

PROJET DU QUADRILATÈRE ST-LAURENT
Étude sur modèle réduit des impacts éoliens



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

**SOCIÉTÉ DE DÉVELOPPEMENT
ANGUS SDA**

PROJET DU QUADRILATÈRE SAINT-LAURENT

Étude sur modèle réduit des impacts éoliens

Rapport no 1725

Mars 2009

Préparé par :

Tristan Aubel, ing.

Jean-Philippe Saucet, ing.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	II
LISTE DES FIGURES	II
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE	3
2.1 Représentation de l'air en mouvement.....	3
2.2 Critères d'évaluation du confort éolien	4
2.3 Données de référence	8
2.4 Transposition au site à l'étude.....	9
2.5 Vitesses locales et fréquences d'inconfort	10
3.0 ANALYSE DU RÉGIME DES VENTS	11
3.1 Station météorologique de référence	11
3.2 Analyse statistique de la direction et de la vitesse des vents.....	11
3.2.1 Direction	11
3.2.2 Vitesse.....	12
4.0 LE MODÈLE RÉDUIT	14
5.0 IMPACTS ÉOLIENS DU PROJET	15
5.1 Conditions initiales.....	15
5.2 Conditions futures.....	17
6.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	19
7.0 RÉFÉRENCES	21

FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 :	Fréquence d'inconfort communément admise selon l'activité.....	8
TABLEAU 2 :	Fréquence des vents dominants en fonction de leur vitesse et des heures considérées pour l'étude du confort des piétons.....	13

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 :	Plan de situation
FIGURE 2 :	Rose des vents aux aéroports P-É Trudeau (Dorval) et Saint-Hubert
FIGURE 3 :	Statistiques des vents à l'aéroport P-É Trudeau
FIGURE 4 :	Limites du modèle - nouveaux bâtiments - points de mesure
FIGURE 5 :	Fréquence d'inconfort pour les conditions initiales
FIGURE 6 :	Fréquence d'inconfort pour les conditions futures

1.0 INTRODUCTION

Dans le cadre du développement du Quartier des Spectacles au centre-ville de Montréal, on projette la construction d'un édifice dans le secteur délimité par les rues Saint-Laurent, Sainte-Catherine et Clark..

Le projet du « Quadrilatère Saint-Laurent » sera construit, dans son axe Nord-Sud, entre le Monument National et la rue Sainte-Catherine, et, dans son axe Est-Ouest, entre la rue Clark et le boulevard Saint-Laurent. Ce bâtiment est constitué d'un bloc de 8 étages occupant l'espace le long de la rue Sainte-Catherine sur une largeur de 18 m, d'une barre de 16 étages parallèle à la rue Clark s'étendant jusqu'au Monument National sur une largeur de 25 m et d'un basilaire de 4 étages le long du boulevard Saint-Laurent. Un passage couvert relie la rue Clark et le boulevard Saint-Laurent à environ 30 m au nord de l'entrée du Monument National.

La société de développement Angus SDA a chargé le Groupe-Conseil LaSalle d'effectuer une étude sur modèle réduit afin d'évaluer les impacts éoliens, sur le confort des piétons, générés par le projet du Quadrilatère. Par hypothèse, un autre projet de la Société de développement Angus dans un secteur voisin, le 2-22 ⁽¹⁾, est supposé réalisé : on rend donc compte ici de l'impact simultané des deux projets.

Les interactions du vent dans les différentes configurations (état initial et futur) ont été simulées en canal hydraulique à l'aide d'une maquette à l'échelle 1/225 permettant de reproduire les nouvelles constructions et le quartier avoisinant sur un diamètre de 360 m.

Le présent rapport rend compte de la méthodologie et des résultats de l'étude selon six sections distinctes. La section 2 résume d'abord l'approche méthodologique

⁽¹⁾ Le 2-22 est un bâtiment de 8 étages construit sur la rue sainte Catherine entre les rues Saint-Laurent et Saint-Dominique.

guidant l'évaluation des impacts éoliens. La section 3 présente ensuite une analyse du régime des vents applicable au site à l'étude. Les caractéristiques du modèle réduit sont présentées à la section 4. La section 5 présente les résultats. La section 6 expose les conclusions et les recommandations.

2.0 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

2.1 Représentation de l'air en mouvement

Les simulations en canal hydraulique permettent de reproduire le mouvement de l'air autour des bâtiments reproduits à l'échelle sur la maquette. L'écoulement abordant la maquette doit avoir les mêmes caractéristiques que l'air arrivant sur le site étudié.

Il faut s'assurer, en premier lieu, que l'écoulement est turbulent, comme l'est celui du vent. Pour ce faire, on doit respecter une condition définie par le nombre de Reynolds, adimensionnel, qui est le produit de la vitesse par une grandeur caractéristique des bâtiments divisé par la viscosité cinématique du fluide. Les essais doivent être réalisés pour des vitesses telles que le nombre de Reynolds soit supérieur à 10 000 pour que les sillages des bâtiments soient turbulents.

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 :

$$\frac{U}{U_g} = \left(\frac{z}{z_g} \right)^\alpha \quad (2.1)$$

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. 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 $\alpha = 0,26$ 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].

Dans le cadre de la présente étude, la zone d'intérêt est située au centre-ville de Montréal, la rugosité du canal d'essais a donc été réglée de manière à obtenir une valeur voisine de $\alpha = 0,36$.

2.2 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 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 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 incommodants 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] :

$$U + \sigma \leq 6 \text{ m/s} \quad (2.2)$$

$$U + 3,5 \sigma \leq 9 \text{ m/s} \quad (2.3)$$

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 :

$$i = \frac{\sigma}{U} \quad (2.4)$$

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 :

$$U + 0,25U = 6 \text{ m/s} \quad (2.5)$$

$$U = 6/1,25 = 4,8 \text{ m/s} \quad (2.6)$$

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

$$U + 0,875 U = 9 \text{ m/s} \quad (2.7)$$

$$U = 9/1,875 = 4,8 \text{ m/s} \quad (2.8)$$

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 :

$$U + \sigma \leq 6 \text{ m/s} \quad (2.9)$$

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 :

$$U + \sigma \leq 4 \text{ m/s} \quad (2.10)$$

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 inconfortants.

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

Il est à souligner que 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. L'extrait du règlement de la Ville de Montréal concernant cet arrondissement stipule que la rue Sainte-Catherine et le Boulevard Saint-Laurent sont soumis à une fréquence maximale d'inconfort de 15%. Les autres voies sont soumises à une fréquence limite de dépassement de 25%. Les parcs, lieux publics et lieux de détente sont soumis à une limite de 10%. Le seul parc/lieu de détente identifié est la Place du Marché situé entre le boulevard Saint-Laurent et la rue Saint-Dominique au nord du boulevard René-Lévesque. Il est à noter qu'en conditions futures il est projeté d'avoir des terrasse du côté Est de la rue Clark au Sud de la rue Sainte-Catherine, ce qui pourrait conduire à réviser le critère à la baisse, soit 10%.

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⁽²⁾
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%)

2.3 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 avoisinant. 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). À la section 3.1, on discute du choix de cette station.

⁽²⁾ Il est à noter que chaque arrondissement établit son règlement et les valeurs admissibles peuvent varier d'un arrondissement à l'autre.

2.4 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 :

$$U_{site} = k U_{météo} \quad (2.11)$$

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 (2.1) à l'emplacement de la station, puis au site à l'étude, on obtient :

$$k = \left(\frac{Z_{g\,météo}}{10} \right)^{\alpha_{météo}} \left(\frac{10}{Z_{g\,site}} \right)^{\alpha_{site}} \quad (2.12)$$

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

2.5 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 :

$$\psi = \frac{U+\sigma}{(U+\sigma)_{site}} = \frac{U+\sigma}{kU_{météo}(1+i_{site})} \quad (2.13)$$

où $U+s$ 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 $U+s$ liées à la présence des bâtiments avec la vitesse nominale $(U+s)_{site}$ établie sur le site sans l'influence des aménagements projetés.

La valeur de l'intensité de la turbulence i_{site} obtenue en canal hydraulique varie généralement de 0,20 à 0,30. Dans le cadre de la présente étude, nos essais de réglage du modèle ont donné une valeur de $i_{site} = 0,244$. L'équation (2.13) peut s'écrire comme suit :

$$U_{météo} = \frac{U + \sigma}{k \psi (1 + i_{site})} \quad (2.14)$$

En substituant, pour chacun des points considérés pour l'analyse du confort éolien, les limites de $U+s$ correspondant aux seuils de confort estival et hivernal, soient les valeurs de 6 et 4 m/s des équations (2.9) et (2.10), 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.

3.0 ANALYSE DU RÉGIME DES VENTS

3.1 Station météorologique de référence

Deux stations météorologiques principales sont situées à proximité du site : celle de l'aéroport P.-E.-Trudeau (à environ 15 km au OSO) et celle de l'aéroport de Saint-Hubert (12 km à l'Est). La figure 2 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 P.-E.-Trudeau puisque la tendance Nord-Sud des vents observés à Saint-Hubert est avant tout applicable à la rive Sud de Montréal.

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

3.2.1 Direction

La figure 3a illustre les roses des vents obtenues d'après les données recueillies à l'aéroport P.-E.-Trudeau (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 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 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.

3.2.2 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 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 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 huit (8) classes distinctes de vitesses du vent. Par exemple, d'avril à

septembre, entre 6 h 00 et 22 h 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 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))

Période	Avril à septembre 6 h00 à 22 h 00				Octobre à mars 8 h 00 à 18 h 00			
	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 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.

4.0 LE MODÈLE RÉDUIT

Le modèle réduit reproduit à l'échelle 1/225 l'immeuble à l'étude et le secteur avoisinant. Le disque de 1,6 m sur lequel est construite la maquette représente ainsi une zone de 360 m de diamètre, centrée sur l'aménagement projeté. La figure 4 illustre les limites de la zone modélisée.

L'immeuble projeté, le « Quadrilatère », qui occupera l'espace délimité par le Monument National au Sud et la rue Sainte-Catherine au Nord entre la rue Clark et le boulevard Saint-Laurent, a été reproduit à l'aide des plans fournis par la firme d'architectes AEdifica. Les bâtiments existants ont été modélisés d'après les plans d'occupation des sols de la Ville de Montréal. On considère ici un état initial incluant le 2-22, l'état futur étant cet état initial augmenté du Quadrilatère.

La maquette a été placée dans un canal hydraulique permettant de simuler l'écoulement du vent sur le site. Les deux secteurs de vents dominants ont été simulés en faisant pivoter la maquette de manière à faire correspondre l'axe d'écoulement du canal aux directions dominantes de l'OSO ou NNE.

5.0 IMPACTS ÉOLIENS DU PROJET

Des mesures de vitesses ont été effectuées en 33 points dont la répartition est illustrée à la figure 4. Il est à noter que les points 29 à 33 sont spécifiques aux conditions futures :

- Les points 29 et 30 ont été rajoutés sur la rue Clark en vue de documenter plus précisément les conditions de vents dans le cas où des terrasses seraient effectivement mises en place;
- Les points 31, 32 et 33 permettent de documenter le niveau de confort dans le passage couvert (centre du passage : point 31) qui relie le boulevard Saint-Laurent (entrée/sortie : point 32) et la rue Clark (entrée/sortie : point 33).

Les mesures de vitesses ont été réalisées au modèle réduit à l'aide d'une micro-sonde ADV (*Acoustic Doppler Velocimetry*) donnant en chaque point la vitesse moyenne U et l'écart-type s lié à la turbulence de l'écoulement.

Les figures 5 et 6 illustrent les résultats des mesures sur modèle, graphiquement, d'une part, à l'aide d'un code de couleur relatif au respect du critère adopté et, d'autre part, à l'aide d'un tableau présentant, pour chaque point de mesure, les fréquences d'inconfort pour les deux directions de vent, les fréquences cumulées et le critère admis.

5.1 Conditions initiales

La figure 5 illustre les résultats des mesures sur modèle, graphiquement, d'une part, à l'aide d'un code de couleur relatif au respect du critère adopté et, d'autre part, à l'aide d'un tableau présentant, pour chaque point de mesure, les fréquences d'inconfort pour les deux directions de vent, les fréquences cumulées et le critère admis.

En conditions initiales, 4 des 28 points de mesure présentent des fréquences d'inconfort qui dépassent les critères cités à la fin de la section 2.1.2. Il s'agit des points 1, 8, 9 et 14 situés sur la rue Sainte-Catherine, rue sur laquelle la fréquence maximale d'inconfort est fixée à 15%.

Par vent de OSO, la concentration de vitesses observée au point 1 provient de la combinaison des courants canalisés dans la rue Sainte-Catherine et du courant descendant la rue Saint-Urbain vers le sud, dont une partie s'engouffre dans la rue Sainte-Catherine. Le décollement créé par le bâtiment faisant face au TNM sur la rue Sainte-Catherine tend à concentrer les lignes de courant contre le TNM, ce qui explique l'accélération observée. Par vent de NNE c'est un effet de canalisation par la rue Sainte-Catherine qui est responsable de la concentration de vitesse au point 1 (notons que le point 10 présente une survitesse du même ordre). La fréquence d'inconfort au point 1 est de 19,6% pour un critère de 15%.

Aux points 8 et 9, par vent de OSO, c'est la combinaison du courant descendant la rue Saint-Dominique vers le sud et du courant canalisé dans la rue Sainte-Catherine le long du 2-22 vers l'Est, soumis à un effet de coin à l'extrémité de ce dernier, qui génère de fortes accélérations. Par vent de NNE les lignes de courant sont canalisées par la rue Sainte-Catherine (vers l'Ouest) avec une légère déviation vers le nord aux point 8 et 9 du fait de la proximité du 2-22. Les survitesses par vent de NNE sont significativement plus faibles que par vent de OSO. Les fréquences d'inconfort aux point 8 et 9 sont 20,3% et 19,4% pour un critère de 15%.

Les lignes de courant descendant le boulevard Saint-Laurent vers le Sud, par vent de OSO, tendent à se concentrer du côté Est du boulevard générant ainsi une accélération locale au point 14. Par vent de NNE on note un léger effet de coin lorsque le courant dirigé vers l'Ouest sur la rue Sainte-Catherine, tourne vers le Nord sur le boulevard Saint-Laurent. La fréquence d'inconfort est établie à 15,7% pour un critère de 15%.

Par vent de NNE les accélérations locales (ou survitesses) sont, dans l'ensemble, significativement plus faibles que par vent de OSO.

5.2 Conditions futures

En conditions futures, avec le Quadrilatère en place, outre les points 1, 8, 9 et 14 qui présentent toujours des fréquences d'inconfort excédant le critère, on observe une dégradation aux points 6 et 25 conduisant au non respect du critère. De plus, les survitesses générées dans le passage couvert conduisent également au non respect des critères. La figure 7 présente les résultats en conditions futures.

Dans le cas des points 6 et 25 la dégradation provient principalement du fait que, par vent de OSO, l'effet de coin sur l'arête Nord-Est du Quadrilatère, est accentué, contribuant à resserrer les lignes de courant le long de la façade Ouest du 2-22 et du Club-Soda, d'où l'augmentation des survitesses. Par vent de NNE il se forme un point de stagnation sur la barre de 16 étages du Quadrilatère, ce qui génère un courant dirigé vers le nord sur le boulevard Saint-Laurent. Les vitesses devant le Club-Soda et le long de la façade Ouest du 2-22 augmentent légèrement par rapport aux conditions initiales. Au point 6 la fréquence d'inconfort passe de 12,9% à 15,3%, alors qu'au point 25 la fréquence d'inconfort passe de 12,5% à 18,9%, le critère pour ces deux points étant 15%.

Dans le passage couvert on observe une accélération importante pour les deux directions de vent. Le point 31 (au centre) présente des fréquences d'inconfort qui dépassent le critère adopté (26,7% pour un critère de 25%). En effet, par vent de OSO, ce passage couvert est exposé à un vent qui ne rencontre pas d'obstacles dans le voisinage immédiat de l'entrée Ouest du fait des aires de stationnement : un point de stagnation est situé à une dizaine de mètres au nord de l'entrée sur la rue Clark et donne lieu à un courant longeant le bâtiment du Quadrilatère, parallèlement à la rue Clark qui alimente le passage. De plus, un effet de rabattement sur la barre de 16 étages contribue à rediriger une partie de l'écoulement vers l'entrée du passage couvert. Par vent de NNE le passage est alimenté par le courant provenant de l'effet de rabattement qui redirige l'écoulement sur le toit du

basilaire vers le Sud et qui vient alimenter le passage en plus du courant qui longe le basilaire vers le sud sur le boulevard Saint-Laurent.

À la sortie du passage sur le boulevard Saint-Laurent (point 32) on note une diminution de la survitesse par rapport au centre du passage. Cette survitesse est relativement élevée par vent de OSO (sortie en jet) et plus modérée par vent de NNE car l'entrée de l'air se fait de manière plus diffuse. Une fréquence d'inconfort de 16,6% est établie au point 32, ce qui excède le critère de 15% sur le boulevard Saint-Laurent.

Côté Ouest, au point 33, peu d'obstacles limitent l'entrée d'air dans le passage par vent de OSO, ainsi, les lignes de courant sont peu perturbées à l'approche de l'entrée, ce qui génère une survitesse relativement importante. Par vent de NNE le point 33 subit la concentration en jet typique de la sortie d'un passage couvert. Le point 33 présente une fréquence d'inconfort de 17,1% qui respecte le critère de 25% sur la rue Clark.

Il est à noter que sur l'ensemble de la rue Clark, le long du Quadrilatère, le critère de confort énoncé dans le règlement est respecté et que, excepté au point 33, le critère relatif à un lieu de détente (10%) y est aussi respecté, permettant d'assurer le confort des usagers des futures terrasses.

6.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'étude sur modèle réduit au 1/225 en canal hydraulique a permis d'évaluer les impacts du nouveau bâtiment sur le confort des piétons évoluant sur les rues adjacentes.

Le principal impact du projet du Quadrilatère peut se résumer à l'inconfort généré, d'une part, sur le trottoir Est du boulevard Saint-Laurent entre la rue Sainte-Catherine et le voisinage de l'entrée du Club-Soda (points 6 et 25), et, d'autre part, dans le passage couvert (au centre du passage et à sa sortie sur le boulevard Saint-Laurent).

Afin de réduire l'inconfort devant le Club-Soda, la mise en place d'un déflecteur vertical, perpendiculaire au mur de façade à la jonction entre le 2-22 et le Club-Soda, conduirait à briser le courant longeant le 2-22 et abriterait l'entrée du Club-Soda. La présence de végétation disposée parallèlement au mur Ouest du 2-22 contribuerait aussi à limiter les survitesses et réduire l'inconfort généré par le projet du Quadrilatère. En outre, une modification de la géométrie de la partie du Quadrilatère donnant sur la rue Sainte-Catherine diminuerait l'effet de coin responsable de l'impact aux points 6 et 25. En limitant la hauteur de ce bloc à la hauteur des bâtiments actuels, équivalent à la hauteur du basilaire, le long de la rue Sainte-Catherine et du Boulevard Saint-Laurent, l'effet de coin serait atténué et les impacts réduits devant le Club Soda.

Une partie du courant alimentant le passage couvert longe la façade du Quadrilatère côté rue Clark pour s'y engouffrer. L'autre partie provient directement du vent incident de l'OSO. En bordant l'entrée du passage du côté de la rue Clark par des arbustes ou arbres relativement denses à feuilles persistantes, les courants longeant le Quadrilatère seraient localement brisés et ne pénétreraient plus aussi facilement dans le passage. De plus, la mise en place d'un écran le long du stationnement faisant face à l'entrée du passage créerait un obstacle au courant qui entre directement dans le passage. Ainsi le débit entrant dans le passage pourrait être réduit, atténuant l'inconfort tant dans le passage qu'en sortie côté boulevard Saint-Laurent. Ajoutons que les édifices qui seront construits à

l'emplacement actuel du stationnement, de l'autre côté de la rue Clark, constitueront un obstacle à l'alimentation du passage couvert et l'inconfort en sera alors réduit.

7.0 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.



Zone à l'étude

Le Groupe Conseil LaSalle Inc.


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

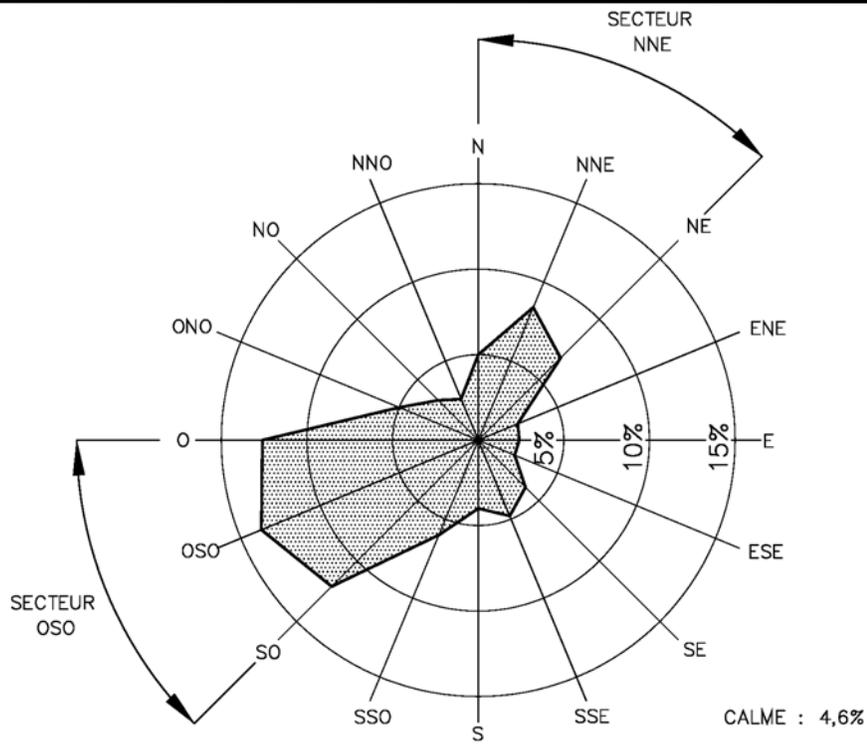
CLIENT :
 SOCIÉTÉ DE DÉVELOPPEMENT
 ANGUS SDA

PROJET :
 Projet du Quadrilatère Saint-Laurent
 Étude sur modèle réduit
 Impacts éoliens

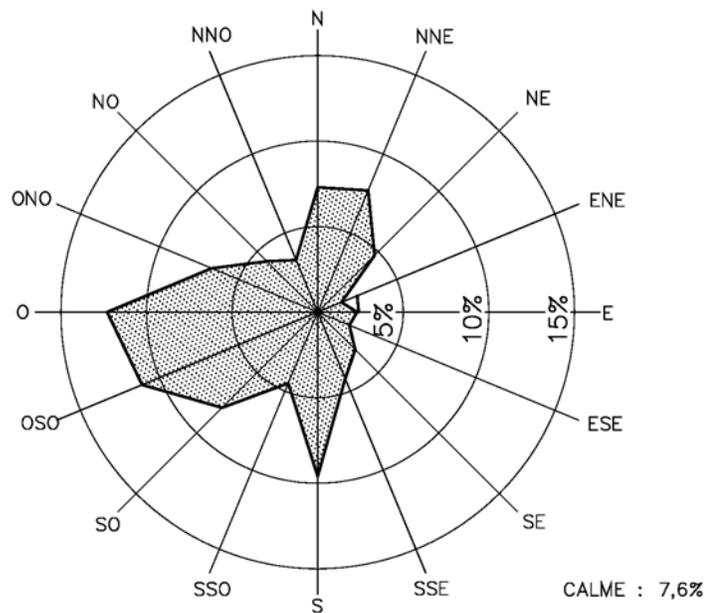
TITRE :
 Plan de localisation

PRÉPARÉ PAR :	REF. CLIENT :	REF. LASALLE :
T.A.	-----	439-101

DATE :	FIGURE :
Mars 2009	1



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



b) Aéroport de Saint-Hubert

Le Groupe Conseil LaSalle Inc.



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

PROJET :

**Projet du Quadrilatère Saint-Laurent
Étude sur modèle réduit – impacts éoliens et enneigement**

CLIENT :

**SOCIÉTÉ DE DÉVELOPPEMENT
ANGUS SDA**

TITRE :

Rose des vents annuelles – Aéroport P.-E.-Trudeau et Saint-Hubert

DATE :

Mars 2009

PRÉPARÉ PAR :

T.A

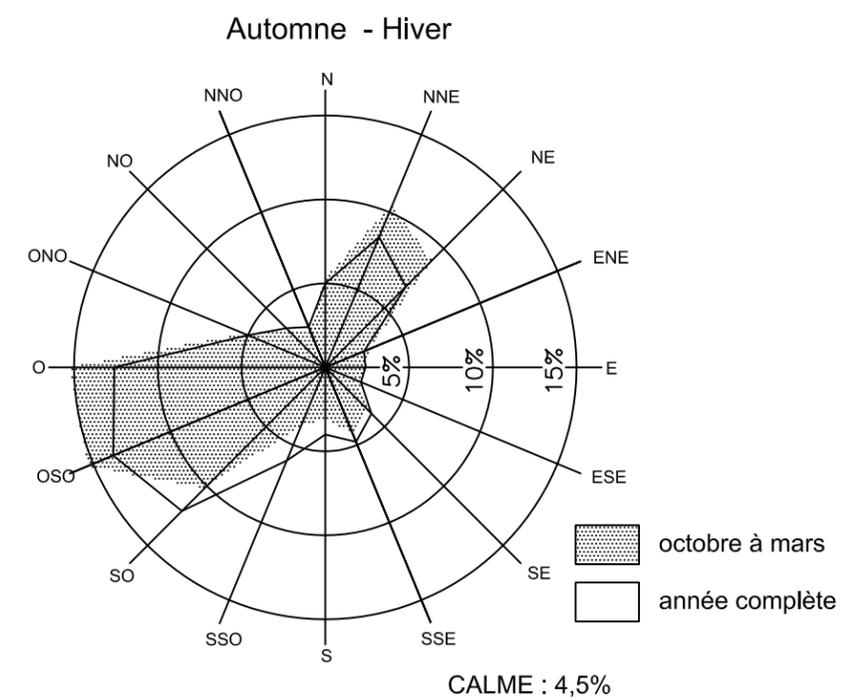
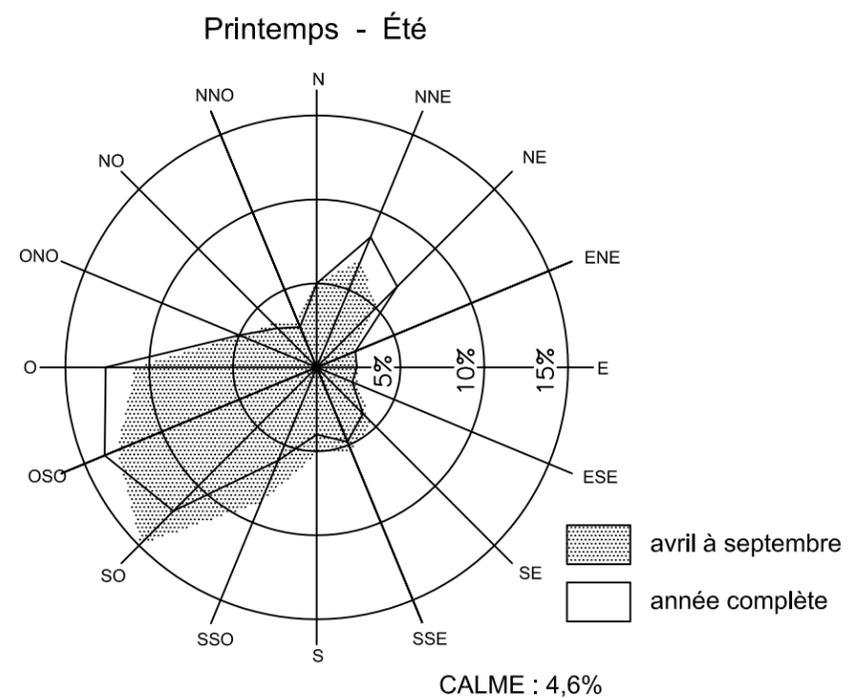
REF. CLIENT :

REF. LASALLE :

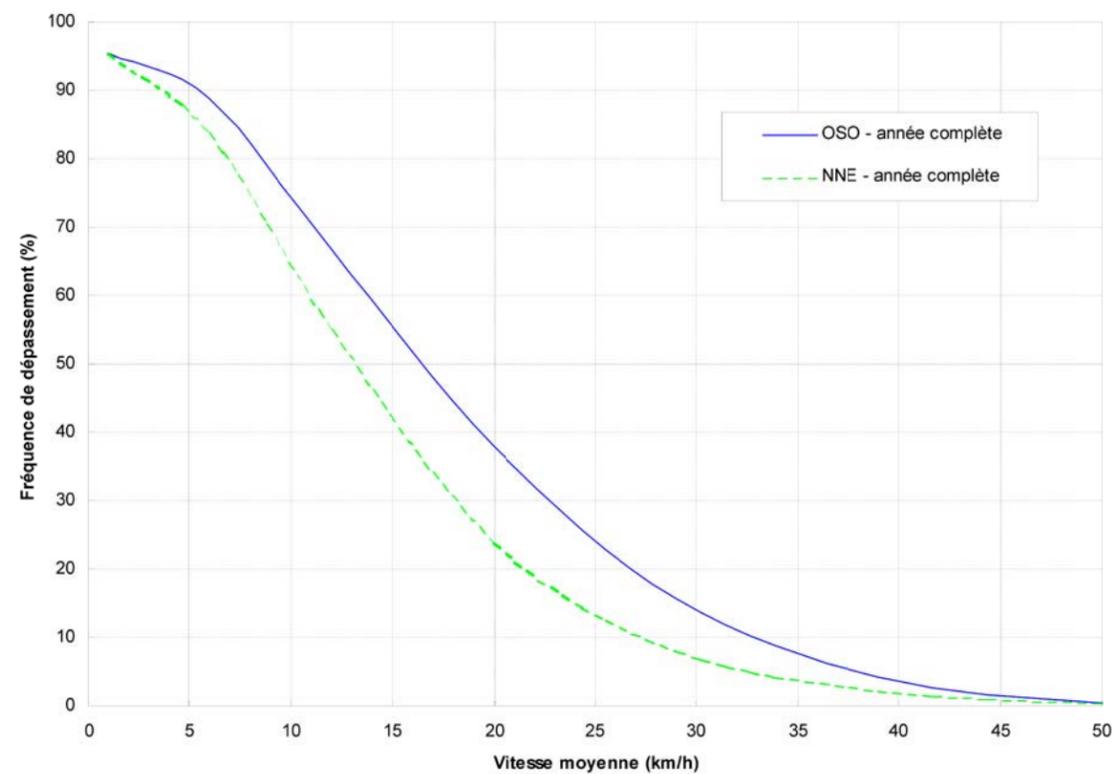
439-101

FIGURE :

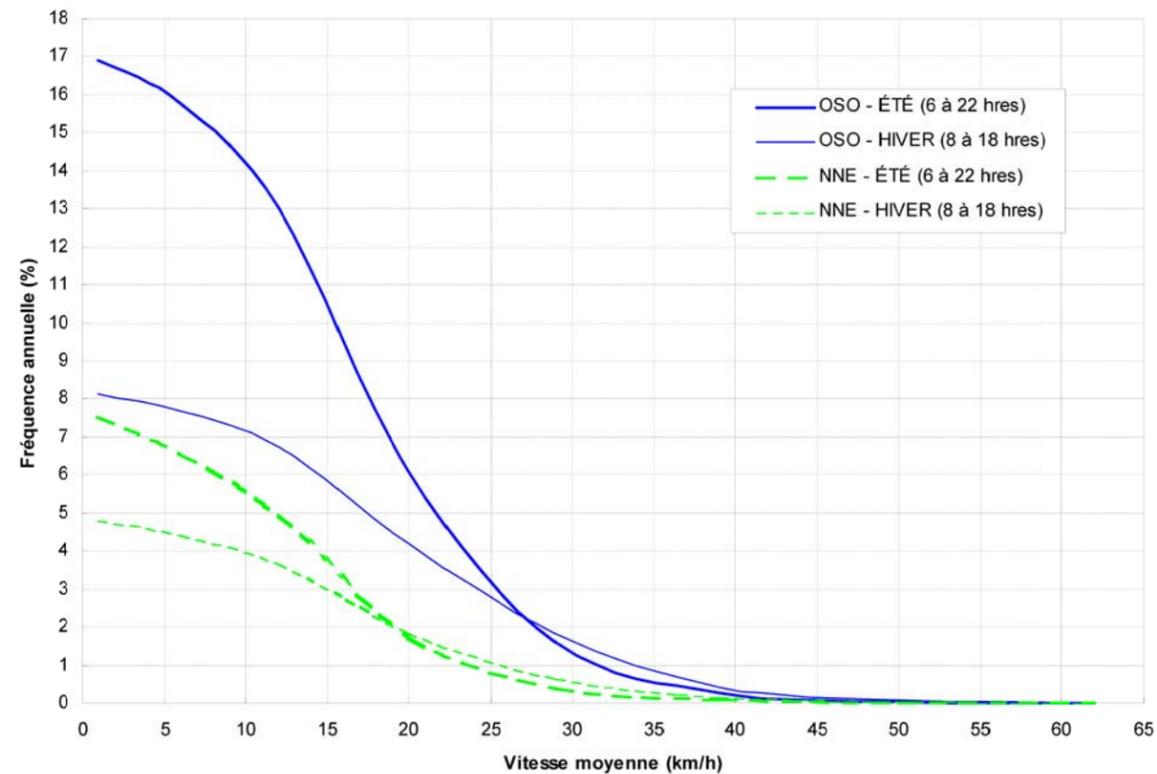
02



a) Roses des vents

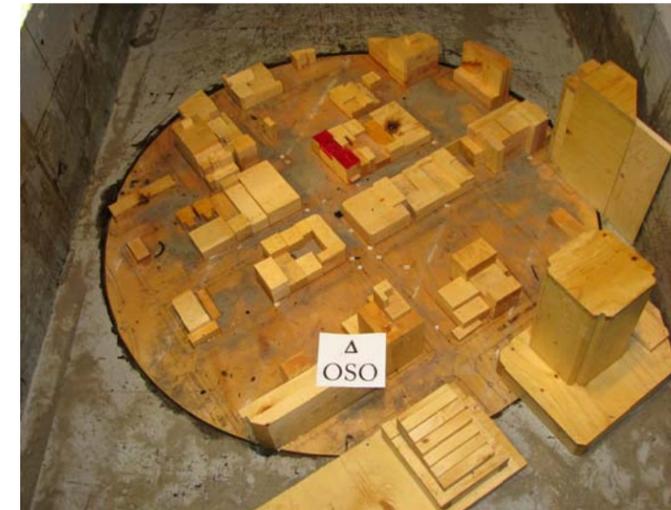
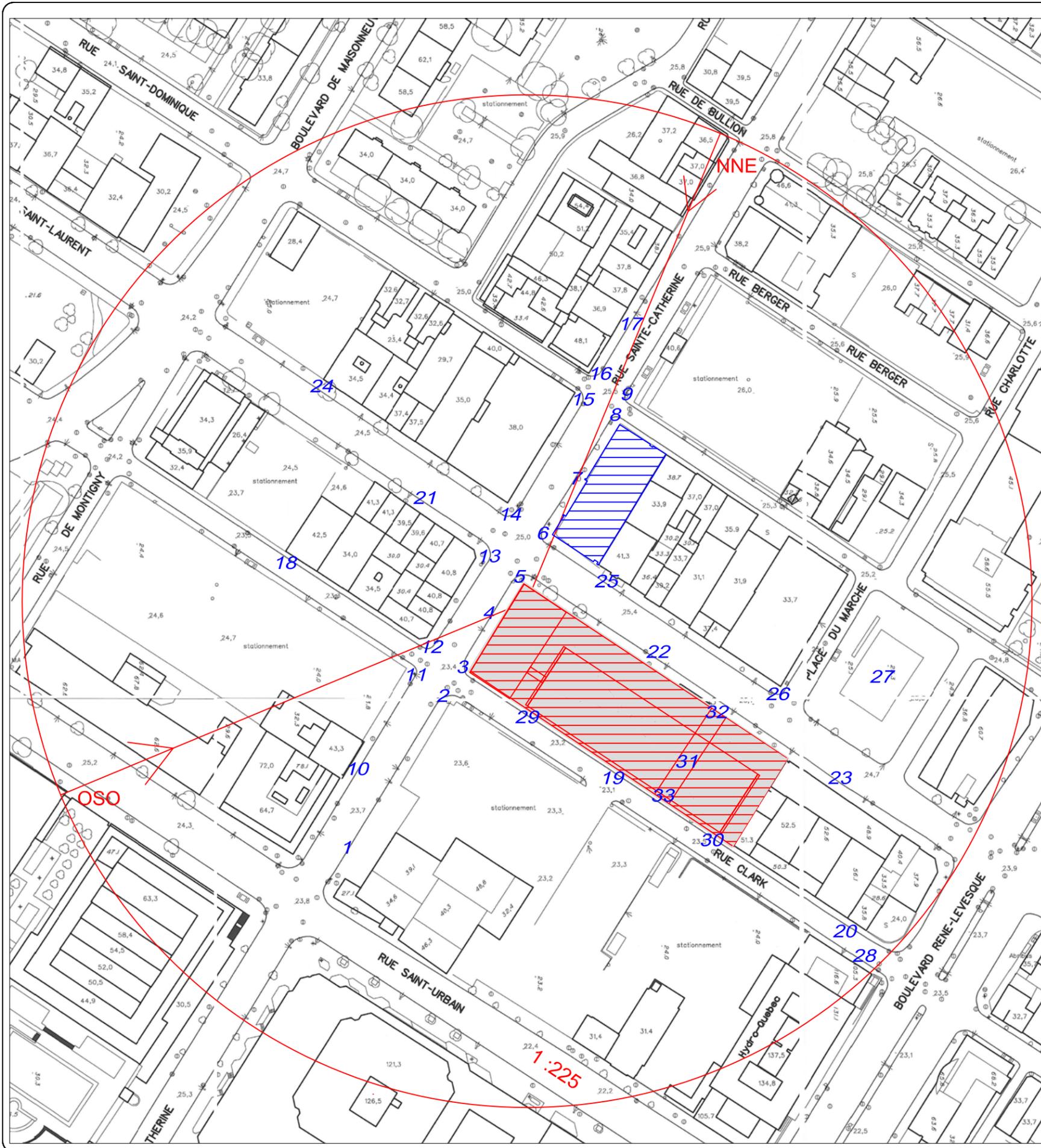


b) Vents des secteurs OSO et NNE -
Fréquence de dépassement des vitesses



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

Le Groupe-Conseil LaSalle  9620, rue Saint-Patrick LaSalle, Québec Canada, H8R 1R8		
SOCIÉTÉ DE DÉVELOPPEMENT ANGUS SDA		
PROJET: Projet du Quadrilatère Saint-Laurent Étude sur modèle réduit Impacts éoliens		
TITRE: Analyse statistique des vents ation météorologique de l'aéroport P.E. Trudeau (Dorval)		
DESSINÉ PAR: T.A.	RÉF. CLIENT: -	RÉF. LASALLE: 439-101
ÉCHELLE: -	DATE: Mars 2009	FIGURE: 3



Vue générale de la maquette conditions actuelles



Vue générale de la maquette conditions futures avec le 2-22 seulement

État initial pour l'étude des impacts éoliens



Vue générale de la maquette conditions futures avec le 2-22 et le Quadrilatère

État final ou futur pour l'étude des impacts éoliens

Légende

- 4 : Point de mesure
- : Quadrilatère
- : bâtiment du 2-22

Note

Les points 29 à 33 sont spécifiques aux conditions finales. Les points 31 à 33 caractérisent le passage couvert.

Le Groupe-Conseil LaSalle Inc.

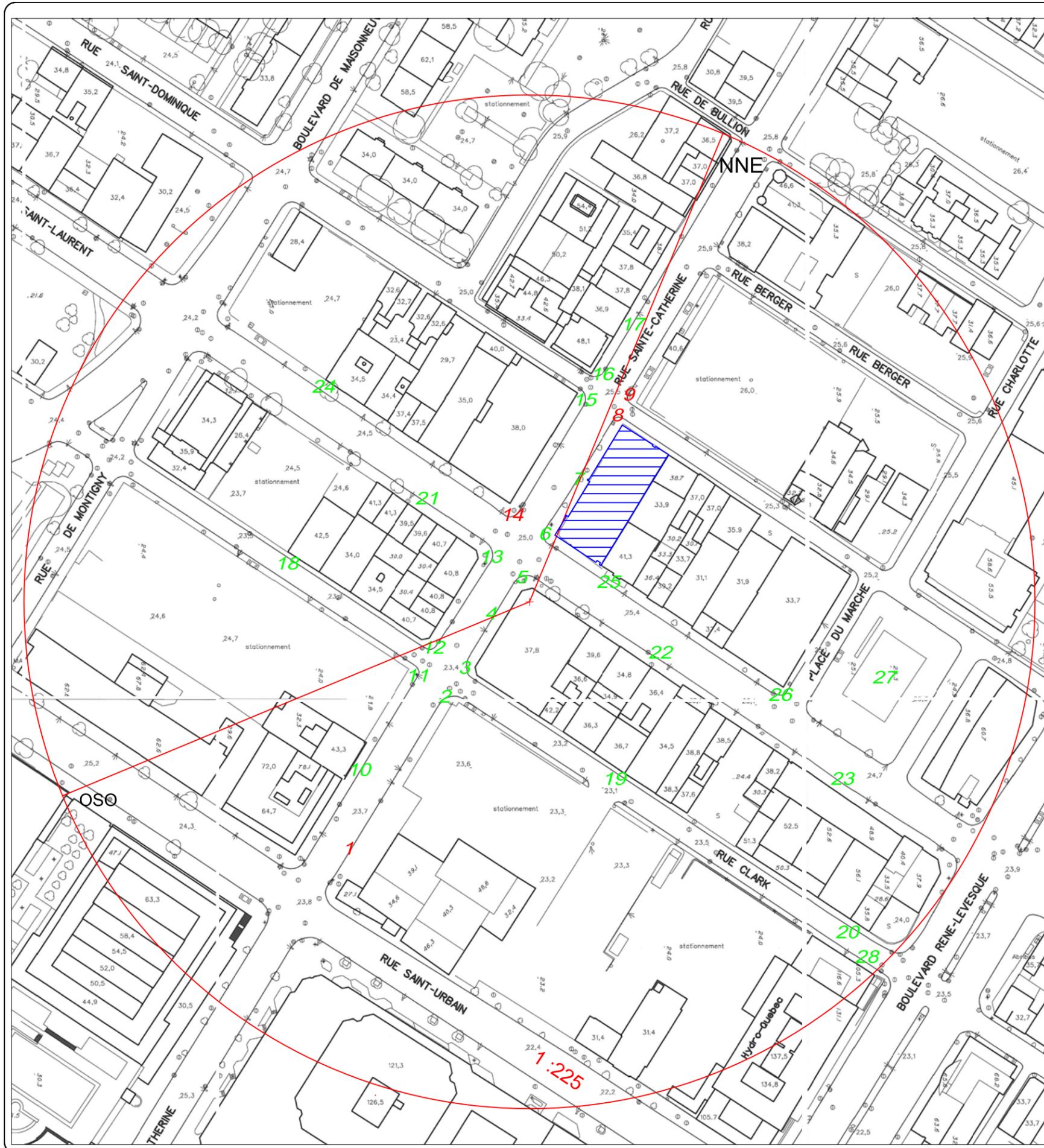
9620, rue Saint-Patrick
LaSalle, Québec
Canada H8R 1R8

Société de développement
ANGUS SDA

PROJET: Projet du Quadrilatère Saint-Laurent
Étude sur modèle réduit
Impacts éoliens

TITRE:
Limites du modèle
et bâtiments à l'étude

DESSINÉ PAR: T.A.	REF. CLIENT: xxx	REF. LASALLE: 439-101
ECHELLE: -	DATE: MARS 2009	FIGURE: 4



POINT	AVANT AMÉNAGEMENT				TOTAL	Critère
	OSO		NNE			
	survitesse	fréquence	survitesse	fréquence		
1	1.57	15.1%	1.24	4.5%	19.6%	15.0%
2	1.04	7.9%	0.87	2.0%	9.9%	15.0%
3	1.06	8.3%	0.98	2.7%	11.0%	15.0%
4	0.92	5.8%	0.96	2.6%	8.4%	15.0%
5	1.08	8.6%	0.87	2.0%	10.7%	15.0%
6	1.22	10.7%	0.92	2.2%	12.9%	15.0%
7	1.03	7.8%	0.79	1.6%	9.4%	15.0%
8	1.75	16.8%	1.08	3.5%	20.3%	15.0%
9	1.84	17.6%	0.82	1.8%	19.4%	15.0%
10	0.66	2.3%	1.21	4.3%	6.6%	15.0%
11	1.18	10.1%	0.67	0.9%	11.1%	15.0%
12	1.04	7.9%	0.45	0.1%	8.1%	15.0%
13	1.35	12.2%	0.60	0.6%	12.9%	15.0%
14	1.46	13.7%	0.86	2.0%	15.7%	15.0%
15	1.35	12.2%	0.85	1.9%	14.1%	15.0%
16	1.34	12.1%	0.91	2.2%	14.3%	15.0%
17	1.15	9.7%	0.79	1.6%	11.3%	15.0%
18	1.27	11.3%	0.70	1.1%	12.4%	25.0%
19	0.65	2.2%	0.76	1.5%	3.7%	25.0%
20	0.99	7.0%	1.34	5.0%	12.0%	25.0%
21	1.34	12.1%	0.48	0.2%	12.3%	15.0%
22	1.32	11.9%	0.47	0.2%	12.1%	15.0%
23	0.79	4.2%	0.62	0.6%	4.8%	15.0%
24	0.87	5.3%	0.44	0.1%	5.4%	15.0%
25	1.38	12.5%	0.34	0.0%	12.5%	15.0%
26	1.26	11.2%	0.59	0.6%	11.7%	15.0%
27	0.88	5.3%	0.58	0.5%	5.9%	10.0%
28	1.63	15.8%	0.85	1.9%	17.7%	25.0%

Tableau des fréquences d'inconfort

Légende

 : bâtiment du 2-22

 Critère respecté

 Critère excédé

Le Groupe-Conseil LaSalle Inc.

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

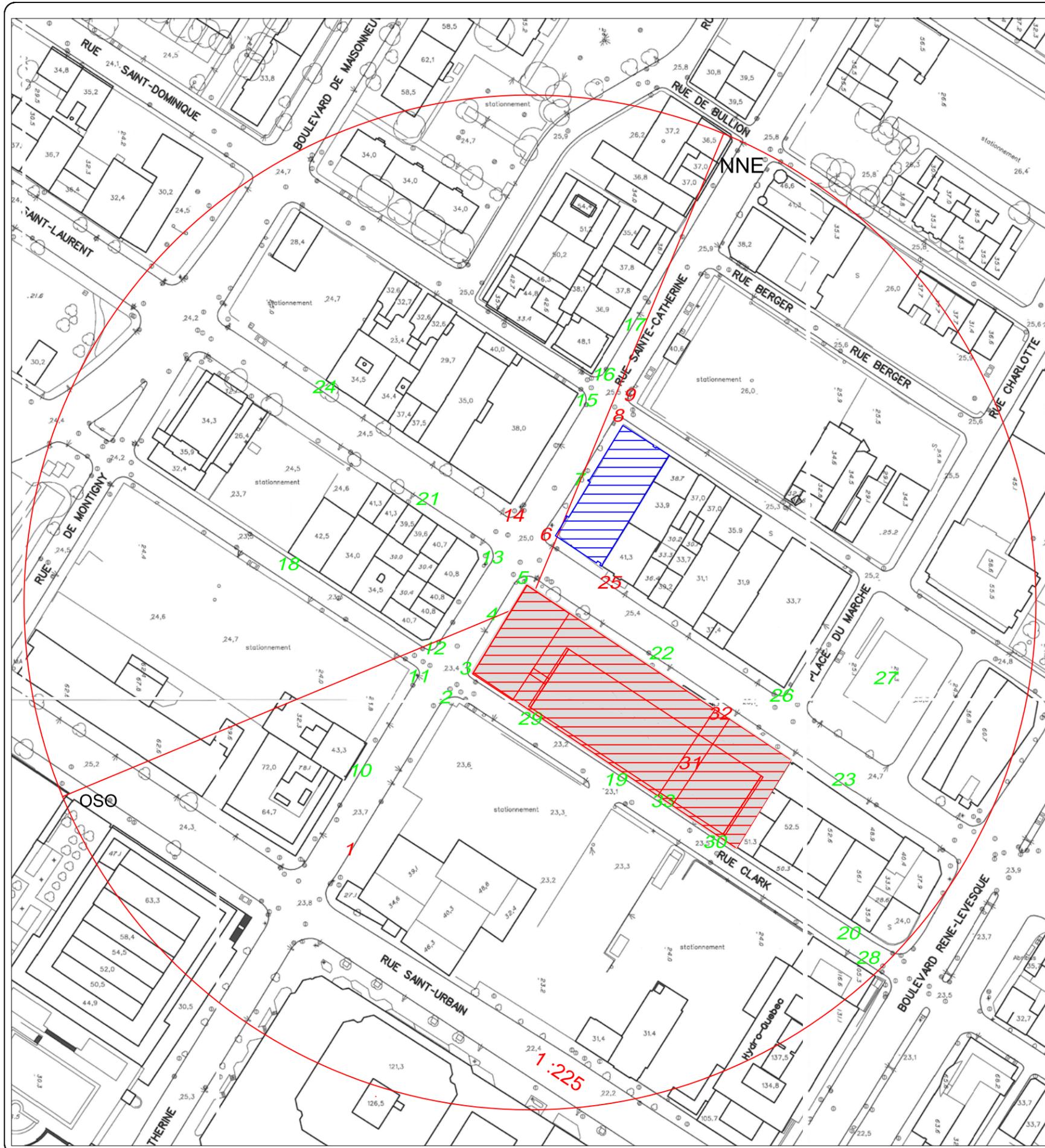
Société de développement
ANGUS SDA

PROJET: Projet du Quadrilatère Saint-Laurent
Étude sur modèle réduit
Impacts éoliens

TITRE:
Fréquence d'inconfort
Conditions Initiales

DESSINÉ PAR: T.A.	REF. CLIENT: xxx	REF. LASALLE: 439-101
----------------------	---------------------	--------------------------

ECHELLE: -	DATE: MARS 2009	FIGURE: 5
---------------	--------------------	---------------------



POINT	APRÈS AMÉNAGEMENT				TOTAL	Critère
	OSO		NNE			
	survitesse	fréquence	survitesse	fréquence		
1	1.38	12.7%	2.00	8.3%	21.0%	15.0%
2	0.83	4.7%	1.48	5.9%	10.6%	15.0%
3	1.10	8.9%	1.37	5.1%	14.0%	15.0%
4	0.53	1.1%	0.63	0.7%	1.7%	15.0%
5	0.86	5.1%	1.59	6.6%	11.7%	15.0%
6	1.32	11.9%	1.06	3.3%	15.3%	15.0%
7	0.80	4.3%	0.58	0.5%	4.8%	15.0%
8	1.47	13.9%	1.08	3.5%	17.4%	15.0%
9	1.59	15.3%	0.78	1.5%	16.9%	15.0%
10	0.57	1.4%	1.06	3.3%	4.8%	15.0%
11	0.89	5.5%	1.09	3.6%	9.1%	15.0%
12	0.80	4.4%	1.08	3.5%	7.9%	15.0%
13	0.99	6.9%	1.07	3.4%	10.4%	15.0%
14	1.44	13.5%	0.95	2.5%	15.9%	15.0%
15	1.31	11.7%	0.67	0.9%	12.6%	15.0%
16	1.35	12.2%	0.94	2.4%	14.6%	15.0%
17	0.80	4.4%	0.81	1.7%	6.1%	15.0%
18	0.91	5.7%	0.57	0.5%	6.1%	25.0%
19	0.77	3.9%	0.73	1.3%	5.2%	25.0%
20	1.54	14.8%	1.62	6.7%	21.5%	25.0%
21	1.14	9.5%	1.00	2.9%	12.4%	15.0%
22	1.02	7.6%	0.65	0.8%	8.4%	15.0%
23	0.53	1.1%	1.12	3.8%	4.8%	15.0%
24	1.09	8.8%	0.82	1.8%	10.5%	15.0%
25	1.67	16.2%	0.98	2.7%	18.9%	15.0%
26	1.01	7.3%	1.00	2.9%	10.2%	15.0%
27	0.76	3.8%	0.83	1.9%	5.6%	10.0%
28	1.83	17.5%	0.84	1.9%	19.4%	25.0%
29	1.00	7.2%	0.74	1.3%	8.5%	25.0%
30	1.02	7.5%	0.88	2.1%	9.5%	25.0%
31	2.14	19.6%	1.69	7.1%	26.7%	25.0%
32	1.52	14.5%	0.88	2.1%	16.6%	15.0%
33	1.29	11.5%	1.43	5.6%	17.1%	25.0%

Tableau des fréquences d'inconfort

Légende

-  : Quadrilatère
-  : bâtiment du 2-22

Note :

Le point 31 est situé dans le passage couvert, incorporé dans le nouveau bâtiment, qui relie la rue Clark et le boulevard Saint-Laurent. Les points 32 et 33 sont aux deux extrémités.

4 Critère respecté

4 Critère excédé

Le Groupe-Conseil LaSalle Inc.

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

Société de développement
ANGUS SDA

PROJET: Projet du Quadrilatère Saint-Laurent
Étude sur modèle réduit
Impacts éoliens

TITRE:
Fréquence d'inconfort
Conditions futures

DESSINÉ PAR: T.A. RÉF. CLIENT: xxx RÉF. LASALLE: 439-101

ÉCHELLE: - DATE: MARS 2009 FIGURE: 6