

Département de génie du bâtiment et des génies civil et de l'environnement de l'Université Concordia

**Étude sur l'environnement éolien du
développement Viger
Montréal, Québec**

S o u m i s à

4348931 Canada Inc.
2000, rue Peel, bureau 860
Montréal (Québec) H3A 2W5

p a r

T. Stathopoulos, Ph.D., ing.

e t

P. Karava

Juin 2007

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Résumé	
Introduction	
Considérations générales	
Méthodologie et analyse	
Résultats d'essai	
Résumé des données éoliennes au niveau piétonnier	
Comparaison des résultats d'essai avec les critères éoliens de Montréal	
Conclusions	
Références	
Figures	
Annexe A	

RÉSUMÉ

M. Edward Hercun, du Groupe Arcop, et M. Chuck McNabney, de Hines Inc., ont demandé au Centre des études sur le bâtiment (CÉB) du Département de génie du bâtiment et des génies civil et de l'environnement de l'Université Concordia d'évaluer l'incidence du développement projeté (développement Viger) entre les rues Berri, Notre-Dame, St.-Christophe et St.-Antoine, à l'est du Vieux-Montréal, sur l'environnement éolien des piétons. Cette étude a été réalisée dans le Laboratoire d'aérodynamique des bâtiments de l'Université Concordia à l'aide d'une maquette à l'échelle de 1:500 des immeubles projetés et des structures avoisinantes. Les conditions éoliennes au niveau des trottoirs entourant les immeubles du complexe ont été évaluées en termes de vitesses moyennes et maximales (rafale). Les configurations suivantes ont été retenues aux fins de l'étude :

1. conditions actuelles;
2. conditions avec le développement projeté.

La maquette a été installée sur le plateau rotatif de la soufflerie, et la vitesse des vents a été mesurée au niveau piétonnier en 26 points différents. Nous avons mesuré les vents du sud-ouest, de l'ouest et du nord-est, car ce sont ceux qui atteignent les vitesses les plus élevées dans la région de Montréal. Nous avons ensuite comparé nos résultats d'essai avec les données météorologiques enregistrées à l'aéroport Pierre-Elliott-Trudeau (Dorval) afin d'établir la probabilité statistique que certains vents atteignent des vitesses plus élevées en moyenne une fois par mois, compte tenu des conditions éoliennes aussi bien estivales qu'hivernales.

Les résultats obtenus indiquent que le complexe immobilier projeté ne modifiera pas de façon significative les conditions éoliennes actuelles. L'application des critères de confort piétonnier de Melbourne révèle par ailleurs des conditions de vent généralement acceptables à la plupart des points de prélèvement entourant les immeubles projetés. Les rafales maximales prévisibles une fois par mois au cours de l'hiver seraient d'environ 40,6 km/h au point de prélèvement 21, à l'entrée de la rue St.-Christophe. Dans les conditions actuelles (en l'absence du nouveau complexe immobilier), les rafales mensuelles maximales au point 21 sont de 27,4 km/h. Ces vitesses éoliennes sont de loin inférieures à la limite de vitesse dangereuse de Melbourne, qui est de 83 km/h.

Les conditions éoliennes autour du développement Viger satisferaient également aux normes d'acceptabilité de la Ville de Montréal pour les artères et les espaces publics environnants. Le règlement municipal stipule que la vitesse moyenne des vents sur les **grandes artères** ne doit pas dépasser 14,4 km/h plus de 15 % du temps au cours des mois d'hiver. À l'emplacement le plus exposé aux vents (point de prélèvement 21), on s'attend à enregistrer des vitesses éoliennes supérieures à 14,4 km/h moins de 9 % du temps en période hivernale. Le règlement municipal stipule par ailleurs que la vitesse moyenne des vents dans les **parcs** ne doit pas dépasser 14,4 km/h plus de 10 % du temps au cours des mois d'hiver. À l'emplacement le plus exposé aux vents (point de prélèvement 24), on s'attend à enregistrer des vitesses éoliennes supérieures à 14,4 km/h environ 5 % du temps en période hivernale.

La probabilité de dépassement des limites de vent acceptables en été est moindre qu'en hiver, et ce, à tous les points de prélèvement, ce qui s'explique par un critère d'acceptabilité plus élevé (21,6 km/h) et la fréquence généralement réduite des grands vents en période estivale. Il s'ensuit que les critères de confort éolien seront respectés à tous les points de prélèvement à cette époque de l'année.

INTRODUCTION

M. Edward Hercun, du Groupe Arcop, et M. Chuck McNabney, de Hines Inc., ont demandé au Centre des études sur le bâtiment (CÉB) du Département de génie du bâtiment et des génies civil et de l'environnement de l'Université Concordia d'évaluer l'incidence du développement projeté (développement Viger) entre les rues Berri, Notre-Dame, St.-Christophe et St.-Antoine, à l'est du Vieux-Montréal, sur l'environnement éolien des piétons. La Figure 1 présente une vue en plan du projet.

Cette étude a été réalisée dans la soufflerie du Laboratoire d'aérodynamique des bâtiments de l'Université Concordia à l'aide d'une maquette à l'échelle de 1:500 des immeubles projetés et des structures avoisinantes. Les conditions éoliennes au niveau des trottoirs entourant le complexe projeté ont été évaluées en termes de vitesses moyennes et maximales (rafale). L'annexe A fournit plus de détails sur la soufflerie et sur ses capacités de simulation des conditions éoliennes.

Les configurations suivantes ont été retenues aux fins de l'étude :

1. conditions actuelles;
2. conditions avec le développement projeté.

Les modèles réduits des immeubles projetés ont été posés sur une maquette du secteur visé couvrant un rayon d'environ 400 m en grandeur réelle. Les conditions éoliennes sur les trottoirs entourant les immeubles ont ensuite été évaluées eu égard aux vents particulièrement dominants (dans la région de Montréal) de l'ouest, du sud-ouest et du nord-est. La Figure 1 indique l'emplacement des points de prélèvement.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

En général, les constructions n'engendrent des vents de vitesse élevée au sol que lorsqu'une partie importante de leur masse se trouve directement exposée aux écoulements éoliens. De fait, le problème est davantage lié à une telle exposition qu'à la hauteur des immeubles, dans la mesure où ceux-ci bloquent les vents violents qui soufflent en altitude et les détournent ainsi vers le sol. Les écarts entre les constructions peuvent également donner lieu à de grands vents au niveau piétonnier, car ils provoquent une accélération des vents provenant de certaines directions. Compte tenu de l'état actuel de la

technologie, une étude en soufflerie par le biais d'installations à même de simuler le comportement naturel des vents constitue le meilleur moyen d'évaluer les conditions éoliennes.

MÉTHODOLOGIE ET ANALYSE

La maquette à l'échelle de 1 :500 du développement Viger et des structures environnantes dans un rayon de 400 m a été installée sur le plateau rotatif de la soufflerie à couche limite. Les Figures 2a et 2b présentent des photographies de la maquette en soufflerie et des structures environnantes. La majorité des immeubles autour du secteur visé ne sont pas très élevés, exception faite de plusieurs constructions en hauteur du centre-ville même, dont les tours en amont de 34 étages de Bell Canada et de la Banque nationale, par ailleurs érigées en un point où le niveau du sol est plus élevé en raison de la topographie (pente) des lieux. Ensemble, ces deux tours, de même que l'immeuble de 47 étages de la Bourse de Montréal à distance du nouveau complexe dans l'axe sud-sud-ouest, pourraient influencer sur les conditions éoliennes loin en amont du projet. Cependant, compte tenu de la distance à laquelle ils se trouvent, ces immeubles risquent peu d'affecter le microclimat du secteur de développement projeté.

Les vitesses de rafale ont été mesurées en 26 points autour du nouveau complexe, de même que dans les conditions actuelles (sans les constructions projetées). Les mesures éoliennes au niveau piétonnier ont été obtenues au moyen d'un thermo-anémomètre placé à 2 m (équivalent grandeur réelle) au-dessus du sol. La vitesse moyenne de référence en soufflerie à une hauteur correspondant à 300 m en grandeur réelle (U_{300}) a aussi été mesurée. Le ratio \hat{U}_{locale}/U_{300} a ensuite été calculé pour les vents de chacune des directions, \hat{U}_{locale} représentant la vitesse de rafale au niveau du sol, et les résultats d'essai ont été comparés aux données météorologiques enregistrées à l'aéroport international Trudeau (Dorval) sur une période de 10 ans afin d'établir la récurrence probable de certaines vitesses de vent à chaque point de prélèvement. Un essai de visualisation de l'écoulement à la poudre (méthode qualitative) n'a été effectué qu'au point de prélèvement 18, dans la mesure où le thermo-anémomètre ne pouvait atteindre ce point en raison de la proximité marquée des immeubles environnants.

Les données de Trudeau (Dorval), qui portent sur la vitesse horaire moyenne des vents en terrain dégagé et à une hauteur de 10 m, ont servi à définir les lois de distribution de la vitesse et de la direction des vents à Montréal. Ces données ont ensuite été ajustées pour une hauteur de 300 m à des fins

d'exposition appropriées selon la direction du vent. Dans le cas des quadrants sud-ouest et ouest, on présume d'une exposition urbaine en raison de la présence de hautes constructions au vent (SSO, SO, OSO) et du mont Royal (O, ONO). D'après les formules suivantes :

$$U_{300,\text{terrain dégagé}} = U_{10,\text{Dorval}} (300/10)^{0,14}$$

et

$$U_{300,\text{urbain}} = U_{300,\text{terrain dégagé}} (300/520)^{0,33}$$

$U_{300,\text{urbain}} = 1,34 U_{10,\text{Dorval}}$ pour les quadrants sud-ouest et ouest.

Dans le cas du quadrant nord-est, les immeubles au vent par rapport au complexe projeté sont pour la plupart moyennement ou peu élevés. En conséquence, une exposition urbaine a été utilisée pour les vents NNE, NE et ENE. À l'aide d'une estimation fondée sur la loi de puissance :

$$U_{300,\text{urbain}} = U_{300,\text{terrain dégagé}} (300/420)^{0,24}$$

un facteur de 1,49 a été utilisé pour ajuster les données éoliennes de Trudeau (Dorval) obtenues à une hauteur de 10 m à la hauteur de référence de 300 m au-dessus d'un milieu suburbain.

Les lois de distribution de la vitesse et de la direction des vents en milieu suburbain et à une hauteur de 300 m, en été comme en hiver, sont illustrées aux Figures 3 et 4, respectivement. Ces distributions, fondées sur les données obtenues pour les heures de clarté (0700-1900), révèlent que les vents forts viennent le plus souvent des directions O, OSO et SO, et se manifestent plus fréquemment en hiver qu'en été. Ces figures montrent en outre que la probabilité de grands vents du nord-est est relativement élevée.

La probabilité de dépassement [$P(>)$] des vitesses acceptables une fois par mois et une fois par année est d'environ 10^{-2} et 10^{-3} , respectivement. Ainsi peut-on prévoir, à la lumière de la Figure 4, qu'à une hauteur de 300 m, un vent d'ouest dépassera les 48 km/h environ une fois par mois au cours de l'hiver.

Il convient de souligner que les Figures 3 et 4 ne tiennent pas compte de l'influence du mont Royal sur les conditions éoliennes à Montréal, car les courbes de probabilité obtenues reposent sur des mesures effectuées à l'aéroport Trudeau (Dorval). Or, la présence du mont Royal devrait réduire la probabilité de grands vents d'ouest à l'emplacement choisi, de sorte que les conclusions présentées relativement aux vents d'ouest peuvent, dans l'ensemble, être tenues pour prudentes.

Les critères de Melbourne (Réf. 1), présentés au Tableau 1, ont été retenus pour caractériser les conditions éoliennes relatives au confort des piétons. La vitesse maximale des vents eu égard au confort des piétons a été réduite à 32 km/h pour les mois d'hiver, de manière à tenir compte de l'influence de la température sur le confort des piétons.

Conformément à la recommandation d'Isyumov et Davenport (Réf. 2), la vitesse maximale des vents d'été devrait pour sa part être réduite d'une unité Beaufort par tranche de réduction de la température de 20 °C.

Le second critère de Melbourne indique que les conditions éoliennes deviennent dangereuses lorsque la vitesse de rafale dépasse 83 km/h plus d'une fois par année, les piétons pouvant être emportés par un tel vent.

Tableau 1 – Critères de confort piétonnier de Melbourne (Réf. 1)

Condition éolienne	\hat{U}_{locale}	$P(>\hat{U}_{\text{locale}})$
Acceptable pour la marche		
en été	48 km/h	0,01 (une fois par mois)
en hiver	32 km/h	0,01 (une fois par mois)
Dangereuse	83 km/h	0,001 (une fois par année)

RÉSULTATS D'ESSAI

Les données obtenues aux points de prélèvement choisis dans les conditions actuelles et avec le complexe projeté sont représentées sous forme de diagrammes polaires aux Figures 5 à 11. Tel que recommandé par Melbourne (Réf. 1), ces données sont exprimées sous forme de ratios de pression dynamique $(\hat{U}_{\text{locale}}/U_{300})^2$. Les critères éoliens de Melbourne applicables aux **conditions hivernales** ont aussi été incorporés aux diagrammes sous forme de courbes obtenues par l'application des lois de distribution présentées à la Figure 4, ces courbes révélant les limites de pression éolienne acceptable pour la marche et dangereuse.

Les Figures 5 à 11 montrent que le développement Viger n'engendrera de vents violents à aucun des points de prélèvement, bien que les vents puissent à l'occasion être incommodants en certains points.

À titre d'exemple, un vent d'ouest pourrait par moment créer des conditions inconfortables au point 21 en présence des nouvelles constructions. Il convient de noter que par vent d'ouest, les résultats obtenus à l'égard du **développement projeté** aux points de prélèvement 15, 21 et 23 étaient plus élevés que dans les conditions actuelles, ce qui pourrait à l'occasion y causer un certain inconfort éolien. Il convient également de noter que par vent d'ouest-sud-ouest, les résultats obtenus dans les **conditions actuelles** aux points de prélèvement 3, 4 et 22 étaient plus élevés qu'en présence du nouveau complexe, et légèrement supérieurs aux critères de confort de Melbourne. En ce qui concerne le point de prélèvement 18, les essais de visualisation ont révélé que les conditions éoliennes y étaient très peu influencées par l'absence ou la présence du développement projeté. Cette influence négligeable s'explique sans doute par la géométrie et la configuration particulières des immeubles projetés.

Résumé des données éoliennes au niveau piétonnier

Le Tableau 2 présente les vitesses de rafale les plus élevées enregistrées à tous les points de prélèvement, d'abord dans l'environnement actuel, puis après l'érection des immeubles projetés, et ce, en été comme en hiver, respectivement. On peut s'attendre à ce que les vitesses obtenues soient en moyenne dépassées environ une fois par mois. Les directions de vent critiques sont également indiquées pour chaque emplacement.

Les résultats indiquent que la construction du complexe projeté aurait relativement peu d'effets nuisibles sur l'environnement éolien des piétons. La vitesse de rafale maximale susceptible d'être enregistrée une fois par mois au cours de l'hiver est d'environ 43 km/h. On s'attend à ce que cette vitesse éolienne soit atteinte par vent d'ouest au point de prélèvement 21, soit à l'entrée de la rue St.-Christophe. Dans les conditions actuelles (en l'absence du nouveau développement), la vitesse de rafale maximale au cours des mois d'hiver est de 27,4 km/h à cet emplacement.

En hiver, des vitesses de rafale modérément élevées (> 32 km/h) sont également prévisibles en moyenne une fois par mois sur les trottoirs des rues St.-Hubert (pt 15) et St.-Christophe (pt 23) de même

que dans le parc adjacent (pt 24) après la construction du développement Viger. On notera que les valeurs obtenues sont de loin inférieures à la limite de vitesse dangereuse de Melbourne, qui est de 83 km/h. Le critère d'acceptabilité pour la marche (Tableau 1) ne serait dépassé qu'aux points de prélèvement 15, 21, 23 et 24 en hiver, et en aucun point en été.

Tableau 2 – Vitesses éoliennes maximales prévisibles en hiver et en été aux différents points de prélèvement avec probabilité de dépassement d'une fois par mois

Emplac.	Configuration*	HIVER		ÉTÉ	
		U _{locale} (km/h)	Direction du vent	U _{locale} (km/h)	Direction du vent
1	A	22,2	O	17,4	O
	B	22,5	OSO	17,7	OSO
2	A	31,8	OSO	27,5	SO
	B	26,7	OSO	25,1	SO
3	A	41,6	OSO	32,8	OSO
	B	30,6	OSO	32,8	SO
4	A	34,7	OSO	27,3	OSO
	B	30,4	OSO	27,3	SO
5	A	17,7	O	16,3	ONO
	B	28,4	O	22,2	O
6	A	27,7	OSO	21,8	OSO
	B	25,6	OSO	21,8	SO
7	A	25,4	OSO	20,0	OSO
	B	27,4	OSO	21,6	OSO
8	A	21,5	OSO	17,0	OSO
	B	24,2	OSO	19,1	OSO
9	A	19,4	OSO	17,5	ONO
	B	20,6	NE	16,1	ONO
10	A	19,1	O	14,9	O
	B	26,5	O	20,7	O
11	A	26,1	O	20,4	O
	B	20,9	O	16,3	O
12	A	30,5	OSO	24,2	SO
	B	29,9	OSO	24,0	SO

*A = Conditions actuelles

B = Développement projeté

Tableau 2 (suite) – Vitesses éoliennes maximales prévisibles en hiver et en été aux différents points de prélèvement avec probabilité de dépassement d'une fois par mois

Emplac.	Configuration*	HIVER		ÉTÉ	
		U _{locale} (km/h)	Direction du vent	U _{locale} (km/h)	Direction du vent
13	A	25,1	O	19,6	O
	B	29,0	OSO	22,8	OSO
14	A	25,0	OSO	19,7	OSO
	B	29,2	OSO	23,1	OSO
15	A	35,9	O	28,1	O
	B	36,2	O	28,3	O
16	A	19,9	OSO	16,3	SO
	B	25,9	O	20,2	O
17	A	24,8	OSO	19,5	OSO
	B	20,2	O	19,5	SO
18	A	-	-	-	-
	B	-	-	-	-
19	A	21,3	O	16,6	O
	B	23,8	O	21,3	ONO
20	A	31,2	O	24,4	O
	B	28,2	O	22,0	O
21	A	27,4	OSO	21,6	OSO
	B	40,6	O	31,8	O
22	A	33,2	O	25,9	O
	B	23,6	O	18,4	O
23	A	33,8	O	26,4	O
	B	36,1	O	29,8	ONO
24	A	35,5	OSO	28,1	SO
	B	33,9	OSO	28,0	SO

*A = Conditions actuelles

B = Développement projeté

Tableau 2 (suite) – Vitesses éoliennes maximales prévisibles en hiver et en été aux différents points de prélèvement avec probabilité de dépassement d'une fois par mois

Emplac.	Configuration*	HIVER		ÉTÉ	
		U _{locale} (km/h)	Direction du vent	U _{locale} (km/h)	Direction du vent
25	A	29,4	OSO	26,5	SO
	B	27,3	OSO	23,1	SO
26	A	25,1	O	19,6	O
	B	26,8	O	20,9	O

*A = Conditions actuelles

B = Développement projeté

COMPARAISON DES RÉSULTATS D'ESSAI AVEC LES CRITÈRES ÉOLIENS DE MONTRÉAL

Les critères de confort éolien de Montréal (article 39 des *Règlements refondus de la Ville de Montréal*) ont trait à la **vitesse moyenne** des vents plutôt qu'à leur **vitesse de rafale**. La vitesse critique moyenne des vents (U_{locale}) pour l'hiver et pour l'été est fixée à 14,4 km/h (4 m/s) et à 21,6 km/h (6 m/s), respectivement, et les critères limites d'acceptabilité quant au dépassement de ces valeurs sont définis comme suit :

Emplacement	Probabilité de dépassement de U _{locale}
Grandes artères	15 %
Rues secondaires	25 %
Parcs	10 %

Ainsi que nous l'avons déjà mentionné, les données obtenues en soufflerie sont exprimées sous forme de ratios de pression dynamique $(\hat{U}_{locale}/U_{300})^2$, où \hat{U}_{locale} représente la vitesse de rafale locale et U₃₀₀, la vitesse moyenne de référence à une hauteur de 300 m en grandeur réelle et en milieu urbain ou suburbain. À partir de ces données, le ratio de pression dynamique locale moyenne $(U_{locale}/U_{300})^2$ a été calculé en présumant que la vitesse de pointe est deux fois plus élevée que la vitesse moyenne, ou U_{locale} (voir article 38.5). Compte tenu de la probabilité de dépassement de U₃₀₀, la probabilité de dépassement

de toute vitesse locale moyenne — soit, dans le cas qui nous occupe, 14,4 km/h (4 m/s) en période hivernale — peut être établie pour chaque direction éolienne. La probabilité de dépassement totale s'obtient alors en additionnant tout simplement les probabilités calculées pour chaque direction éolienne.

À titre d'exemple, le ratio de pression dynamique de pointe par vent d'ouest obtenu au point 21 en présence des immeubles projetés est de 0,72 (voir Figure 9). En extrayant la racine carrée de cette valeur et en divisant le résultat par 2, nous obtenons le ratio de pression dynamique locale moyenne $U_{\text{locale}}/U_{300} = 0,424$; et, en fixant la valeur de U_{locale} à 14,4 km/h, nous obtenons la vitesse de référence critique $U_{300} = 33,9$ km/h pour cette direction éolienne. Compte tenu des données éoliennes enregistrées à l'aéroport Trudeau (Dorval), la probabilité de dépassement de cette vitesse de référence pendant les heures de clarté (0700-1900) et au cours des mois d'hiver (octobre-mars) est d'environ 0,032 (3,2 %). En reprenant cette procédure avec les données enregistrées pour les autres directions éoliennes, nous obtenons une probabilité de dépassement totale de 7,8 %. Dans le cas des directions pour lesquelles nous n'avons pas effectué de prélèvements, la probabilité que $U_{\text{locale}} > 14,4$ km/h devrait être très faible — de l'ordre de 1 %. Il en résulte que la probabilité totale que $U_{\text{locale}} > 14,4$ km/h au point 21 est d'environ 8,8 %, tel qu'indiqué par le Tableau 3. En conséquence, le critère de confort éolien sur les grandes artères de Montréal en période hivernale ($U_{\text{locale}} > 14,4$ km/h moins de 15 % du temps) se voit respecté au point 21. Par ailleurs, étant donné que le point 21 se trouve être le plus exposé aux vents dans le secteur du projet, le critère de la Ville est également respecté à tous les autres points de prélèvement et pour toutes les configurations mises à l'essai dans le cadre de la présente étude. Une analyse comparable réalisée au point de prélèvement du parc adjacent (voir Tableau 4) ayant affiché les plus fortes rafales mensuelles (pt 24) a révélé qu'une condition de $U_{\text{locale}} > 14,4$ km/h pouvait survenir environ 5 % du temps au cours de l'hiver, ce qui est bien en deçà du critère de Montréal pour les parcs (10 %).

**Tableau 3 – Probabilités de dépassement du critère éolien de la Ville de Montréal en hiver
($U_{locale} > 14,4$ km/h) au point 21 avec le développement projeté.**

Direction du vent	$(\hat{U}_{locale}/U_{300})^2$	\hat{U}_{locale}/U_{300}	U_{locale}/U_{300}	U_{300} (km/h) @ ($U_{locale}=14,4$ km/h)	Probabilité ($U_{locale}>14,4$ km/h)
NNE	0,22	0,469	0,235	61,4	0,00050
NE	0,37	0,608	0,304	47,3	0,00450
ENE	0,28	0,529	0,265	54,4	0,00015
SSO	0,12	0,346	0,173	83,1	0,00000
SO	0,22	0,469	0,235	61,4	0,00200
OSO	0,48	0,693	0,346	41,6	0,03000
O	0,72	0,849	0,424	33,9	0,03200
ONO	0,62	0,787	0,394	36,6	0,00850
autres directions					0,01000
Total :					0,08765

**Tableau 4 – Probabilités de dépassement du critère éolien de la Ville de Montréal en hiver
($U_{locale} > 14,4$ km/h) au point 24 avec le développement projeté.**

Direction du vent	$(\hat{U}_{locale}/U_{300})^2$	\hat{U}_{locale}/U_{300}	U_{locale}/U_{300}	U_{300} (km/h) @ ($U_{locale}=14,4$ km/h)	Probabilité ($U_{locale}>14,4$ km/h)
NNE	0,43	0,656	0,328	43,9	0,0027
NE	0,55	0,742	0,371	38,8	0,0090
ENE	0,45	0,671	0,335	42,9	0,0006
SSO	0,43	0,656	0,328	43,9	0,0005
SO	0,39	0,624	0,312	46,1	0,0060
OSO	0,47	0,686	0,343	42,0	0,0200
O	0,19	0,436	0,218	66,1	0,0008
ONO	0,23	0,480	0,240	60,1	0,0007
autres directions					0,0100
Total :					0,0503

L'exemple précédent démontre que, pour une direction éolienne donnée, il y a peu de chance qu'on enregistre de fortes pointes de vent au niveau du sol à moins que le ratio $(\hat{U}_{\text{locale}}/U_{300})^2$ soit élevé et que la probabilité de grands vents venant de cette direction soit également élevée. Quant au critère de confort éolien en période estivale, l'analyse des données recueillies montre qu'il est aussi respecté à tous les points de prélèvement. Compte tenu d'une hausse de la vitesse éolienne acceptable (21,6 km/h) et d'une baisse de la fréquence des grands vents à cette époque de l'année, la probabilité de dépassement du critère estival est en effet moindre qu'en hiver, et ce, à tous les points de prélèvement.

En ce qui a trait au critère de la Ville applicable aux conditions éoliennes dangereuses (article 40 des *Règlements refondus de la Ville de Montréal*), les conditions éoliennes autour des immeubles projetés se sont révélées satisfaisantes. Les résultats obtenus en soufflerie montrent en effet que les pointes de vent assorties d'une probabilité de dépassement du critère de 0,01 (une fois par mois) sont nettement inférieures à la limite de 72 km/h (20 m/s), et ce, à tous les points de prélèvement (voir Tableau 2). On s'attend par ailleurs à ce que la vitesse de rafale maximale au cours des mois d'hiver soit d'environ 40,6 km/h au point 21.

L'incidence d'une construction par étapes susceptible de modifier les conditions éoliennes au niveau piétonnier sur une période restreinte soulève généralement des préoccupations dans les projets multi-immeubles. Cependant, dans le cas du développement Viger, les résultats indiquent que les critères de confort piétonnier sont largement respectés, de sorte qu'une construction par étape ne pose aucun problème.

Enfin, il convient de rappeler que les vitesses éoliennes prévues découlent de calculs statistiques, et que les conditions éoliennes réelles au cours d'une tempête donnée peuvent différer. De plus, l'éventuelle érection de nouveaux immeubles autour de l'emplacement retenu pourrait également influencer sur l'environnement éolien des piétons, un facteur dont la présente étude ne tient pas compte.

CONCLUSIONS

L'étude des conditions éoliennes dans le voisinage du projet de développement Viger révèle qu'au niveau piétonnier, elles satisferaient dans tous les cas aux critères de la Ville de Montréal. Nous en concluons que la construction de ce nouveau complexe aurait peu d'effets sur l'environnement éolien des

piétons. Les rafales maximales prévisibles une fois par mois au cours de l'hiver seraient en moyenne d'environ 40,6 km/h au point de prélèvement 21, à l'entrée de la rue St.-Christophe. Des mesures de protection pourraient être prises si ce facteur venait à être incommodant.

Il convient toutefois de rappeler que les conditions éoliennes autour du nouveau développement changeraient vraisemblablement advenant que de nouveaux immeubles soient construits dans les environs.

RÉFÉRENCES

1. Melbourne, W.H., « Criteria for Environmental Wind Conditions », *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 3, pp. 241-249, 1978.
2. Isyumov, N. et Davenport A.G., « The Ground Level Wind Environment in Built-up Areas », 4th International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, London, 1975.

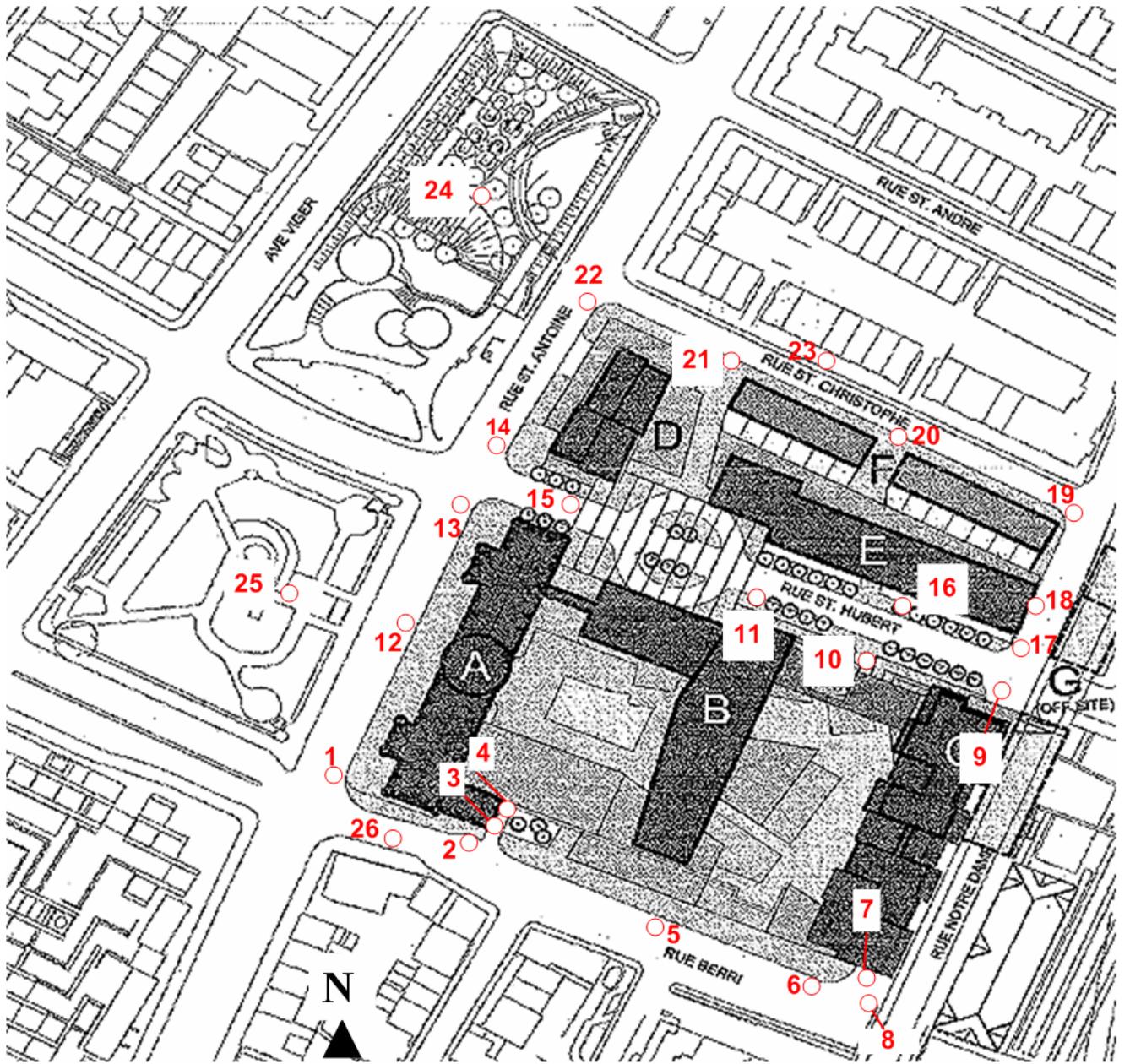
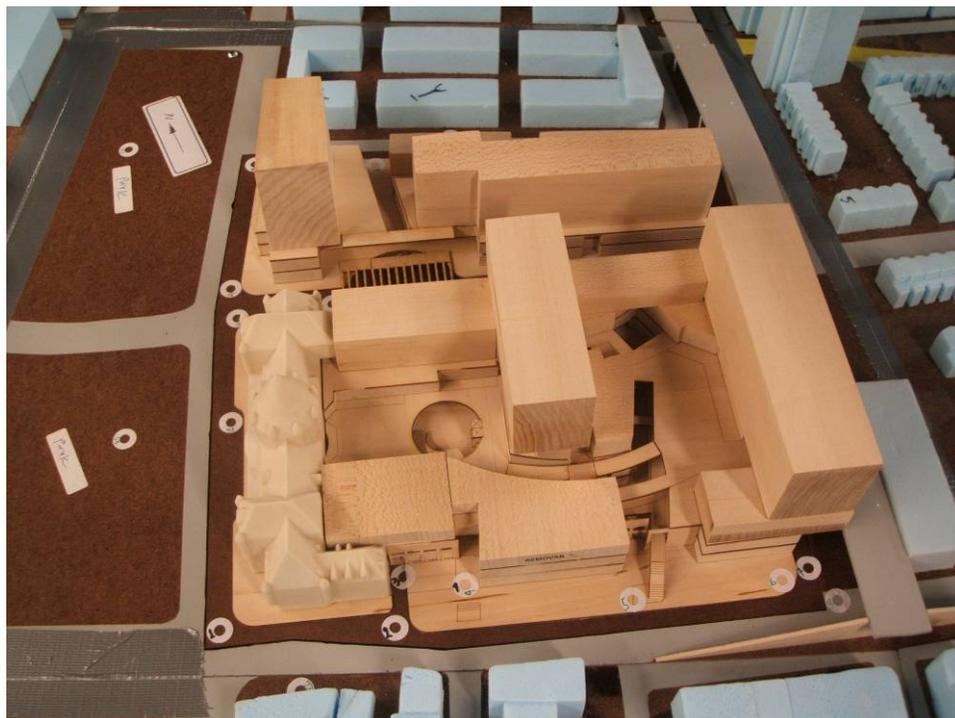


Figure 1 – Emplacement au sol du développement Viger et points de mesure.



a) Maquette du développement Viger et des environs dans la soufflerie par vent du nord.



b) Maquette du développement Viger (vue rapprochée).

Figure 2 – Photographies des installations expérimentales et du modèle en soufflerie.

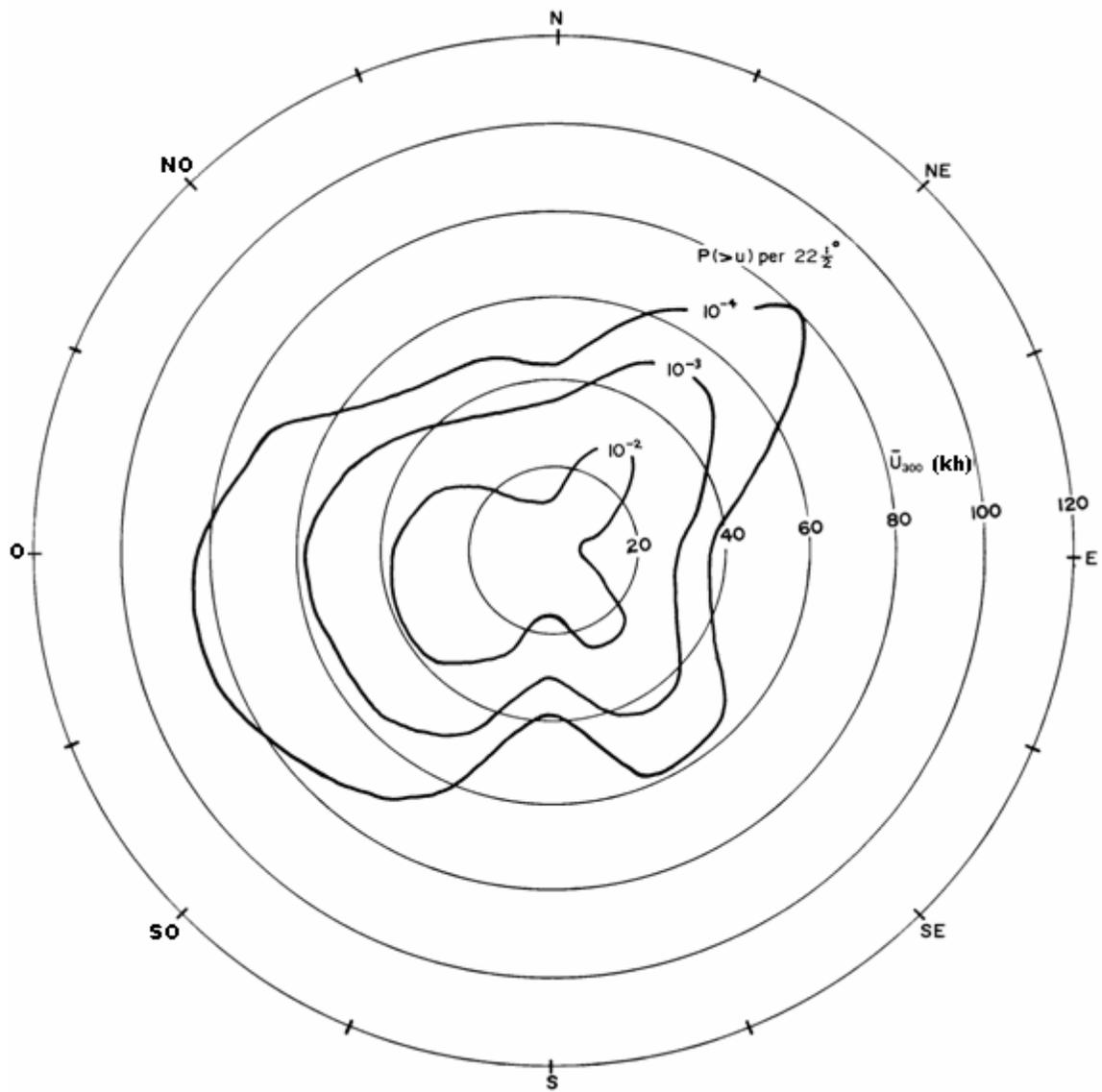


Figure 3 – Lois de distribution de la vitesse horaire moyenne des vents à 300 m au-dessus de Montréal, aux heures de clarté et en été (établies à partir des mesures éoliennes obtenues à une hauteur de 10 m et enregistrées sur une période de 10 ans à l'aéroport de Dorval).

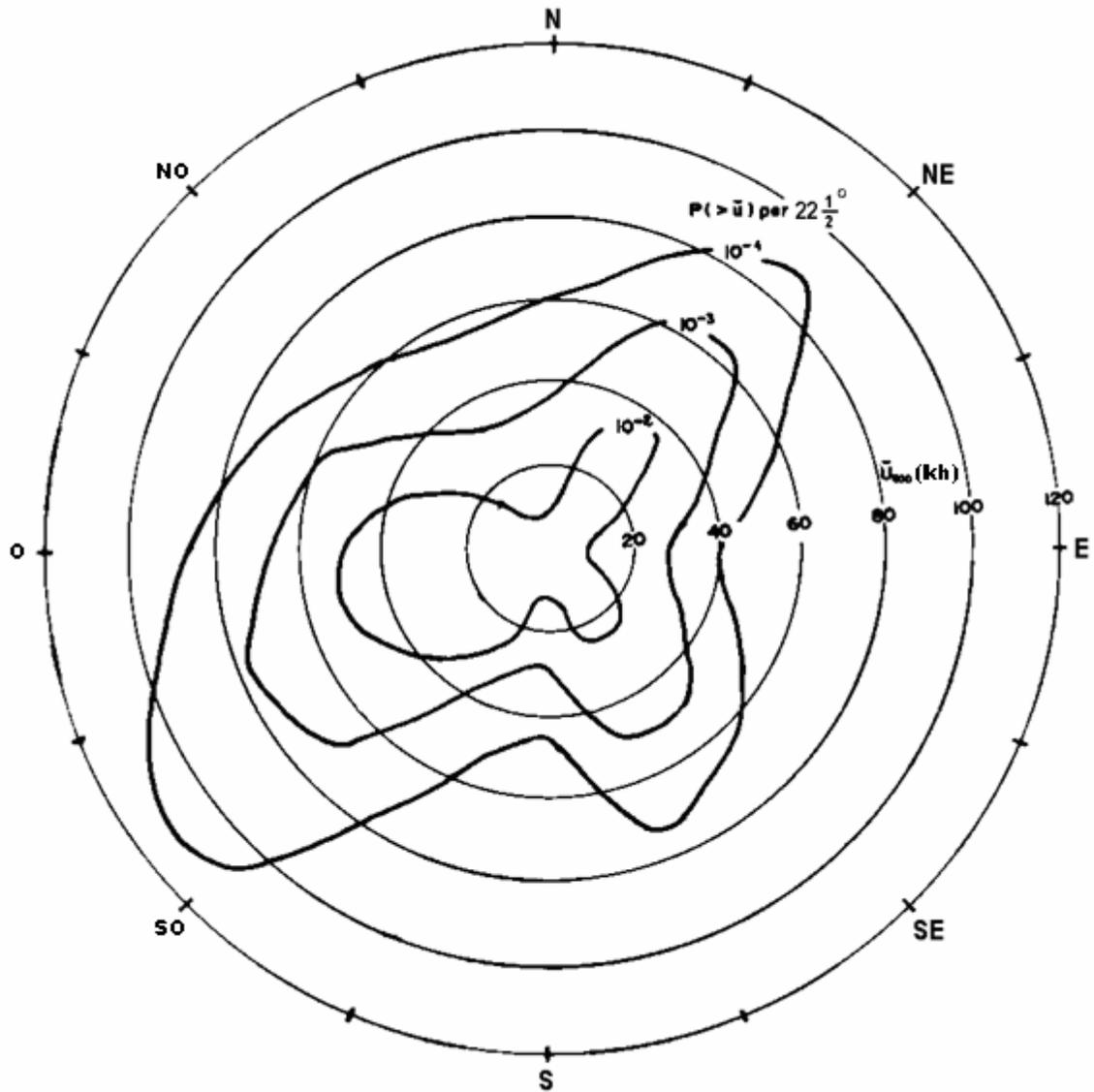
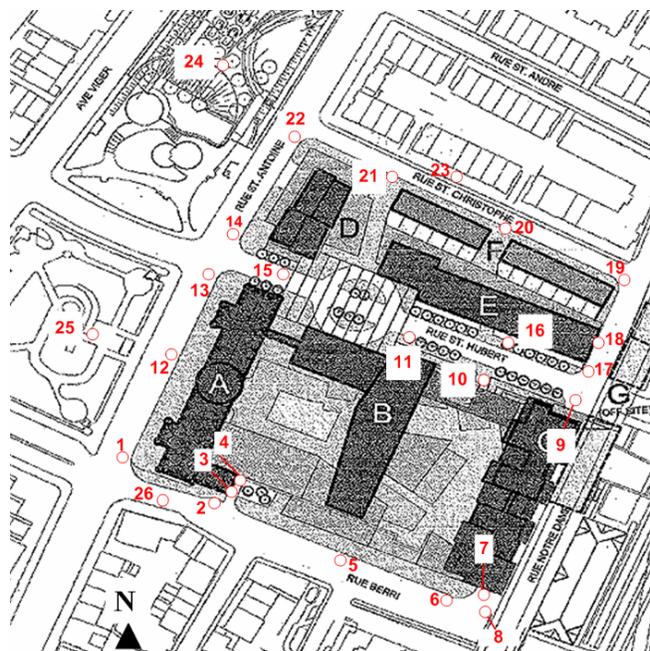


Figure 4 – Lois de distribution de la vitesse horaire moyenne des vents à 300 m au-dessus de Montréal, aux heures de clarté et en **hiver** (établies à partir des mesures éoliennes obtenues à une hauteur de 10 m et enregistrées sur une période de 10 ans à l'aéroport de Dorval).



□ Conditions actuelles

◆ Conditions avec le développement projeté

Critères de Melbourne (hiver)

— Acceptable pour la marche

— Dangereux

$$\left(\frac{U_{local}}{U_g} \right)^2$$

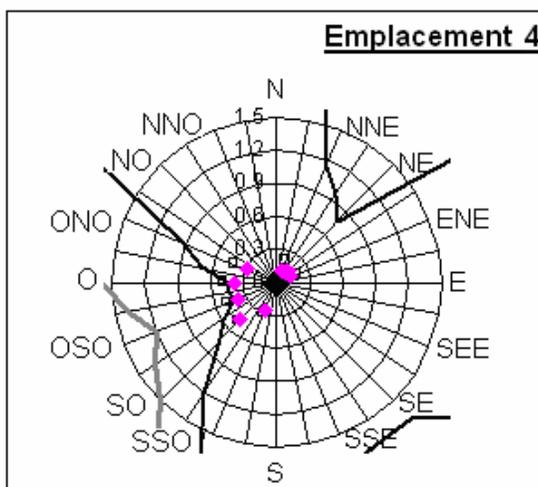
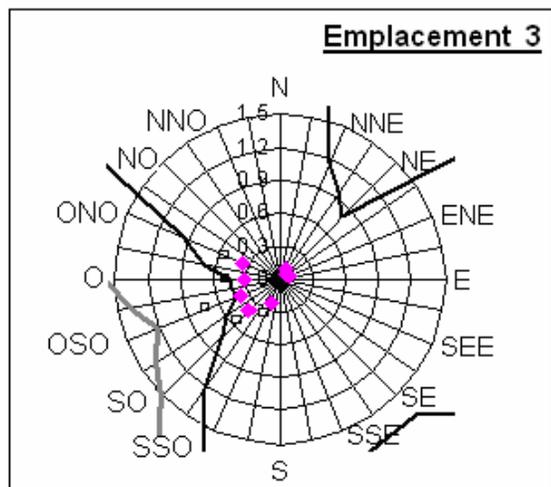
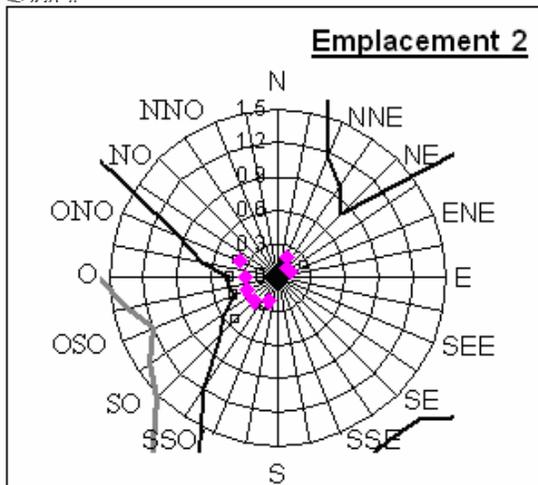
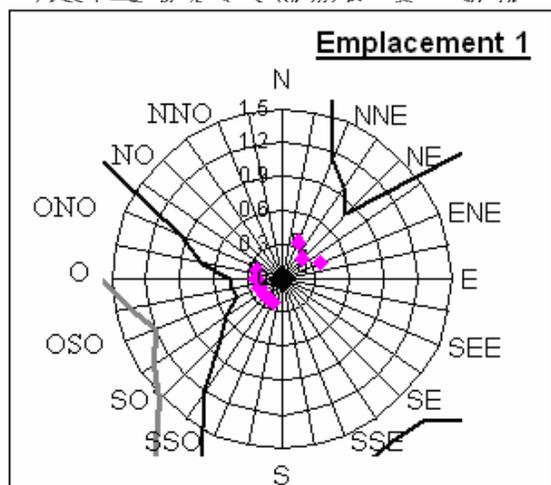
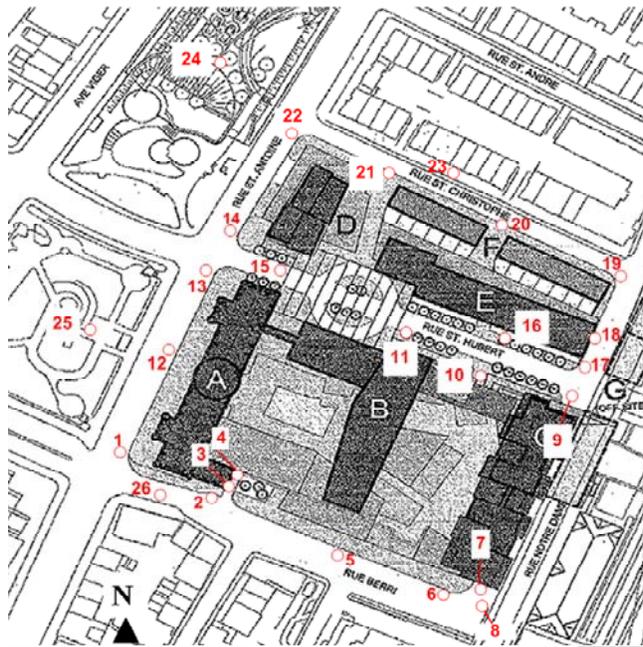


Figure 5 – Mesure des ratios de pression dynamique pour les directions éoliennes critiques aux points 1, 2, 3 et 4.



□ Conditions actuelles

◆ Conditions avec le développement projeté

Critères de Melbourne (hiver)

— Acceptable pour la marche

— Dangereux

$$\left(\frac{U_{local}}{U_g} \right)^2$$

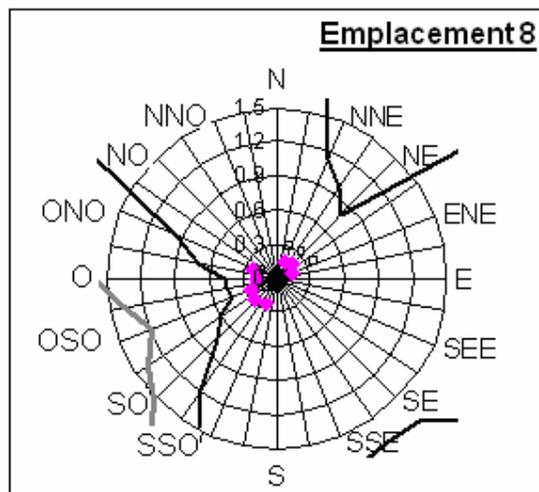
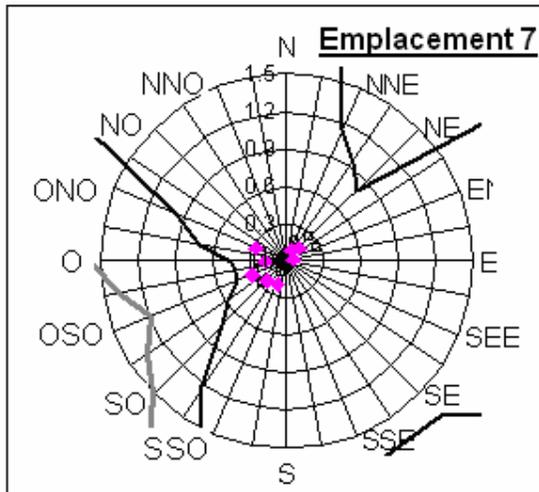
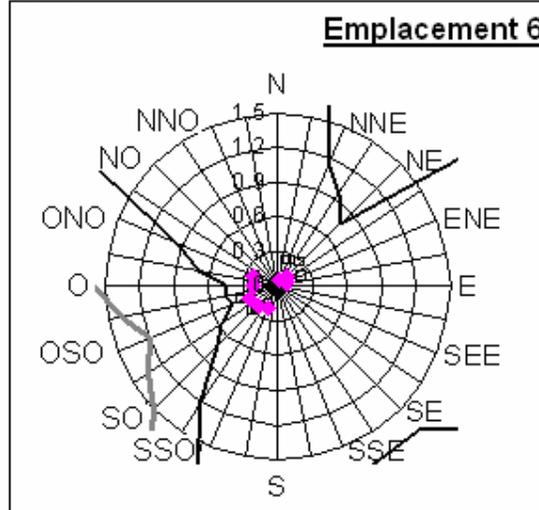
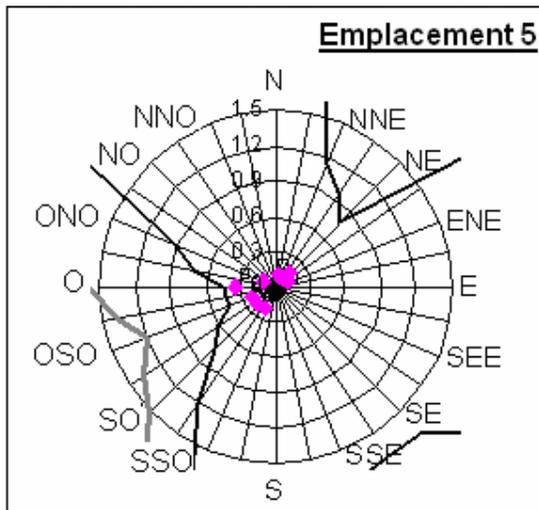
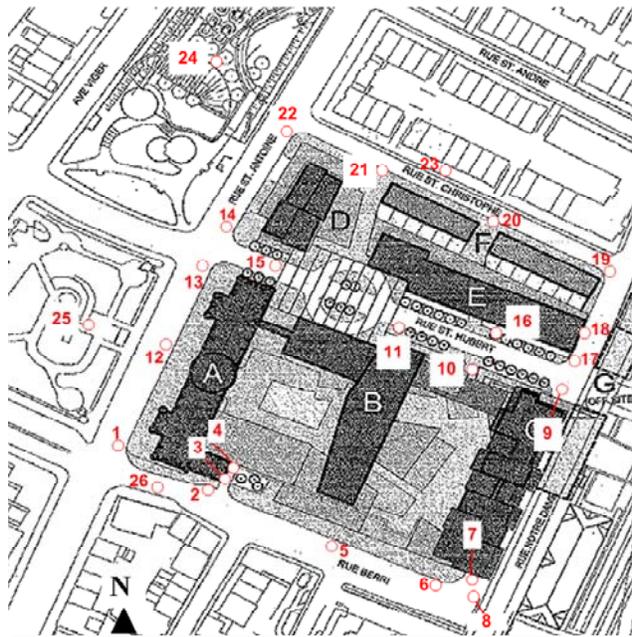


Figure 6 – Mesure des ratios de pression dynamique pour les directions éoliennes critiques aux points 5, 6, 7 et 8.



- Conditions actuelles
- ◆ Conditions avec le développement projeté

Critères de Melbourne (hiver)

- Acceptable pour la marche
- Dangereux

$$\left(\frac{\hat{U}_{local}}{U_g} \right)^2$$

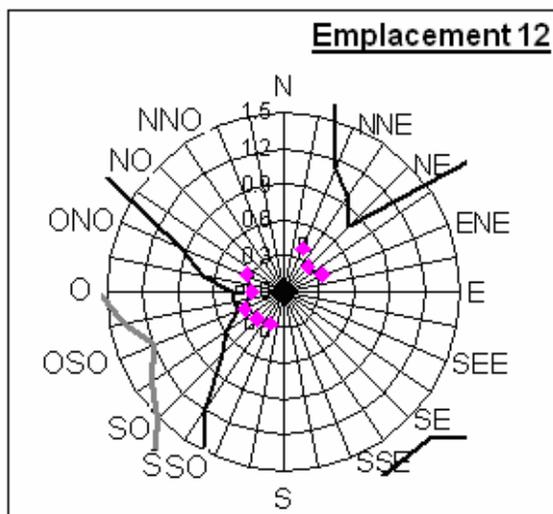
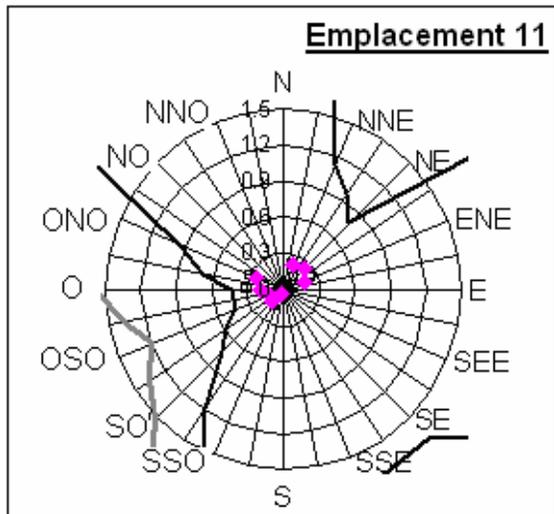
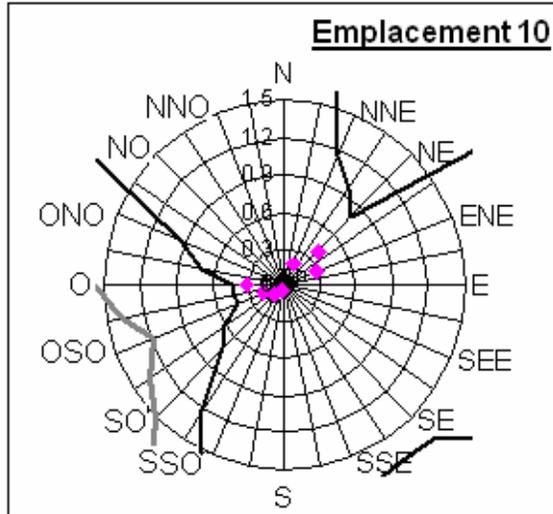
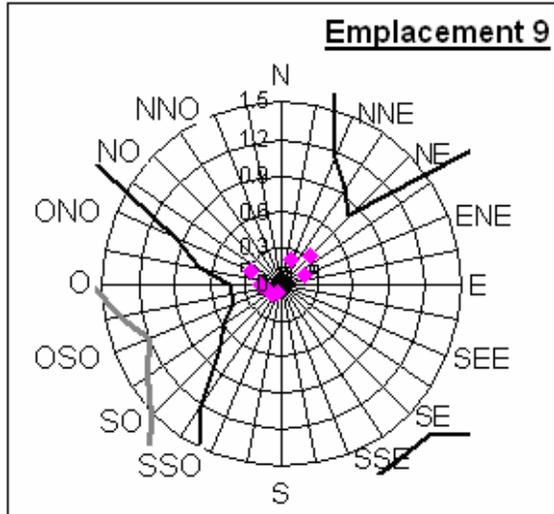
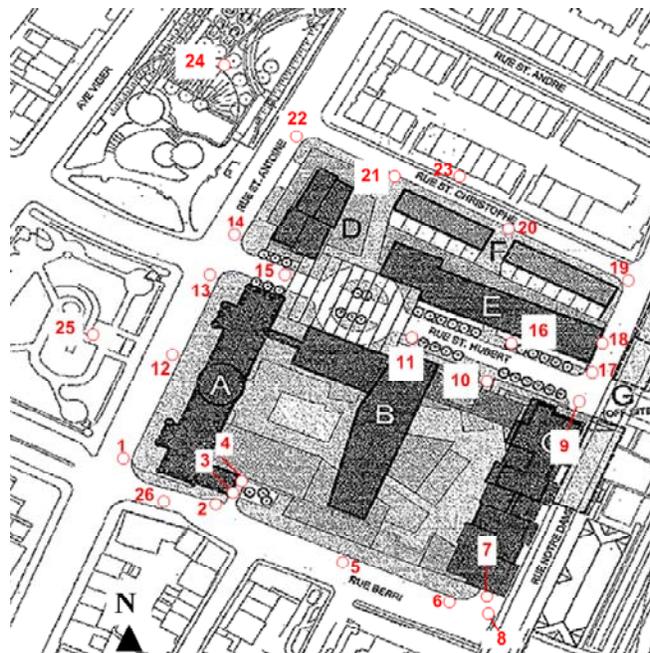


Figure 7 – Mesure des ratios de pression dynamique pour les directions éoliennes critiques aux points 9, 10, 11 et 12.



□ Conditions actuelles

◆ Conditions avec le développement projeté

Critères de Melbourne (hiver)

— Acceptable pour la marche

— Dangereux

$$\left(\frac{\hat{U}_{local}}{U_g} \right)^2$$

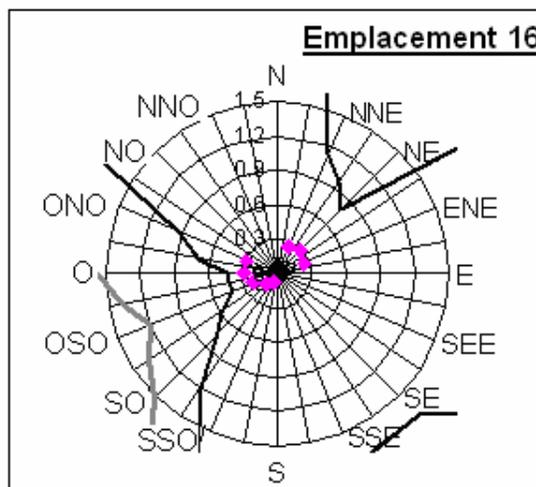
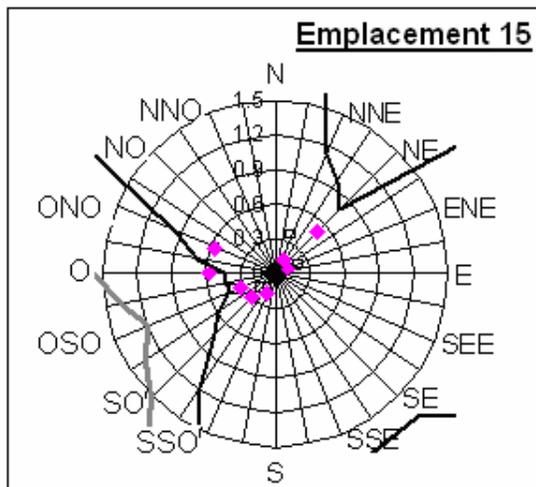
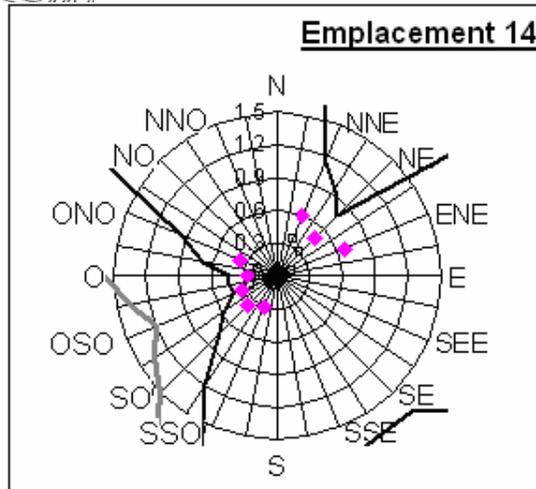
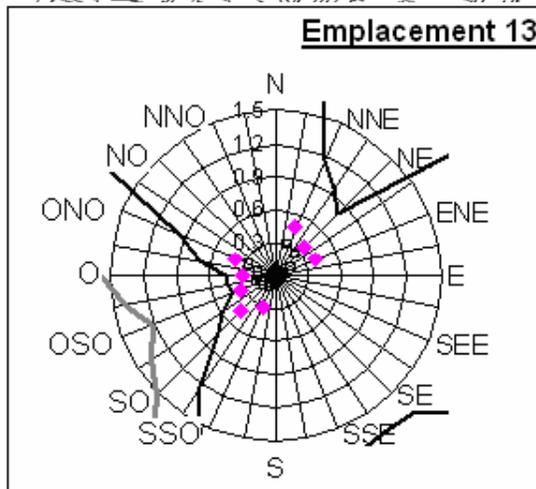
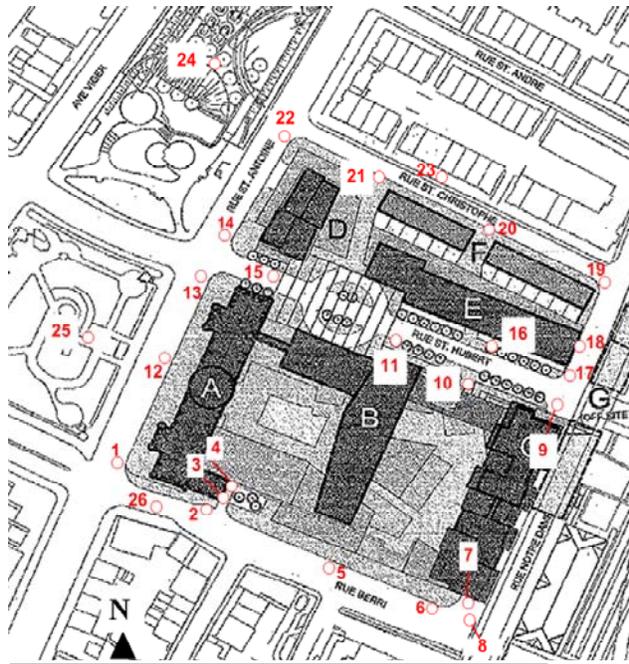


Figure 8 – Mesure des ratios de pression dynamique pour les directions éoliennes critiques aux points 13, 14, 15 et 16.



- Conditions actuelles
- ◆ Conditions avec le développement projeté

Critères de Melbourne (hiver)

- Acceptable pour la marche
- Dangereux

$$\left(\frac{\hat{U}_{local}}{U_g} \right)^2$$

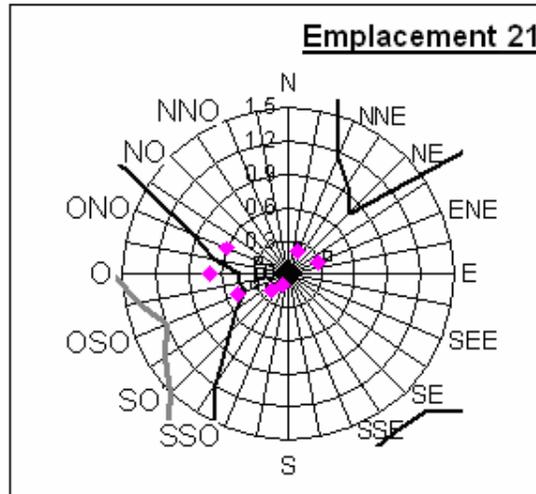
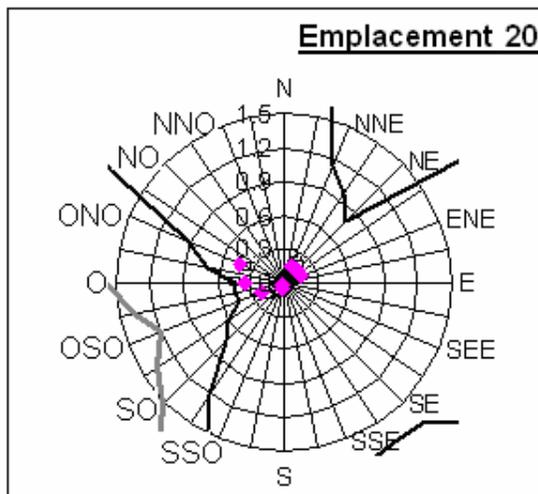
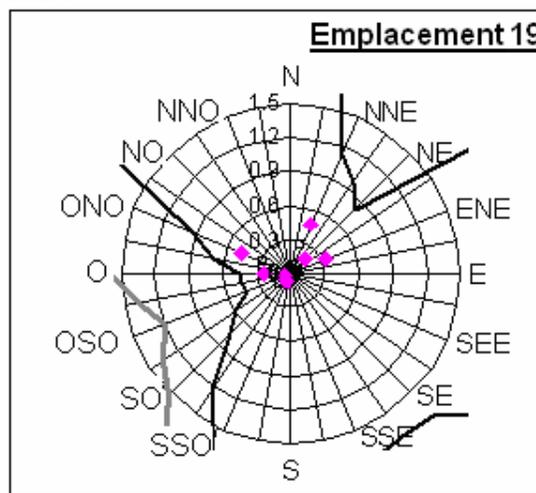
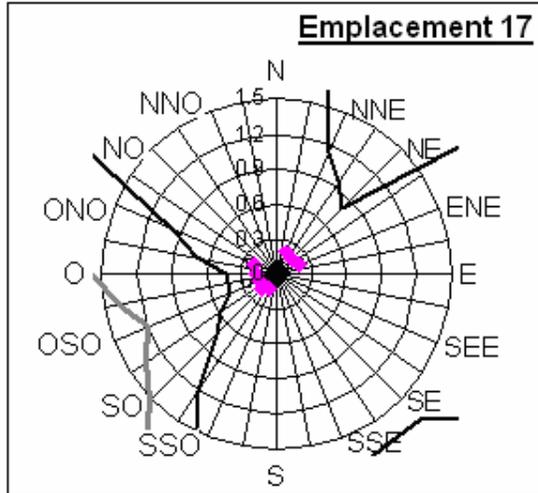


Figure 9 – Mesure des ratios de pression dynamique pour les directions éoliennes critiques aux points 17, 19, 20 et 21.

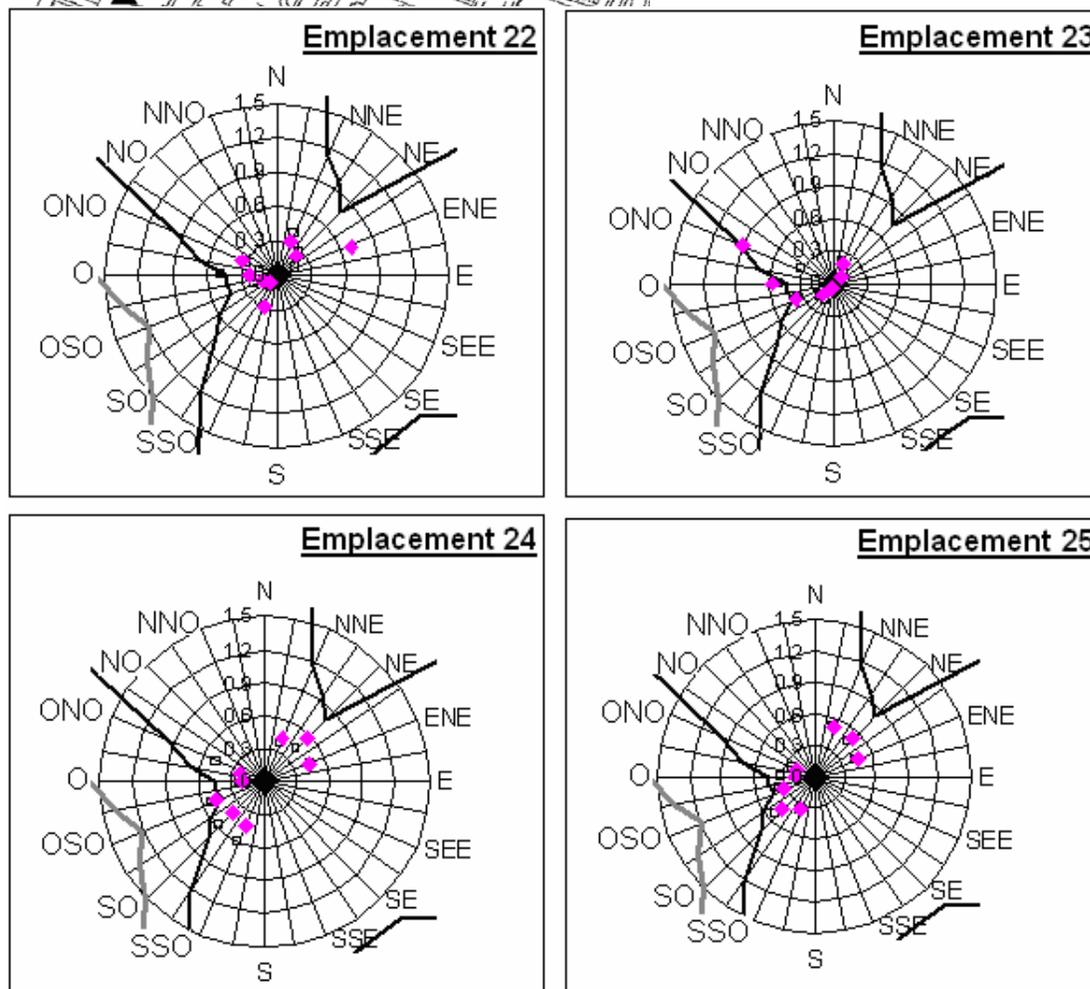
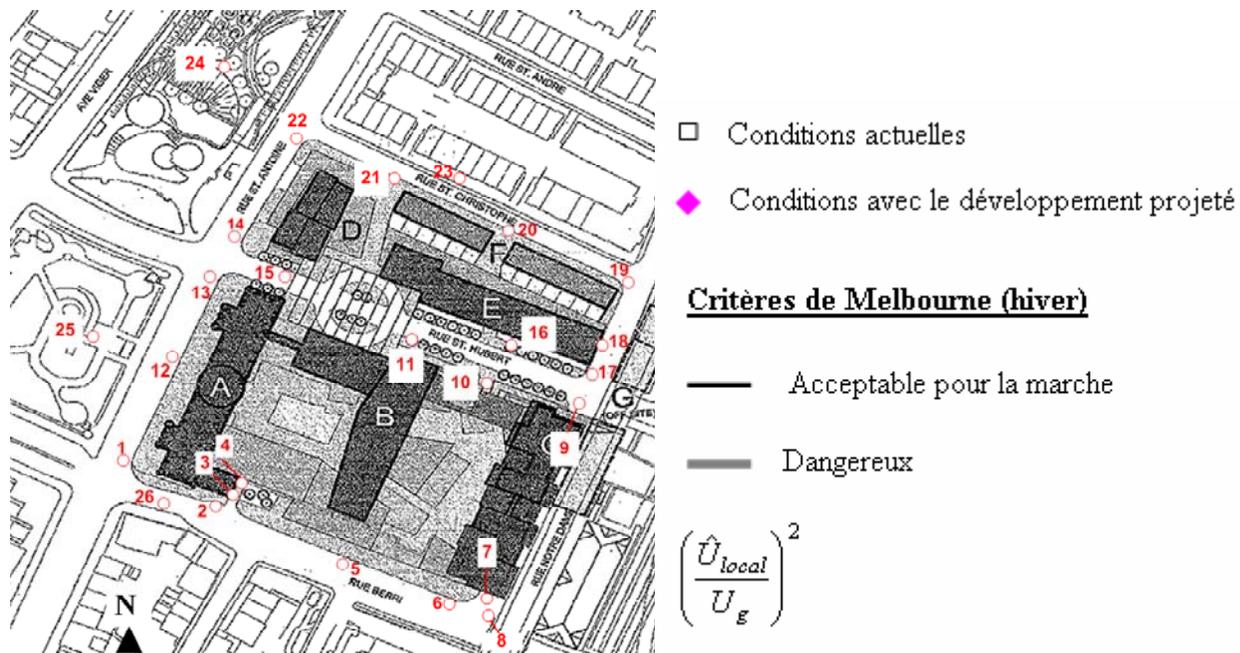


Figure 10 – Mesure des ratios de pression dynamique pour les directions éoliennes critiques aux points 22, 23, 24 et 25.

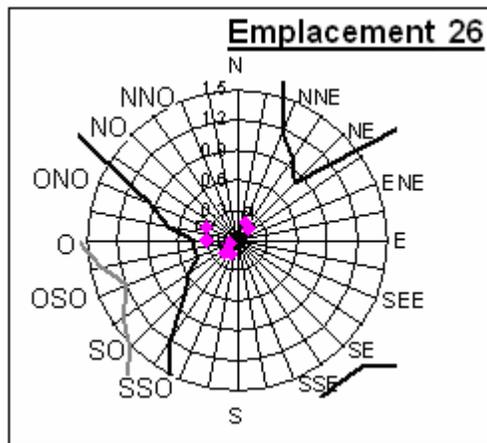
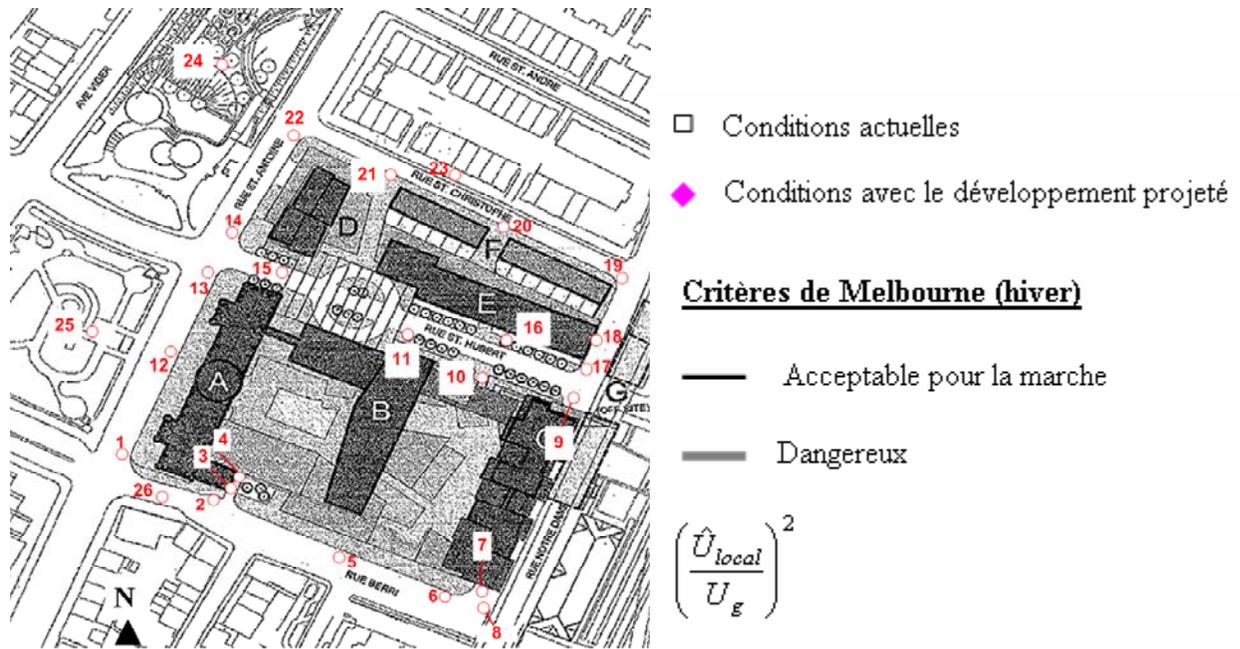


Figure 11 – Mesure des ratios de pression dynamique pour les directions éoliennes critiques au point 26.

ANNEXE A

La soufflerie à couche limite

La soufflerie à couche limite

La soufflerie à couche limite de l'Université Concordia est une soufflerie à circuit ouvert dont la chambre d'expérience fait 12 m de longueur, 1,8 m de largeur et 1,8 m de hauteur. La hauteur de son toit est réglable de façon à obtenir un gradient de pression négligeable dans le sens de l'écoulement, et la vitesse éolienne maximale produite au centre de sa section transversale est de 14 m s^{-1} . La Figure A1 présente une photo de la soufflerie.

La soufflerie simule la couche limite de surface sous conditions neutres (adiabatiques). La rugosité de surface en amont peut être réglée de manière à reproduire les conditions d'écoulement en terrain dégagé, suburbain ou urbain. La Figure A2 montre le profil des vitesses moyennes enregistrées au centre du plateau rotatif pour une exposition type en terrain dégagé, suburbain et urbain. Le profil des vitesses moyennes peut être calculé de façon approximative au moyen de la fonction de puissance :

$$U_z/U_g = (Z/Z_g)^a$$

où U_z représente la vitesse moyenne à une hauteur Z ; U_g , la vitesse moyenne à hauteur de gradient Z_g ; et a , une constante expérimentale. Une autre représentation du profil des vitesses près de la surface tient à la fonction logarithmique :

$$U/U_g = (1/k)C_g \ln(Z/Z_o)$$

où k désigne la constante de Von Karman ($k = 0,4$); C_g , le coefficient de résistance de frottement; et Z_o , la longueur de rugosité propre aux facteurs de rugosité en surface. Le Tableau A1 présente les valeurs types de ces paramètres en grandeur réelle et en soufflerie pour divers types de terrains.

Les configurations d'écoulement autour des bâtiments sont grandement influencées par l'intensité de la turbulence (σ_w/U_z), et la Figure A3 montre le profil des intensités de turbulence en terrain

dégagé, suburbain et urbain. Les expériences effectuées dans la soufflerie à couche limite bénéficient de l'équipement et des instruments de pointe du Laboratoire d'aérodynamique des bâtiments. Lorsqu'il s'agit d'étudier les effets du vent sur les constructions, les mesures de vitesse sont fournies par un anémomètre Doppler au laser Dantec (1 facteur de vitesse) et un thermo-anémomètre TSI (1 ou 2 facteurs de vitesse). Quant aux mesures de pression, elles sont obtenues au moyen d'un scanner de pression électronique Scanivalve HYSCAN 1000, d'une vanne électromagnétique Scanivalve et de divers capteurs de pression (Setra, Honeywell).

La soufflerie dispose en outre de l'équipement nécessaire pour étudier la dispersion des polluants, au plan tant quantitatif que qualitatif. Les concentrations de gaz traceur sont mesurées à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse Varian, et la dispersion des particules de fumée peut être enregistrée par une caméra vidéo à haute vitesse, puis analysée à l'aide d'un logiciel de traitement de l'image (Java).

L'acquisition des données se fait par le biais d'un analyseur d'ondes à 4 canaux Data 6000, qui fournit aussi bien les spectres et les corrélations que d'autres statistiques d'écoulement.

Tableau A1 – Paramètres d'écoulement en soufflerie et en grandeur réelle

	Grandeur réelle		Soufflerie	
	Terrain dégagé	Urbain	Terrain dégagé	Urbain
Z_g (m)	270	515	0,60	0,81
Z_o (cm)	1-10	100-500	0,01	1,2
a	0,16	0,4	0,15	0,38
C_g	0,042	0,046	0,042	0,046



Figure A1 – La soufflerie à couche limite de l'Université Concordia.

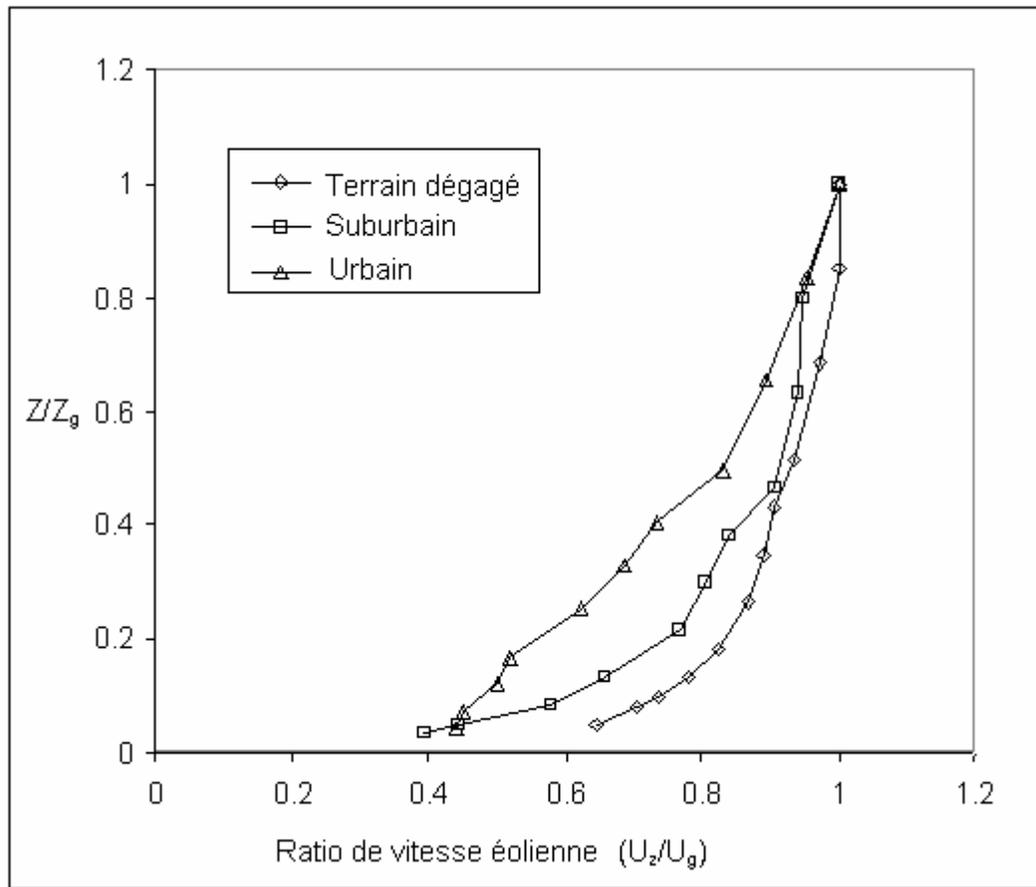


Figure A2 – Profil des vitesses moyennes enregistrées en terrain dégagé, suburbain et urbain.

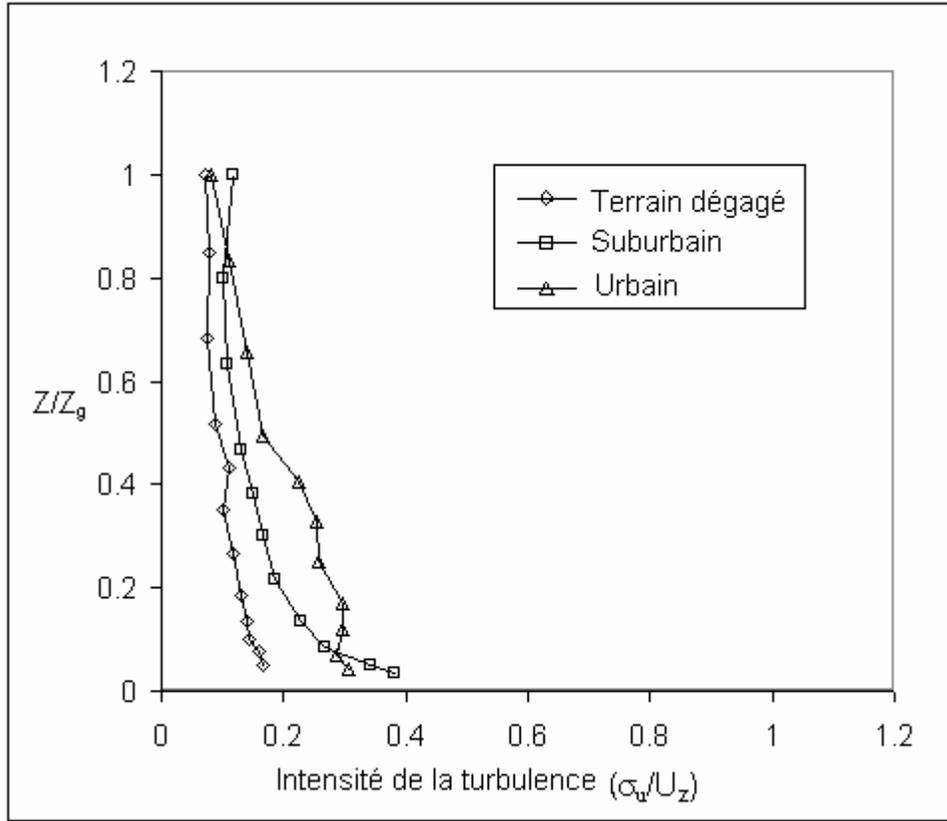


Figure A3 – Profil des intensités de turbulence enregistrées en terrain dégagé, suburbain and urbain.