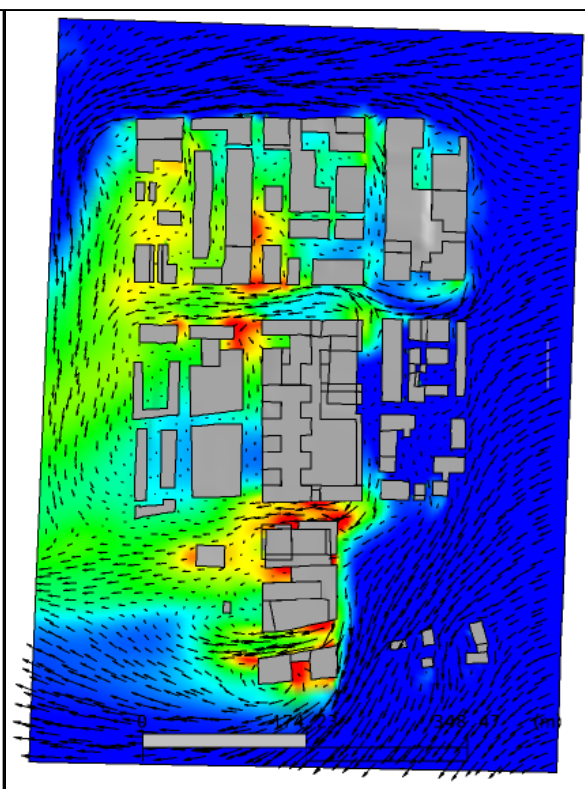
a) Champ de vitesses à 1,5 m du sol, actuel



b) Champ de vitesses à 1,5 m du sol, futur



c) Turbulence à 1,5 m du sol, actuel



d) Turbulence à 1,5 m du sol, futur



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT :

**Birtz Bastien Beaudoin Laforest
Corriveau Girard
Yelle Maillé
ARCHITECTES**

PROJET :

**Centre hospitalier de l'Université de
Montréal (CHUM) - Site 1000 Saint-
Denis
ÉTUDE DES IMPACTS ÉOLIENS**

TITRE :

**Champ des vitesses et turbulence par
vent du NNE**

PRÉPARÉ PAR :

T.A

REF. CLIENT :

REF. LASALLE :

DATE:

Avril 2006

FIGURE :

8

POINT	AVANT AMÉNAGEMENT					APRÈS AMÉNAGEMENT				
	OSO		NNE		TOTAL	OSO		NNE		TOTAL
	survitesse	fréquence	survitesse	fréquence		survitesse	fréquence	survitesse	fréquence	
1	0.11	0.0%	0.40	0.2%	0.2%	0.13	0.0%	0.31	0.0%	0.0%
2	0.39	0.4%	0.21	0.0%	0.4%	0.24	0.0%	0.27	0.0%	0.0%
3	0.24	0.0%	0.38	0.1%	0.1%	0.23	0.0%	0.43	0.3%	0.3%
4	0.50	1.5%	0.38	0.1%	1.7%	0.58	2.6%	0.45	0.4%	3.0%
5	0.24	0.0%	0.36	0.1%	0.1%	0.48	1.4%	0.61	1.1%	2.5%
6	0.31	0.1%	0.34	0.1%	0.1%	0.47	1.2%	0.67	1.6%	2.8%
7	0.33	0.1%	0.15	0.0%	0.1%	0.40	0.4%	0.51	0.6%	1.0%
8	0.91	8.3%	0.26	0.0%	8.3%	0.87	7.6%	0.48	0.5%	8.0%
9	0.82	6.4%	0.44	0.3%	6.8%	0.75	5.3%	0.58	0.9%	6.2%
10	0.63	3.4%	0.75	2.0%	5.5%	0.94	8.9%	0.88	3.1%	12.0%
11	0.56	2.2%	0.46	0.4%	2.6%	0.64	3.6%	0.41	0.2%	3.8%
12	0.47	1.2%	0.44	0.3%	1.6%	0.64	3.7%	0.74	2.0%	5.7%
13	0.33	0.1%	0.31	0.0%	0.2%	0.45	1.0%	0.42	0.2%	1.3%
14	0.37	0.3%	0.13	0.0%	0.3%	0.12	0.0%	0.02	0.0%	0.0%
15	0.11	0.0%	0.05	0.0%	0.0%	0.77	5.6%	0.30	0.0%	5.6%
16	0.04	0.0%	0.53	0.7%	0.7%	0.07	0.0%	0.02	0.0%	0.0%
17	0.19	0.0%	0.18	0.0%	0.0%	0.11	0.0%	0.03	0.0%	0.0%
18	0.44	0.9%	0.28	0.0%	0.9%	0.21	0.0%	0.12	0.0%	0.0%
19	0.10	0.0%	0.65	1.4%	1.4%	0.04	0.0%	0.13	0.0%	0.0%
20	0.15	0.0%	0.10	0.0%	0.0%	0.22	0.0%	0.05	0.0%	0.0%
21	0.13	0.0%	0.40	0.2%	0.2%	0.95	9.1%	0.38	0.1%	9.2%
22	0.48	1.4%	0.53	0.6%	2.1%	0.30	0.0%	0.72	1.9%	1.9%
23	0.27	0.0%	0.18	0.0%	0.0%	0.02	0.0%	0.80	2.3%	2.3%
24	0.61	3.1%	0.86	2.9%	6.0%	0.27	0.0%	0.09	0.0%	0.0%
25	0.64	3.6%	0.08	0.0%	3.6%	0.93	8.7%	0.40	0.2%	8.9%
26	1.04	10.6%	0.81	2.4%	13.0%	1.05	10.8%	1.28	6.1%	16.8%
27	0.50	1.5%	0.82	2.6%	4.1%	0.13	0.0%	1.35	6.5%	6.5%
28	0.74	5.2%	0.70	1.8%	6.9%	0.15	0.0%	0.87	3.0%	3.0%
29	0.98	9.6%	0.09	0.0%	9.6%	1.15	12.1%	0.19	0.0%	12.1%
30	0.17	0.0%	0.78	2.2%	2.2%	0.03	0.0%	1.28	6.1%	6.1%

Survitesse et fréquences d'inconfort



LaSalle
Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT :
**Birtz Bastien Beaudoin Laforest
 Corriveau Girard
 Yelle Maillé
 ARCHITECTES**

PROJET:
 Centre hospitalier de l'Université de
 Montréal (CHUM) - Site 1000 Saint-
 Denis
ÉTUDE DES IMPACTS ÉOLIENS

TITRE :
 Survitesse et fréquences d'inconfort

PRÉPARÉ PAR : T.A REF. CLIENT : REF. LASALLE :
 DATE: Avril 2006 FIGURE : **9**