

**Recherche par traçage  
sur la réintroduction  
des émissions d'immeubles  
en milieu urbain**

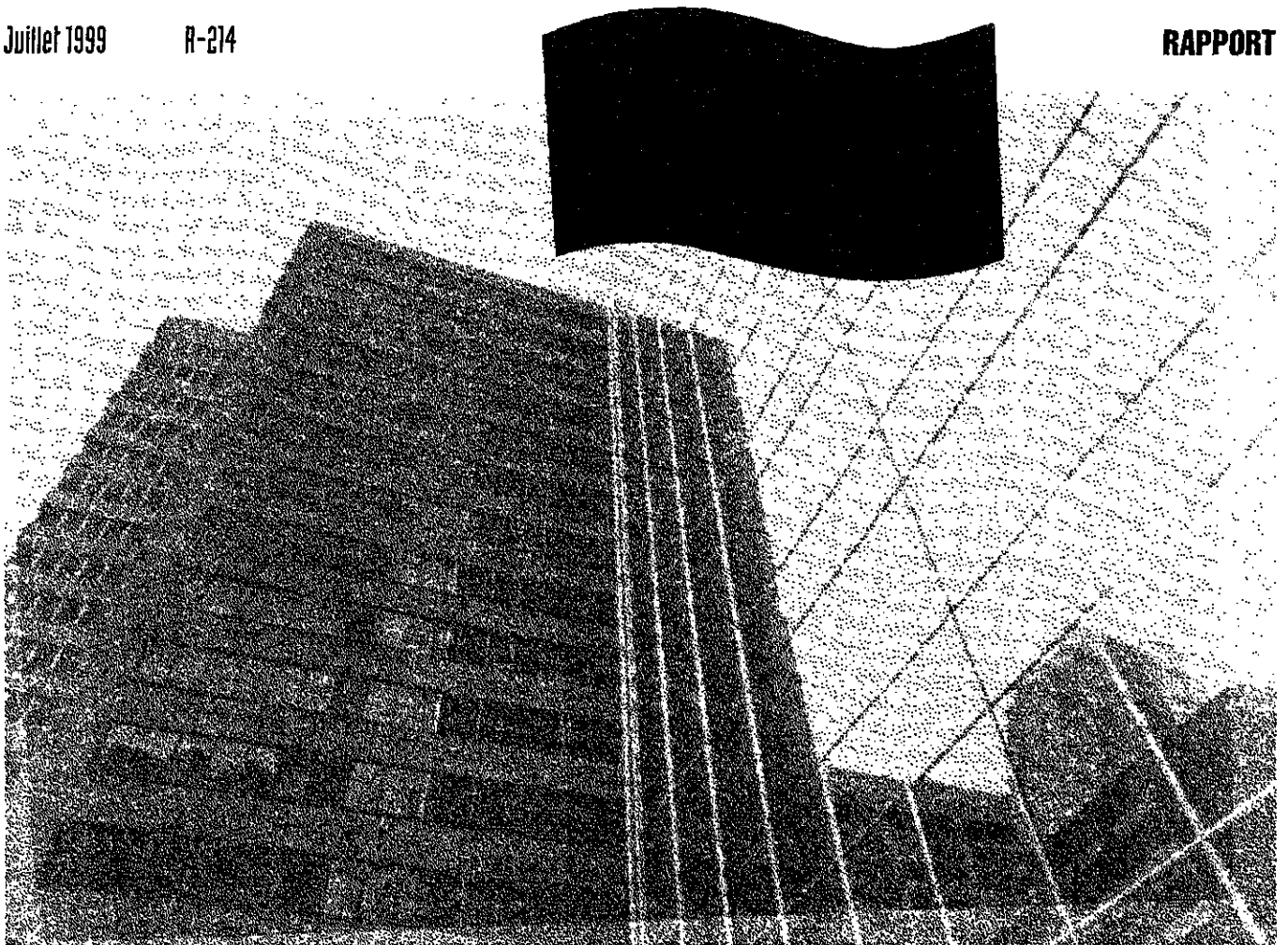
**ÉTUDES ET  
RECHERCHES**

Ted Stathopoulos  
Louis Lazure  
Patrick Saathoff

Juillet 1999

R-214

**RAPPORT**



**IRSST**  
Institut de recherche  
en santé et en sécurité  
du travail du Québec



**Concordia**  
UNIVERSITY

## La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

### ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal  
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications  
505, boul. de Maisonneuve Ouest  
Montréal (Québec)  
H3A 3C2  
Téléphone : (514) 288-1 551  
Télécopieur: (514) 288-7636  
Site internet : [www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)  
© Institut de recherche en santé  
et en sécurité du travail du Québec,

# Recherche par traçage sur la réintroduction des émissions d'immeubles en milieu urbain

Ted Stathopoulos<sup>1</sup>, Louis Lazure<sup>2</sup>, Patrick Saathoff<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centre d'études sur le bâtiment, Université Concordia

<sup>2</sup>Programme soutien analytique, IRSST

ÉTUDES ET  
RECHERCHES

RAPPORT

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	5
1.0 INTRODUCTION.....	7
2.0 REVUE DE LITTÉRATURE .....	9
2.1 Modèles de dilution.....	9
2.1.1 Le modèle de Halitsky.....	9
2.1.2 Le modèle de Wilson-Chui .....	10
2.1.3 Le modèle de Wilson-Lamb.....	11
2.2 Études antérieures de dilution sur le terrain .....	12
2.3 Comparaison des données en soufflerie et sur le terrain .....	14
3.0 MÉTHODOLOGIE.....	17
3.1 Procédures expérimentales.....	17
3.2 Essais sur le terrain.....	17
3.2.1 L'édifice Hall.....	17
3.2.2 L'édifice BE.....	30
3.3 Essais en soufflerie.....	40
3.3.1 Critères de modélisation en soufflerie.....	40
3.3.2 Méthodologie expérimentale.....	42
4.0 RÉSULTATS .....	47
4.1 L'édifice Hall.....	48
4.1.1 Étude terrain .....	48
4.1.2 Étude en soufflerie .....	68
4.1.3 Sommaire des résultats de l'étude sur l'édifice Hall .....	77
4.2 L'édifice BE.....	78
4.2.1 Étude terrain .....	78
4.2.2 Étude en soufflerie .....	96
5.0 DIRECTIVES DE CONCEPTION .....	108
6.0 REMERCIEMENTS .....	109
7.0 RÉFÉRENCES.....	110
ANNEXE A .....	113
ANNEXE B.....	118

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Emplacement du centre-ville de Montréal par rapport au mont Royal et à l'aéroport de Dorval. (Indications d'altitude en mètres.) .....	18
Figure 2 :	Emplacement de l'édifice Hall, de l'édifice BE et des constructions environnantes. (Les références numériques indiquent le nombre d'étages des constructions élevées.).....	19
Figure 3 :	L'édifice Hall vu du sud.....	20
Figure 4 :	Diagramme de fréquence des vents à Montréal (pour $z = 300$ m) selon les données recueillies à l'aéroport de Dorval.....	22
Figure 5 :	Diagramme de fréquence des vents à Montréal (pour $z = 300$ m) selon les données recueillies à l'observatoire de McGill.....	23
Figure 6 :	Vue en plan du toit de l'édifice Hall montrant l'emplacement de la cheminée, des échantillonneurs et de l'anémomètre. (Les échantillonneurs 1 à 13 se trouvent à la hauteur du 14 <sup>e</sup> étage; les échantillonneurs 14 à 15 se trouvent à la hauteur du 12 <sup>e</sup> étage.).....	27
Figure 7 :	L'édifice BE vu de l'ouest.....	32
Figure 8a:	Photo de la cheminée sous étude sur l'édifice BE.....	33
Figure 8b:	Dimensions de la cheminée sous étude sur l'édifice BE.....	33
Figure 9 :	Étalement de la vitesse d'évacuation à la sortie de la cheminée de l'édifice BE.....	35
Figure 10a :	Vue en plan du toit de l'édifice BE montrant l'emplacement de la cheminée, de l'anémomètre et des points d'échantillonnage (les références numériques correspondant aux points de prélèvement de la maquette utilisée en soufflerie).....	37
Figure 10b :	Vue en perspective de l'édifice BE montrant la hauteur relative de la cheminée et des structures présentes sur le toit.....	38
Figure 11a :	Maquette de l'édifice Hall.....	43
Figure 11b :	Maquette de l'édifice BE.....	43
Figure 12 :	Distributions verticales de la vitesse moyenne du vent et de l'intensité des turbulences mesurées sous exposition suburbaine dans la soufflerie à couche limite du CEB.....	45
Figure 13 :	Données éoliennes recueillies sur l'édifice Hall lors de l'essai n° 1.....	49
Figure 14 :	Données éoliennes recueillies sur l'édifice Hall lors de l'essai n° 2.....	50
Figure 15 :	Données éoliennes recueillies sur l'édifice Hall lors de l'essai n° 3.....	51
Figure 16 :	Données éoliennes recueillies sur l'édifice Hall lors de l'essai n° 4.....	52
Figure 17 :	Concentrations (en parties par milliard) mesurées au cours des périodes d'échantillonnage 1 et 2 lors de l'essai n° 1 sur l'édifice Hall.....	54
Figure 18 :	Comparaison des données de dilution enregistrées par tous les échantillonneurs lors de l'essai n° 1 sur l'édifice Hall par rapport aux courbes de dilution minimale de l'ASHRAE.....	56
Figure 19 :	Comparaison des données de dilution enregistrées par tous les échantillonneurs lors de l'essai n° 4 sur l'édifice Hall par rapport aux courbes de dilution minimale de l'ASHRAE.....	58
Figure 20 :	Comparaison des données de dilution enregistrées par tous les échantillonneurs lors de l'essai n° 2 sur l'édifice Hall par rapport aux courbes de dilution minimale de l'ASHRAE.....	60

Figure 21 : Comparaison des données de dilution enregistrées par tous les échantillonneurs lors de l'essai n° 3 sur l'édifice Hall par rapport aux courbes de dilution minimale de l'ASHRAE. ....	61
Figure 22 : Variation de la dilution dans le temps lors de l'essai n° 1 sur l'édifice Hall .....	63
Figure 23 : Variation de la dilution dans le temps lors de l'essai n° 2 sur l'édifice Hall .....	64
Figure 24 : Variation de la dilution dans le temps lors de l'essai n° 3 sur l'édifice Hall .....	65
Figure 25 : Variation de la dilution dans le temps lors de l'essai n° 4 sur l'édifice Hall .....	66
Figure 26 Distribution des dilutions enregistrées en soufflerie et sur le terrain pour $M = 3$ et $\theta \sim 205^\circ$ .....	69
Figure 27 Distribution des dilutions enregistrées en soufflerie et sur le terrain pour $M = 3$ et $\theta \sim 215^\circ$ .....	70
Figure 28 : Variation de $D_s$ par rapport à $M$ aux points de prélèvement 2, 5, 8 et 12. ....	72
Figure 29 : Effet de la direction du vent sur la dilution en soufflerie et sur le terrain, mesurée aux points de prélèvement 2, 5, 8, 12 et 15. ....	74
Figure 30 Données éoliennes recueillies sur l'édifice BE lors de l'essai n° 1 .....	80
Figure 31 : Données éoliennes recueillies sur l'édifice BE lors de l'essai n° 2 .....	81
Figure 32 : Données éoliennes recueillies sur l'édifice BE lors de l'essai n° 3 .....	82
Figure 33 : Données éoliennes enregistrées par le sondeur acoustique (sodar) et le radar de McGill lors de l'essai n° 1 sur l'édifice BE. ....	84
Figure 34 : Variation de la dilution dans le temps lors de l'essai n° 1 sur l'édifice BE (voir fig. 10 pour l'emplacement des échantillonneurs). ....	85
Figure 35 : Variation de la dilution dans le temps lors de l'essai n° 2 sur l'édifice BE .....	86
Figure 36 : Variation de la dilution dans le temps lors de l'essai n° 3 sur l'édifice BE (voir fig. 10 pour l'emplacement des échantillonneurs). ....	87
Figure 37 : Comparaison des données de dilution enregistrées par tous les échantillonneurs lors de l'essai n° 1 sur l'édifice BE par rapport aux courbes de dilution minimale de l'ASHRAE. ....	89
Figure 38 : Comparaison des données de dilution enregistrées par tous les échantillonneurs lors de l'essai n° 2 sur l'édifice BE par rapport aux courbes de dilution minimale de l'ASHRAE. ....	90
Figure 39 : Comparaison des données de dilution enregistrées par tous les échantillonneurs lors de l'essai n° 3 sur l'édifice BE par rapport aux courbes de dilution minimale de l'ASHRAE. ....	91
Figure 40 : Isoplèthes de dilution en soufflerie et sur le terrain pour l'édifice BE .....	99
Figure 41 Isoplèthes de dilution en soufflerie et sur le terrain pour l'édifice BE .....	100
Figure 42 : Effet de la direction du vent sur la dilution en soufflerie et sur le terrain, mesurée sur l'édicule de l'édifice BE. ....	101
Figure 43 : Variation de $D_s$ par rapport à $M$ au point de prélèvement 10 pour $\theta = 280^\circ$ . ....	103
Figure 44 : Effet de la direction du vent sur la dilution en soufflerie et sur le terrain, mesurée sur le toit principal de l'édifice BE. ....	106

---

## RÉSUMÉ

La dispersion des émissions d'immeubles a été étudiée par le biais d'essais sur le terrain et en soufflerie. Les principaux objectifs de cette étude étaient : 1) d'évaluer les modèles de dilution minimale auxquels se réfèrent actuellement les concepteurs de bâtiments; 2) de déterminer la fiabilité de la modélisation en soufflerie, et 3) de dégager des directives permettant de réduire le risque de réintroduction des émissions provenant des cheminées d'immeubles.

Un total de sept essais sur le terrain ont été effectués à partir de deux bâtiments situés sur le campus de l'université Concordia à Montréal, Québec. Lors de ces essais, un gaz traceur a été diffusé par une courte cheminée, et des échantillons d'air ont été prélevés jusqu'en 15 points du toit de ces bâtiments au moyen d'échantillonneurs radio-commandés conçus et fabriqués par l'IRSST. Pour les essais sur le terrain on a généralement recueilli 10 échantillons par point de prélèvement, chacun d'une durée de 15 min.

Les données de dilution sur le terrain ont été comparées aux estimations de dilution minimale fournies par trois formules conceptuelles largement utilisées, à savoir le modèle de Halitsky, le modèle de Wilson-Chui et le modèle de Wilson-Lamb. Dans l'ensemble, les prévisions de dilution minimale produites par le modèle de Halitsky se sont avérées fort modestes. Quant aux modèles de Wilson-Lamb et de Wilson-Chui, ils ont tous deux fait état de limites inférieures raisonnables en ce qui a trait à  $D_{min}$ , tout en offrant, il est vrai, des prévisions démesurées par rapport à certaines données de terrain. Le modèle de Wilson-Chui assorti d'une formule révisée quant à la dilution initiale est recommandé dans la mesure où il se révèle plus simple que le modèle de Wilson-Lamb et engendre des résultats plus modérés en milieu urbain.

Les données de dilution obtenues dans le cadre des essais en soufflerie se sont passablement bien comparées aux données recueillies sur le terrain. D'une manière générale, les valeurs de dilution enregistrées en soufflerie étaient plus élevées que les valeurs mesurées sur le terrain, quoique le plus souvent par un facteur d'écart inférieur à deux. La soufflerie semble donc donner des résultats légèrement excessifs, à tout le moins pour les cas à l'étude. Par ailleurs, les résultats des essais sur le terrain et en soufflerie indiquent les uns comme les autres que le comportement du panache peut accuser d'importantes variations dès lors que le facteur d'impulsion ( $M$ ) du flux des émissions atteint une valeur critique. Ainsi, dans le cas du bâtiment 1, une haute construction de forme cubique, la dilution diminuait considérablement à tous les points de prélèvement du toit lorsque la valeur de  $M$  se situait entre 3 et 4. Les essais effectués sur le bâtiment 2, une basse construction de forme rectangulaire, ont pour leur part révélé que la dilution diminuait considérablement lorsque  $M$  était supérieur à 2. Ces données concernant l'importance de  $M$  méritent de retenir l'attention puisque, dans le cas des cheminées de bâtiment les plus répandues,  $M$  est fréquemment susceptible de prendre une valeur entre 2 et 4.



---

## 1.0 INTRODUCTION

La réintroduction des gaz toxiques ou nauséabonds émis par les cheminées de toit peut sensiblement influencer sur la qualité de l'air intérieur d'un bâtiment. Les précautions prises aux étapes de la conception et de la construction afin d'assurer la qualité de l'air ambiant peuvent ainsi être complètement invalidées sous certaines conditions atmosphériques. Les laboratoires industriels et institutionnels sont tout particulièrement vulnérables aux problèmes de réintroduction du fait des nombreuses sources d'émissions possibles qui les caractérisent. On a d'ailleurs suspecté ce phénomène d'être responsable des problèmes liés à la qualité de l'air intérieur des bâtiments qui abritent des laboratoires d'université aussi bien que de diverses installations industrielles et usines de fabrication.

La détermination d'une distance sûre entre les sources de pollution et les prises d'air relève d'un exercice complexe qui doit prendre en compte plusieurs paramètres tels que la vitesse du vent, la direction du vent, le degré de stratification de l'atmosphère, le rapport de la vitesse d'évacuation à la vitesse du vent, la hauteur et la géométrie du bâtiment concerné, la formation de zones sous pression positive et négative, les caractéristiques propres aux émissions et la topographie des lieux. Dans le meilleur des cas, le système d'évacuation d'un bâtiment doit être conçu de manière à ce que les émissions gazeuses ne soient pas réintroduites par les prises d'air neuf. À titre d'exemple, dans la province de Québec, le règlement régissant la qualité du milieu de travail [S-2.1, r.15 (1994)] stipule que les prises d'air frais doivent être situées de telle sorte que l'air évacué par un établissement n'y soit en aucun cas réintroduit.

---

Une estimation des concentrations maximales eu égard à la distance sous le vent d'une cheminée ou d'une bouche d'évacuation peut être obtenue à partir des modèles de dispersion fournis par l'American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers [ASHRAE (1997)]. En guise d'alternative, une étude en soufflerie peut être réalisée afin de prévoir les concentrations maximales à certains emplacements critiques. Cette dernière méthode est d'ailleurs généralement préférée lorsque les structures avoisinantes ou la topographie des lieux risque d'affecter considérablement les configurations d'écoulement autour du bâtiment. Il importe cependant de noter que ni l'une ni l'autre de ces techniques de modélisation n'a encore été complètement validée au moyen de données en grandeur réelle. Les formules de l'ASHRAE ont surtout été évaluées en comparant les estimations de dilution qui en découlent avec les données en soufflerie d'un certain nombre d'études de cas, et les résultats de ces comparaisons se sont avérés contradictoires. Ainsi, Petersen et Wilson (1989) ont conclu que les formules de l'ASHRAE donnaient des estimations très modestes en ce qui a trait à la dilution des panaches dans le cas des cheminées à vitesse d'évacuation élevée ou de grand diamètre, cependant que les résultats d'autres études indiquent que les formules de l'ASHRAE ne fournissent pas des estimations modestes de dilution dans tous les cas [Perera et al. (1991), Schuyler et Turner (1989)].

L'exactitude des données fournies par les formules empiriques et la modélisation en soufflerie ne peut être vérifiée qu'en comparant les concentrations prévues aux données recueillies sur le terrain. Néanmoins, peu d'études terrain se sont penchées sur le cas particulier de la diffusion des émissions provenant des cheminées de toit aux abords immédiats de leur source. Or, dans le cadre de la présente étude comparative, des recherches par traçage ont été effectuées à partir de deux laboratoires institutionnels de Montréal. Des échantillons d'air ont été prélevés en plusieurs points

du toit de ces édifices, et les données relatives à la concentration des émissions ont été corrélées avec les données météorologiques recueillies sur ces mêmes toits. Les essais sur le terrain ont ensuite été modélisés dans une soufflerie à couche limite.

L'objet premier de l'étude en soufflerie était d'évaluer la précision de cette technique de modélisation. Et l'on pouvait s'attendre à ce que cette précision dépende de divers facteurs, tels la distance séparant la source d'émission du point d'échantillonnage et la mesure dans laquelle les critères de modélisation avaient été respectés.

## **2.0 REVUE DE LITTÉRATURE**

### **2.1 Modèles de dilution**

Un certain nombre de modèles semi-empiriques permettent d'évaluer la dilution minimale ( $D_{\min} = C_e/C_{\max}$ ) des émissions provenant des cheminées de toit,  $C_e$  représentant la concentration des émissions et  $C_{\max}$  leur concentration maximale à un point d'échantillonnage précis pour une vitesse donnée du vent. Trois des modèles les plus couramment utilisés sont ceux développés par Wilson et Chui (1985, 1987), Wilson et Lamb (1994) et Halitsky (1963). Les deux derniers ont été intégrés au *Fundamentals Handbook* de l'ASHRAE (1997).

#### **2.1.1 Le modèle de Halitsky**

À partir d'essais en soufflerie, Halitsky (1963) a développé le modèle de dilution minimale suivant, ci-après désigné sous le nom de modèle H, et applicable aux constructions cubiques pourvues de courtes cheminées présentant une surface ou une vitesse de sortie suffisamment importante pour donner lieu à une élévation conséquente du panache :

$$D_{\min} = [\alpha + 0,11 (1 + 0,2\alpha) S/A_s^{0,5}]^2 \quad (1)$$

où  $S$  représente la distance de la source d'émission,  $A_s$  la surface (aire) de sortie, et  $\alpha$  une variable dépendant du facteur d'impulsion des émissions ainsi que de la forme et de l'orientation du bâtiment.

Le chapitre 15 du manuel de l'ASHRAE (1997) établit que :

*« la plus faible  $D_{\min}$  survient le long de l'axe élevé du panache d'éjection, là où  $\alpha = 1,0$  constitue la valeur adéquate. Les plus grandes valeurs de  $D_{\min}$  se retrouvent sur les surfaces du bâtiment, où  $\alpha$  peut varier entre 2 et 20. »*

Dans le cadre de la présente étude, on prête à  $\alpha$  la modeste valeur de 2,0, tel que recommandé par Petersen et Wilson (1989), de même que par Halitsky (1990).

### 2.1.2 Le modèle de Wilson-Chui

Le modèle de Wilson-Chui, ci-après abrégé en WC, a été développé autour des résultats de nombreux essais en soufflerie portant sur des maquettes de bâtiments isolés [Wilson et Chui (1985, 1987), Chui et Wilson (1988)]. Aux fins de ce modèle, la dilution minimale le long de l'axe du panache s'obtient par la formule :

$$D_{\min} = (D_o^{0,5} + D_d^{0,5})^2 \quad (2)$$

où  $D_o$  représente la dilution initiale au point d'émission, et  $D_d$  la dilution en fonction de la distance, qui résulte de la turbulence aussi bien atmosphérique que produite par le bâtiment lui-même. Les formules de l'ASHRAE (1993) pour  $D_o$  et  $D_d$  sont :

$$D_o = 1 + 7\beta M^2 \quad (3)$$

$$D_d = B_i S^2 / M A_s \quad (4)$$

où  $B_1$  représente un paramètre lié à la dilution en fonction de la distance, et  $M$  le rapport de la vitesse d'évacuation des émissions gazeuses ( $w_c$ ) à la vitesse moyenne du vent au sommet (hauteur) du bâtiment ( $U_h$ ). Le paramètre  $\beta$  correspond au facteur d'obturation de la cheminée, et est fixé à 1,0 pour les cheminées non obturées. Quant au paramètre  $B_1$ , il revêt la valeur d'une constante dont l'ordre de grandeur varie en fonction de l'emplacement des points d'échantillonnage. Le modèle précédent établissait  $B_1 = 0,0625$  pour les points d'échantillonnage au toit, et  $B_1 = 0,2$  pour les points d'échantillonnage au mur. Notez par ailleurs que l'équation 2 s'applique à une cheminée en effleurement du toit (c.-à-d. pour laquelle  $h_c = 0$ ). Dans le cas des cheminées pour lesquelles  $h_c > 0$ , la dilution critique ( $D_{crit}$ ) compte tenu de la vitesse du vent dans le cas le plus défavorable ( $U_{crit}$ ) peut être calculée de façon estimative au moyen de la formule :

$$D_{crit} = D_{crit,0} (U_{crit}/U_{crit,0} \exp[Y + Y^{0,5} (Y+1)^{0,5}]) \quad (5)$$

où  $D_{crit,0}$  représente la dilution à la vitesse critique du vent  $U_{crit,0}$  pour une cheminée en effleurement du toit. La variable  $Y$  met en relation la hauteur et la distribution verticale du panache, et est fonction de  $h_c$  et  $S$ . Les expressions relatives à  $D_{crit,0}$ ,  $U_{crit,0}$  et  $U_{crit}$  sont fournies par l'ASHRAE (1993,1997).

### 2.1.3 Le modèle de Wilson-Lamb

Les données de dilution obtenues lors d'une étude terrain [Wilson et Lamb (1994)] et d'une étude en soufflerie [Wilson et Chui (1987)] indiquent que le paramètre  $B_1$  est fortement influencé par le niveau de turbulence atmosphérique propre au flux en amont. Wilson et Lamb (1994) ont donc proposé une version révisée du modèle de  $D_{min}$  WC, qui a depuis été intégré au manuel de l'ASHRAE (1997). En vertu de ce nouveau modèle, abrégé en WL dans le présent rapport, l'équation 2 demeure inchangée. Toutefois, l'effet de la turbulence en amont sur le paramètre de dilution en fonction de la distance se voit déterminé de façon approximative par la formule suivante :

$$B_1 = 0,027 + 0,0021\sigma_\theta \quad (6)$$

où  $\sigma_\theta$  représente l'écart-type des fluctuations en degrés de la direction du vent, et varie entre  $0^\circ$  et  $30^\circ$ . Le modèle suggère que la dilution en fonction de la distance comporte deux éléments — la dilution due à la turbulence produite par le bâtiment et la dilution due à la turbulence atmosphérique — et il présume que la  $D_d$  est sensiblement accrue par la turbulence atmosphérique. Dans le cas d'un milieu urbain, l'ASHRAE (1997) recommande une valeur caractéristique de l'écart-type ( $\sigma_\theta = 15^\circ$ ), ce qui donne une valeur de 0,032 pour l'élément atmosphérique du paramètre de la dilution en fonction de la distance ( $B_1 = 0,059$ ). Ainsi estime-t-on que plus de 50 % de la valeur de la  $D_d$  est attribuable à la turbulence en amont.

Le modèle WL comprend en outre une formule révisée en ce qui a trait à la dilution initiale :

$$D_o = 1 + 13\beta M \quad (7)$$

On pense que l'équation 6 fournit une approximation raisonnable de la dilution qui survient près de la cheminée du seul fait de la turbulence associée au jet d'éjection. Il est à noter que la formule précédente pour  $D_o$  (équation 3) tenait également compte de la dilution apparente attribuable à l'élévation du panache. On s'attend toutefois à ce que l'équation 7 fournisse une meilleure approximation de la dilution initiale réelle du panache que l'équation 3, et on estime qu'elle convient mieux aux situations où les points d'échantillonnage peuvent être situés au-dessus de la cheminée.

[Wilson et Lamb (1994)]

## 2.2 Études antérieures de dilution sur le terrain

Un certain nombre de recherches sur le terrain ont étudié la dispersion des émissions provenant des cheminées de toit. Plusieurs d'entre elles ont porté sur des bâtiments d'essai relativement petits, avec pour objet d'évaluer l'influence de divers paramètres atmosphériques [p. ex. Ogawa et al. (1983a,b),

---

Higson et al. (1994, 1995), Oikawa et Meng (1997)]. Néanmoins, la section qui suit fait le point sur diverses études effectuées sur de véritables bâtiments en milieu urbain ou suburbain, ce qui correspond à l'objet précis de la présente étude.

Lam et al. (1985) ont procédé à une recherche par traçage pour étudier la dilution du panache à l'emplacement d'une prise d'air neuf sur un haut bâtiment de l'université de Hong Kong. Les données de dilution ainsi recueillies ne portaient cependant que sur des périodes d'échantillonnage de 10 sec, de sorte qu'elles ne peuvent servir à l'évaluation des modèles de dilution minimale, généralement applicables là où le temps d'intégration est d'au moins 10 min. Dans une étude comparable, Lam et Kot (1993) ont procédé à des essais par traçage en faisant appel à un seul tandem source-point d'échantillonnage, et ainsi étudié l'influence de la vitesse du vent sur  $D$ . Comme pour l'étude précédente, les concentrations de gaz traceur ont toutefois été mesurées à partir de prélèvements de courte durée. En outre, il se peut que les fluctuations relatives à la direction du vent aient sensiblement influé sur les résultats, dans la mesure où l'on n'a eu recours qu'à un seul point d'échantillonnage. En conséquence, il n'y a probablement pas lieu de comparer les résultats obtenus aux estimations fournies par les modèles de dilution minimale.

Georgakis et al. (1995) ont procédé à une série d'essais par traçage sur deux édifices de l'université de Toronto, en faisant entrer dans leur étude un certain nombre de cheminées de hauteur et de diamètre variables. Leur période d'échantillonnage était de 15 min, de sorte que les données recueillies peuvent être utilisées aux fins d'évaluation des modèles de dilution minimale. Par contre, la direction du vent ne s'inscrivait souvent pas dans l'axe direct des tandems cheminée-point

---

d'échantillonnage. En conséquence, certaines des mesures de dilution obtenues ne peuvent convenir à l'évaluation des modèles.

L'ensemble de données le plus complet relativement à l'usage d'un gaz traceur dans le but d'étudier les émissions provenant des cheminées de toit a été recueilli par Lamb et Cronn (1986) à partir d'un édifice situé sur le campus de la Washington State University (WSU). Un certain nombre d'expériences ont ainsi été réalisées autour de cheminées de hauteur et de débit variables, et divers points d'échantillonnage au toit et au sol ont permis de dégager une image valable de la dispersion des panaches sous différentes conditions atmosphériques. Il s'ensuit que les données de cette étude se prêtent mieux à l'évaluation des modèles de dilution minimale que celles des études précitées, lesquelles portaient sur un nombre relativement restreint de points d'échantillonnage. Cela dit, du fait que la période d'échantillonnage retenue pour l'étude de la WSU était d'une heure, les temps d'intégration doivent être rectifiés avant de comparer les résultats obtenus aux estimations fournies par les modèles de  $D_{\min}$ .

Wilson et Lamb (1994) ont analysé les données de la WSU, et conclu qu'une augmentation de la turbulence atmosphérique tendait à accroître la dilution du panache. Le modèle de dilution minimale de Wilson-Chui a dès lors été revu pour tenir compte de l'influence de la turbulence sur le paramètre de la dilution en fonction de la distance ( $B_1$ ).

### **2.3 Comparaison des données en soufflerie et sur le terrain**

Les résultats obtenus en soufflerie ont en grande partie été évalués à partir de comparaisons avec des données issues d'études terrain qui ne portaient pas sur les émissions provenant des cheminées de



---

toit. Entre autres, Petersen et Ratcliff (1991) notent que, dans l'ensemble, les simulations de dispersion des gaz lourds en soufflerie produisent des résultats comparables aux essais sur le terrain. Petersen (1986) a aussi observé une concordance élevée entre les concentrations enregistrées en soufflerie et sur le terrain à grande distance sous le vent (6 km) d'une cheminée située sur une plateforme de forage en mer. Bachlin et al. (1991) ont pour leur part constaté que les concentrations en soufflerie s'établissaient à un facteur deux près des valeurs enregistrées sur le terrain pour une source au sol rattachée à une usine chimique.

Martin (1965) a mesuré la dilution des panaches en divers points au sol, et sous le vent, d'un réacteur nucléaire situé à l'université du Michigan, et il a comparé ses résultats aux valeurs de dilution obtenues en soufflerie. Il en a conclu que, lorsque le panache subissait un rabattement dû au bâtiment lui-même, les concentrations moyennes enregistrées sur le terrain se comparaient aux concentrations moyennes mesurées en soufflerie. Par contre, lorsque le panache n'était pas influencé par le bâtiment, c'étaient plutôt les concentrations maximales enregistrées sur le terrain qui étaient en corrélation significative avec les concentrations moyennes mesurées en soufflerie.

Allwine et al. (1980) ont simulé en soufflerie des essais sur le terrain effectués à la centrale nucléaire de Rancho Seco par Start et al. (1977). Les concentrations en soufflerie ont été mesurées à des points d'échantillonnage au sol situés à une distance de 100 à 800 m de la source d'émission, et il a été conclu que la soufflerie surestimait les concentrations sur le terrain par un facteur de 1,7.

Il importe de noter que les deux dernières études comparaient des données en soufflerie à des données sur le terrain pour des points d'échantillonnage au sol, et que la précision de la modélisation

---

en soufflerie relativement aux concentrations mesurables à des points d'échantillonnage au toit et aux murs des bâtiments n'a pas fait l'objet d'une étude approfondie. Ogawa et al. (1983b) ont comparé les concentrations en soufflerie mesurées à la surface d'une maquette de bâtiment cubique aux concentrations provenant d'une étude terrain effectuée à partir d'un petit bâtiment d'essai. Dans l'ensemble, les concentrations au sol mesurées en aval de la maquette se comparaient aux résultats obtenus sur le terrain. Toutefois, il n'en a pas été de même des concentrations mesurées sur les surfaces de la maquette. De ce fait, il fut recommandé que les concentrations mesurées sur le toit et les murs d'une maquette de bâtiment ne soient utilisées qu'à titre d'indicateurs qualitatifs de la dispersion des émissions provenant d'une cheminée de toit.

Du fait de la hauteur restreinte de la structure utilisée pour les essais sur le terrain, les résultats obtenus par Ogawa et al. (1983b) peuvent en outre avoir été influencés par des effets d'échelle de la turbulence. L'ampleur des tourbillons par rapport aux dimensions du bâtiment s'est en effet avérée beaucoup plus importante lors des essais sur le terrain que lors des essais en soufflerie.

Saathoff et al. (1996) ont quant à eux comparé les résultats en soufflerie aux résultats sur le terrain de l'étude de la WSU [Lamb et Cronn (1986)]. Étant donné que les vents légers se prêtent mal à la modélisation en soufflerie, ils ont limité leur évaluation aux essais sur le terrain effectués par vent fort à modéré. Dans l'ensemble, les valeurs de dilution obtenues en soufflerie se sont révélées comparables aux données recueillies sur le terrain, les mesures de dilution issues de la plupart des points d'échantillonnage s'étant établies à un facteur deux près des données sur le terrain.

---

### **3.0 MÉTHODOLOGIE**

#### **3.1 Procédures expérimentales**

Deux bâtiments du centre-ville de Montréal, l'édifice Hall et l'édifice BE, ont été choisis aux fins de la présente étude, tous deux se trouvant sur le campus de l'université Concordia. Plusieurs facteurs ont été pris en considération quant au choix des bâtiments d'essai, notamment la hauteur des cheminées, l'emplacement des cheminées, le débit des émissions, l'accessibilité des lieux et la surface du toit couverte par le panache. Les essais sur le terrain pour l'édifice Hall ont été effectués au cours de l'été 1997, et ceux de l'édifice BE, à l'automne 1997. Au terme des essais sur le terrain, une série d'expériences par traçage ont été effectuées dans la soufflerie à couche limite du Centre d'études sur le bâtiment (CEB) de l'université Concordia. Les paramètres de modélisation retenus pour ces essais ont été déterminés à partir des données obtenues lors de l'étude terrain.

#### **3.2 Essais sur le terrain**

##### **3.2.1 L'édifice Hall**

L'édifice Hall, situé dans le centre-ville Montréal, compte parmi les principaux bâtiments de l'université Concordia. Il s'agit d'une structure haute de 62 m qui renferme bon nombre des laboratoires de recherche et d'enseignement de l'université. Il est entouré par des constructions d'élévation comparable, et se dresse à environ 500 m au sud-est du mont Royal, une colline d'une hauteur de 233 m en son point le plus élevé. La figure 1 montre l'emplacement relatif de l'édifice Hall par rapport au mont Royal. La figure 2 révèle l'emplacement et la hauteur des hauts bâtiments entourant les édifices Hall et BE. La figure 3 présente une photographie de l'édifice Hall et des bâtiments environnants.

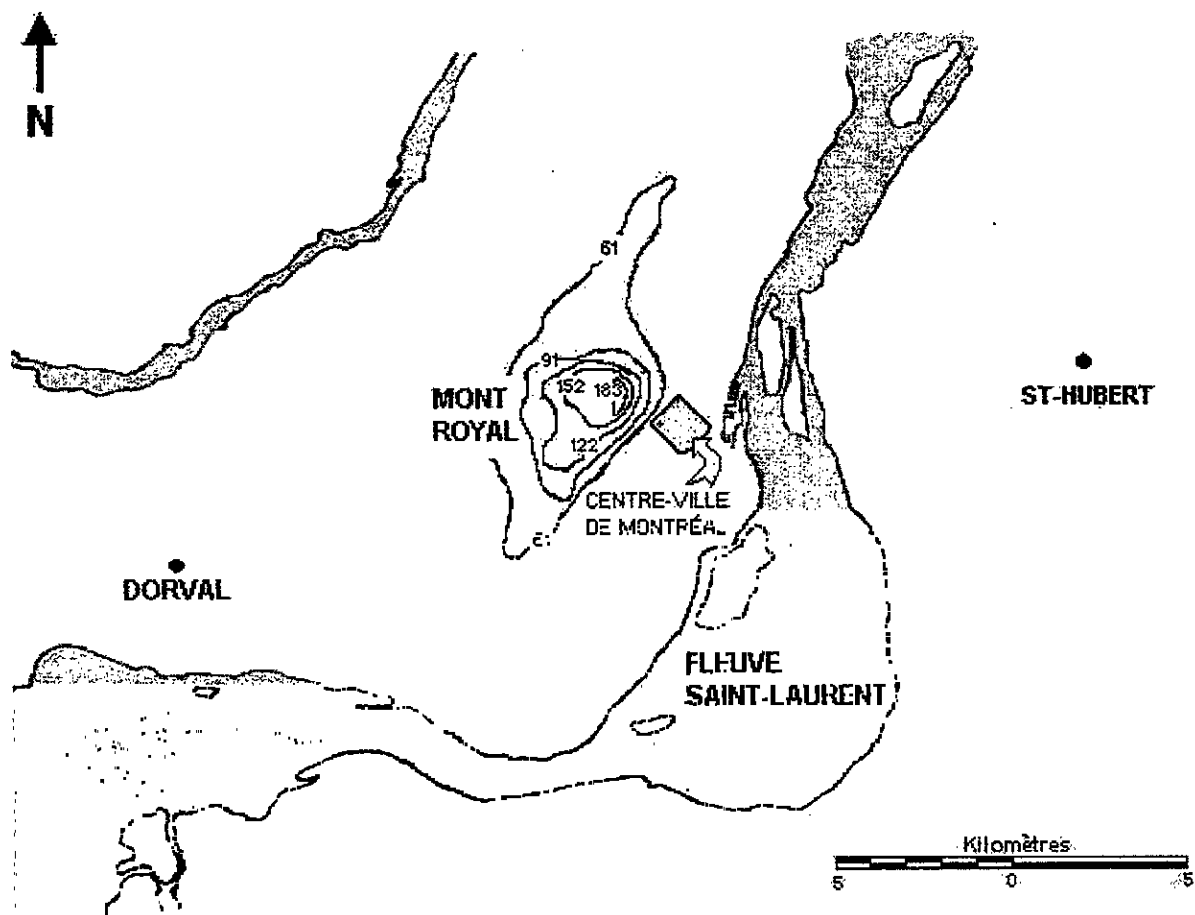


Figure 1 : Emplacement du centre-ville de Montréal par rapport au mont Royal et à l'aéroport de Dorval. (Indications d'altitude en mètres.)

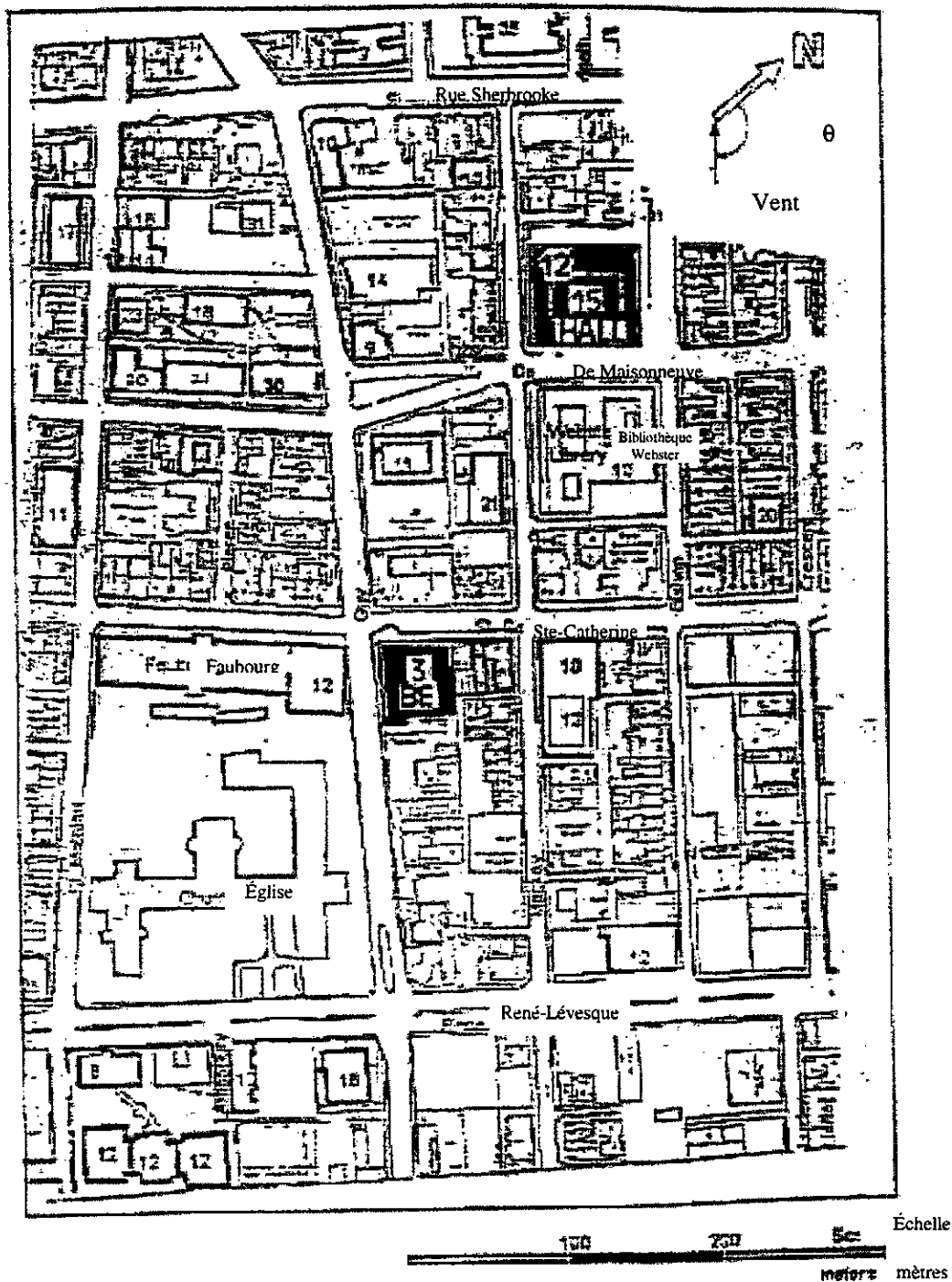


Figure 2 : Emplacement de l'édifice Hall, de l'édifice BE et des constructions environnantes. (Les références numériques indiquent le nombre d'étages des constructions élevées.)

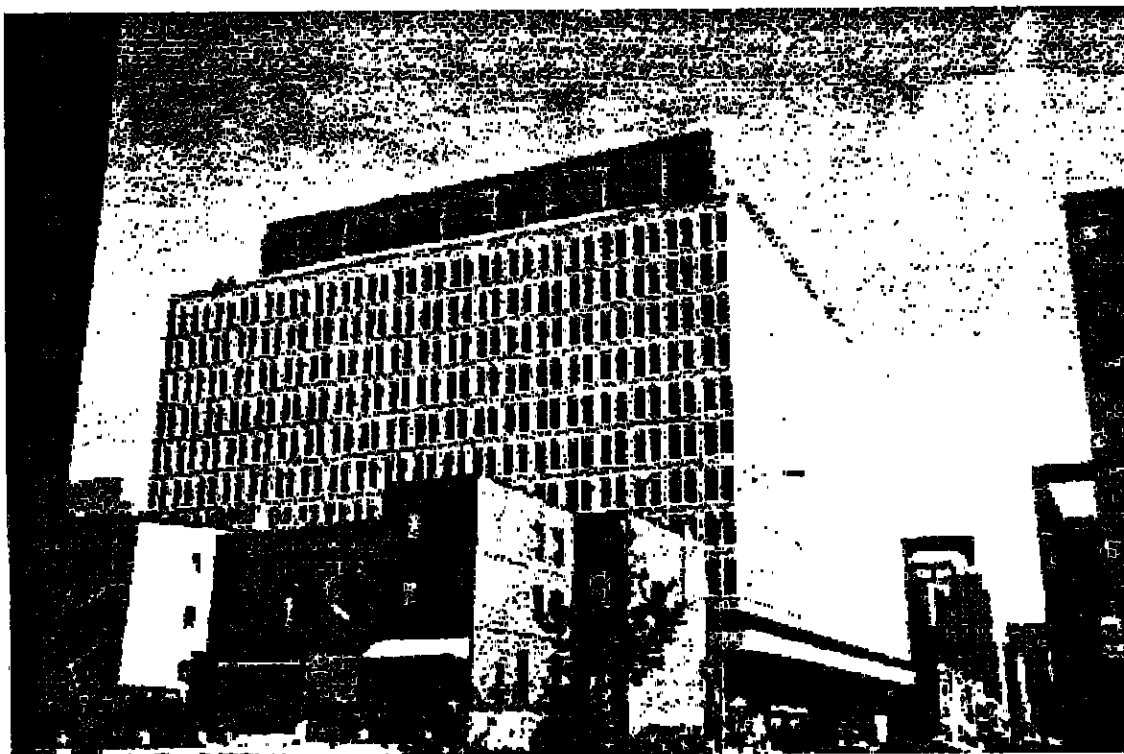


Figure 3 : L'édifice Hall vu du sud.

Si cet édifice a été choisi aux fins de l'étude, c'est en partie parce que les recherches antérieures en soufflerie ont produit une importante quantité de données sur les bâtiments cubiques. La plupart de ces études ont toutefois porté sur des structures isolées, si bien qu'un des objectifs de la présente étude était d'évaluer l'influence des bâtiments en amont sur le processus de dilution.

De précédentes expériences sur le terrain faisant état de la dispersion d'un gaz traceur ont démontré que les données de concentration affichaient un manque de cohésion flagrant, et ce, même pour des conditions atmosphériques essentiellement comparables [p. ex. Start et al. (1977), Georgakis et al.

---

(1995)]. Ainsi, plutôt que de procéder à des essais sur le terrain pour un large éventail de conditions météorologiques, il a été jugé préférable de s'en tenir aux jours où les conditions seraient à peu près semblables, de sorte qu'on puisse dégager des conclusions fermes des données recueillies.

On s'attendait à ce que les conditions éoliennes à proximité de l'édifice Hall soient comparables à celles de l'aéroport de Dorval, situé à 20 km à l'ouest de Montréal. La rose des vents pour l'aéroport de Dorval présentée en figure 4 révèle que les directions prédominantes du vent sont ouest-sud-ouest et nord-est. Dans le centre-ville, toutefois, la proximité du mont Royal tend à réduire la fréquence et l'importance des vents d'ouest. Les données relatives au vent prélevées sur un bâtiment de 14 étages du campus de l'université McGill, situé à 1 km au nord-est de l'édifice Hall, démontrent d'ailleurs l'influence du mont Royal, et la rose des vents de McGill, reproduite en figure 5, indique qu'au centre-ville les vents d'ouest sont moins fréquents qu'à l'aéroport de Dorval.

## VITESSE DES VENTS À DORVAL

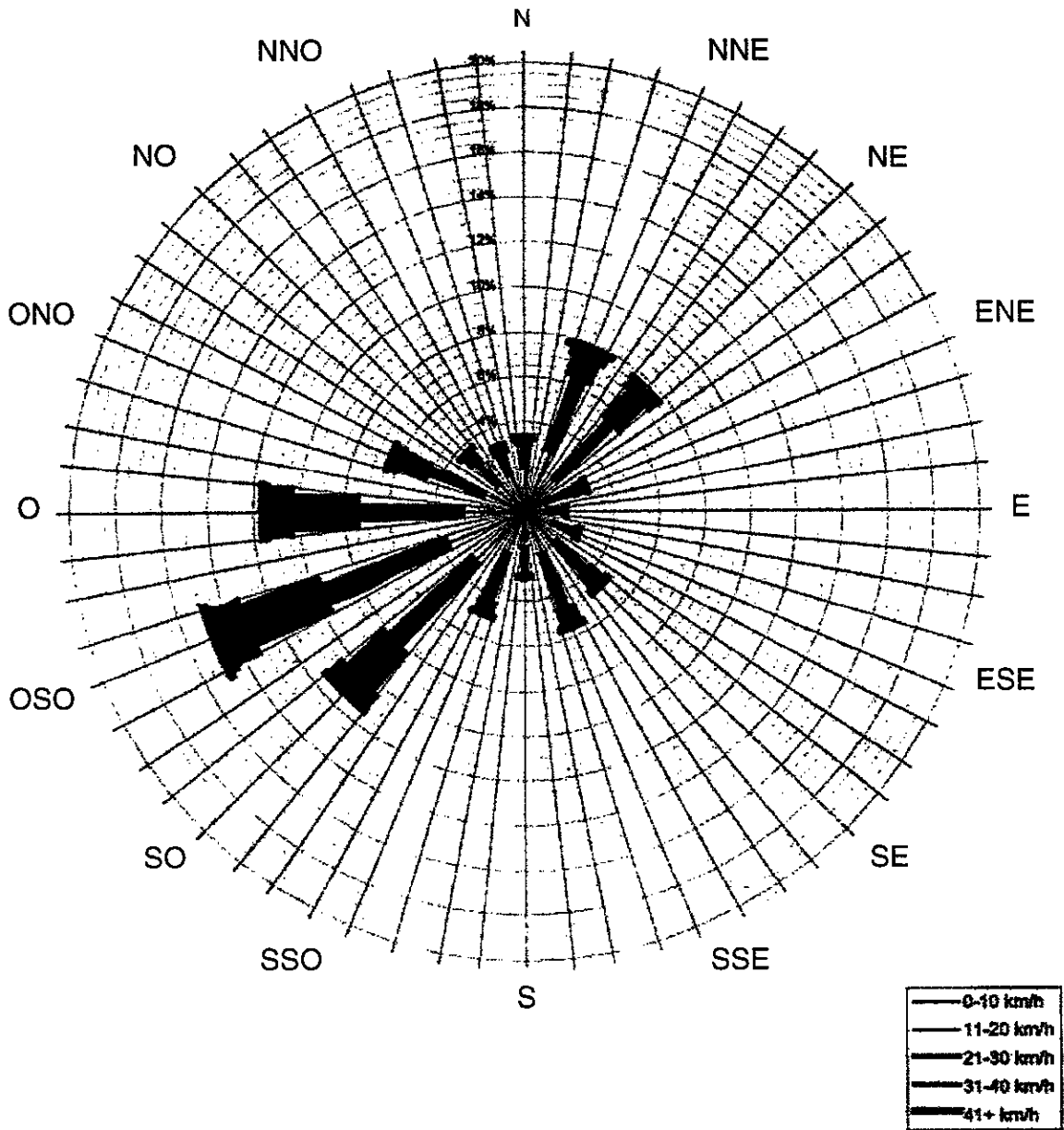


Figure 4 : Diagramme de fréquence des vents à Montréal (pour z = 300 m) selon les données recueillies à l'aéroport de Dorval.



VITESSE DES VENTS À MCGILL 1980-1988  
 À 300 M AU-DESSUS DU SOL

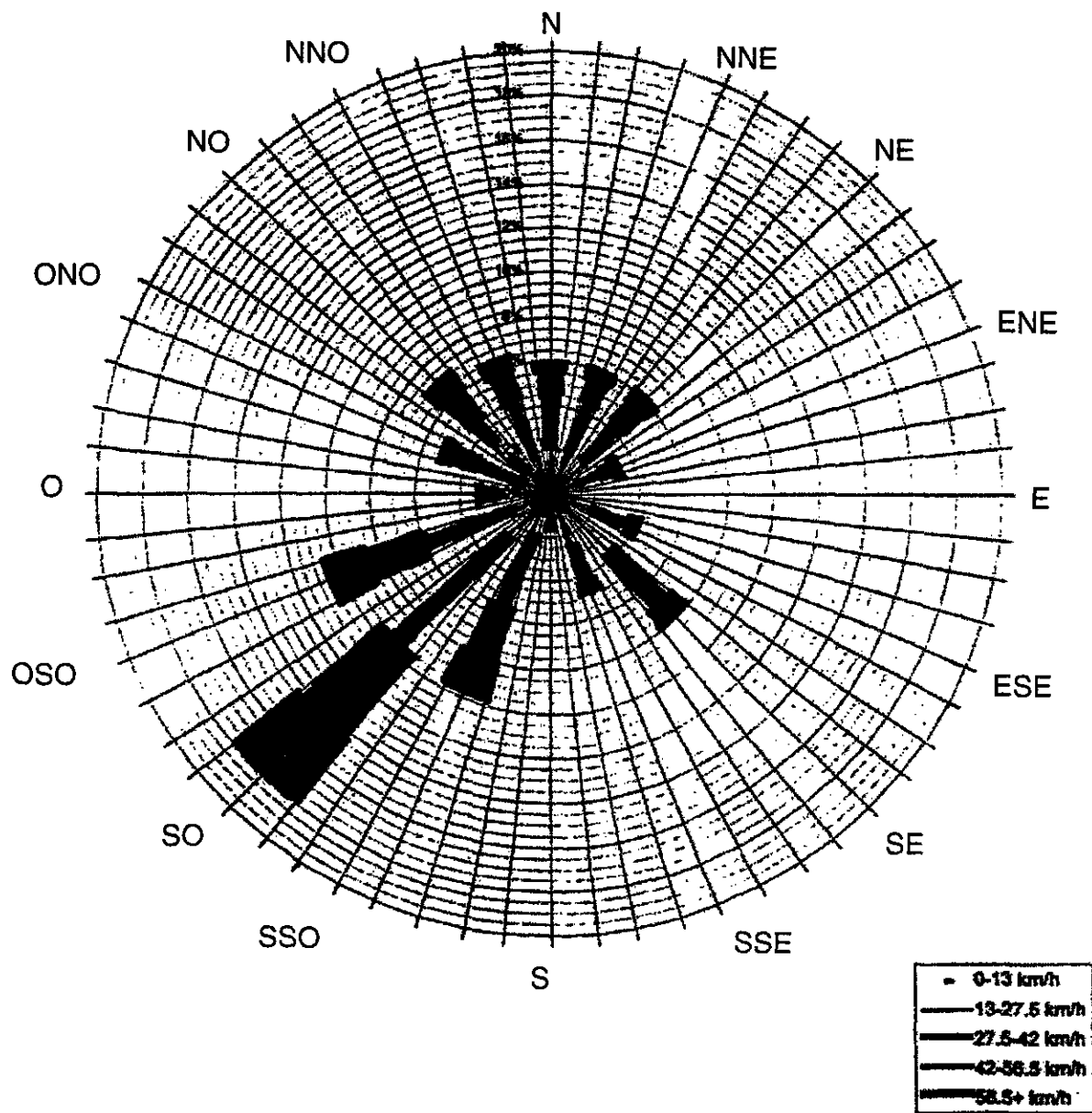


Figure 5 : Diagramme de fréquence des vents à Montréal (pour z = 300 m) selon les données recueillies à l'observatoire de McGill.

Les conditions éoliennes retenues pour les essais sur l'édifice Hall faisaient appel à des vents du sud-ouest d'une vitesse moyenne  $> 5 \text{ m/sec}^{-1}$ . Les vents de cet ordre correspondent généralement à une atmosphère neutre ou légèrement instable [Turner (1994)], et se prêtent donc à la modélisation en soufflerie. La décision de procéder ou non à un essai un jour donné était fondée sur les prévisions de vent fournies par Environnement Canada (Dorval) et sur la disponibilité du personnel de l'IRSST et de l'université Concordia. Des essais ont ainsi pu être effectués le 26 juin, le 2 juillet, le 30 juillet et le 7 août 1997, quoique la vitesse du vent le 2 juillet se soit avérée légèrement plus faible que prévu, de sorte que les mesures de dilution pour ce jour ne sont pas vraiment comparables à celles des autres jours. Par contre, les résultats du 2 juillet fournissent des renseignements utiles quant à l'influence de la vitesse du vent sur le comportement du panache pour un bâtiment d'une telle géométrie. Les conditions atmosphériques pour les quatre essais effectués sur l'édifice Hall apparaissent au tableau 1, les essais en question ayant tous été réalisés entre 10h30 et 16h40 HAE.

Tableau 1 : Conditions atmosphériques lors des essais sur l'édifice Hall (durée des essais :  $\geq 2$  h)

Date	U (m/sec)	Dir. du vent (deg)	$\sigma_u/U$	T (°C)
26 juin 1997	4,9	217	0,401	24,9
2 juillet 1997	2,5	173	0,439	26,6
30 juillet 1997	4,4*	210*		25,7
7 août 1997	5,7	212	0,413	24,8

\* Valeurs estimatives

La vitesse et la direction du vent ont été mesurées à une hauteur de 7 m au-dessus du toit au moyen d'un anémomètre sonique de marque Gill. Cet instrument mesure la valeur moyenne et l'écart-type de deux composantes de la vitesse du vent horizontal ( $u_c$ ,  $v_c$ ) de même que la vitesse du vent vertical ( $w_c$ ) pour le temps d'intégration retenu. Le temps d'intégration a été fixé à 5 min pour les essais du

---

26 juin et du 2 juillet, et porté à 15 min pour l'essai du 7 août. Les détails relatifs à l'analyse des données anémométriques et éoliennes sont réunis dans l'annexe A.

Des données éoliennes horaires ont également été recueillies par une station météorologique située sur le toit du Webster Library Building, un bâtiment de 10 étages voisin de l'édifice Hall dont l'emplacement est précisé sur la figure 2. Cette station, tenue par le professeur David Frost du département de géographie de l'université Concordia, dispose d'un anémomètre à hélice de marque Young installé à une hauteur de 3 m au-dessus du toit. Étant donné sa faible hauteur de mesure, les données éoliennes provenant de cet anémomètre sont tributaires des configurations d'écoulement propres à l'édifice Webster et aux bâtiments élevés qui l'entourent. Néanmoins, les données horaires relatives à la vitesse du vent recueillies par la station peuvent être utilisées pour compléter les données de l'anémomètre sonique en leur appliquant un facteur de correction pour la hauteur ( $U_{\text{Hall}}/U_{\text{Web}}$ ). Selon les données recueillies le 26 juin et le 7 août, ce facteur de correction est d'environ 1,8 lorsque le vent vient du sud-ouest.

À cet égard, il convient de noter que, le 30 juillet, l'anémomètre sonique n'a pas enregistré les données éoliennes, de sorte que les données relatives à la vitesse du vent captées par l'anémomètre de l'édifice Webster, rectifiées pour la différence de hauteur entre les deux structures, ont été utilisées aux fins d'analyse. De même, les données relatives à la direction du vent pour le 30 juillet ont été estimées en fonction des données provenant de la bibliothèque Webster, rectifiées à partir d'une comparaison des données respectives des édifices Hall et Webster pour le 26 juin et le 7 août.

Les moyennes d'intensité de la turbulence sous le vent ( $\sigma_u/U$ ) pour les essais de l'édifice Hall sont reproduites au tableau 1, où  $\sigma_u$  représente l'écart-type des fluctuations de vitesse sous le vent.

---

L'intensité de la turbulence par vent de travers ( $\sigma_v/U$ ), où  $\sigma_v$  représente l'écart-type des fluctuations de vitesse par vent de travers, a été estimée en présumant que  $\sigma_v/U \sim 0,8\sigma_u$  [Ogawa et al. (1983a), Oikawa et Meng (1997)]. La valeur moyenne de  $\sigma_v/U$  pour les essais de l'édifice Hall est estimée aux environs de 0,33. Les détails concernant le calcul des statistiques propres à la turbulence sont consignés dans l'annexe A.

Notez que l'écart-type lié à la direction du vent ( $\sigma_\theta$ ), qui correspond au paramètre de turbulence intégré au modèle de dilution minimale WL, n'a pas été mesuré dans le cadre de la présente étude. Selon Wilson et Lamb (1994),  $\sigma_\theta \sim \sigma_v/U$  lorsque la moyenne quadratique de l'intensité de la turbulence est inférieure à 0,3,  $\sigma_\theta$  étant mesuré en radians. En présumant que cette approximation vaut pour les essais de l'édifice Hall,  $\sigma_\theta \sim 0,33$  rad, soit environ  $20^\circ$ , et le transfert de ce résultat ( $\sigma_\theta = 20^\circ$ ) à l'équation 6 confère au paramètre de dilution en fonction de la distance ( $B_1$ ) la valeur de 0,069.

La figure 6 montre l'emplacement de la cheminée et des échantillonneurs. Une cheminée de hotte de laboratoire (n° 32A) située du côté sud-ouest du toit a été choisie pour les essais en raison du fait qu'une partie importante du toit pouvait ainsi être échantillonnée. Quant aux paramètres d'évacuation, ils figurent au tableau 2. La hauteur de la cheminée était d'environ 0,5 m, et elle avait une section carrée d'une largeur ( $d_c$ ) de 0,585 m. La vitesse d'évacuation ( $w_c$ ), enregistrée lors des essais au moyen d'un anémomètre Velocicalc de marque TSI, a varié entre 13,6 m/sec le 26 juin et

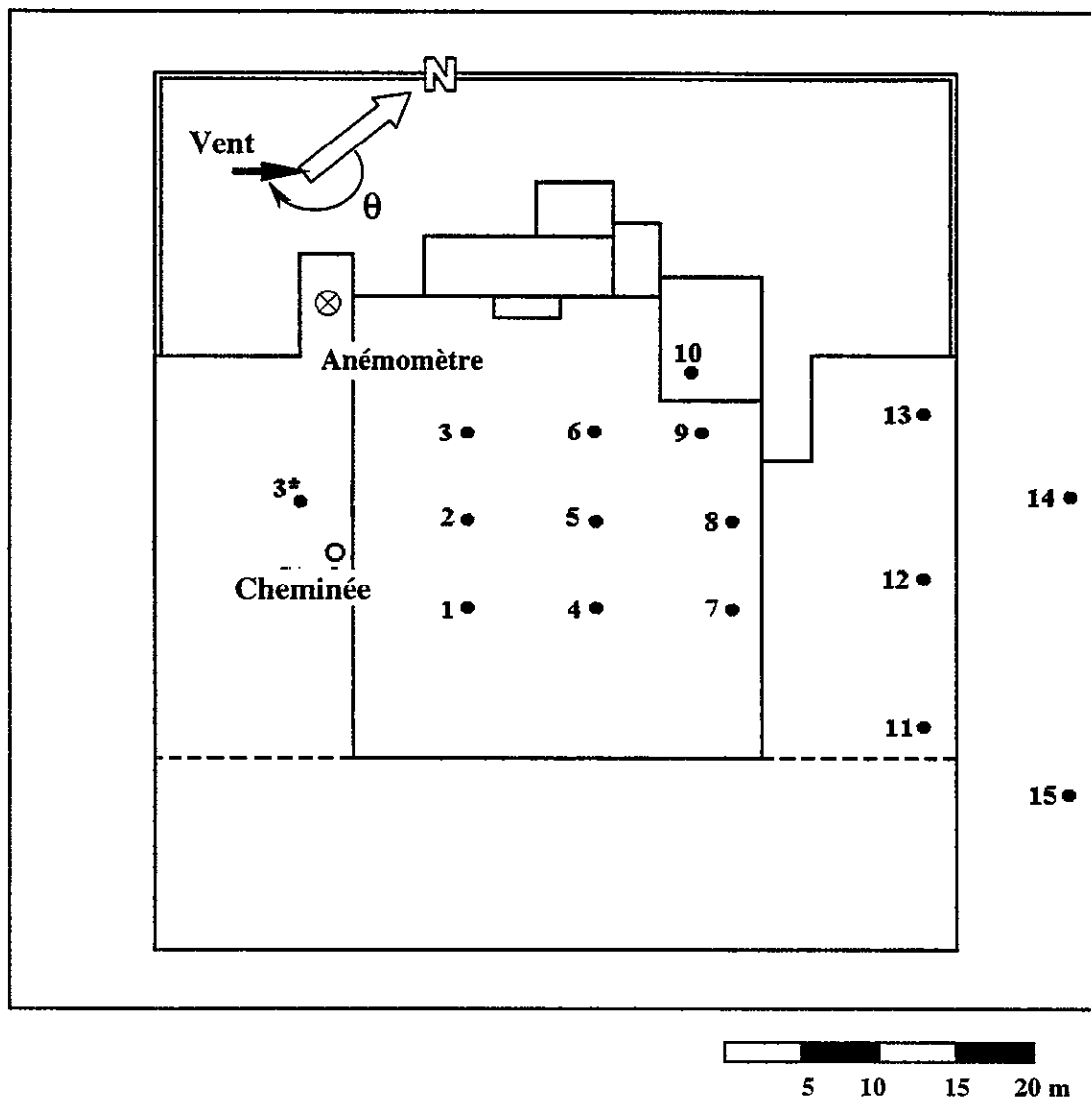


Figure 6 : Vue en plan du toit de l'édifice Hall montrant l'emplacement de la cheminée, des échantillonneurs et de l'anémomètre. (Les échantillonneurs 1 à 13 se trouvent à la hauteur du 14<sup>e</sup> étage; les échantillonneurs 14 à 15 se trouvent à la hauteur du 12<sup>e</sup> étage.)

15,4 m/sec le 7 août. La cheminée n° 32A fait partie d'un groupe de sept cheminées reliées à un certain nombre de hottes dans un laboratoire de chimie situé au 11<sup>e</sup> étage de l'édifice. Dans la plupart des cas, les essais ont été effectués alors que les évacuations adjacentes n'étaient pas en opération de manière à ce qu'elles n'influent pas sur le panache de la 32A.

Au total, 15 échantillonneurs d'air ont été utilisés aux fins de l'étude; les échantillonneurs 1 à 13 étaient placés sur le toit, tandis que les échantillonneurs 14 et 15 se trouvaient à la hauteur du 12<sup>e</sup> étage du côté nord-est de l'édifice. Notez que l'échantillonneur n° 3 a été placé en amont de la cheminée pour l'expérience du 7 août, un essai de dépistage avec source fumigène ayant révélé que le panache voyageait fréquemment contre le vent. Il faut aussi noter que les échantillonneurs 1 à 10 se trouvaient dans un renforcement du toit, à environ 2,5 m plus bas que le sommet de la cheminée.

Tableau 2 : Paramètres d'évacuation de la cheminée n° 32A (édifice Hall)

Paramètres de la cheminée	
Hauteur ( $h_c$ )	0,50 m
Diamètre de sortie ( $d_c$ )	0,59 m
Surface ( $A_c$ )	0,34 m <sup>2</sup>
Vitesse d'évacuation ( $w_c$ )	14,7 m/sec <sup>-1</sup>
Débit	5,0 m <sup>3</sup> /sec <sup>-1</sup>

Les échantillonneurs renfermaient un module d'échantillonnage automatisé, conçu et fabriqué par l'IRSST pour prélever jusqu'à 10 échantillons d'air à l'intérieur d'un intervalle donné, les échantillons étant recueillis dans des sacs d'un litre (Cali-5-Bond). Les détails concernant le système d'échantillonnage sont fournis à l'annexe B.

---

La période d'échantillonnage par sac était fixée à 15 min, ce qui devait permettre de comparer les données recueillies aux concentrations moyennes obtenues en soufflerie, les prévisions faites par les modèles de dilution minimale de l'ASHRAE (1997) portant généralement sur un temps d'intégration de 10 min. Cela dit, lorsque les cheminées et les points d'échantillonnage se trouvent à l'intérieur d'une même zone de recirculation (comme dans la présente étude), les données de dilution ne sont pas très sensibles au temps d'intégration. Dans de tels cas, l'ASHRAE (1997) propose qu'une  $D_{\min}$  mesurée sur une période moyenne de 3 min corresponde à un temps d'intégration pouvant varier de 3 à 60 min. Pour la présente étude, il n'était cependant pas pratique d'utiliser un temps d'intégration de 3 min, dans la mesure où beaucoup plus de sacs d'échantillonnage auraient alors été requis. Il fut plutôt déterminé qu'un temps d'intégration de 15 min serait acceptable aux fins de comparaisons en soufflerie, et permettrait en outre de poursuivre l'échantillonnage pendant plus de 2 heures.

Au cours de la plupart des essais, 10 prélèvements de 15 min ont été effectués par chaque échantillonneur. Ainsi le temps total d'échantillonnage s'établissait-il habituellement à 2,5 heures. Il est toutefois advenu, dans certains cas, que moins d'échantillons soient prélevés en raison de divers problèmes techniques, notamment le raccordement inadéquat de certains sacs d'échantillonnage, l'épuisement du SF<sub>6</sub> et le mauvais fonctionnement de certaines piles d'échantillonneur.

Le gaz traceur, l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>), était diffusé dans une hotte de laboratoire de chimie du 11<sup>e</sup> étage de l'édifice Hall, et la concentration en était constamment mesurée au moyen d'un analyseur de gaz Bruel et Kjaer se trouvant dans le local technique du 13<sup>e</sup> étage. La concentration à la sortie se maintenait habituellement autour de 10 ppm, une exception à cette règle étant l'essai du 30 juillet, au cours duquel la concentration à la sortie a varié entre 5,55 ppm et 9,22 ppm pendant

la période d'essai de 2 heures. Il convient cependant de noter qu'à cette même date la concentration à la sortie pour chacune des périodes d'échantillonnage de 15 min était relativement stable.

À la fin de chaque essai, les sacs d'échantillonnage étaient apportés au laboratoire d'aérodynamique des bâtiments du Centre d'études sur le bâtiment pour y être analysés. Deux chromatographes gazeux (CG), l'un de marque Varian et l'autre fabriqué par Lagus Applied Technology, étaient utilisés pour mesurer la concentration de SF<sub>6</sub> dans les échantillons d'air. D'une manière générale, le CG de Lagus était utilisé pour les échantillons à faible concentration ( $C < 25$  parties par milliard), quoiqu'un sac était périodiquement analysé à l'aide des deux instruments de façon à valider le procédé de mesure. Les concentrations obtenues au moyen des deux instruments ont d'ailleurs affiché une concordance très élevée, les écarts de C étant habituellement limités à  $\pm 10$  %.

### 3.2.2 L'édifice BE

Tel qu'indiqué par la figure 2, l'édifice BE se trouve à environ deux rues au sud de l'édifice Hall. Il s'agit d'un bâtiment de trois étages qui abrite le Centre d'études sur le bâtiment de l'université Concordia de même que plusieurs petites entreprises. La figure 7 reproduit une photographie de l'édifice BE et de ses environs immédiats. Plusieurs gratte-ciel se trouvent en outre à moins de 100 m de l'édifice sous étude, et peuvent fortement influencer sur l'écoulement du vent au-dessus du bâtiment, selon la direction de ce dernier; le plus important d'entre eux est la tour du Faubourg, une construction de 12 étages située en face de l'édifice BE, du côté sud-ouest de la rue.

L'édifice BE a été choisi pour l'étude du fait que, lors des essais préliminaires, on a constaté que les émissions de la cheminée de hotte de laboratoire étaient réintroduites dans le bâtiment lorsque le vent



---

provenait de certaines directions. Les essais de dépistage avec source fumigène ont notamment montré que par vent d'ouest et du nord-ouest, le panache entraînait en contact direct avec la prise d'air neuf située sur l'édicule. Il a ainsi été déterminé que l'édifice BE fournirait un modèle d'étude intéressant en ce qui a trait à l'évaluation de la précision tant de la modélisation en soufflerie que des modèles empiriques de dilution.

Tel que mentionné précédemment, il a été jugé préférable de ne procéder aux essais sur le terrain que des jours où les conditions seraient à peu près semblables, de sorte que des conclusions fermes puissent être dégagées des données recueillies. Les conditions éoliennes retenues pour les essais sur l'édifice BE tenaient à des vents d'ouest ou du nord-ouest dont la vitesse, telle que mesurée à l'aéroport de Dorval, dépassait 5 m/sec. Des essais ont ainsi pu être réalisés à trois reprises, soit le 1<sup>er</sup> octobre, le 10 octobre et le 2 décembre 1997, et les données relatives au vent de même que les températures ambiantes moyennes lors de ces essais sont présentées par le tableau 3. La cheminée de hotte de laboratoire montée sur l'édifice BE a été fabriquée par Strobic Inc., et apparaît à la figure 8; sa hauteur est d'environ 3 m et son diamètre de sortie ( $d_c$ ), de 1,1 m. Quant aux paramètres d'évacuation de la cheminée, ils sont fournis par le tableau 4.



Figure 7 : L'édifice BE vu de l'ouest.

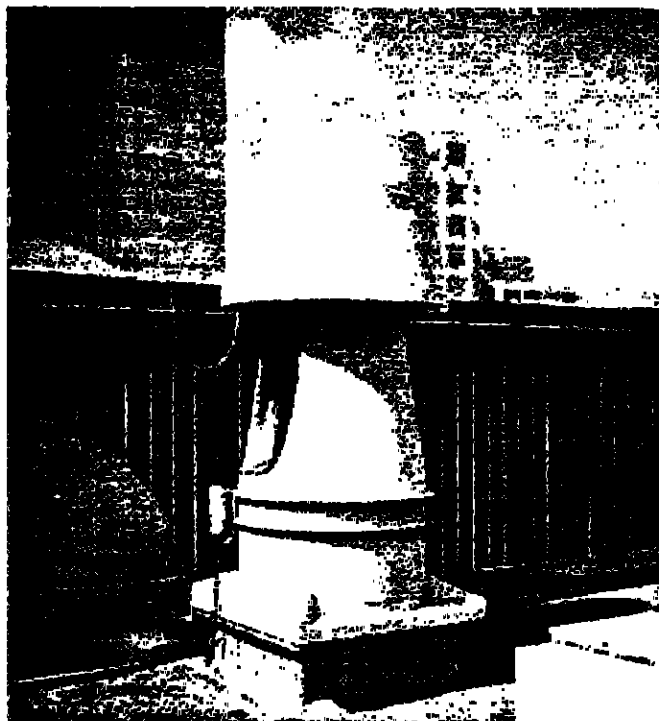


Figure 8a: Photo de la cheminée sous étude sur l'édifice BE.

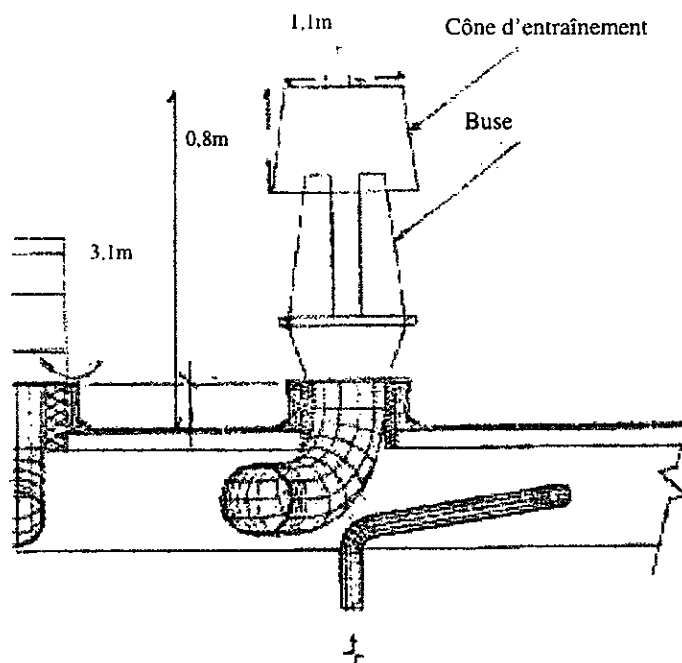


Figure 8b : Dimensions de la cheminée sous étude sur l'édifice BE.

Tableau 3 : Conditions éoliennes moyennes lors des essais de l'édif. BE (durée des essais :  $\geq 2$  h)

Date	U (m/sec <sup>-1</sup> )	Dir. vent (deg)	$\sigma_u/U$	T (°C)
1 <sup>er</sup> octobre 1997	2,0	300		5,5
10 octobre 1997	4,5	270	0,60	16
2 décembre 1997	3,1	270	0,76	-0,5

Il importe de noter que les émissions proviennent de deux buses situées à 0,76 m seulement du sommet de la cheminée (voir fig. 8b). Il en résulte que l'étalement de la vitesse d'évacuation à la sortie n'est pas uniforme, ainsi que la figure 9 permet de le constater.

Pour pouvoir recourir aux modèles de dilution WC et WL, la vitesse d'évacuation moyenne doit d'abord être estimée. Or, dans le cas présent, le calcul de la  $w_c$  s'est avéré difficile en raison de l'étalement non uniforme de cette vitesse. D'aucuns suggéreraient de faire appel à la vitesse moyenne mesurée pour l'ensemble de la surface de la cheminée au sommet du cône d'entraînement ( $A_{\text{som}} = 0,95 \text{ m}^2$ ). La  $w_c$  obtenue par cette méthode s'établit toutefois autour de  $6 \text{ m/sec}^{-1}$ , soit beaucoup moins que la  $w_c$  mesurée au cœur du panache (voir fig. 9). Un tel résultat conférerait une valeur peu réaliste à M, et donnerait de ce fait une estimation imprécise de  $D_0$  et  $D_d$  (équations 3, 4 et 7).

Une alternative à cette méthode, qui a d'ailleurs été retenue aux fins de la présente étude, consiste à déterminer la vitesse d'évacuation au cœur du panache plutôt que sur l'ensemble de la surface de la cheminée. À partir des données d'étalement de la vitesse reproduites à la figure 9, il a été présumé

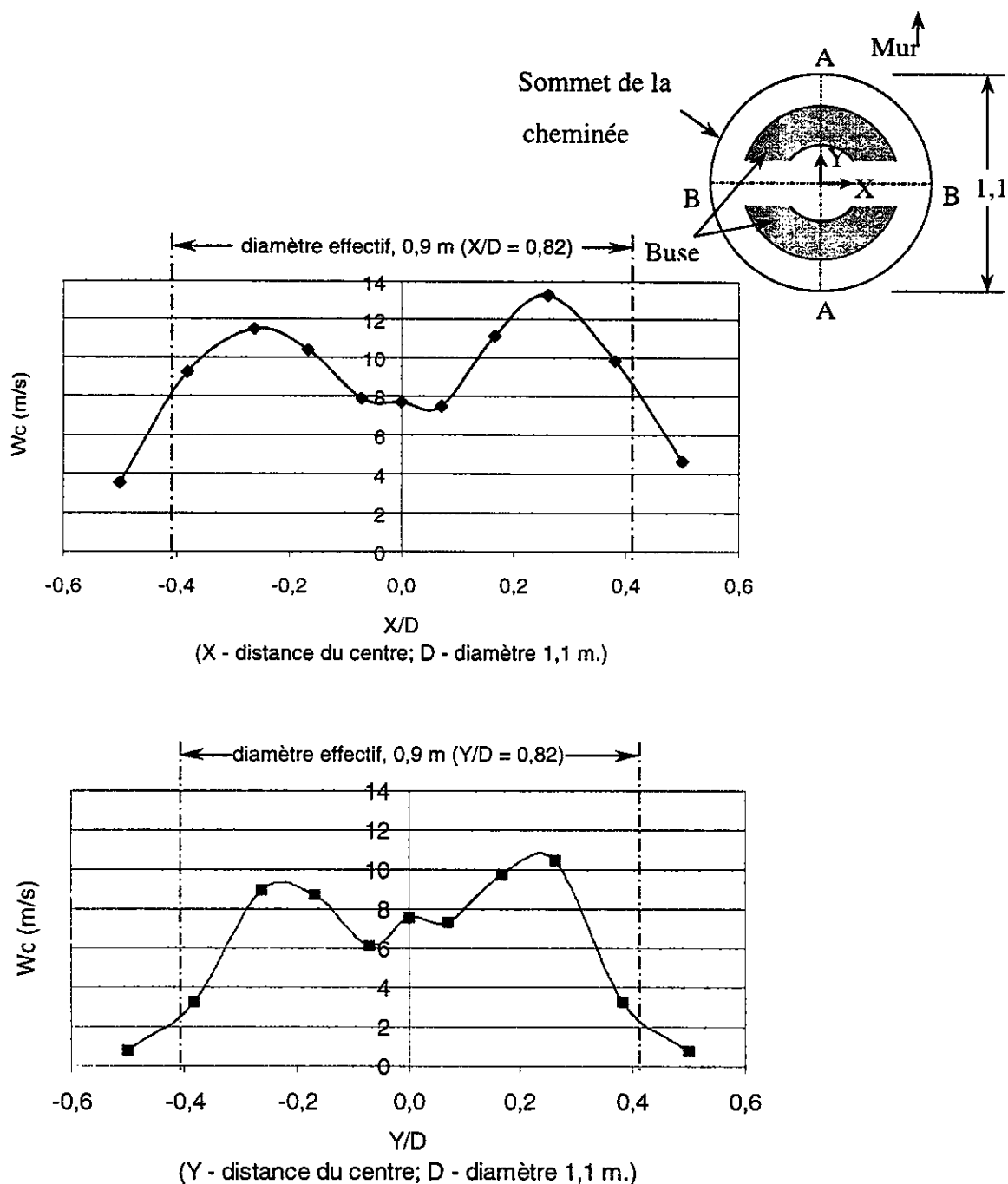


Figure 9 : Étagement de la vitesse d'évacuation à la sortie de la cheminée de l'édifice BE.

que le panache avait un diamètre effectif de 0,9 m, et la vitesse d'évacuation effective a été obtenue en prenant la moyenne des mesures de vitesse relevées pour un tel diamètre. Grâce à cette méthode, la  $w_c$  s'est plutôt établie aux environs de  $8,1 \text{ m/sec}^{-1}$ , ce qui donne un débit effectif de  $5,2 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

Tableau 4 : Paramètres d'évacuation de la cheminée Strobic (édifice BE)

<b>Paramètres de la cheminée</b>	
<b>Hauteur (<math>h_c</math>)</b>	3,0 m
<b>Diamètre de sortie (<math>d_c</math>)</b>	1,1 m
<b>Diamètre effectif</b>	0,9 m
<b>Surface effective (<math>A_c</math>)</b>	$0,64 \text{ m}^2$
<b>Vitesse d'évacuation (<math>w_c</math>)</b>	$8,1 \text{ m/sec}^{-1}$
<b>Débit</b>	$5,2 \text{ m}^3/\text{sec}^{-1}$

Comme pour les essais de l'édifice Hall, 15 échantillonneurs d'air ont été utilisés sur l'édifice BE. La figure 10a montre l'emplacement de la cheminée et des échantillonneurs, tandis que la figure 10b fait état de la hauteur relative de la cheminée et des diverses structures présentes sur le toit. Compte tenu de la direction changeante du vent, la position des échantillonneurs a été modifiée pour chacun des essais, ce qui explique que plus de 15 emplacements soient indiqués sur la figure 10a. À titre d'exemple, les essais de dépistage avec source fumigène effectués avant le début du 2<sup>e</sup> essai avaient révélé que le panache était fréquemment rabattu vers le toit, tout près de la cheminée. Plusieurs échantillonneurs ont alors été placés entre l'édicule et la cheminée, de même que sur le toit du bâtiment adjacent au nord-est. Enfin, les nombres associés aux échantillonneurs dans la figure 10a

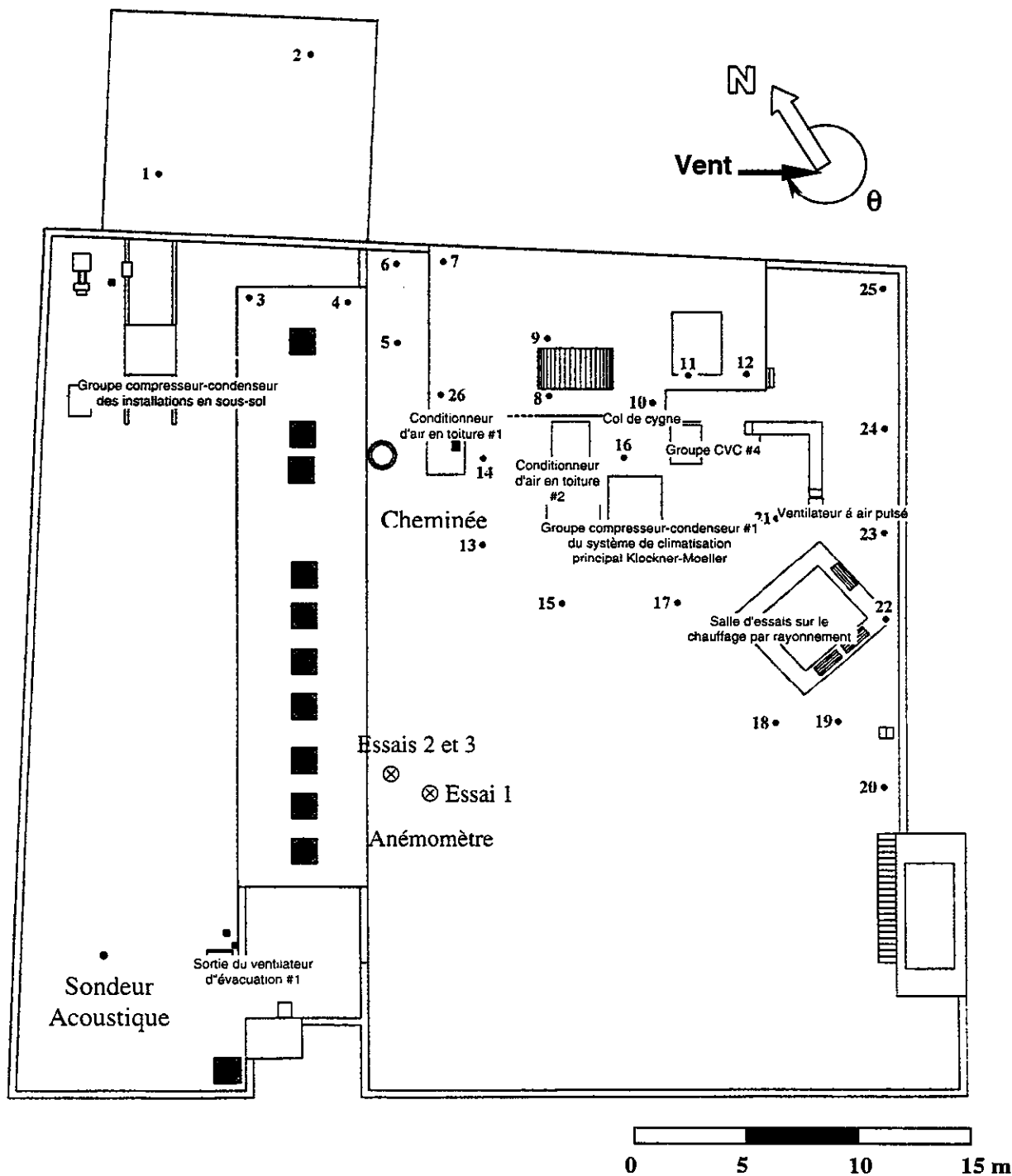


Figure 10a : Vue en plan du toit de l'édifice BE montrant l'emplacement de la cheminée, de l'anémomètre et des points d'échantillonnage (les références numériques correspondant aux points de prélèvement de la maquette utilisée en soufflerie).

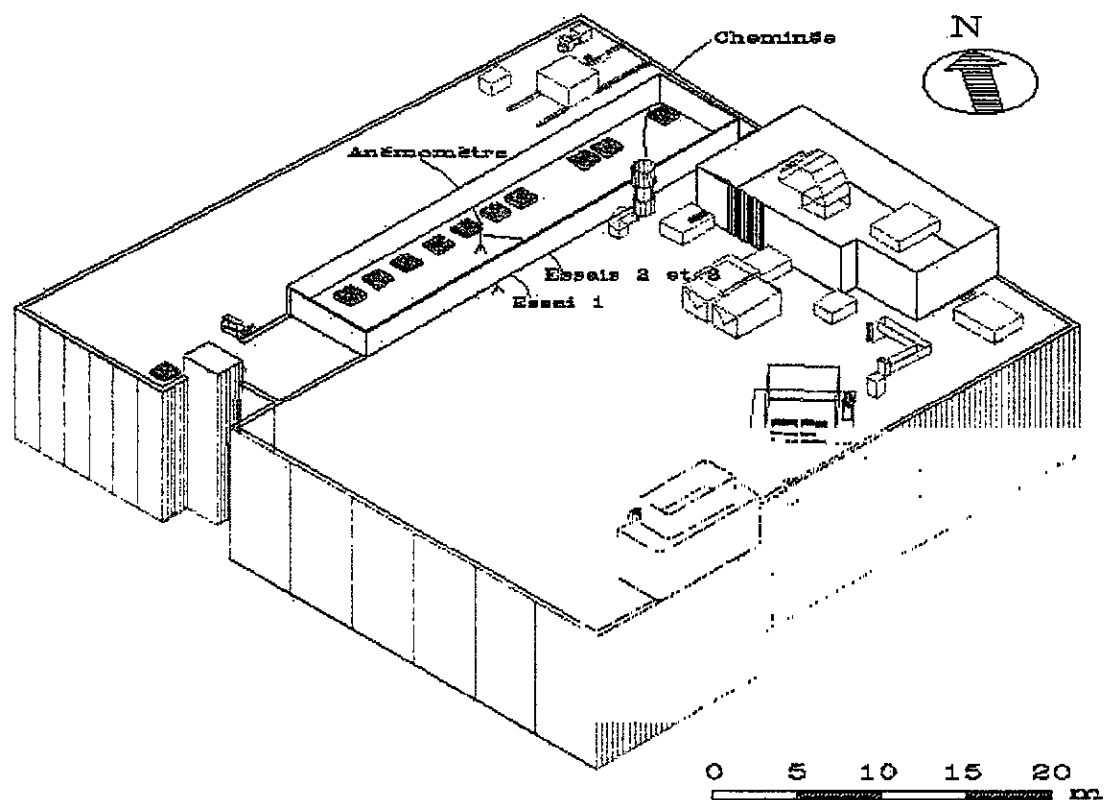


Figure 10b Vue en perspective de l'édifice BE montrant la hauteur relative de la cheminée et des structures présentes sur le toit.



---

ne correspondent pas à ceux des échantillonneurs utilisés sur le terrain, mais plutôt à ceux des points de prélèvement sur la maquette.

D'une manière générale, 10 prélèvements de 15 min ont été effectués à chaque emplacement. Il est toutefois arrivé que certains sacs mal raccordés à la pompe n'aient pas été remplis. Par ailleurs, quelques échantillonneurs ont connu des ratés au cours du 3<sup>e</sup> essai en raison de la froideur de l'air ( $T = -0,5^{\circ}\text{C}$ ).

L'hexafluorure de soufre était diffusé dans une hotte du laboratoire d'aérodynamique des bâtiments situé au 2<sup>e</sup> étage de l'édifice BE. La concentration de  $\text{SF}_6$  était mesurée sans interruption au moyen d'un analyseur de gaz Bruel et Kjaer par le biais d'un tube d'échantillonnage monté sur la cheminée. La concentration à la sortie a d'ailleurs été maintenue à un niveau relativement constant du commencement à la fin de chaque essai.

La vitesse et la direction du vent ont été mesurées à l'aide de l'anémomètre sonique Gill. Pour l'essai du 1<sup>er</sup> octobre, ce dernier a été monté sur une tour portative, à environ 4 m au-dessus du toit principal. Pour les deux autres essais, il a été placé tout près, sur un support de 3 m à proximité des lanterneaux. La figure 10a montre d'ailleurs l'emplacement de l'anémomètre dans chacun des cas. Lors de l'essai du 1<sup>er</sup> octobre, les données éoliennes ont aussi été recueillies par un sondeur acoustique (sodar) se trouvant du côté nord-ouest du bâtiment, comme le montre également la figure 10a.

### 3.3 Essais en soufflerie

#### 3.3.1 Critères de modélisation en soufflerie

La soufflerie à couche limite est tout indiquée pour étudier la dilution en champ proche des émissions d'immeubles. En général, les émissions provenant des cheminées de toit ne sont pas flottantes, si bien qu'il n'est pas nécessaire d'étalonner les données au moyen du nombre de Froude. Par ailleurs, les concentrations critiques à l'intérieur des panaches tendent à être associées à des vents modérés à forts, puisque l'élévation du panache est habituellement minimale dans de telles conditions; il s'avère dès lors suffisant de simuler la couche superficielle stable de l'atmosphère (CSA). Compte tenu des simplifications énoncées ci-dessus, les critères suivants deviennent importants pour la modélisation en soufflerie de la dilution en champ proche du panache [ASHRAE (1997)] :

- similitude géométrique;
- similitude entre l'écoulement en soufflerie et la CSA;
- nombre de Reynolds du bâtiment ( $Re_b = UD/\nu$ )  $> 11\ 000$ ;
- nombre de Reynolds de la cheminée ( $Re_c = w_c d_c/\nu$ )  $> 2\ 000$   
[pour assurer des émissions turbulentes];
- facteur d'impulsion équivalent de la cheminée ( $M = w_c/U$ );

où  $\nu$  représente la viscosité cinématique de l'air,  $D$  la dimension nominale du bâtiment, et  $d_c$  le diamètre de la cheminée. Il se peut toutefois que, dans les faits, les critères relatifs au nombre de Reynolds s'avèrent trop modestes. Castro et Robins (1977) ont en effet constaté que l'écoulement au-dessus d'un modèle cubique était indépendant du nombre de Reynolds lorsque  $Re_b > 4\ 000$ . Quant au nombre de Reynolds de la cheminée, Wilson et Chui (1985) soulignent que l'effet d'un flux d'émissions laminaire sur le processus de dilution est difficile à quantifier. Il est d'ailleurs intéressant

---

de noter que les modèles de dilution minimale développés par Wilson et Chui (1987,1995) reposent sur des expériences en soufflerie où les flux d'émissions étaient précisément laminaires.

Tel que mentionné plus tôt, la précision relative à la modélisation en soufflerie de la dispersion en champ proche des émissions provenant des cheminées de toit n'a pas fait l'objet d'une étude approfondie, et un des facteurs qui doivent être pris en considération au moment de comparer les données recueillies sur le terrain aux données obtenues en soufflerie est l'effet du temps d'intégration sur les premières.

En grandeur réelle, plus le temps d'intégration augmente, plus la concentration moyenne tend à diminuer en raison de la sinuosité que la turbulence et la direction changeante du vent confèrent au panache. Or, les souffleries ne permettent de modéliser que les panaches sinueux associés à de faibles turbulences, dans la mesure où l'enceinte d'expérimentation limite le flux latéral des émissions. On estime d'ordinaire que les concentrations moyennes obtenues en soufflerie correspondent à un temps d'intégration d'environ 10 min en grandeur réelle [ASHRAE (1997)]. Wilson (1995) note cependant que cette approximation ne vaut que pour les souffleries dont les dimensions transversales sont 10 fois plus grandes que l'épaisseur de la couche limite, et la plupart des souffleries ne répondent pas à ce critère, de sorte qu'elles ne peuvent vraisemblablement simuler qu'un temps d'intégration en grandeur réelle de 1 à 5 min.

Une récente comparaison des données obtenues en soufflerie à des prélèvements sur le terrain dont le temps d'intégration était de 5 min semble indiquer que la soufflerie disperse moins les panaches que l'atmosphère, et ce, même pour des temps d'intégration très courts [Higson et al. (1994)]. Les

concentrations maximales en soufflerie obtenues dans le cadre de cette étude étaient en effet plus élevées que celles mesurées sur le bâtiment sous étude. D'autre part, les concentrations minimales en soufflerie étaient inférieures aux concentrations observées sur le terrain aux emplacements correspondants, ce qui signifie que le panache simulé est plus étroit que son pendant atmosphérique.

Lorsque la source d'émission et le point d'échantillonnage se trouvent dans une même zone de recirculation, comme c'est le cas dans la présente étude, on s'attend à voir diminuer les effets du temps d'intégration. L'ASHRAE (1993, 1997) suggère en effet qu'en pareil cas, les valeurs de dilution obtenues pour un temps d'intégration de 3 min valent pour des temps d'intégration en grandeur réelle pouvant aller jusqu'à 1 heure.

### **3.3.2 Méthodologie expérimentale**

Des essais en soufflerie ont été effectués dans la soufflerie à couche limite du Centre d'études sur le bâtiment de l'université Concordia après que des modèles à l'échelle 1:500 de l'édifice Hall, de l'édifice BE et des bâtiments environnants dans un rayon de 450 m y aient été construits. Des photographies des maquettes des deux édifices et de leur environnement sont reproduites à la figure 11.

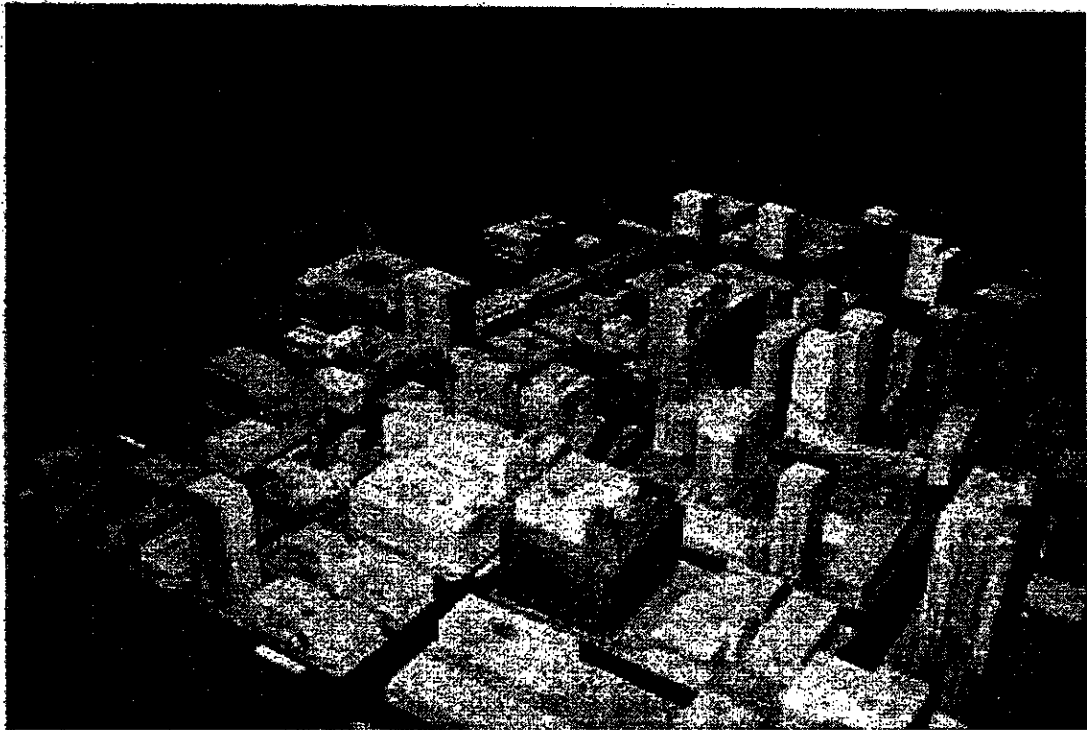


Figure 11a : Maquette de l'édifice Hall.

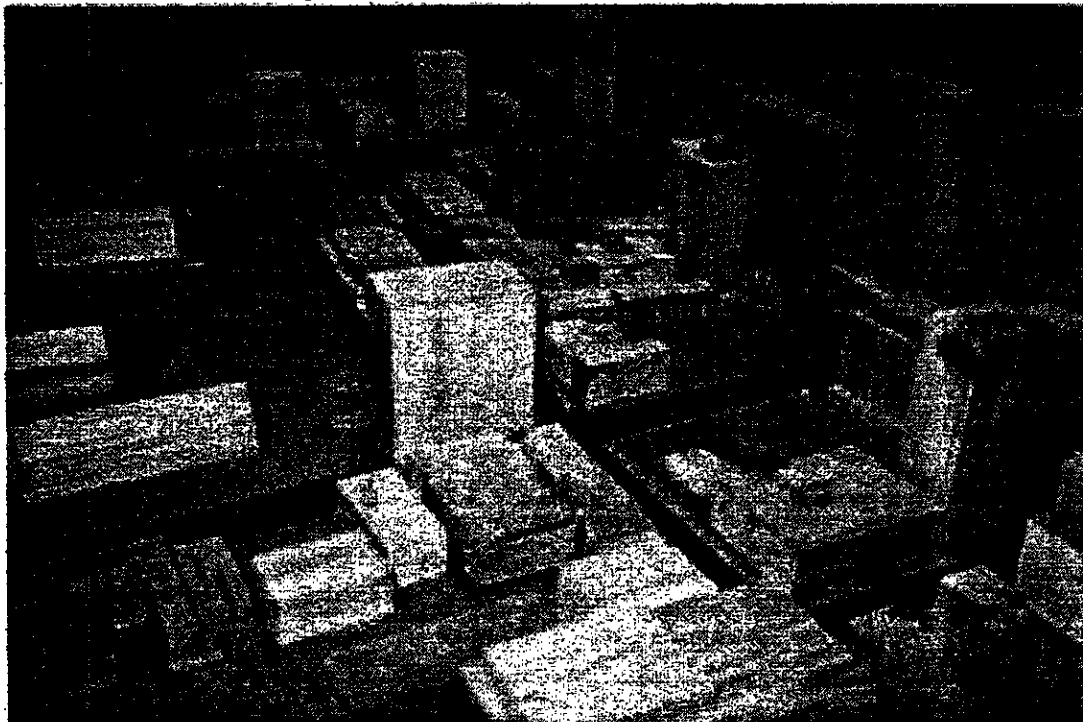
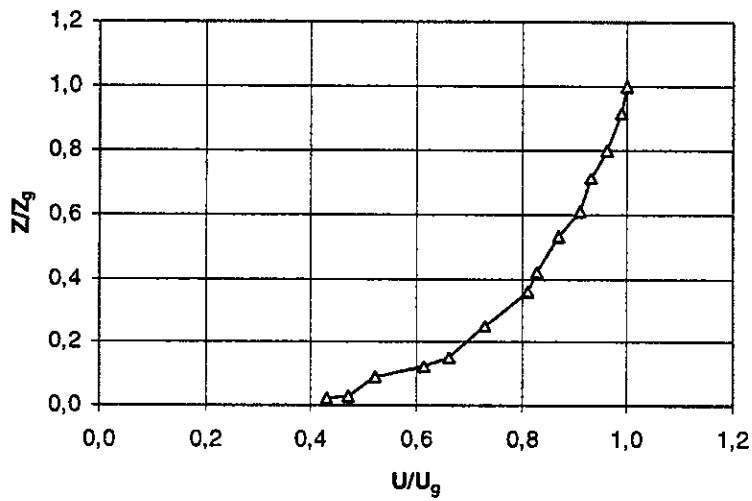


Figure 11b Maquette de l'édifice BE.

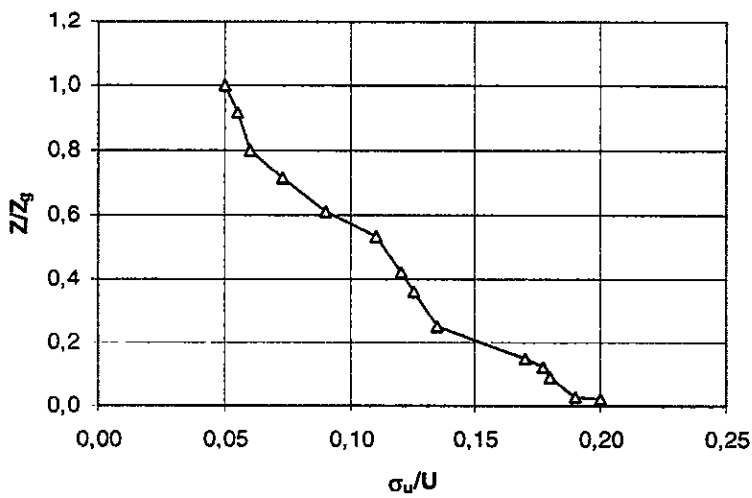
Des tubes de prélèvement en acier d'un diamètre extérieur de 1,2 mm ont été placés sur les maquettes aux emplacements des échantillonneurs utilisés lors des essais sur le terrain. La maquette de l'édifice Hall fut ainsi dotée de 16 points de prélèvement, et celle de l'édifice BE, de 26 points de prélèvement. Les emplacements des points de prélèvement sur les édifices Hall et BE apparaissent respectivement aux figures 6 et 10a.

On a eu recours à une exposition suburbaine, assortie d'un facteur exponentiel ( $\alpha$ ) de 0,25, pour simuler la couche limite atmosphérique présente à grande distance au vent de la zone d'essai. La transition à une couche limite de type urbain dans la zone d'essai même a quant à elle été simulée en faisant appel aux maquettes des bâtiments environnants. La distribution verticale de la vitesse moyenne et de l'intensité de la turbulence apparaissent à la figure 12. Il convient par ailleurs de noter que la couche limite simulée correspond à une atmosphère stable et neutre.

Compte tenu des difficultés qu'aurait entraînées une représentation fidèle du mont Royal exposé à des vents venant de multiples directions, rien n'a été tenté pour modéliser l'influence de la colline sur les résultats de l'étude. On ne s'attend d'ailleurs pas à ce que la colline ait une influence notable sur les données provenant de l'un ou l'autre des bâtiments sous étude. En ce qui concerne les essais effectués sur l'édifice Hall, la colline n'était pas au vent, si bien que ses effets devraient être minimaux. Dans le cas de l'édifice BE, les effets du relief pourraient être plus significatifs puisque la colline était au vent lors de ces essais. On estime cependant que les hauts bâtiments situés dans le voisinage immédiat de l'édifice BE auront une influence beaucoup plus marquée que la colline sur le comportement du panache.



a) Distribution de la vitesse moyenne du vent



b) Distribution de l'intensité des turbulences

Figure 12 : Distributions verticales de la vitesse moyenne du vent et de l'intensité des turbulences mesurées sous exposition suburbaine dans la soufflerie à couche limite du CEB.

Un paramètre clé en ce qui a trait à la modélisation de l'élévation du panache est le facteur d'impulsion des émissions ( $M$ ), soit le rapport de la vitesse d'évacuation à la vitesse du vent. Les expériences ont donc été effectuées en ajustant le débit des émissions et la vitesse du vent de manière à ce que la valeur de  $M$  corresponde à celle obtenue sur le terrain. La vitesse de référence du vent ( $U_h$ ) a été mesurée à l'emplacement même de l'anémomètre sur chacun des bâtiments d'essai. Or, étant donné que ce point se trouve au-dessus du sommet des cheminées d'évacuation, la vitesse de référence du vent peut avoir été plus élevée que la vitesse du vent au sommet de la cheminée. Cela est surtout vrai pour la cheminée de l'édifice Hall, qui se trouvait à l'intérieur de la zone de recirculation. De même, l'intensité de la turbulence mesurée à la hauteur de référence était probablement inférieure à la valeur qu'on aurait obtenue près des cheminées.

L'hexafluorure de soufre ( $SF_6$ ) a été utilisé comme gaz traceur pour les essais en soufflerie. Un mélange homologué de  $SF_6$  et d'azote a été diffusé par une cheminée se trouvant sur la maquette à l'échelle, et la concentration moyenne de  $SF_6$  aux prises d'air a été mesurée à l'aide d'un chromatographe gazeux de marque Varian. Des échantillons d'air ont été recueillis par l'intermédiaire de tubes en plastique fixés aux tubes de prélèvement en acier disposés sur les surfaces de la maquette. À chaque point de prélèvement, cinq échantillons ont été recueillis sur une période de 2 min de façon à obtenir des estimations stables de concentration moyenne, les mesures obtenues pouvant généralement être reproduites à  $\pm 10\%$ . Les concentrations de gaz traceur ont quant à elles été mesurées aux points d'échantillonnage au toit de la maquette de l'édifice.

La vitesse moyenne du vent et l'intensité moyenne de la turbulence ont été mesurées à l'aide d'un thermo-anémomètre TSI. Les valeurs de  $w_c$  et  $M$  ont été modulées en contrôlant avec précision



---

l'écoulement des émissions provenant de la cheminée. En raison du faible diamètre des cheminées de la maquette ( $d_c$ ), le nombre de Reynolds des cheminées n'a généralement pas dépassé la valeur critique de 2 000 requise pour assurer un flux turbulent. Les valeurs de  $Re_c$  dépendent de la valeur de  $M$ , qu'on a fait varier entre 1,0 et 3,0 pour les essais de l'édifice Hall, et entre 2,0 et 4,0 pour les essais de l'édifice BE. En outre, pour une valeur donnée de  $M$ , la vitesse d'évacuation variera selon la direction du vent. Pour les essais de l'édifice Hall, le nombre de Reynolds de la cheminée a varié entre 400 et 1 800, contre une valeur en grandeur réelle de  $5,7 \times 10^5$ . Pour les essais de l'édifice BE,  $Re_c$  a varié entre 500 et 1 900, contre une valeur en grandeur réelle de  $5,5 \times 10^5$ . Dans le cadre de la présente étude, on ne s'attend cependant pas à ce que le relâchement du critère relatif au nombre de Reynolds affecte les résultats puisque les panaches devraient être dominés par la turbulence, aussi bien atmosphérique qu'engendrée par les bâtiments, et ce, même dans le voisinage immédiat des cheminées.

#### 4.0 RÉSULTATS

Les résultats des études sur l'édifice Hall et l'édifice BE seront présentés séparément. Dans un cas comme dans l'autre, les données issues des essais sur le terrain seront analysées et comparées aux valeurs fournies par les modèles de dispersion précédemment décrits. Les données de terrain seront ensuite comparées aux résultats obtenus en soufflerie.

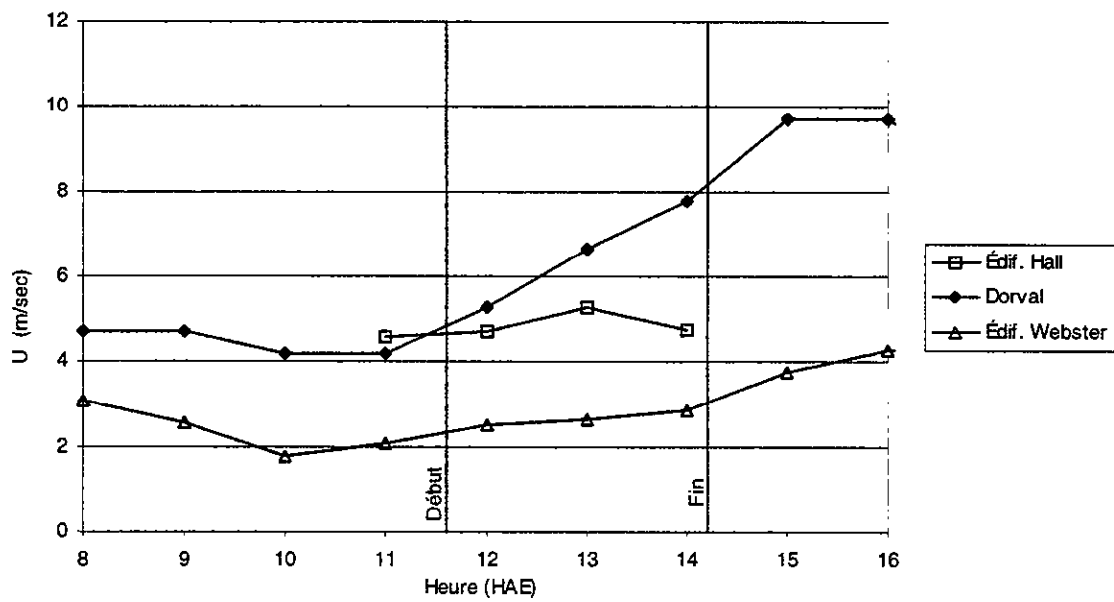
## **4.1 L'édifice Hall**

### **4.1.1 Étude terrain**

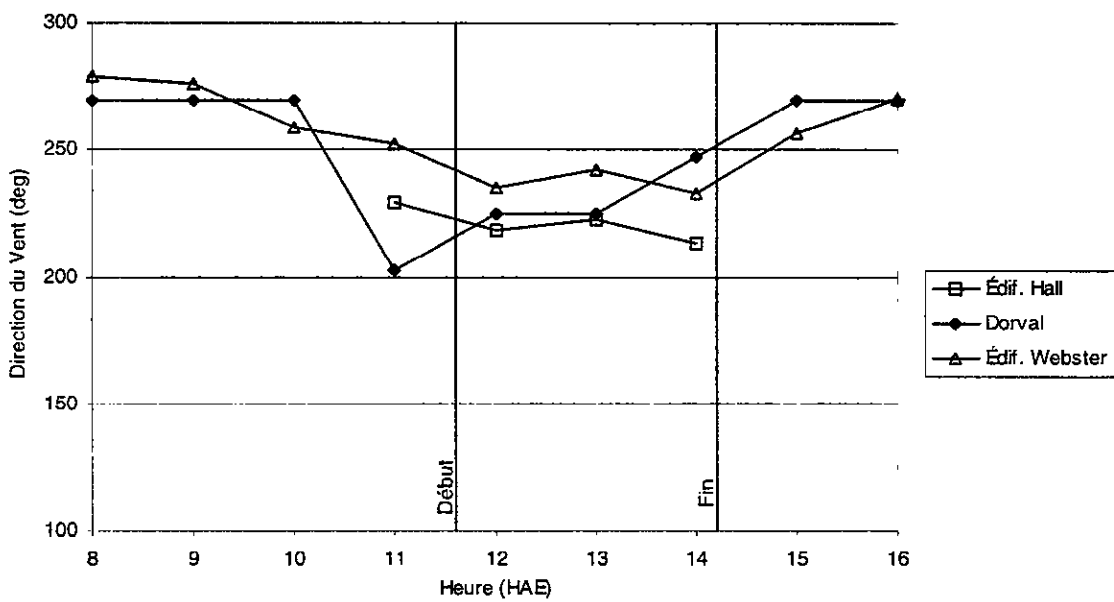
Tel que mentionné précédemment, des essais sur le terrain ont été effectués le 26 juin, le 2 juillet, le 30 juillet et le 7 août 1997; sauf pour l'essai du 2 juillet, les expériences réalisées l'ont été sous des conditions éoliennes similaires.

Les figures 13 à 16 présentent les données relatives à la vitesse et à la direction du vent recueillies sur le toit de l'édifice lors des essais 1 à 4, respectivement. Y sont également affichées les données recueillies à l'aéroport de Dorval, de même que les données enregistrées par l'anémomètre de la bibliothèque Webster.

Dans l'hypothèse où l'anémomètre de l'édifice Hall n'était influencé ni par les bâtiments voisins ni par la topographie des lieux, les écarts enregistrés quant à la vitesse du vent sur l'édifice Hall et à Dorval sont imputables aux différences propres à la rugosité de l'air en amont et à la hauteur de mesure aux deux emplacements. La vitesse du vent augmente généralement avec la hauteur à l'intérieur de la couche limite; d'autre part, une augmentation de la rugosité de l'air en amont réduit

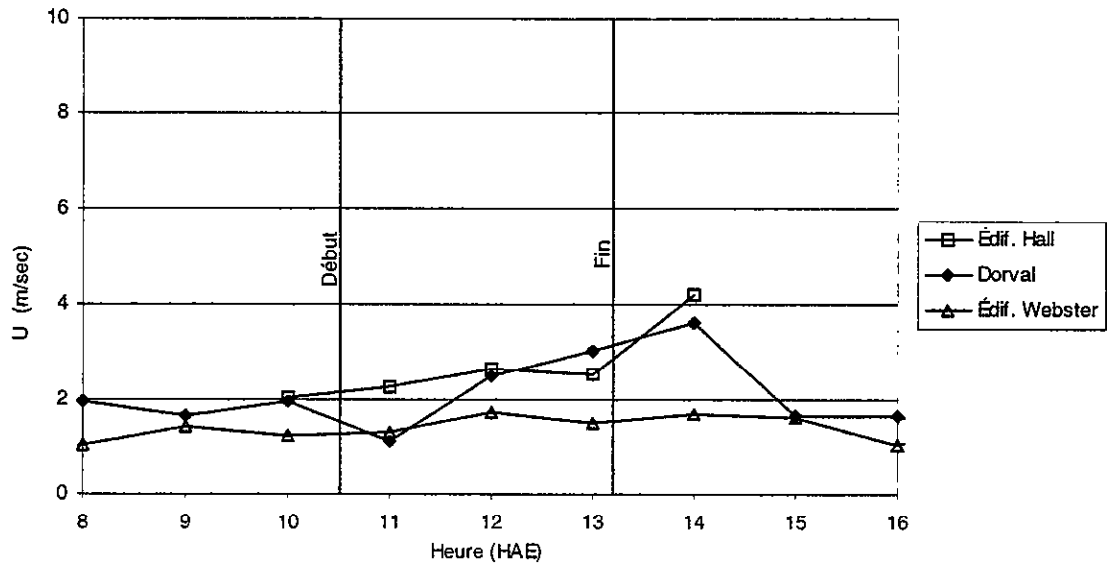


a) Vitesse du vent

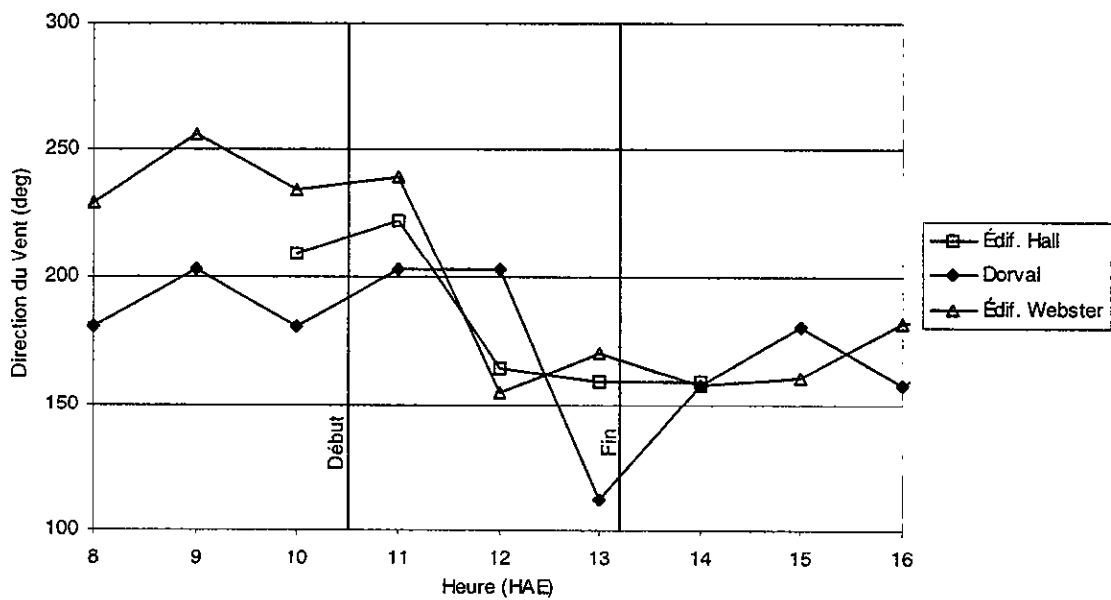


b) Direction du vent

Figure 13 : Données éoliennes recueillies sur l'édifice Hall lors de l'essai n° 1 (26 juin 1997).

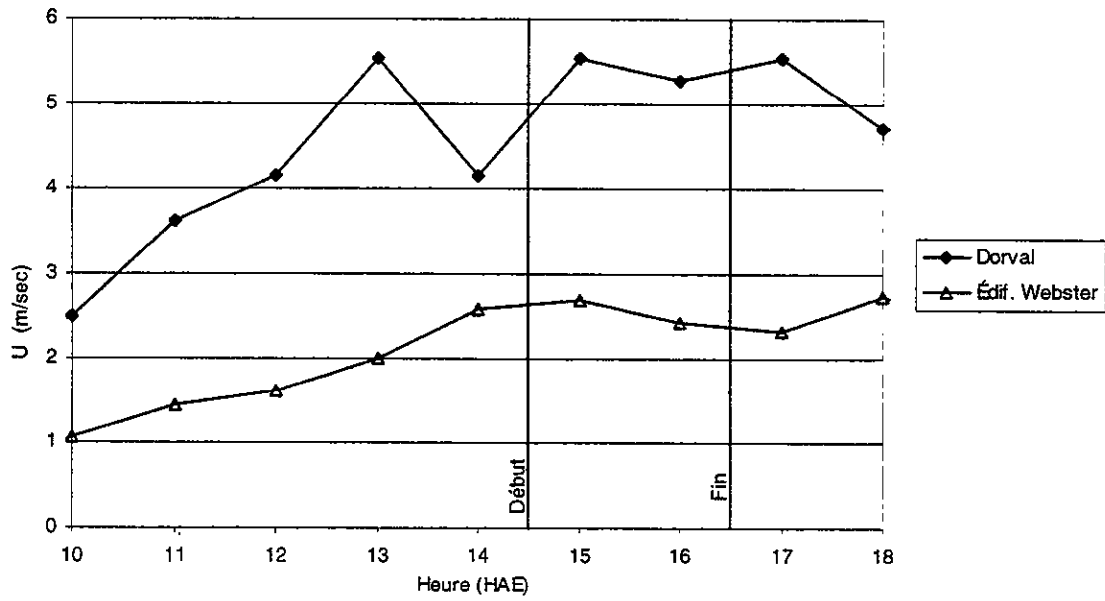


## a) Vitesse du vent

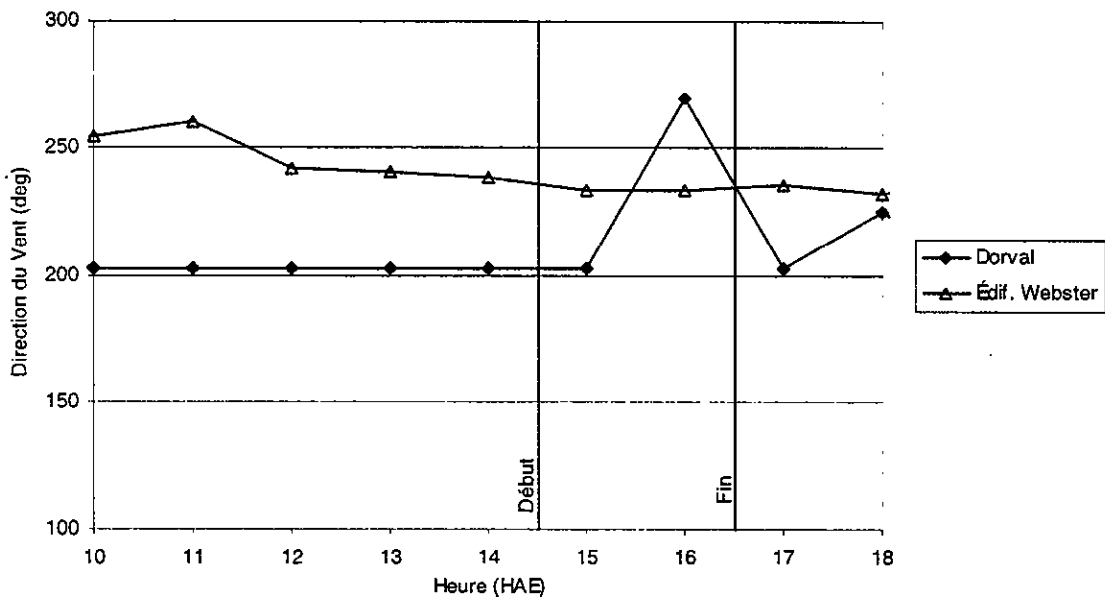


## b) Direction du vent

Figure 14 : Données éoliennes recueillies sur l'édifice Hall lors de l'essai n° 2 (2 juillet 1997).

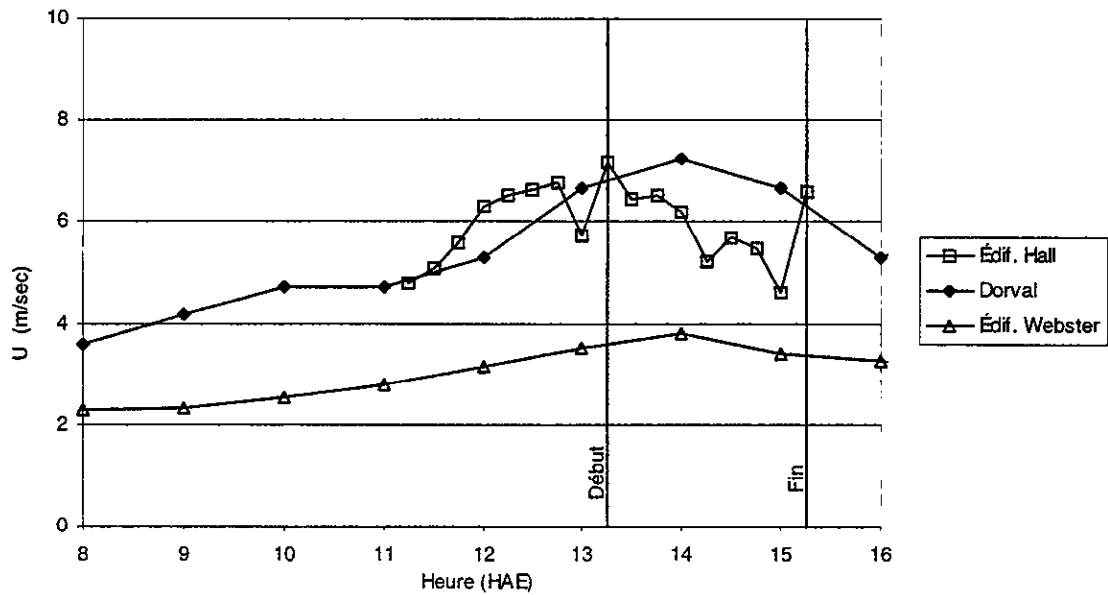


a) Vitesse du vent

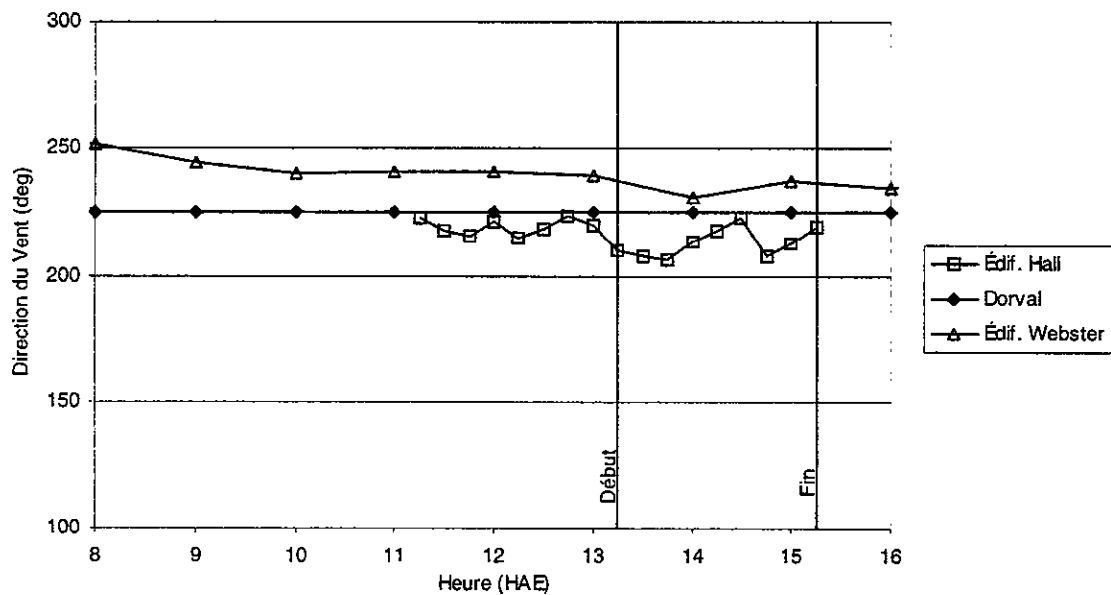


b) Direction du vent

Figure 15 : Données éoliennes recueillies sur l'édifice Hall lors de l'essai n° 3 (30 juillet 1997).



## a) Vitesse du vent



## b) Direction du vent

Figure 16 : Données éoliennes recueillies sur l'édifice Hall lors de l'essai n° 4 (7 août 1997).

la vitesse du vent à une hauteur donnée. Ainsi, en tenant compte de ces deux facteurs, les données de Dorval peuvent être utilisées pour estimer la vitesse du vent à la hauteur de l'anémomètre de l'édifice Hall. Le facteur de correction à appliquer aux données de Dorval s'établit comme suit :

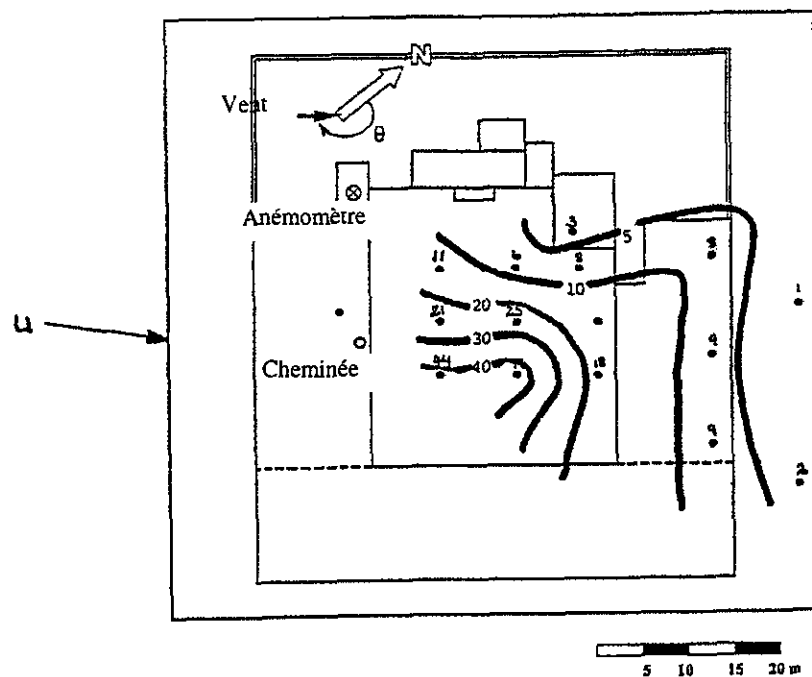
$$U_{\text{Hall}}/U_{\text{Dorval}} = (Z_{\text{gdec}}/Z_{\text{Dorval}})^{0,15} (Z_{\text{Hall}}/Z_{\text{gurb}})^{0,28}$$

$$U_{\text{Hall}}/U_{\text{Dorval}} = (300/10)^{0,15} (70/500)^{0,28} = 0,96$$

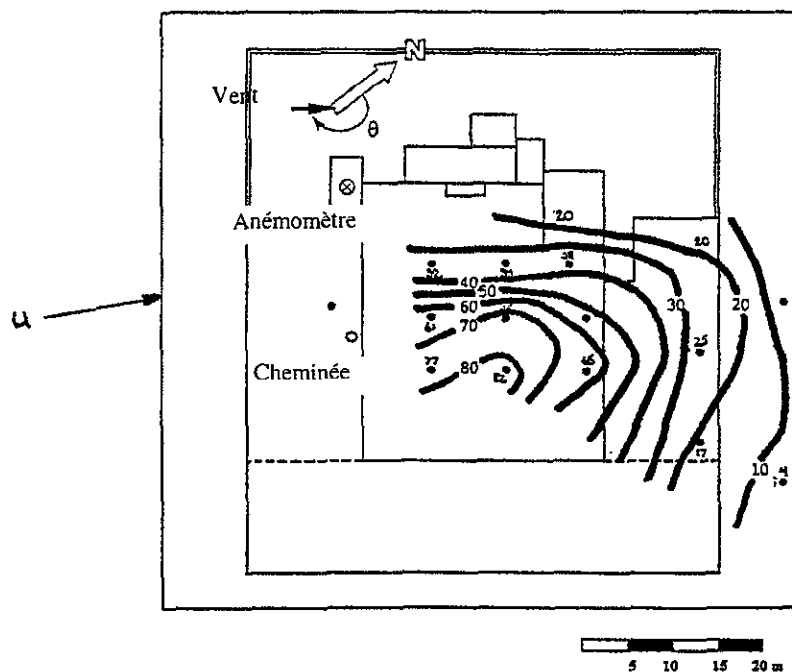
où  $Z_{\text{gdec}}$  représente la hauteur de la couche limite atmosphérique (CLA) en terrain découvert et  $Z_{\text{gurb}}$  la hauteur de la CLA en zone urbaine. Ainsi la vitesse du vent à la hauteur de l'édifice Hall devrait-elle à peu près correspondre à la vitesse du vent enregistrée à Dorval, ce que confirment dans l'ensemble les données recueillies. Cela n'est toutefois vrai que dans la mesure où aucun obstacle de taille en amont n'entrave la course du vent. À titre d'exemple, les données recueillies le 26 juin montrent une augmentation de la vitesse du vent à Dorval au moment où la direction du vent est passée de sud-ouest à ouest; or, l'anémomètre de l'édifice Hall n'a enregistré aucune augmentation de  $U$  au cours de cette période, ce qui s'explique sans doute par la présence du mont Royal en amont.

Par ailleurs, la vitesse du vent à la bibliothèque Webster s'est révélée inférieure aux prévisions pour une altitude de 51 m. En l'absence de toute obstruction, la vitesse du vent aurait en effet dû être de  $0,88U_{\text{Dorval}}$  à cette altitude, alors le rapport réel d' $U_{\text{Webster}}$  à  $U_{\text{Dorval}}$  ne s'est établi qu'aux environs de 0,5. Cet écart est en grande partie attribuable à la faible hauteur de l'anémomètre au-dessus du toit (3 m) et à la présence de bâtiments en amont.

Les données de concentration sont habituellement converties en valeurs de dilution de manière à pouvoir les comparer d'un essai à l'autre. Néanmoins, si la concentration à la sortie demeure



a) Période d'échantillonnage n° 1



b) Période d'échantillonnage n° 2

Figure 17 Concentrations (en parties par milliard) mesurées au cours des périodes d'échantillonnage 1 et 2 lors de l'essai n° 1 sur l'édifice Hall.



---

constante, les données des échantillonneurs peuvent directement être utilisées aux fins de comparaison. La distribution des concentrations pour deux périodes d'échantillonnage types, correspondant aux essais n° 1 et 2 du 26 juin, apparaît à la figure 17. Les valeurs de  $C$  obtenues lors de la période d'échantillonnage n° 2 étaient environ trois fois plus élevées que celles obtenues lors de la période d'échantillonnage n° 1, et ce, à tous les emplacements du toit. Par exemple, au point de prélèvement n° 5, au centre du toit,  $C$  est passée de 25 parties par milliard pour la période d'échantillonnage 1 (fig. 17a) à 75,5 parties par milliard pour la période d'échantillonnage 2 (fig. 17b). Les concentrations plus élevées obtenues lors de la seconde période d'échantillonnage pourraient être dues à une augmentation du facteur d'impulsion ( $M$ ) de la cheminée. Tel qu'on le verra plus loin, de légères variations de  $M$  peuvent en effet entraîner d'importantes fluctuations de la concentration aux points d'échantillonnage au toit.

La corrélation entre les échantillonneurs est manifestement élevée, ce qui laisse entendre que les fluctuations entre les concentrations moyennes par tranche de 15 min sont principalement dues à des variations dans la fréquence des rafales de vent pendant la période d'échantillonnage. Une rafale a pour effet de rabattre le panache au niveau du toit, et augmente de ce fait le niveau instantané de concentration à chaque point de prélèvement, si bien que la concentration moyenne tend à augmenter avec la fréquence des rafales. Des essais de dépistage avec source fumigène effectués lors d'un autre essai ont par ailleurs démontré que la trajectoire du panache varie de manière significative au cours d'une période d'échantillonnage de 15 min, l'élévation du panache étant passée de 1 m à plus de 10 m, et le panache lui-même ayant fait de fréquentes incursions contre le vent.

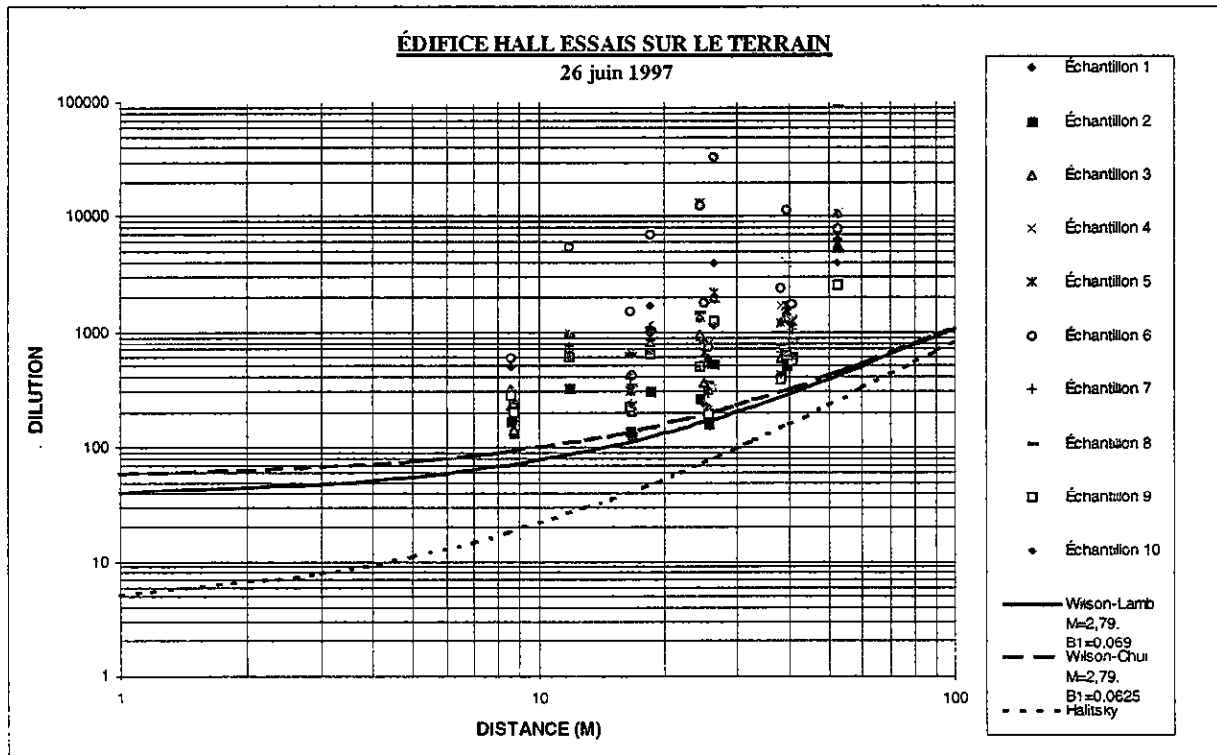


Figure 18 : Comparaison des données de dilution enregistrées par tous les échantillonneurs lors de l'essai n° 1 sur l'édifice Hall par rapport aux courbes de dilution minimale de l'ASHRAE.

Il s'avère pratique d'exprimer les concentrations de gaz traceur en termes de dilution ( $D = C_0/C$ ), étant donné que les formules utilisées par les concepteur fournissent une estimation de  $D$ . Les données de dilution obtenues au cours de l'essai n° 1 (26 juin), et présentées à la figure 18, sont tracées en fonction de la distance de la cheminée. Y sont également tracées les courbes de dilution minimale dérivées des modèles H, WC et WL. Pour le modèle H (équation 1), le paramètre  $\alpha$  a été fixé à 2,0, tel que recommandé pour les points d'échantillonnage au toit [ASHRAE (1993), Halitsky (1990)]. Pour le modèle WL, la valeur de  $B_1$  dépend du niveau de turbulence atmosphérique ( $\sigma_\theta$ ) au

---

sommet de l'édifice; selon les mesures de turbulence recueillies au cours des essais n° 1, 2 et 4,  $\sigma_\theta$  était d'environ 20°, de sorte que l'équation 6 donne  $B_1 = 0,069$  eu égard au modèle WL.

Le facteur d'impulsion des émissions ( $M$ ) est une des données requises par les modèles de dilution WC et WL lorsqu'il s'agit de dégager la dilution initiale et la dilution en fonction de la distance (voir équations 3, 4 et 7). Dans le cas présent, la valeur moyenne de  $M$  pour la période d'essai tout entière ( $M = 2,79$ ) a été utilisée pour tracer les courbes de  $D_{\min}$  apparaissant à la figure 18. Il convient toutefois de noter que la valeur de  $M$  par période d'échantillonnage de 15 min a varié entre 2,43 et 3,24.

La figure 18 montre que les modèles WC et WL prédisent bien l'un comme l'autre la valeur de  $D_{\min}$  associée à l'essai n° 1, puisque la plupart des dilutions mesurées sont supérieures aux valeurs prévues par ces modèles. Par comparaison, le modèle H s'avère plutôt prudent, en ce qu'il sous-estime  $D_{\min}$  aux points d'échantillonnage au toit par des facteurs variant entre 2,5 et 8. Le modèle H pourrait sans doute fournir une estimation plus précise de  $D_{\min}$  si  $\alpha$  prenait une valeur plus élevée que la valeur recommandée de 2,0 (voir section 2.1.1) et était porté à 5,0 par exemple, quoique les concepteurs de bâtiment n'aient généralement pas connaissance au préalable de la « juste » valeur de  $\alpha$ .

Les données de dilution obtenues lors de l'essai n° 4 (7 août) apparaissent à la figure 19 et s'apparentent dans l'ensemble aux données de l'essai n° 1. Les modèles WC et WL fournissent des estimations précises de  $D_{\min}$  tandis que le modèle H sous-estime les valeurs de dilution minimale par un facteur d'au moins 3. La similitude des résultats entre les essais n° 1 et 4 peut être attribuable

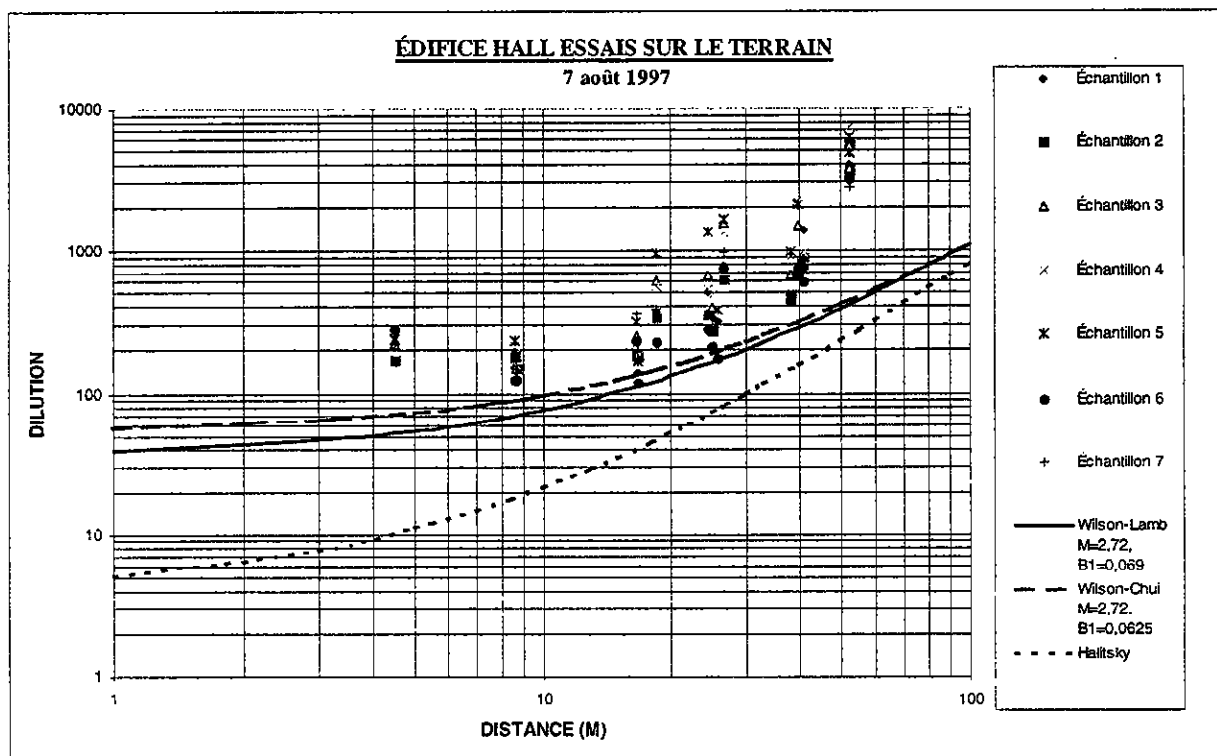


Figure 19 : Comparaison des données de dilution enregistrées par tous les échantillonneurs lors de l'essai n° 4 sur l'édifice Hall par rapport aux courbes de dilution minimale de l'ASHRAE.

à des valeurs semblables de  $M$ , le facteur d'impulsion des émissions ayant varié entre 2,41 et 3,35 au cours de l'essai n° 4, ce qui donne une valeur moyenne de  $M$  (2,72) pratiquement identique à celle de l'essai n° 1.

Il convient de noter que, lors de l'essai n° 4, l'échantillonneur n° 3 se trouvait à environ 4,5 m en amont de la cheminée, tel qu'indiqué à la figure 6. L'échantillonneur en question a été déplacé à cet endroit au début de l'expérience après qu'un essai de dépistage avec source fumigène ait révélé que le panache faisait de fréquentes incursions contre le vent. Les faibles valeurs de  $D$  obtenues par le

---

biais de l'échantillonneur n° 3 ( $170 < D < 280$ ) montrent d'ailleurs que, pour les bâtiments affichant une telle géométrie, la réintroduction des émissions de cheminée peut être importante même lorsque les prises d'air se trouvent contre le vent.

Les données de dilution pour l'essai n° 2 (2 juillet), qui ont été obtenues par vent faible, apparaissent à la figure 20. Le facteur d'impulsion a varié entre 4,42 et 9,5, et la valeur moyenne de  $M$  (6,46) a été retenue pour tracer les courbes de  $D_{\min}$  dérivées des modèles WC et WL. Dans ce cas-ci, les estimations de dilution minimale fournies par les modèles WL et H sont bien en deçà des valeurs mesurées, le modèle H ayant comme toujours affiché les résultats les plus modestes. D'autre part, certaines des données de dilution se retrouvent sous la courbe de  $D_{\min}$  issue du modèle WC, la surestimation de la dilution par le modèle WC s'expliquant par la valeur élevée de  $M$ , qui produit une valeur anormalement élevée en ce qui a trait à la dilution initiale.

Il convient de noter que la dilution initiale découlant de l'équation 3 s'établit à 293, ce qui est très près des dilutions mesurées à une distance significative ( $S = 37$  m) de la cheminée. Compte tenu du fait que la dilution en fonction de la distance devrait être relativement importante pour  $S > 30$  m, il appert clairement que le modèle WC surestime la composante  $D_0$  de la dilution totale lorsque  $M$  est élevé.

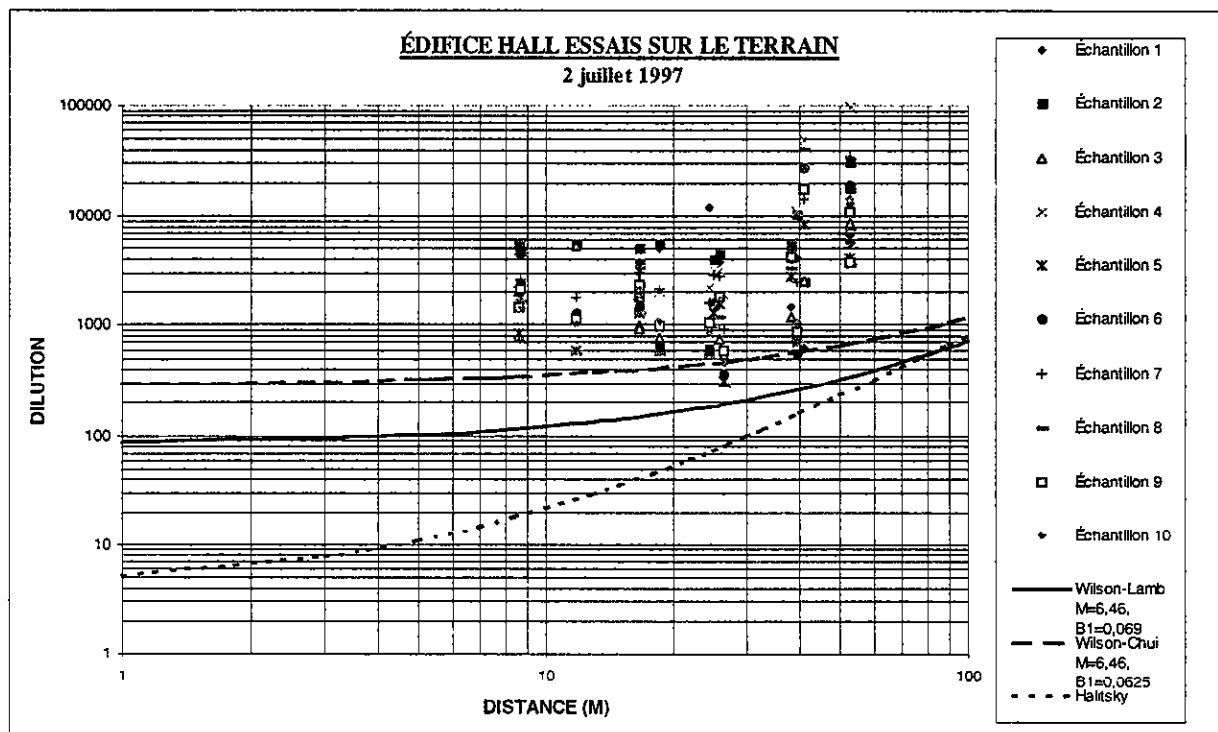


Figure 20 : Comparaison des données de dilution enregistrées par tous les échantillonneurs lors de l'essai n° 2 sur l'édifice Hall par rapport aux courbes de dilution minimale de l'ASHRAE.

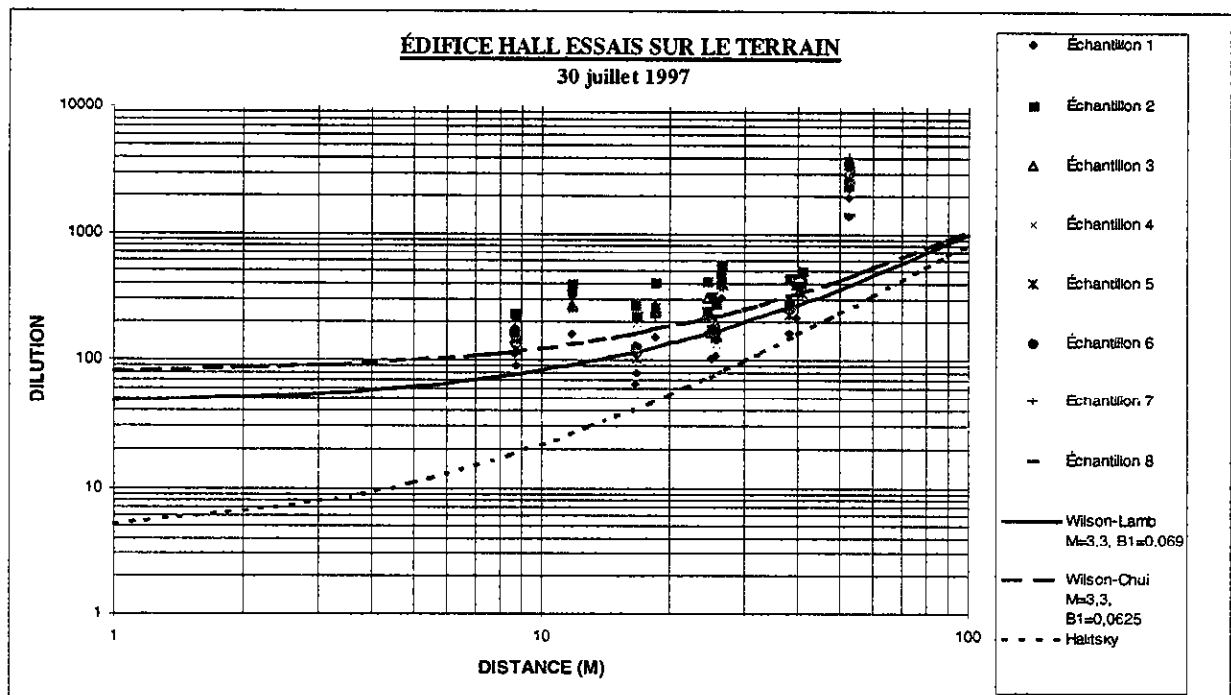


Figure 21 : Comparaison des données de dilution enregistrées par tous les échantillonneurs lors de l'essai n° 3 sur l'édifice Hall par rapport aux courbes de dilution minimale de l'ASHRAE.

Il faut en outre noter que, pour chacun des trois modèles, les écarts constatés entre les valeurs prévues et mesurées de  $D$  peuvent être partiellement attribués aux importantes variations enregistrées dans la direction du vent au cours de l'essai n° 2, celle-ci ayant même considérablement dévié de la direction critique lors de certaines périodes d'échantillonnage.

Les données de dilution minimale recueillies au cours de l'essai n° 3 (30 juillet) se sont avérées deux fois plus faibles que les données résultant des autres essais. La figure 21 fait état des mesures de dilution propres à cet essai, de même que des courbes de dilution minimale fournies par les trois

---

modèles. Dans ce cas particulier, les modèles WC et WL tendent à surestimer  $D_{\min}$  par un facteur de deux, tandis que le modèle H demeure modérément modeste. La raison des faibles mesures de dilution enregistrées n'apparaît pas clairement, bien que les résultats obtenus en soufflerie, et exposés dans la section suivante, laissent croire que la direction du vent et le facteur d'impulsion peuvent avoir joué un rôle déterminant dans ce cas précis. Ainsi, bien que les données éoliennes n'aient pas été enregistrées par l'anémomètre de l'édifice Hall, les données provenant de l'aéroport de Dorval indiquent que les vents étaient du sud-sud-ouest au début de l'essai, au moment où les valeurs de dilution les plus basses ont été relevées, alors que les vents soufflaient normalement du sud-ouest lors des autres essais par vent fort (essais n° 1 et 4).

Avant d'examiner les données provenant des essais en soufflerie, une courte description de la variation dans le temps des données en grandeur réelle peut s'avérer utile. Les séries chronologiques de dilution propres à chaque échantillonneur au fil des quatre essais font l'objet des figures 22 à 25. Une des caractéristiques les plus frappantes des relevés de séries chronologiques pris dans leur ensemble tient à la corrélation très élevée manifeste entre les différents échantillonneurs. Ainsi de faibles valeurs de dilution à un point de prélèvement donné tendent-elles à coïncider avec de faibles valeurs de dilution pour la plupart des autres échantillonneurs, et ce, quel que soit leur emplacement. À titre d'exemple, la figure 22 montre que, dans le cadre de l'essai n° 1, une valeur minimale a été enregistrée à la plupart des emplacements lors de la période d'échantillonnage n° 2. De même, la figure 24 montre qu'au cours de l'essai n° 3 de faibles mesures de dilution lors de la première période d'échantillonnage ont été suivies par des valeurs plus élevées de  $D$  lors de la deuxième période



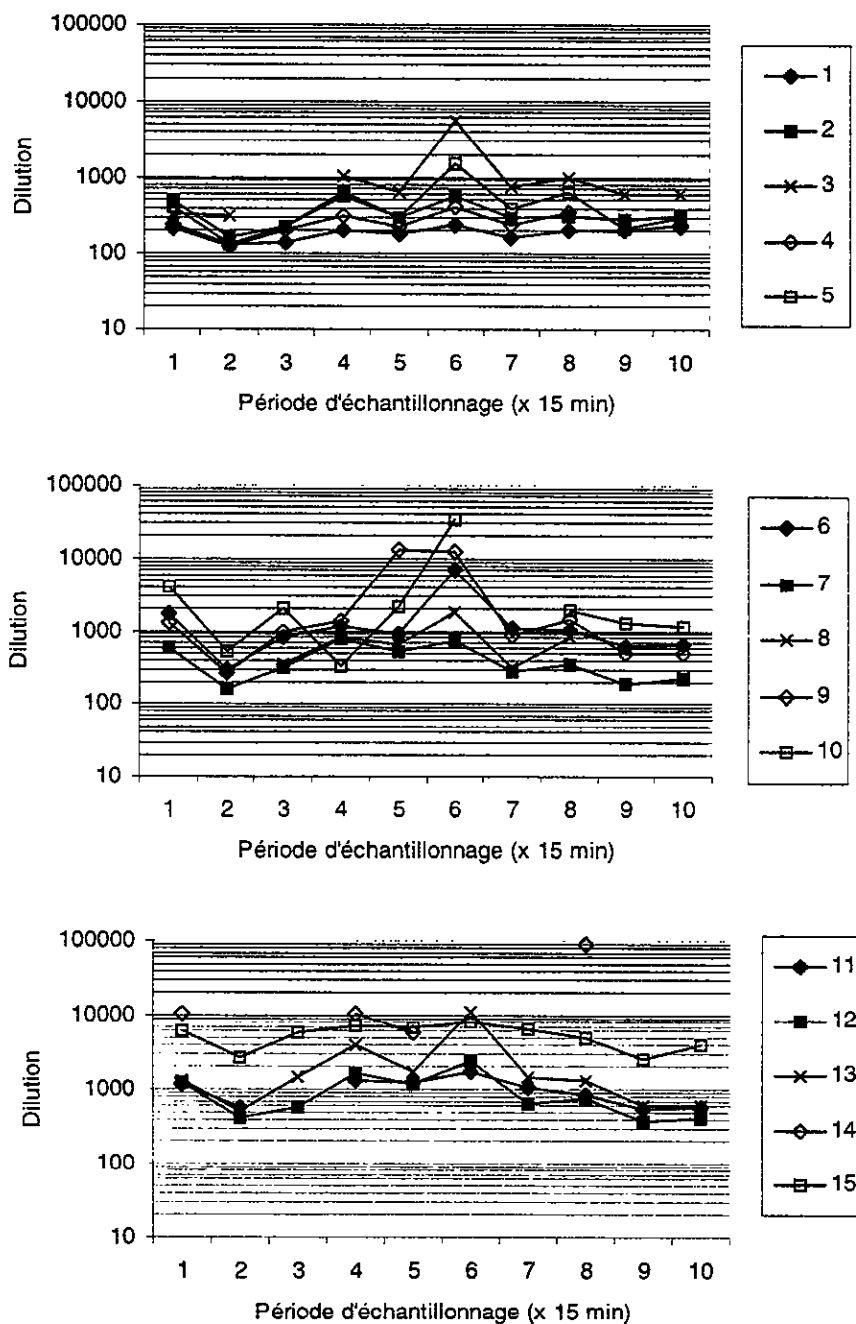


Figure 22 : Variation de la dilution dans le temps lors de l'essai n° 1 sur l'édifice Hall (26 juin 1997).

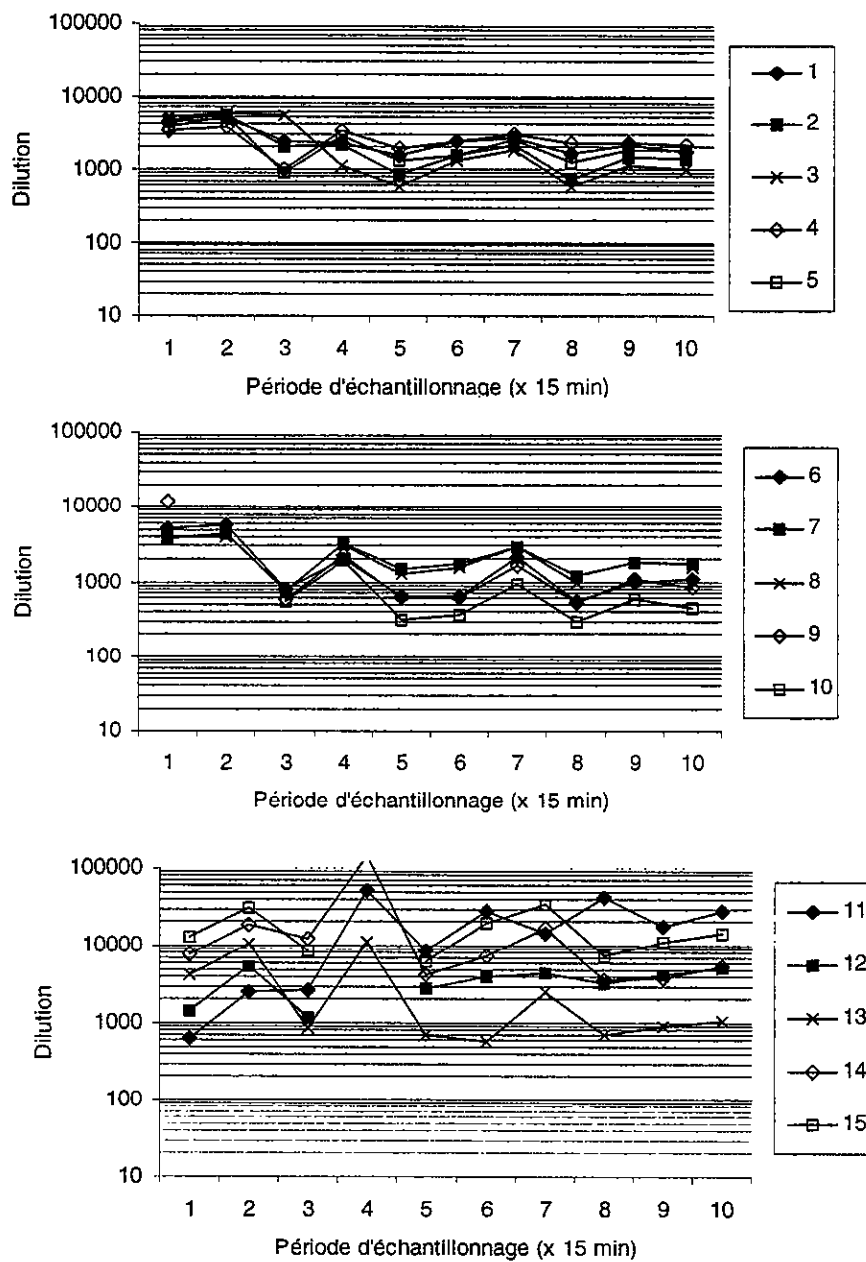


Figure 23 : Variation de la dilution dans le temps lors de l'essai n° 2 sur l'édifice Hall (2 juillet 1997).

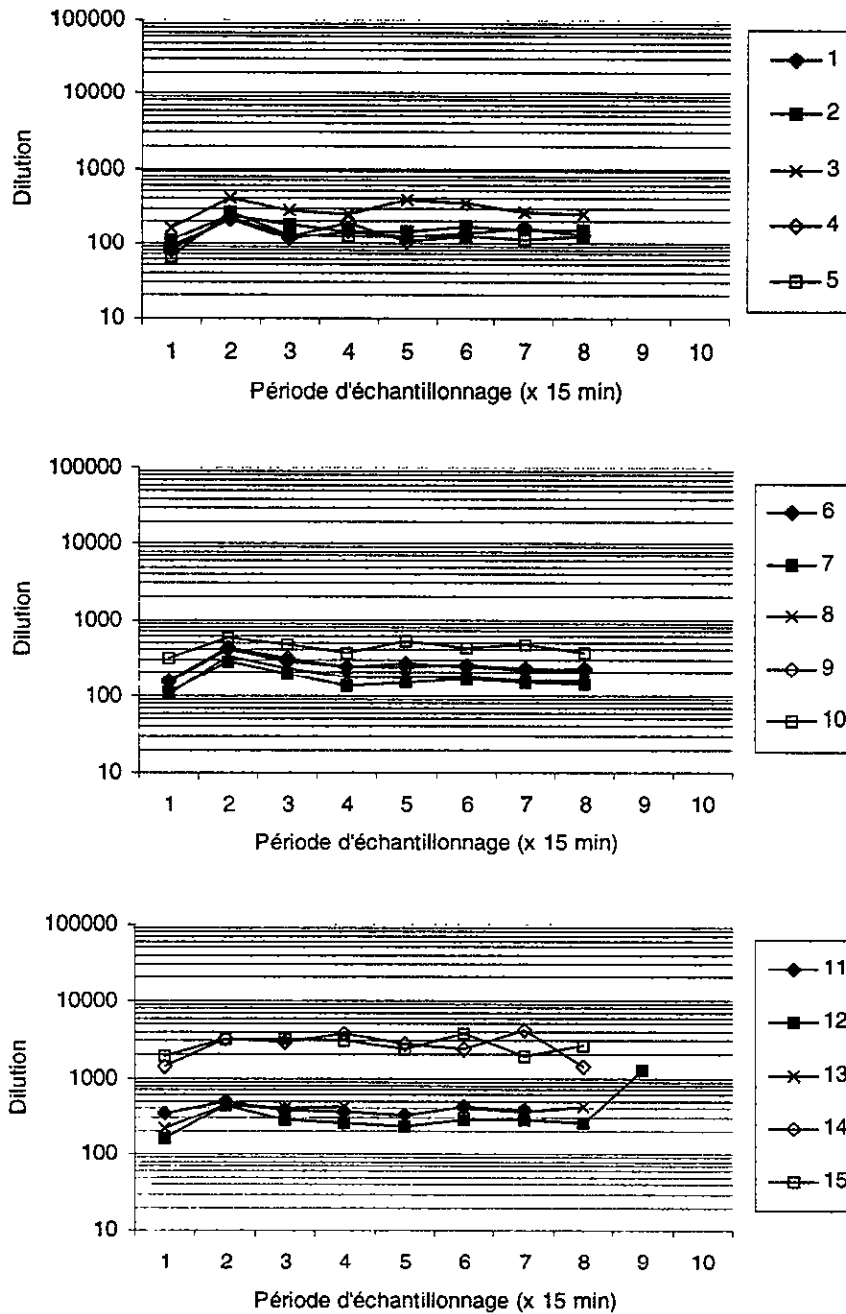


Figure 24 : Variation de la dilution dans le temps lors de l'essai n° 3 sur l'édifice Hall (30 juillet 1997).

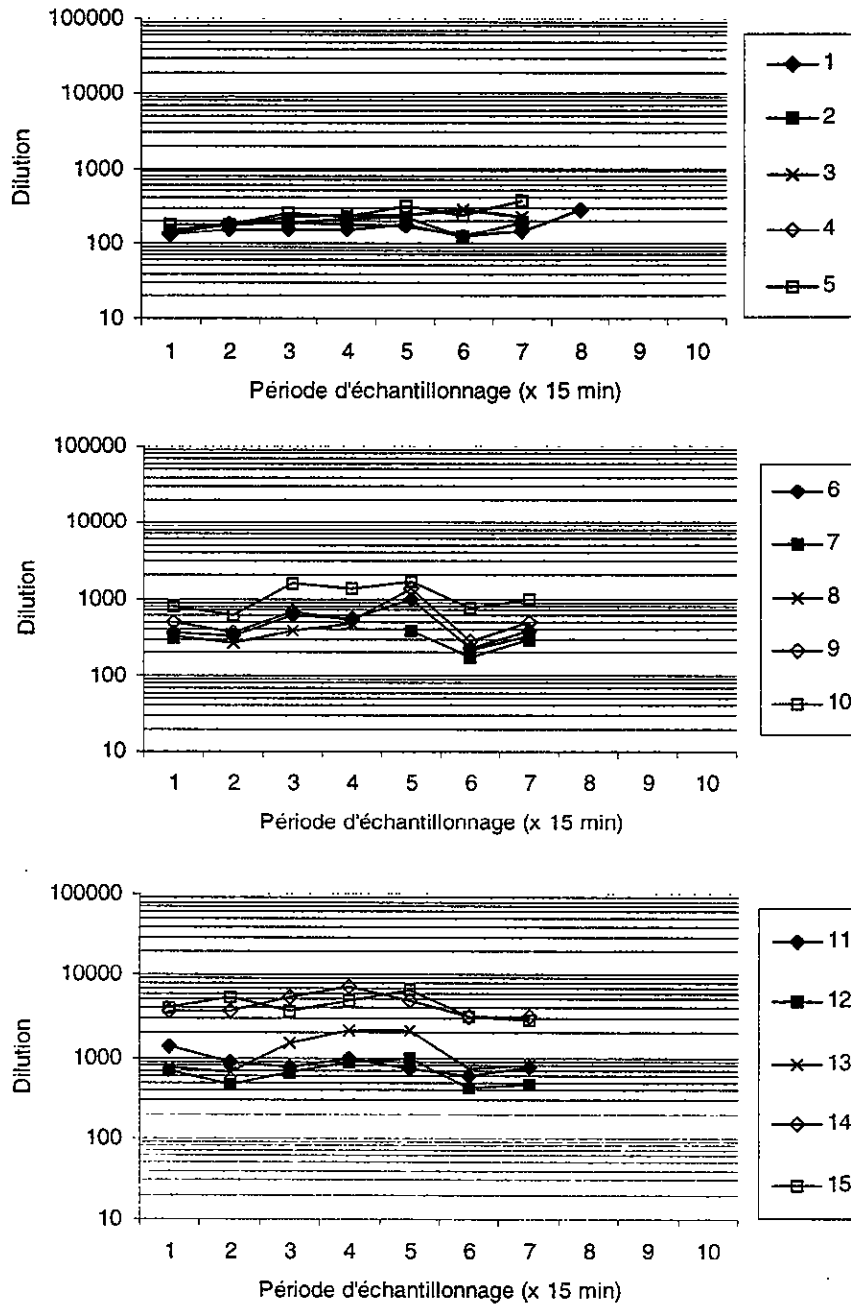


Figure 25 : Variation de la dilution dans le temps lors de l'essai n° 4 sur l'édifice Hall (7 août 1997).

d'échantillonnage, et ce, à tous les emplacements. Il semble donc que les variations subies par la trajectoire du panache (en ce qui a trait, entre autres, à son élévation ou au pourcentage du temps où il voyage sous le vent) tendent à affecter de façon similaire tous les emplacements sous le vent.

La figure 25, qui présente les données de dilution pour l'essai n° 4, abonde d'ailleurs elle-même dans ce sens. Au cours de cet essai, l'échantillonneur n° 3 avait été déplacé en amont de la cheminée, si bien qu'on pouvait s'attendre à ce que ses données soient en corrélation négative avec les données des autres échantillonneurs. Or, bien que les valeurs de dilution aient été relativement stables tout au long de l'essai, un creux a été enregistré à la plupart des emplacements lors de la période d'échantillonnage n° 6, cependant que l'échantillonneur n° 3 enregistrait sa valeur de dilution la plus élevée au cours de cette même période, ce qui signifie que le panache a fait moins d'incursions contre le vent pendant cet intervalle de 15 min.

Un autre aspect révélateur des relevés de séries chronologiques tient au degré de variabilité des données sur l'ensemble d'une période d'essai. La figure 24 montre ainsi que, lors de l'essai n° 3, les données recueillies à tous les emplacements n'avaient guère varié de façon significative au terme de la première période d'échantillonnage, et que les valeurs de  $D$  fluctuaient généralement en deçà d'un facteur de trois. En contrepartie, une importante variation dans le temps ressort des autres essais, en particulier lors des essais n° 1 et 2. Cela n'a rien d'étonnant dans le cas de l'essai n° 2, associé à d'importantes fluctuations dans la direction du vent, ce qui n'est toutefois pas le cas de l'essai n° 1, au cours duquel la direction du vent est demeurée relativement constante; et pourtant, les valeurs de  $D$  lors de cet essai ont varié selon un facteur supérieur à 10 à certains emplacements.

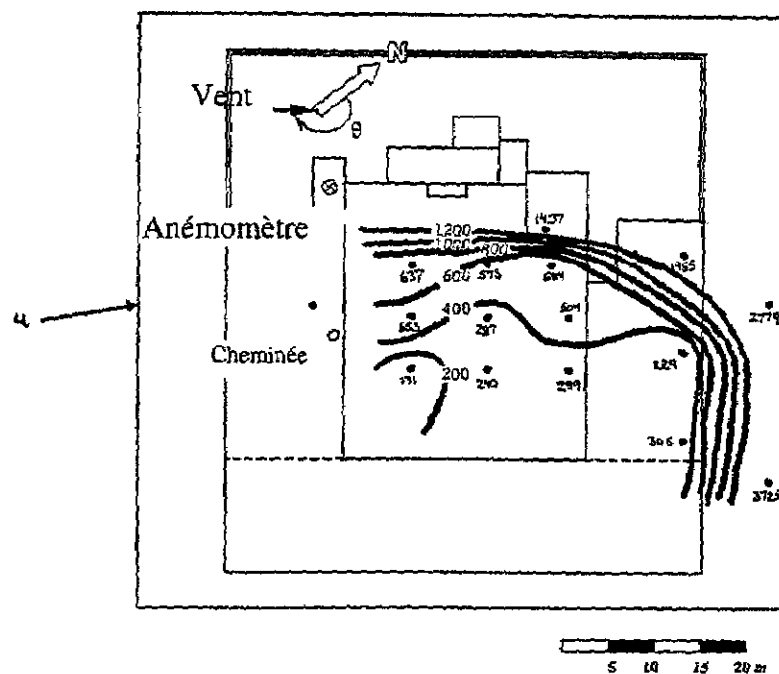
#### 4.1.2 Étude en soufflerie

De nombreux essais en soufflerie ont été effectués sur la maquette à l'échelle 1:500 de l'édifice Hall. D'une part, les résultats de ces essais ont jeté beaucoup de lumière sur les données recueillies sur le terrain, quoique, de l'autre, ils aient aussi soulevé de nouvelles questions.

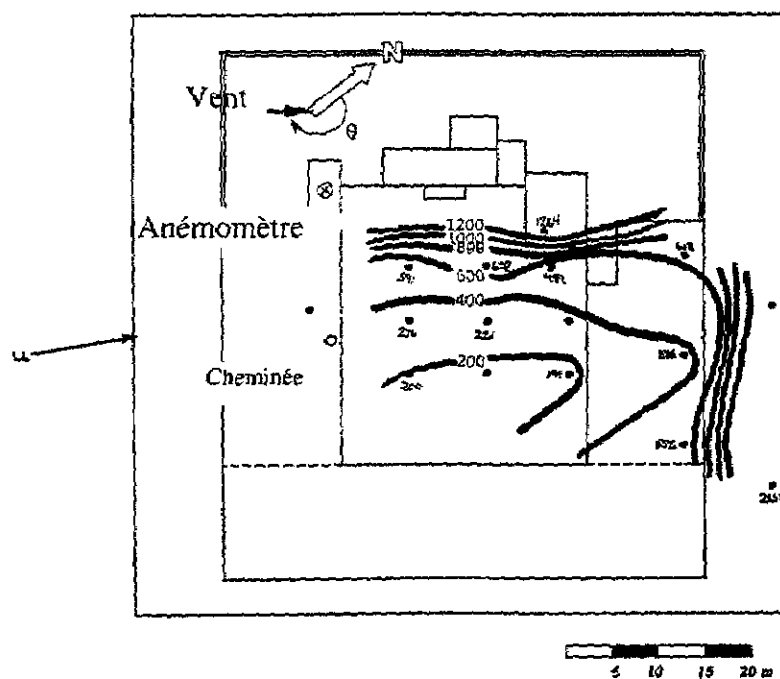
La distribution des dilutions en soufflerie et sur le terrain pour  $M \sim 3,0$  apparaît aux figures 26 et 27 pour  $\theta \sim 205^\circ$  et  $\theta \sim 215^\circ$ , respectivement. Il convient de noter qu'on s'attend à ce que l'incertitude associée aux valeurs moyennes de  $\theta$  par période de 15 min au cours de l'étude terrain soit de  $\pm 5^\circ$  (les valeurs moyennes de  $\theta$  par période de 5 min ayant varié de plus de  $20^\circ$  au cours des périodes d'échantillonnage). Les deux ensembles de données de terrain proviennent de l'essai n° 1 (26 juin).

La figure 26 montre que pour  $\theta \sim 205^\circ$ , les données en soufflerie se comparent bien aux résultats sur le terrain, dans la mesure où, à la plupart des emplacements, la dilution sur le terrain ( $D_{\text{terr}}$ ) est à un facteur deux près de la dilution en soufflerie ( $D_{\text{souf}}$ ). Dans la majorité des cas,  $D_{\text{terr}}$  s'est en outre révélée inférieure à  $D_{\text{souf}}$ , le plus important écart s'étant produit au point d'échantillonnage n° 13, où la dilution en soufflerie s'est avérée environ trois fois plus élevée que la dilution sur le terrain ( $D_{\text{terr}} = 618$ ,  $D_{\text{souf}} = 1\,955$ ).

La figure 27 montre pour sa part que, lorsque la direction du vent est à peu près normale sur la face sud-ouest de l'édifice ( $\theta \sim 215^\circ$ ), les données en soufflerie se comparent généralement bien aux données de terrain pour  $S > 10$  m. Néanmoins, aux points d'échantillonnage les plus rapprochés de la cheminée (soit les n° 1, 2 et 3),  $D_{\text{souf}}$  se révèle jusqu'à quatre fois supérieure à  $D_{\text{terr}}$ . À l'inverse,

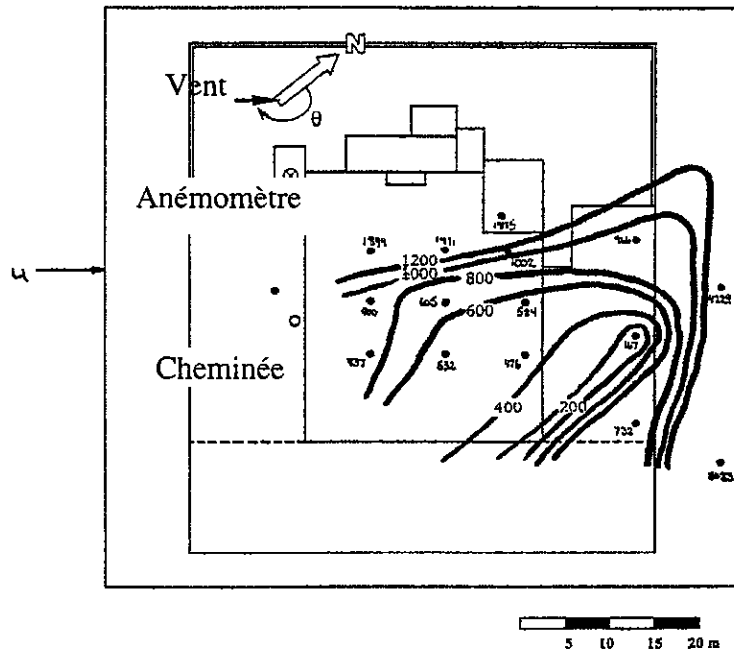


a) Données obtenues en soufflerie

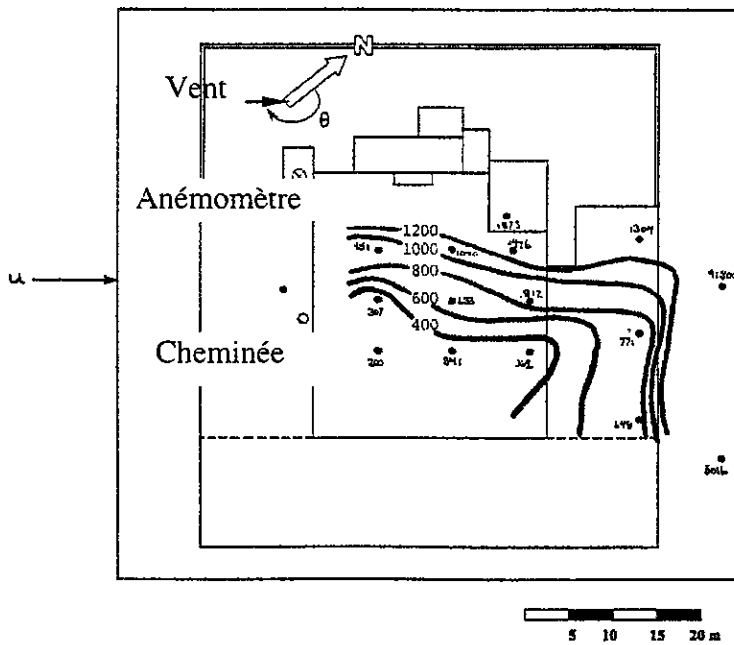


b) Données obtenues sur le terrain

Figure 26 Distribution des dilutions enregistrées en soufflerie et sur le terrain pour  $M = 3$  et  $\theta \sim 205^\circ$ .



a) Données obtenues en soufflerie



b) Données obtenues sur le terrain

Figure 27 Distribution des dilutions enregistrées en soufflerie et sur le terrain pour  $M = 3$  et  $\theta \sim 215^\circ$ .



---

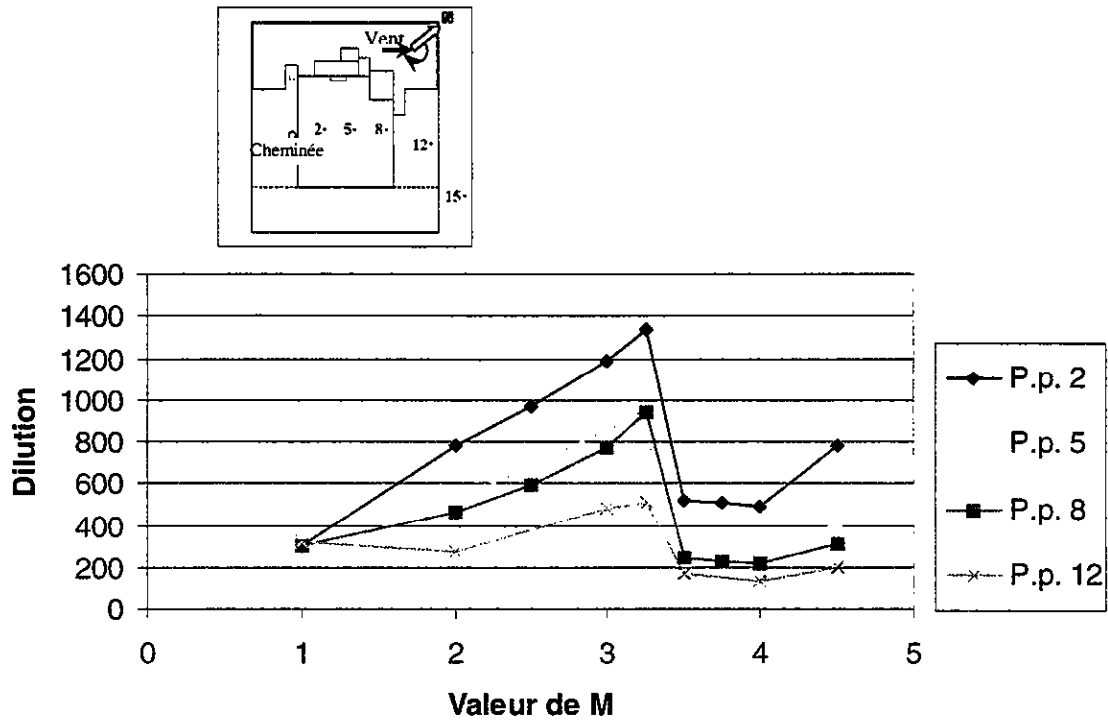
$D_{\text{terr}}$  se révèle deux fois plus élevée que  $D_{\text{souf}}$  à l'emplacement n° 12 (près de la bordure sous le vent du toit) ainsi qu'aux emplacements n° 14 et 15 (à la hauteur du 12<sup>e</sup> étage).

### **Effet de M sur $D_{\text{min}}$**

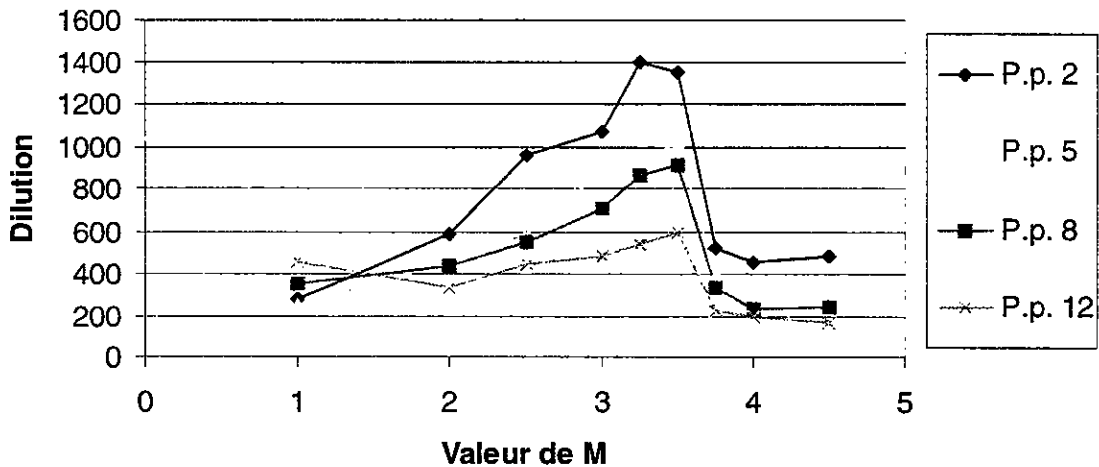
Des essais en soufflerie ont été effectués afin de déterminer l'influence de M sur la dilution mesurée à des points de prélèvement choisis, et la variation de  $D_{\text{souf}}$  en fonction de M aux points de prélèvement 2, 5, 8 et 12 apparaît à la figure 28 pour  $\theta \sim 210^\circ$  et  $\theta \sim 215^\circ$ . Pour  $\theta \sim 210^\circ$ , la dilution augmente avec l'impulsion des émissions lorsque  $1 < M < 3,25$ , mais décroît de façon substantielle lorsque  $M > 3,5$ . Pour  $\theta \sim 215^\circ$ , les résultats sont à peu près semblables, si ce n'est que D est demeurée élevée jusqu'à ce que M ait atteint 3,75.

L'ampleur de la réduction de D lorsque M est élevé dépend de l'emplacement du point de prélèvement, les points de prélèvement intermédiaires étant les plus fortement affectés. Pour  $\theta \sim 210^\circ$ , par exemple, la dilution se trouve réduite par un facteur de quatre aux points de prélèvement intermédiaires 5 et 8 lorsque M passe de 3,25 à 3,50. Par contre, le facteur de réduction n'est que de 2,5 environ aux points de prélèvement les plus rapprochés de la cheminée (emplacement 2) et les plus éloignés de la cheminée (emplacement 12).

La valeur critique de M ( $M_{\text{crit}}$ ), soit celle à laquelle la dilution diminue, semble varier en fonction de la direction du vent. Il faut toutefois noter que l'incertitude associée aux valeurs de M est relativement élevée dans la mesure où l'estimation de M repose sur la vitesse de référence du vent, elle-même étroitement liée à l'emplacement du point de mesure et à la direction du vent. De plus,



a)  $\theta = 210^\circ$



b)  $\theta = 215^\circ$

Figure 28 : Variation de  $D_s$  par rapport à M aux points de prélèvement 2, 5, 8 et 12. (P.p. : point de prélèvement)

---

le flux d'évacuation de la cheminée modélisée est laminaire, ce qui associe une certaine incertitude à la valeur estimative de la vitesse d'évacuation ( $w_c$ ). Des essais supplémentaires devraient donc être réalisés afin de déterminer si  $M_{crit}$  varie substantiellement en fonction de  $\theta$ . Il se peut également que l'emplacement et la hauteur de la cheminée affectent  $M_{crit}$ , si bien que l'influence de ces paramètres fera elle-même l'objet d'une étude ultérieure.

La variation de  $D$  en fonction de  $M$  dont la figure 28 fait état est vraisemblablement caractéristique des bâtiments affichant un rapport de forme ( $L/H$ ) peu élevé,  $L$  représentant la dimension du bâtiment dans le sens de l'écoulement de l'air. Sous une telle géométrie, la zone d'écoulement décollé couvre le toit tout entier lorsque la direction du vent est à peu près normale sur la surface frontale. Il en découle que la trajectoire du panache provenant d'une cheminée de toit peut considérablement varier selon l'impulsion du panache. À titre d'exemple, si  $M$  est petit ( $< 0,5$ ), le panache fera de fréquentes incursions contre le vent; par contre, si  $M$  augmente, le panache voyagera plus souvent dans la direction du vent, tout en continuant à l'occasion de faire des incursions contre le vent.

À l'inverse, dans le cas des bâtiments affichant un rapport de forme élevé, le flux se regroupe près du bord d'attaque, de sorte que la zone de circulation de l'écoulement demeure restreinte. Ce cas est associé à une diminution de  $D$ , à mesure que  $M$  augmente, aux emplacements sous le vent éloignés de la cheminée.

La figure 29 révèle l'effet de la direction du vent et de l'impulsion des émissions sur les valeurs de dilution en soufflerie ( $D_{souf}$ ) pour cinq emplacements choisis (2, 5, 8, 12 et 15). Les points de

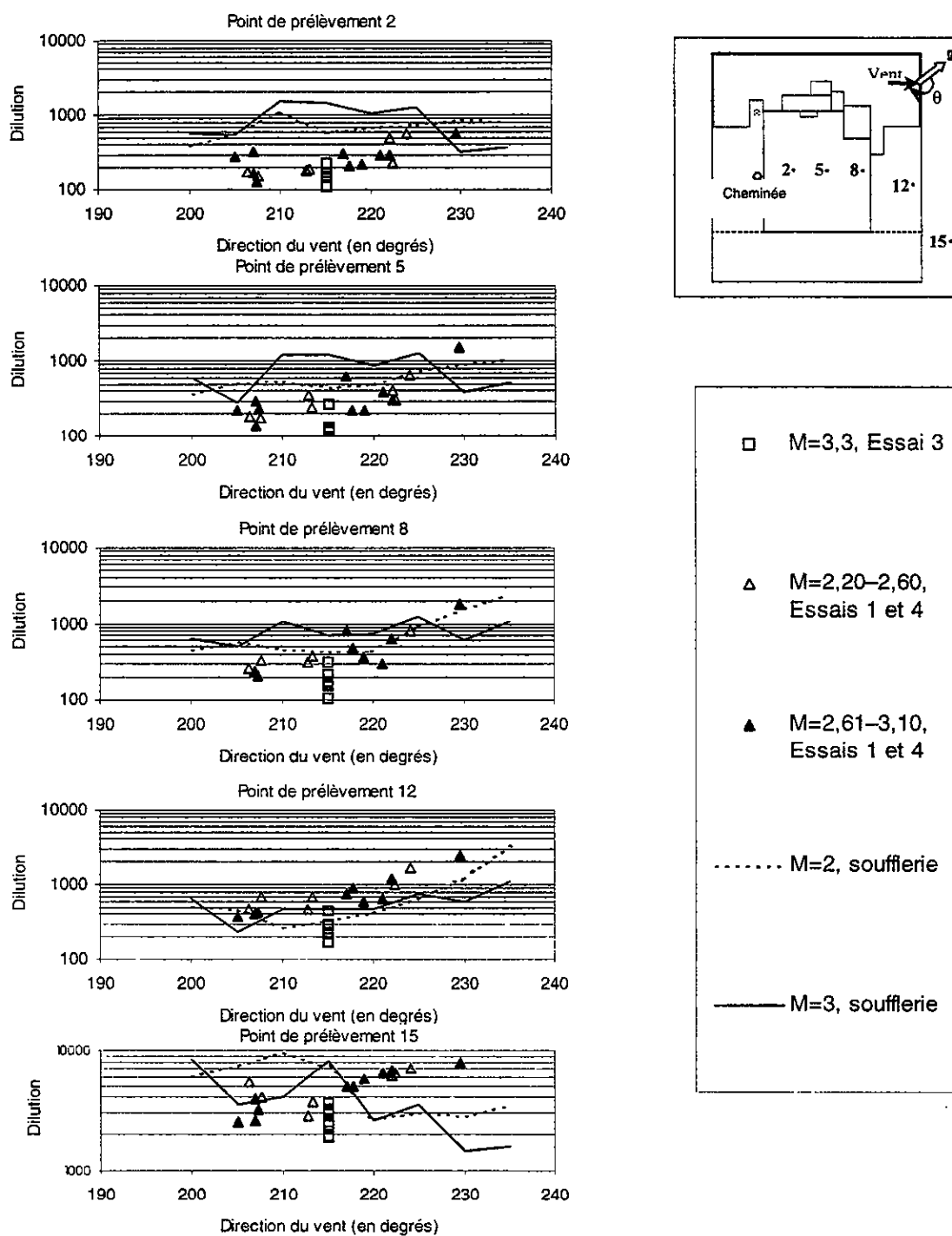


Figure 29 : Effet de la direction du vent sur la dilution en soufflerie et sur le terrain, mesurée aux points de prélèvement 2, 5, 8, 12 et 15.

---

prélèvement 2, 5, 8 et 12 se trouvent tous sur le toit, plus ou moins le long d'une ligne qui s'étend des environs immédiats de la cheminée (emplacement 2,  $S = 8,6$  m) au bord postérieur du bâtiment (emplacement 12,  $S = 38,2$  m), et on s'attend à ce que ces emplacements soient représentatifs des autres points d'échantillonnage au toit. Le point de prélèvement 15 se trouve pour sa part du côté sous le vent du bâtiment, à la hauteur du 12<sup>e</sup> étage, et les résultats obtenus à cet emplacement devraient être semblables à ceux du point de prélèvement n° 14.

Aux fins de comparaison, la figure 29 présente également les valeurs de  $D_{\text{terr}}$  recueillies aux cinq mêmes emplacements lors des essais n° 1, 3 et 4. Les données de terrain relatives à l'essai n° 2 n'ont pas été incluses du fait que les valeurs de dilution étaient élevées pour cet essai, et ne cadraient donc pas dans l'étude qui suit concernant la dilution minimale. (Il convient de se rappeler que la direction du vent et la valeur de  $M$  associées aux données de l'essai n° 3 ont été estimées à partir des mesures éoliennes effectuées à l'aéroport de Dorval.)

Les valeurs de  $M$  indiquées à la figure 29 relativement aux mesures effectuées sur le terrain correspondent aux valeurs moyennes de chaque période d'échantillonnage de 15 min. Cela dit, la vitesse du vent mesurée à intervalles de 5 min au cours de l'essai n° 1 révèle une importante instabilité à basse fréquence qui se répercute sur les valeurs de  $M$ . À titre d'exemple, lors de la troisième période d'échantillonnage de 15 min de l'essai n° 1, les valeurs moyennes de  $M$  par intervalle de 5 min s'établissaient respectivement à 2,0, 2,27 et 3,4. Cette variabilité de  $M$  peut d'ailleurs expliquer l'étalement relativement important des valeurs de  $D_{\text{terr}}$  tracées sur la figure 29. Et, bien que la valeur moyenne de  $M$  dans cet exemple n'ait été que de 2,43,  $M$  pourrait avoir dépassé

la valeur critique pendant une grande partie de la période d'échantillonnage, suscitant par le fait même une dilution plus faible que prévue.

Les données de dilution en soufflerie recueillies au point de prélèvement situé le plus près de la cheminée (emplacement 2,  $S = 8,6$  m) se sont généralement révélées plus élevées que les valeurs mesurées sur le terrain, les valeurs de  $D_{\text{souf}}$  pour  $M = 2$  et  $M = 3$  étant environ de deux à cinq fois plus importantes que  $D_{\text{terr}}$  pour  $\theta \sim 200\text{-}225^\circ$ . Les mesures sur le terrain pour  $\theta > 225^\circ$  sont trop peu nombreuses pour permettre une comparaison avec les valeurs obtenues en soufflerie. Néanmoins, il est intéressant de noter que pour  $\theta = 230^\circ$  et  $\theta = 235^\circ$ , les valeurs de  $D_{\text{souf}}$  obtenues pour  $M = 3$  sont sensiblement inférieures à celles obtenues pour  $M = 2$ . Or, la chute de  $D_{\text{souf}}$  lorsque  $M = 3$  illustre de façon flagrante le phénomène du  $M$  critique dépeint à la figure 28 et, bien que  $M_{\text{crit}}$  pour  $\theta > 230^\circ$  semble être inférieur aux valeurs obtenues pour  $\theta = 210\text{-}215^\circ$ , des expériences supplémentaires devront être effectuées afin de déterminer l'influence de la direction du vent sur  $M_{\text{crit}}$ .

Les données recueillies aux points de prélèvement 5, 8 et 12, et reproduites à la figure 29, indiquent que les estimations obtenues en soufflerie gagnent en précision au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la cheminée. Ainsi, au point de prélèvement 5 ( $S = 16,6$  m),  $D_{\text{souf}}$  excède généralement  $D_{\text{terr}}$ , et la soufflerie surestime la dilution sur le terrain par un facteur de deux lorsque  $\theta$  oscille entre  $215^\circ$  et  $225^\circ$ , bien que la concordance soit manifestement bonne dès lors que la valeur critique de  $M$  est atteinte. En ce qui a trait aux données recueillies aux points de prélèvement 12 et 8, elles sont davantage en accord avec les données de terrain — de fait, au point de prélèvement le plus éloigné (emplacement 12), la soufflerie fournit généralement des estimations prudentes de la dilution. Les

données de terrain pour l'essai n° 3 semblent toutefois faire exception à la règle, car elles tendent à être inférieures à  $D_{\text{soif}}$  à cet emplacement, quoique les faibles valeurs de  $D$  pour cet essai puissent être attribuables aux valeurs élevées de  $M$ .

#### 4.1.3 Sommaire des résultats de l'étude sur l'édifice Hall

Les essais sur le terrain et en soufflerie effectués sur l'édifice Hall ont fourni une quantité appréciable de données concernant la dispersion des émissions provenant du toit d'un bâtiment de forme cubique en milieu urbain. Les principales conclusions de cette étude s'énoncent comme suit :

1. Le modèle de Halitsky produit des estimations très modestes de la dilution minimale. Cela dit, la précision du modèle pourrait être améliorée en ajustant le paramètre  $\alpha$ , quoiqu'il puisse s'avérer difficile de déterminer l'ampleur exacte de l'ajustement à apporter, dans la mesure où il dépend d'un certain nombre d'éléments (entre autres la forme du bâtiment, la hauteur de la cheminée, le facteur d'impulsion des émissions et l'emplacements des points d'échantillonnage).
2. Les modèles de dilution minimale de Wilson-Lamb et de Wilson-Chui fournissent généralement des limites inférieures raisonnables quant à la  $D_{\text{min}}$ , bien que les deux modèles aient aussi produit des prévisions démesurées quant à certaines données de terrain.
3. La formule de dilution initiale du modèle de Wilson-Chui surestime  $D_0$  lorsque  $M$  est élevé ( $M > 4$ ). La formule de Wilson-Lamb relativement à  $D_0$  fournit de meilleures estimations lorsque  $M$  est élevé.

4. Le modèle de dilution minimale de Wilson-Chui assorti d'une formule révisée en ce qui a trait à la dilution initiale est recommandé dans la mesure où il s'avère plus simple que le modèle de Wilson-Lamb et donne des résultats plus modérés en milieu urbain.
5. Les données de dilution issues de l'étude en soufflerie se trouvent généralement à un facteur deux près des données de terrain, et la concordance entre les données de soufflerie et les données de terrain s'améliore à mesure qu'augmente la distance de la cheminée.
6. Les résultats de l'étude terrain et de l'étude en soufflerie indiquent dans un cas comme dans l'autre que le comportement du panache est nettement affecté dès lors que le facteur d'impulsion du flux des émissions atteint une valeur critique d'environ 3,5, la dilution se trouvant sensiblement réduite à tous les points d'échantillonnage au toit lorsque  $M > 3,5$ . Cela laisse entendre que l'utilisation de cheminées à vitesse d'évacuation élevée sur des bâtiments cubiques peut en réalité accroître le niveau de pollution sous certaines conditions de vent. D'autres travaux expérimentaux devront être entrepris afin d'étudier l'influence de divers paramètres sur ce phénomène.

## **4.2 L'édifice BE**

### **4.2.1 Étude terrain**

Les essais sur le terrain pour l'édifice BE ont été réalisés sur trois jours d'octobre et décembre 1997 où les vents étaient de force moyenne. Au contraire des essais de l'édifice Hall, les échantillonneurs n'étaient pas placés au même endroit lors des différentes périodes de prélèvement. En effet, les essais de dépistage avec source fumigène effectués avant les essais n° 2 et 3 ayant indiqué que le vent

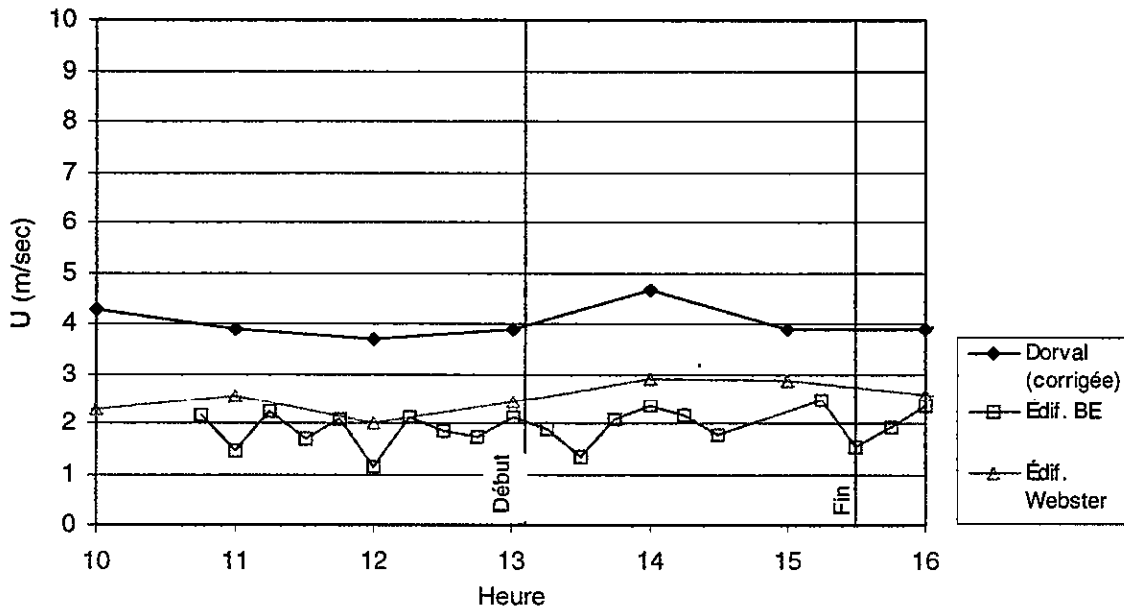


venait principalement de l'ouest au moment de ces essais — alors qu'il était d'ouest-nord-ouest au moment de l'essai n° 1 — les échantillonneurs ont été déplacés lors des deux derniers essais de manière à ce que certains d'entre eux se trouvent près de l'axe du panache moyenné dans le temps.

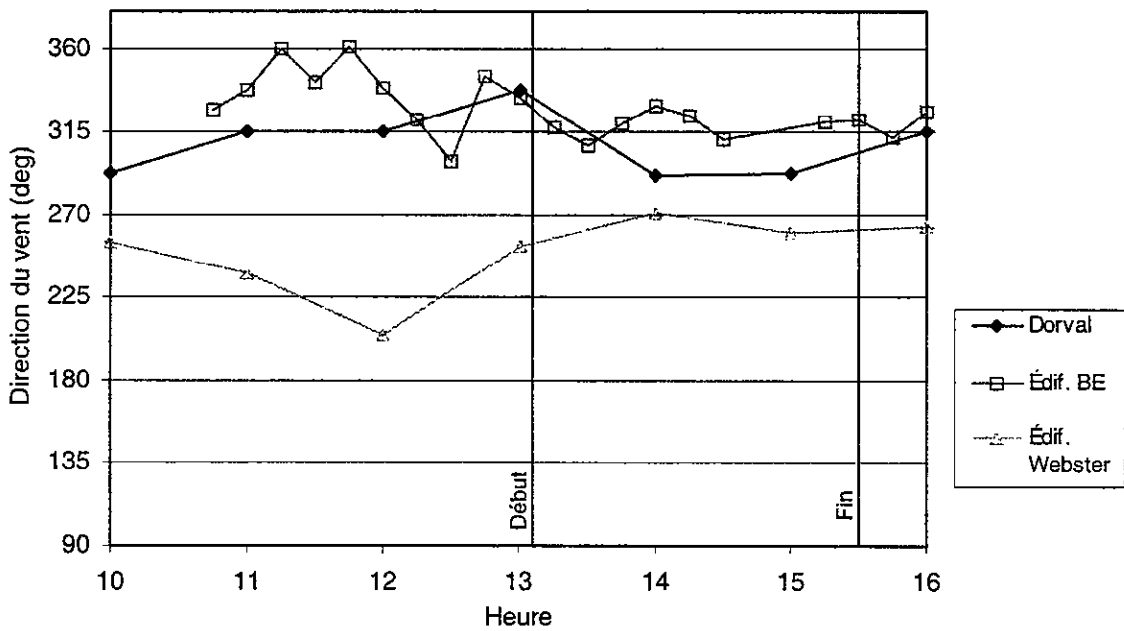
Les essais sur le terrain ont été réalisés le 1<sup>er</sup> octobre, le 10 octobre et le 2 décembre 1997. Les figures 30 à 32 reproduisent les données relatives à la vitesse et à la direction du vent recueillies sur le toit du bâtiment au cours de ces différents essais, de même que les données enregistrées sur la bibliothèque Webster et à l'aéroport de Dorval. Notez que les données brutes quant à la vitesse du vent à Dorval ont été modifiées pour tenir compte de la hauteur de l'édifice BE et de l'augmentation de la rugosité de l'air découlant de son exposition urbaine.

En supposant que les écarts enregistrés entre l'édifice BE et l'aéroport de Dorval en ce qui a trait à la vitesse du vent sont principalement attribuables à la différence de hauteur des points de prélèvement et à la rugosité moindre de l'air en amont, le facteur de correction à appliquer à la vitesse du vent mesurée à Dorval s'établit comme suit :

$$U_{BE}/U_{Dorval} = (Z_{g_{déc}}/Z_{Dorval})^{0,15} (Z_{BE}/Z_{g_{urb}})^{0,28}$$

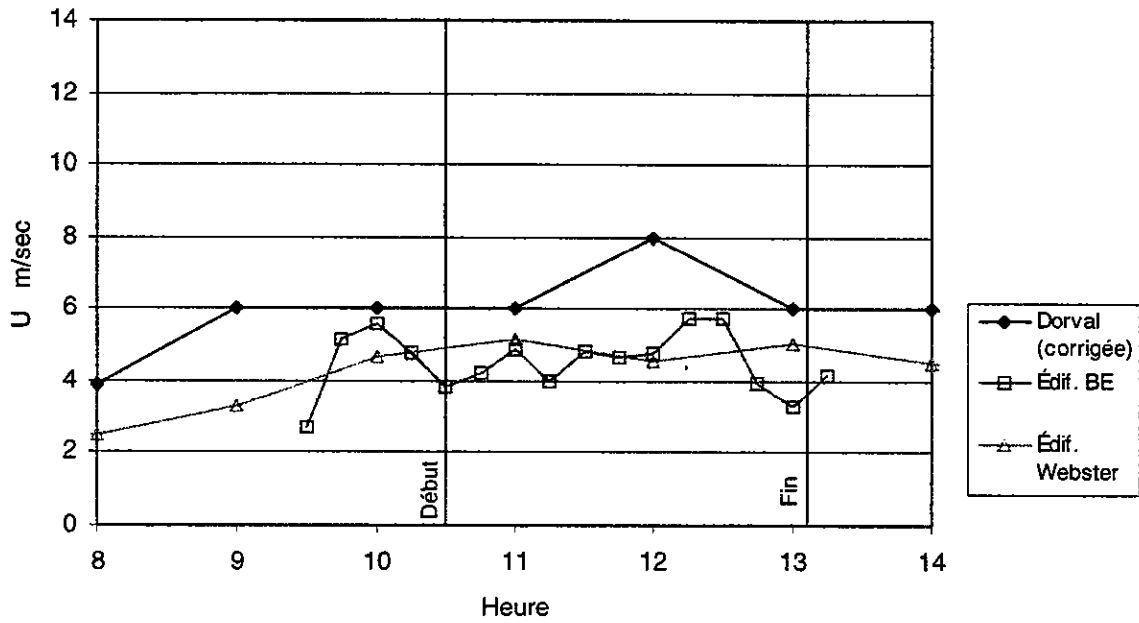


a) Vitesse du vent

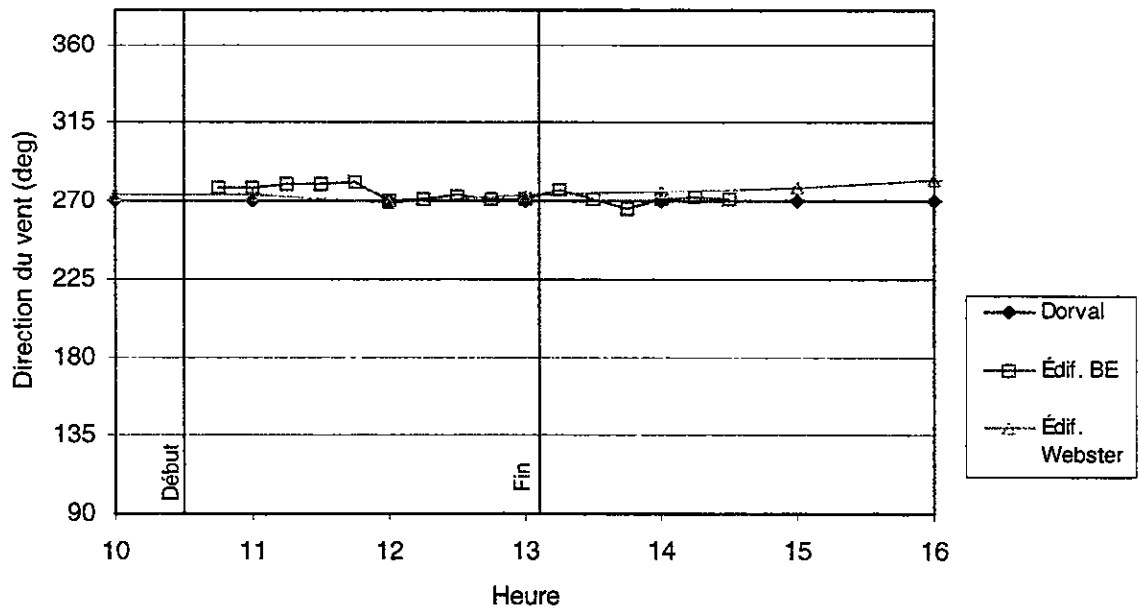


b) Direction du vent

Figure 30 Données éoliennes recueillies sur l'édifice BE lors de l'essai n° 1 (1<sup>er</sup> octobre 1997).

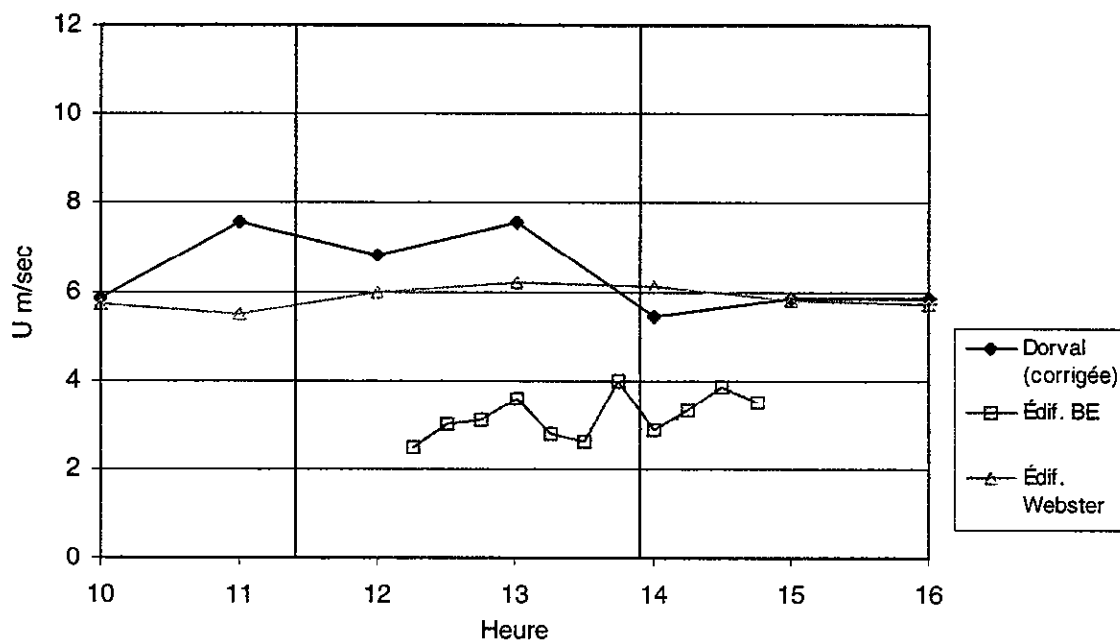


a) Vitesse du vent

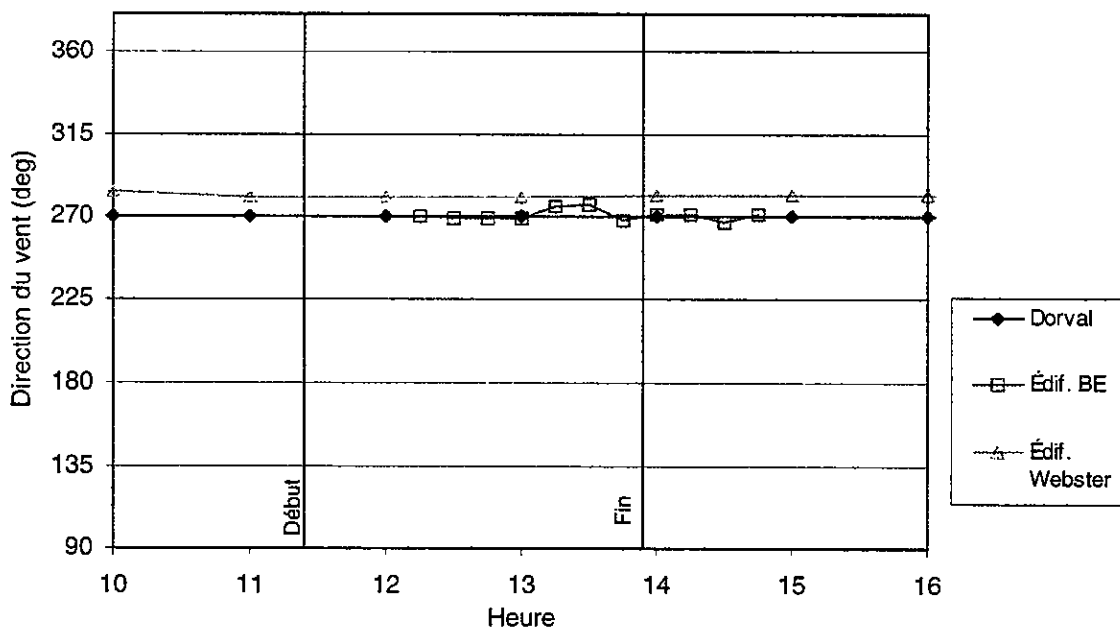


b) Direction du vent

Figure 31 : Données éoliennes recueillies sur l'édifice BE lors de l'essai n° 2 (10 octobre 1997).



a) Vitesse du vent



b) Direction du vent

Figure 32 : Données éoliennes recueillies sur l'édifice BE lors de l'essai n° 3 (2 décembre 1997).

---

$$U_{BE}/U_{Dorval} = (300/10)^{0,15} (19/500)^{0,28} = 0,67$$

Cependant, les valeurs d' $U_{BE}/U_{Dorval}$  mesurées sur le terrain au cours des trois essais concernés ont varié entre 0,33 et 0,50, soit à un niveau inférieur à celui prévu par l'équation ci-dessus. Ces résultats s'expliquent en partie par la présence en amont de hauts bâtiments et du mont Royal, sans compter que l'anémomètre ne se trouvait qu'à une hauteur de 2 m (le 1<sup>er</sup> oct.) ou 3 m (le 10 oct. et le 2 déc.) au-dessus du toit, et donc à l'intérieur la zone d'écoulement décollé. Cela dit, il n'était malheureusement pas possible d'installer une tour plus élevée sur le toit de l'édifice BE.

Lors de l'essai du 1<sup>er</sup> octobre, les données éoliennes ont également été recueillies par un profileur de vent acoustique (sondeur acoustique, ou sodar), un appareil conçu pour mesurer la vitesse du vent, la direction du vent et le niveau de turbulence jusqu'à 300 m d'altitude en enregistrant les fluctuations de température liées au mouvement de l'air. Les données éoliennes prélevées au cours de deux périodes de 15 min à la fin de l'essai par traçage apparaissent à la figure 33. À 40 m au-dessus du toit ( $Z = 54$  m), la vitesse du vent enregistrée par le sondeur acoustique était d'environ 5,3 m/sec, soit raisonnablement comparable à celle de 5,8 m/sec obtenue sur le toit de la bibliothèque ( $Z = 51$  m).

Quant aux mesures liées à la direction du vent fournies par le sondeur acoustique, elles varient sensiblement en fonction de la hauteur. La valeur moyenne de  $\theta$  à une hauteur de 20 m s'est ainsi établie à environ 278°, soit à un niveau légèrement inférieur à la valeur de 300° révélée par l'anémomètre sonique.

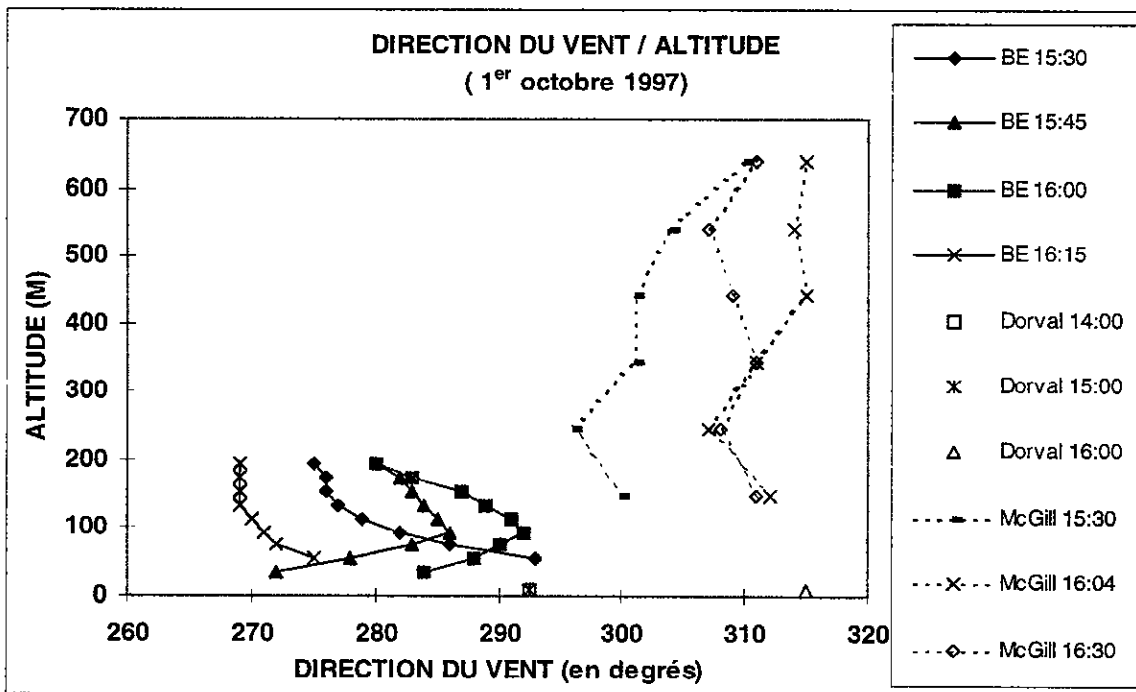
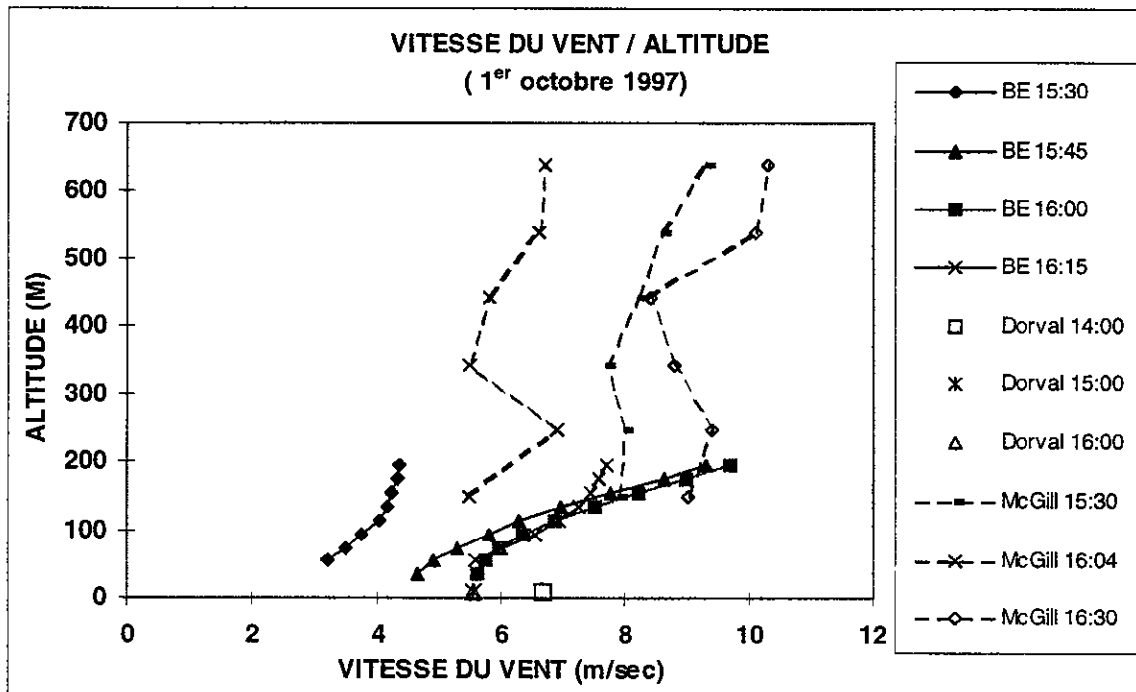


Figure 33 : Données éoliennes enregistrées par le sondeur acoustique (sodar) et le radar de McGill lors de l'essai n° 1 sur l'édifice BE.

La variation dans le temps de la dilution mesurée à tous les points de prélèvement lors des essais du 1<sup>er</sup> octobre, du 10 octobre et du 2 décembre fait l'objet des figures 34 à 36, respectivement. (Notez que les 15 échantillonneurs n'étaient pas tous en service au moment des différents essais.)

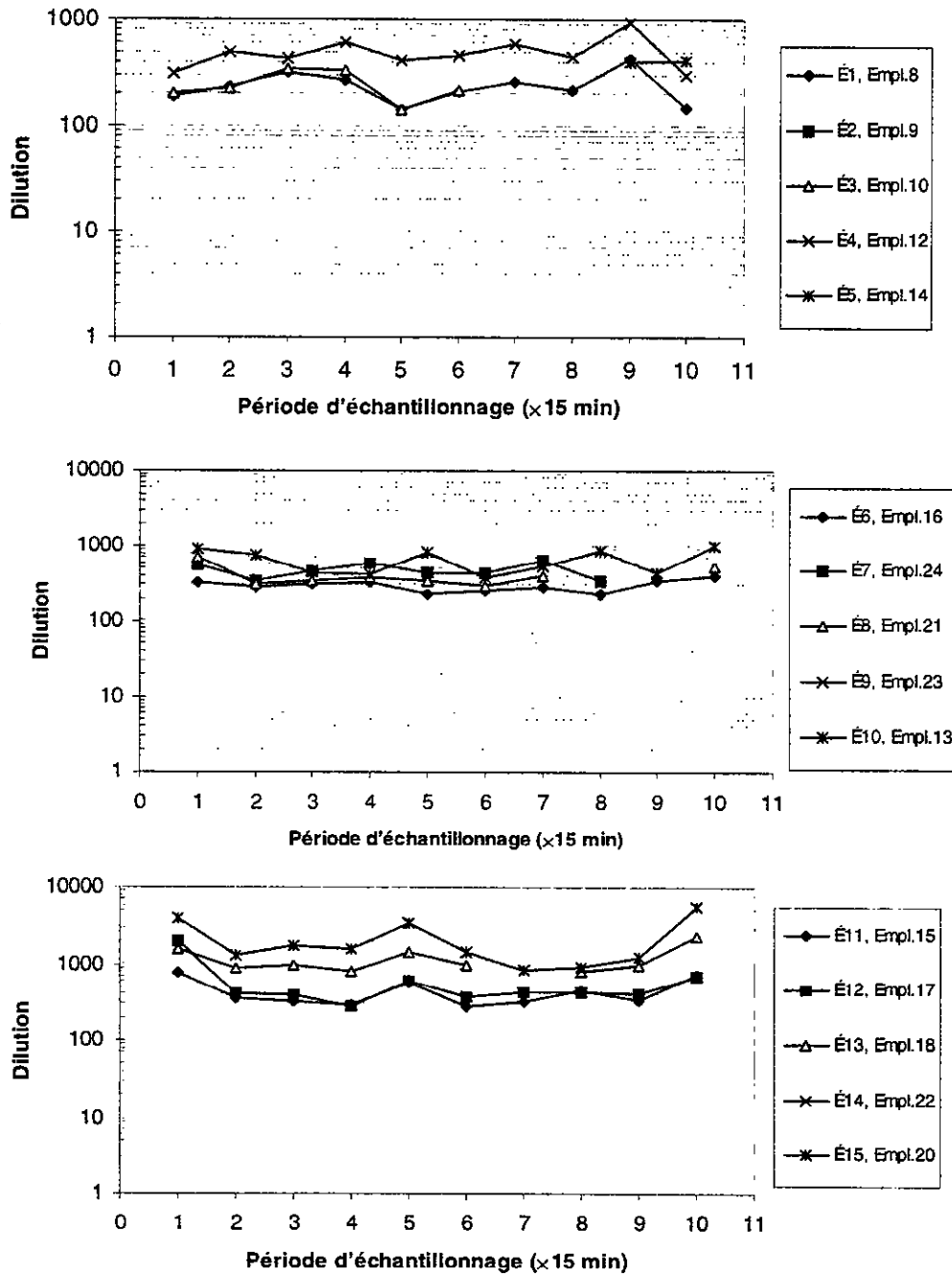


Figure 34 : Variation de la dilution dans le temps lors de l'essai n° 1 sur l'édifice BE (voir fig. 10 pour l'emplacement des échantillonneurs).

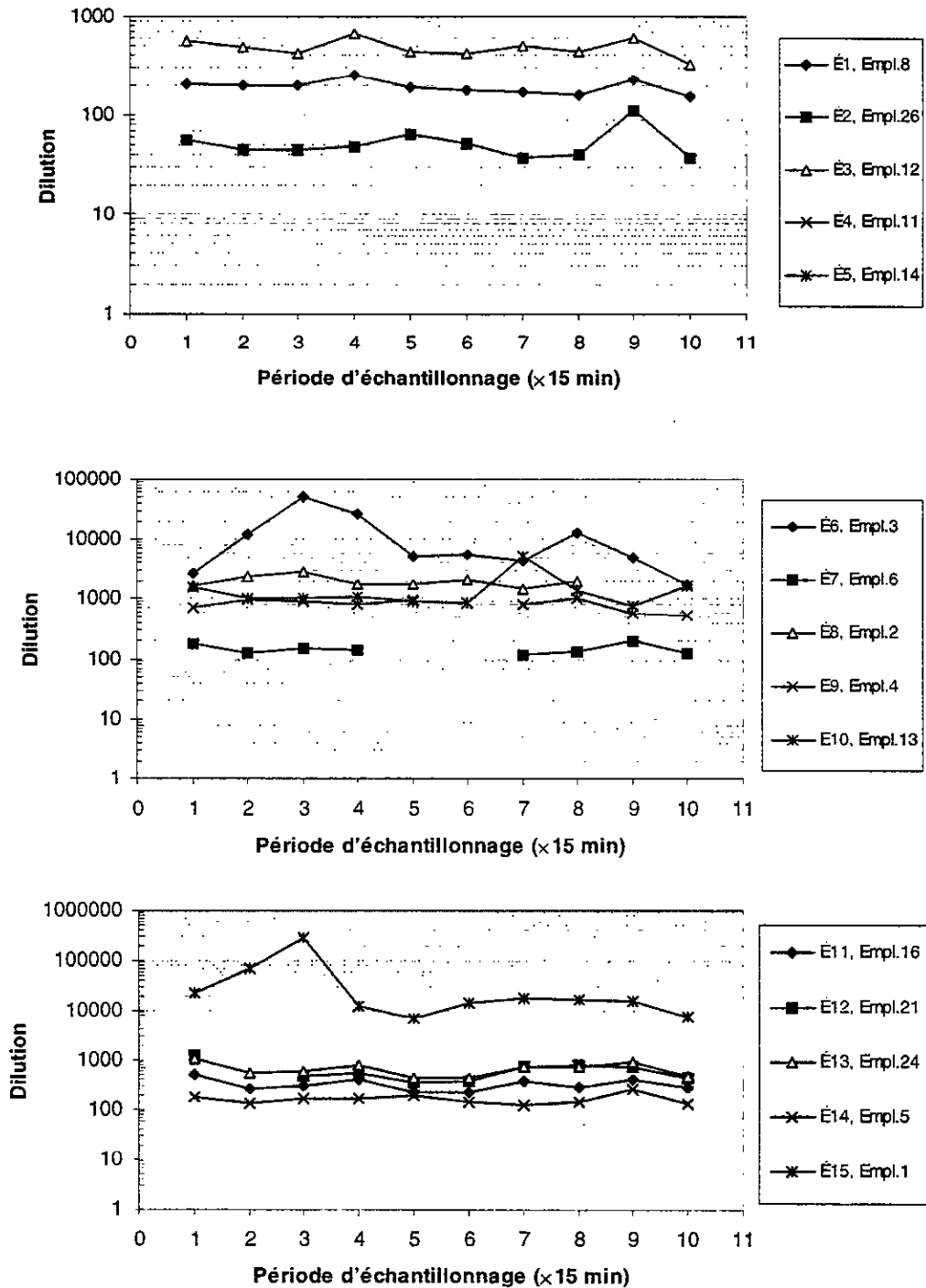


Figure 35 : Variation de la dilution dans le temps lors de l'essai n° 2 sur l'édifice BE (voir fig. 10 pour l'emplacement des échantillonneurs).



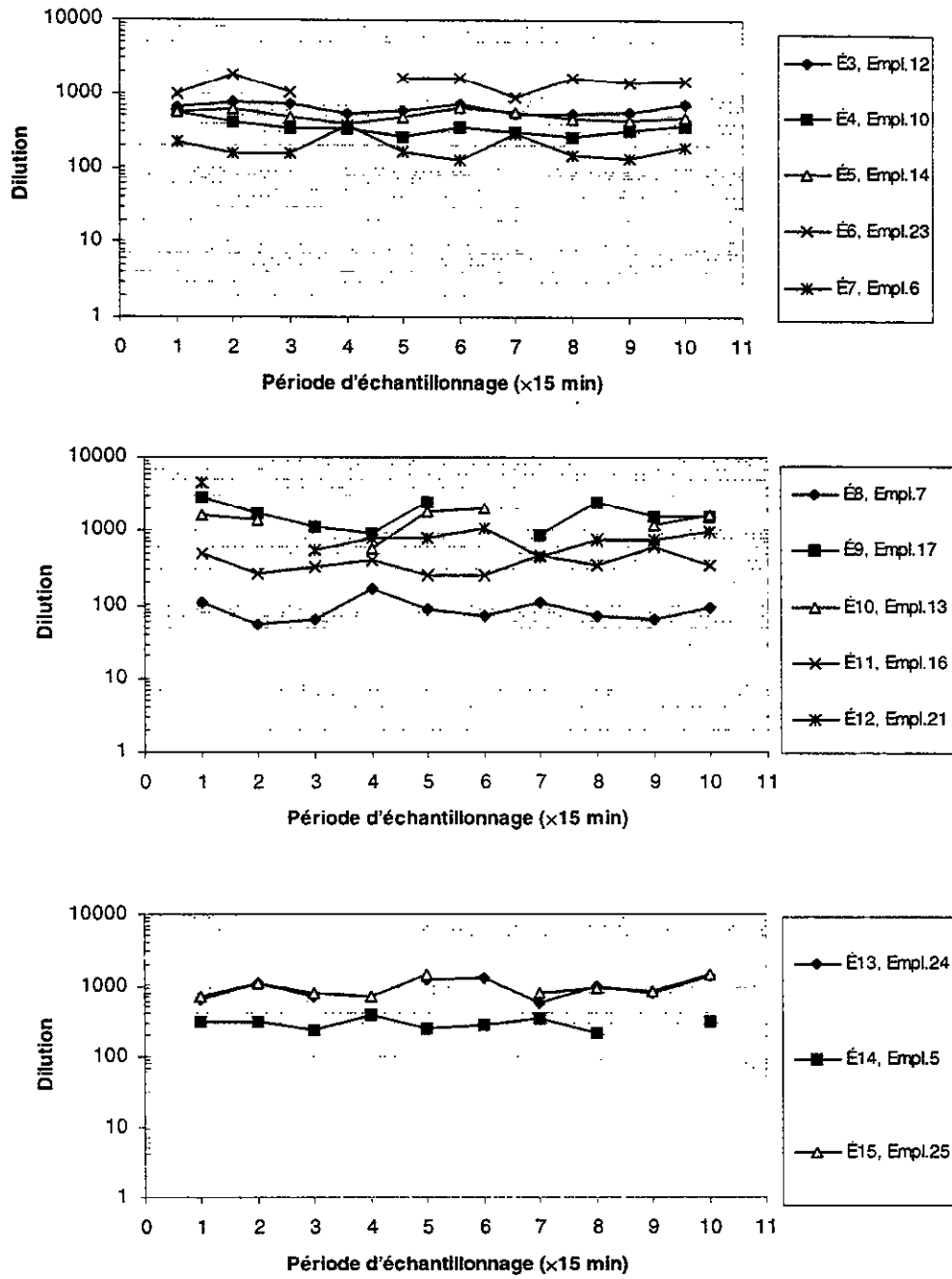


Figure 36 : Variation de la dilution dans le temps lors de l'essai n° 3 sur l'édifice BE (voir fig. 10 pour l'emplacement des échantillonneurs).

---

Dans l'ensemble, les valeurs de dilution affichent une cohésion remarquable d'un bout à l'autre des essais, le rapport de la dilution maximale à la dilution minimale gravitant autour de 2 à la plupart des emplacements. Une exception a toutefois été relevée à l'échantillonneur n° 6 en date du 10 octobre, alors qu'on y a vu  $D$  varier selon un facteur supérieur à 10. Dans ce cas particulier, l'échantillonneur se trouvait relativement près de la cheminée, quoique bien à l'écart de l'axe du panache (à l'emplacement 3, figure 10a), de sorte que la concentration y accusait une intermittence élevée.

Les données de dilution pour l'édifice BE sont tracées en fonction de la distance de la cheminée dans les figures 37 à 39, où apparaissent également les courbes de dilution minimale fournies par les modèles de Halitsky (H), de Wilson-Chui (WC) et de Wilson-Lamb (WL). Dans le cas du modèle WL, le paramètre de dilution en fonction de la distance a été fixé à sa valeur maximale de 0,09 du fait que les niveaux de turbulence étaient très élevés au cours de tous les essais.

Les courbes de  $D_{\min}$  fournies par les modèles WC et WL ont été tracées à partir de la valeur moyenne de  $M$  pour la durée totale d'échantillonnage (2,5 heures) propre à chaque essai, et les valeurs estimatives de  $M$  pour les différents prélèvements de 15 min à chacun des essais figurent au tableau 5. Les valeurs de  $M$  par tranche de 15 min se situent généralement à  $\pm 20\%$  de la valeur

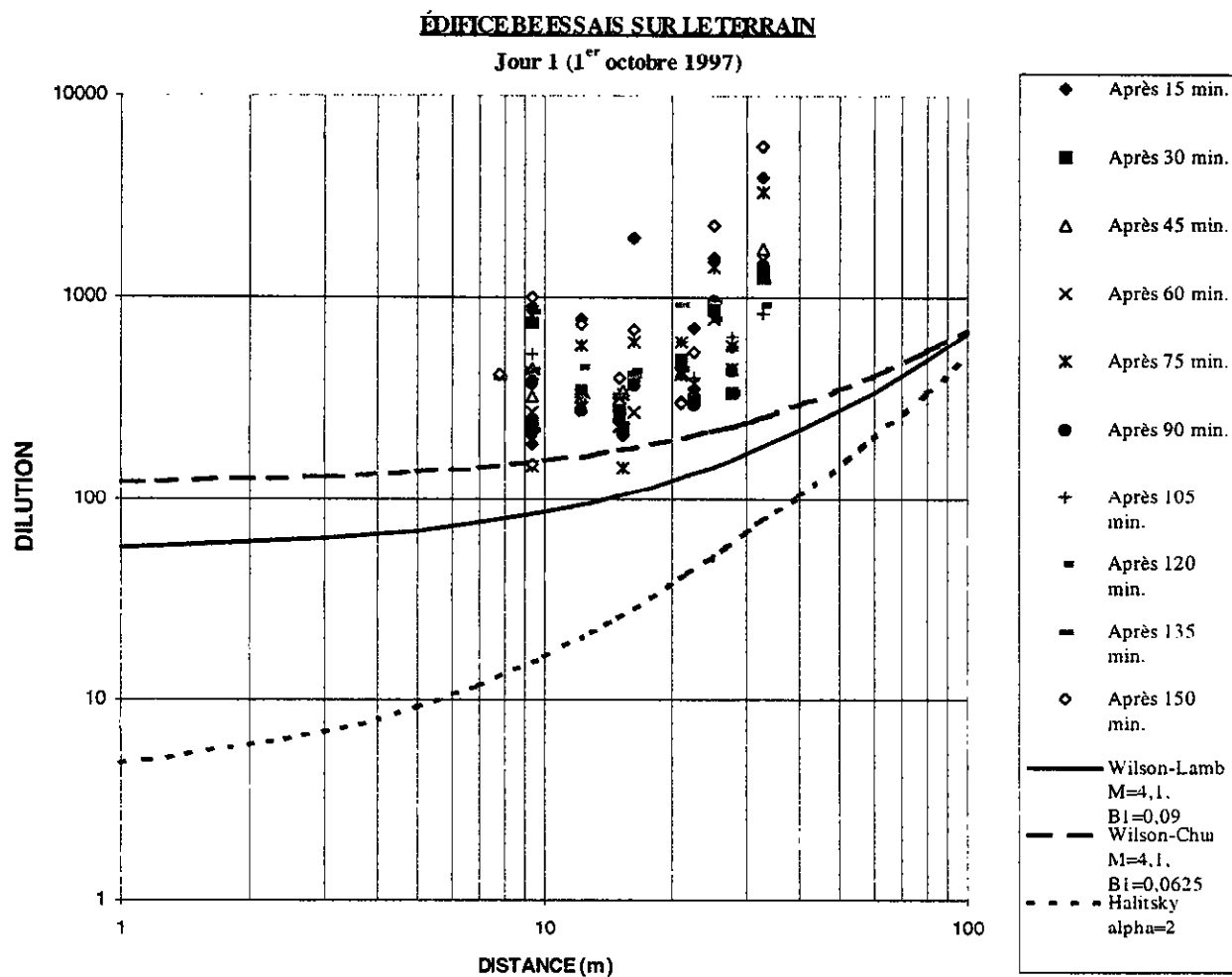


Figure 37 : Comparaison des données de dilution enregistrées par tous les échantillonneurs lors de l'essai n° 1 sur l'édifice BE par rapport aux courbes de dilution minimale de l'ASHRAE.

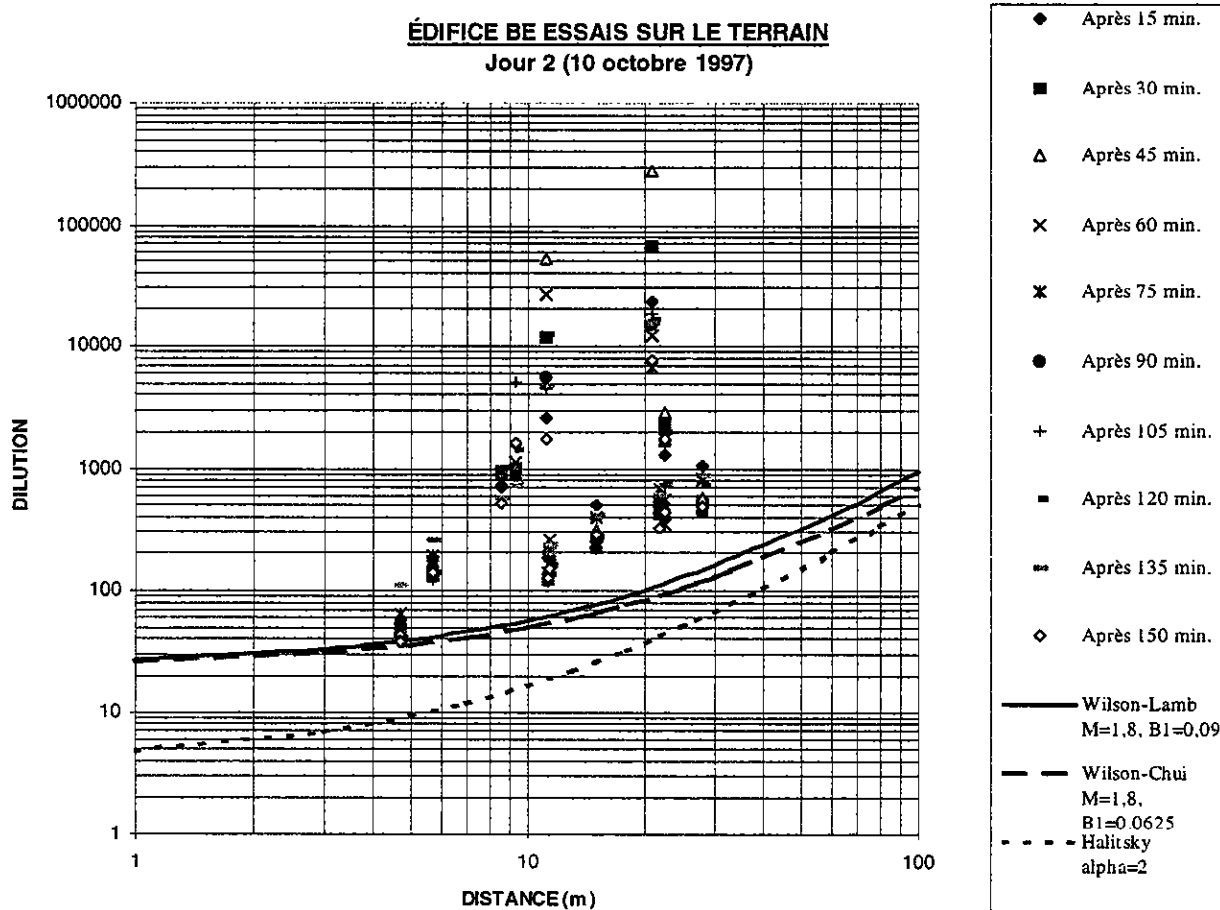


Figure 38 : Comparaison des données de dilution enregistrées par tous les échantillonneurs lors de l'essai n° 2 sur l'édifice BE par rapport aux courbes de dilution minimale de l'ASHRAE.

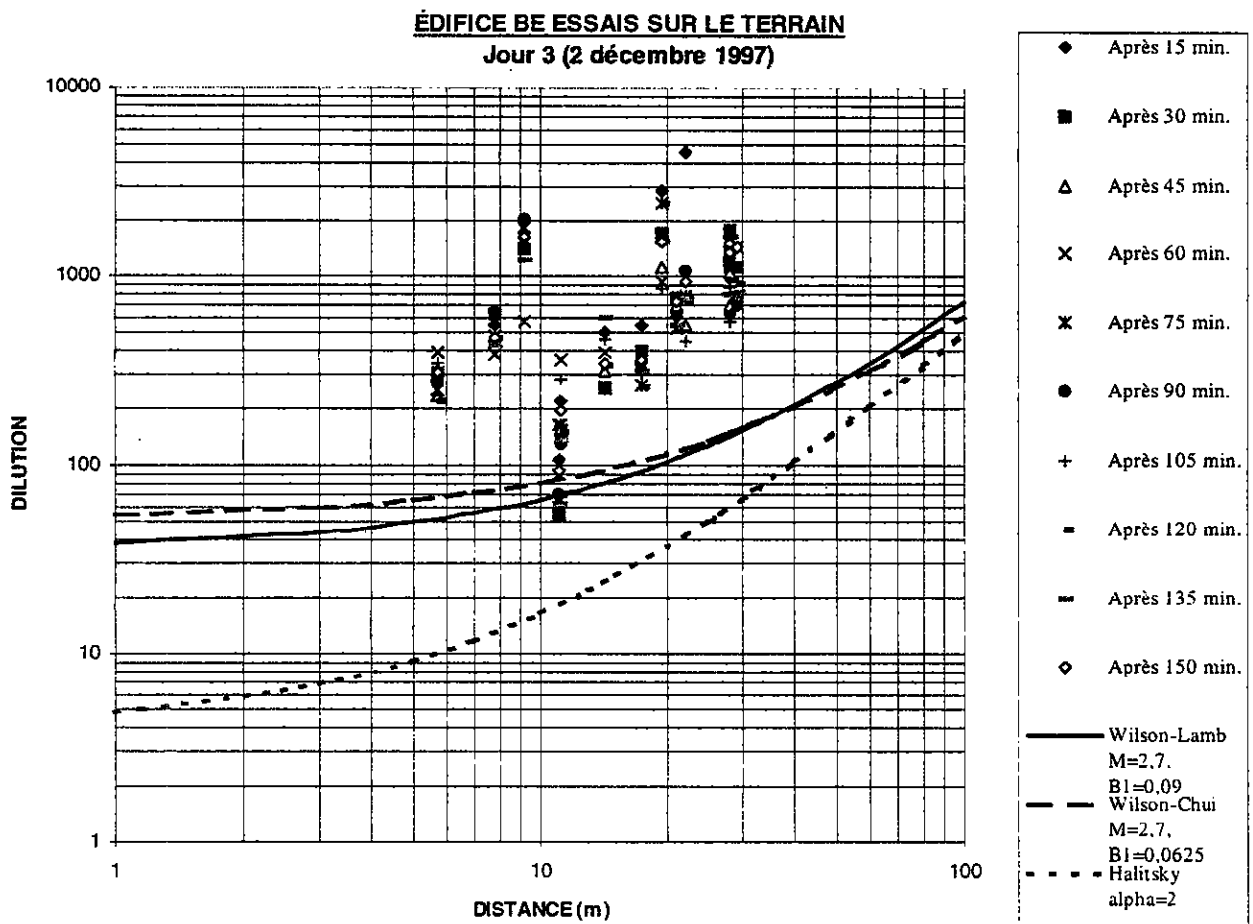


Figure 39 : Comparaison des données de dilution enregistrées par tous les échantillonneurs lors de l'essai n° 3 sur l'édifice BE par rapport aux courbes de dilution minimale de l'ASHRAE.

moyenne résultant de l'essai tout entier, quoiqu'on note une plus grande variation de M lors de l'essai du 1<sup>er</sup> octobre.

Au moment de comparer les valeurs de dilution mesurées et prévues, il importe de se rappeler que les modèles WC et WL ont été développés pour des cheminées en effleurement du toit. Ils ne s'appliquent donc pas rigoureusement aux points d'échantillonnage du toit principal, puisque l'ouverture de la cheminée se trouvait à environ 3 m au-dessus du toit. On s'attend dès lors à ce qu'ils fournissent des prévisions modestes de dilution minimale pour ces emplacements. D'autre part, ces modèles s'appliquent davantage aux échantillonneurs d'édicule, puisqu'ils sont les plus susceptibles d'entrer en contact direct avec le panache.

Tableau 5 : Valeurs estimatives de M par période d'échantillonnage de 15 min (édifice BE)

Échantillon n°	1 <sup>er</sup> octobre	10 octobre	2 décembre
1	4,3	1,9	
2	6,0	1,7	
3	3,9	2,0	3,2
4	3,5	1,7	2,7
5	3,8	1,7	2,6
6	4,6	1,7	2,3
7		1,4	2,9
8		1,4	3,1
9	3,3	2,1	2,0
10	5,4	2,5	2,8
M Moyen	4,3	1,8	2,7

À cet égard, le paramètre associé au modèle de Halitsky ( $\alpha$ ) a été fixé à 2,0 tel que recommandé pour les panaches élevés lorsque les points d'échantillonnage se trouvent au toit. Il y a toutefois lieu de croire que  $\alpha$  devrait être fixé à 1,0 dans le cas de certains échantillonneurs d'édicule.

Ainsi qu'en témoigne la figure 37, les valeurs de dilution mesurées lors de l'essai du 1<sup>er</sup> octobre ( $M_{\text{moy}} = 4,3$ ) se trouvent en général bien au-dessus de la courbe  $D_{\text{min}}$  WL à la plupart des emplacements. En effet, exception faite d'un échantillon obtenu à  $S = 15$  m, la dilution minimale mesurée aux emplacements voisins de l'axe du panache est environ 1,5 fois plus élevée que les valeurs prévues. Cette sous-estimation de  $D_{\text{min}}$  par le modèle WL est en grande partie attribuable au fait que le panache élevé n'est jamais entré en contact direct avec les échantillonneurs, si ce n'est de façon instantanée. Par ailleurs, la direction moyenne du vent ne s'est pas avérée critique pour la plupart des échantillonneurs.

Le modèle de Halitsky sous-estime pour sa part  $D_{\text{min}}$  à tous les emplacements par un facteur d'au moins 5. En contrepartie, la courbe WC excède les dilutions mesurées à plusieurs points d'échantillonnage par un facteur atteignant jusqu'à 1,5. Les différences entre les prévisions des modèles WC et WL s'expliquent surtout par le fait qu'ils ont recours à des formules différentes pour calculer la dilution initiale ( $D_0$ ) — on se rappellera que  $D_0 = 1 + 7M^2$  dans le cas du modèle WC, et que  $D_0 = 1 + 13M$  dans le cas du modèle WL. Lorsque les émissions accusent une impulsion moyenne ( $1 < M < 2,5$ ), les deux formules donnent des  $D_0$  de valeur semblable; par contre, lorsque  $M$  est élevé ( $M > 4$ ), la formule du modèle WC fournit une dilution initiale sensiblement plus élevée que celle du modèle WL.

Pour l'essai du 1<sup>er</sup> octobre ( $M = 4,1$ ), la  $D_0$  estimée par le modèle WC est de 119, c'est-à-dire environ deux fois plus élevée que celle de 54 fournie par le modèle WL. L'approximation excessive de la dilution initiale émanant du modèle WC semble ici s'expliquer par le fait que les dilutions mesurées près de la cheminée sont bien en deçà de la courbe  $D_{\text{min}}$  WC reproduite à la figure 37. Près de la cheminée, l'élément dilution initiale se révèle en effet beaucoup plus important, par rapport à la

dilution totale, que l'élément dilution en fonction de la distance, de sorte que la surestimation, par le modèle WC, des dilutions mesurées à  $S = 9,3$  m et  $S = 15,3$  m (emplacements 8 et 10, fig. 10) résulte d'une surestimation de  $D_o$ . Cela dit, la formule de  $D_o$  retenue par le modèle WL semble fournir une meilleure approximation, du moins dans le cas de cet ensemble de données, puisque la majeure partie des mesures effectuées se trouvent au-dessus de la courbe  $D_{\min}$  WL.

Les données de dilution obtenues le 10 octobre ( $M_{\text{moy}} = 1,8$ ) apparaissent à la figure 38, de même que les courbes de dilution minimale des modèles WC, WL et H. Dans ce cas particulier, on n'observe que peu de différence entre les courbes WC et WL. En effet,  $M_{\text{moy}}$  étant relativement faible, ces deux modèles donnent à peu de chose près la même dilution initiale et, par voie de conséquence, des valeurs similaires en ce qui a trait à la  $D_{\min}$  près de la cheminée. Le modèle WC présente toutefois des résultats légèrement plus modestes que le modèle WL à mesure que la distance de la cheminée augmente, car  $B_1$  y revêt une valeur moindre.

D'une manière générale, les trois modèles ont fourni des estimations modestes des données de dilution minimale recueillies le 10 octobre. Tel que prévu, c'est le modèle H qui a accusé les écarts les plus importants, sous-estimant  $D_{\min}$  par un facteur d'au moins 3. Les modèles WC et WL ont pour leur part sous-estimé  $D_{\min}$  par un facteur d'au moins 2 à la plupart des points d'échantillonnage, exception faite de l'échantillonneur d'édicule le plus rapproché de la cheminée ( $S = 4,7$  m), lequel a fourni certaines valeurs de dilution légèrement inférieures aux prévisions des deux modèles en question. Il importe cependant de noter que le conservatisme apparent des modèles de référence est quelque peu trompeur, étant donné que la direction du vent (ONO) n'avait pas d'incidence majeure sur la plupart des échantillonneurs.



Les données de dilution et les courbes de  $D_{\min}$  pour l'essai du 2 décembre ( $M_{\text{moy}} = 2,7$ ) apparaissent à la figure 39. Comme pour l'essai du 10 octobre, le modèle de Halitsky sous-estime la dilution mesurée à tous les emplacements, et ce, par un facteur d'au moins 3. De même, les modèles WC et WL sous-estiment la dilution mesurée à la plupart des emplacements, que soit sous l'effet de la hauteur du panache, de la direction du vent ou d'une combinaison des deux. Par contre, ces deux mêmes modèles surestiment également certaines des valeurs de dilution fournies par l'échantillonneur n° 8 ( $S = 11$  m) dans une proportion d'environ 2:1, l'écart entre la dilution mesurée et la valeur prévue étant légèrement plus important dans le cas du modèle WC du fait qu'il retient une plus grande dilution initiale ( $D_0 = 52$ ) que le modèle WL ( $D_0 = 36$ ).

La surestimation de  $D_{\min}$  à  $S = 11$  m par les modèles WC et WL suggère que les deux modèles surestiment la dilution initiale du panache. La surestimation de la dilution à ce point d'échantillonnage pourrait aussi s'expliquer par l'attribution d'une valeur trop élevée au paramètre de dilution en fonction de la distance ( $B_1$ ); néanmoins, compte tenu du fait que la plus faible dilution mesurée à  $S = 11$  m ( $D \sim 35$ ) est à peu près égale à  $D_0$ , il faudrait que  $B_1$  prenne des valeurs extrêmement faibles pour que les modèles WL et WC puissent s'ajuster aux données. Or, une réduction importante de  $B_1$  n'est guère envisageable dans la mesure où le niveau de turbulence élevé du flux en amont ( $\sigma_w/U > 50$  %) devrait plutôt accroître la dispersion du panache. En conséquence, il s'agirait plus vraisemblablement de réviser les approximations de dilution initiale fournies par les modèles conceptuels.

Afin d'obtenir une meilleure estimation de  $D_0$ , il faudrait recueillir des données additionnelles à proximité de la cheminée et dans l'axe du panache. Dans le même ordre d'idées, un nombre supérieur

---

d'échantillonneurs à une distance de plus de 10 m de la cheminée permettrait une meilleure évaluation de la pertinence des valeurs prises par  $B_1$ . Malheureusement, il n'était pas possible de placer des échantillonneurs dans la trajectoire du panache à de plus grandes distances lors de l'essai du 2 décembre.

Il convient en outre de noter que l'affectation aux modèles de la valeur moyenne de  $M$  pour l'ensemble de la période d'échantillonnage de 2,5 heures peut avoir augmenté l'écart enregistré entre les valeurs prévues et les valeurs réelles de dilution. Dans cette optique, chaque prélèvement de 15 min, auquel correspond une valeur particulière de  $M$ , aurait sans doute pu servir à l'évaluation des modèles de dilution minimale. Or, comme le révèle le tableau 5, les valeurs de  $M$  par tranche de 15 min obtenues lors des essais du 10 octobre et du 2 décembre étaient passablement homogènes, alors que les données du 1<sup>er</sup> octobre affichaient une plus grande variabilité. Ainsi, compte tenu des incertitudes liées à la mesure de  $w_c$  et d' $U_h$ , l'utilisation des valeurs de  $M$  par tranche de 15 min n'est vraisemblablement pas justifiable.

#### 4.2.2 Étude en soufflerie

Une série d'essais en soufflerie ont été effectués afin d'évaluer l'influence de la direction du vent et de l'impulsion des émissions sur la dilution du panache en divers points d'échantillonnage du toit de l'édifice BE. Au total, tel qu'illustré à la figure 10a, 26 tubes de prélèvement ont ainsi été placés sur la maquette du bâtiment, leur emplacement correspondant à celui des échantillonneurs utilisés au cours des essais sur le terrain.

Avant de se pencher sur les résultats à proprement parler de l'étude en soufflerie, il importe de souligner les sources d'incertitude possibles qui s'y rattachent. Premièrement, les niveaux élevés de

---

turbulence (de l'ordre de 25 %) à la hauteur de référence au-dessus du toit de la maquette de l'édifice BE amènent le thermo-anémomètre à surestimer la vitesse moyenne du vent, si bien que les valeurs de  $M$  pourraient avoir été sous-estimées. Cela dit, aucun effort n'a été entrepris dans le but d'ajuster les valeurs de  $M$  de manière à tenir compte de l'influence d'autres sources d'incertitude sur la vitesse mesurée du vent. À titre d'exemple, les mesures relatives à la vitesse du vent se révèlent extrêmement sensibles à l'emplacement de la thermo-sonde, du fait que des gradients de célérité élevés caractérisent l'écoulement des émissions au-dessus du toit de la maquette.

La deuxième source d'incertitude en importance a trait à l'effet du relief en amont. Les essais en soufflerie ont en effet été effectués suivant un modèle conventionnel d'écoulement suburbain de la couche limite, sans modélisation du mont Royal en amont, car on estimait que les hautes constructions se trouvant à proximité de l'édifice BE auraient un effet nettement déterminant sur l'écoulement des émissions. Il se peut toutefois que le phénomène de dispersion soit affecté, à plus grande échelle, par les configurations d'écoulement liées à la présence du mont Royal, de sorte que l'influence de la colline sur les résultats obtenus pourrait faire l'objet d'une étude ultérieure. Il convient en outre de noter que l'effet de la colline a été jugé négligeable lors des essais portant sur l'édifice Hall dans la mesure où le vent venait du sud-ouest.

Il faut enfin considérer le fait que le diamètre de la cheminée de la maquette de l'édifice BE reflétait le diamètre de sortie de la cheminée Strobic ( $d_c = 1,1$  m). Cela dit, une fois les essais en soufflerie terminés, la forme de la courbe d'étalement de la vitesse des émissions a permis d'établir que le diamètre effectif de la cheminée Strobic était légèrement inférieur à son diamètre réel (voir fig. 9). On s'attend toutefois à ce que l'effet de cette disparité sur les mesures de dilution soit minime à

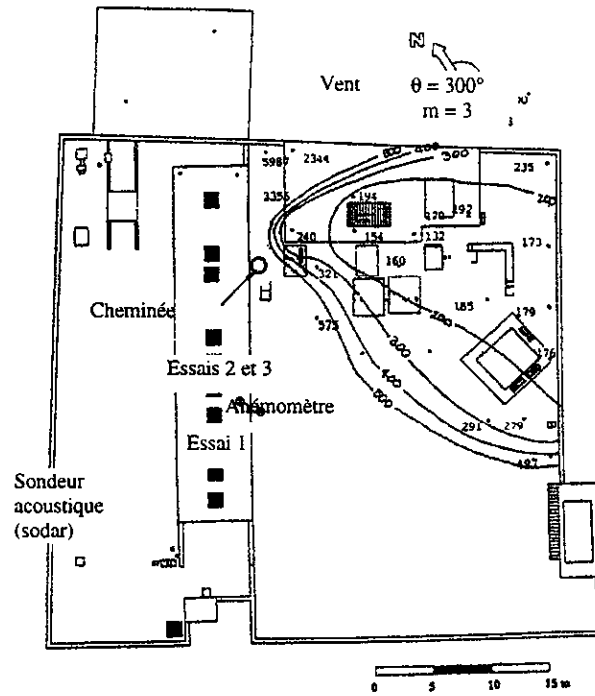
---

l'échelle de la maquette puisque, pour une valeur donnée de  $M$ ,  $D_{\min}$  s'avère relativement peu sensible aux variations de diamètre de la cheminée d'évacuation. Par ailleurs, étant donné que l'étalement du flux des émissions de la cheminée de la maquette s'est généralement révélé laminaire, le recours à une échelle rigoureuse pourrait, de toute façon, avoir été injustifié.

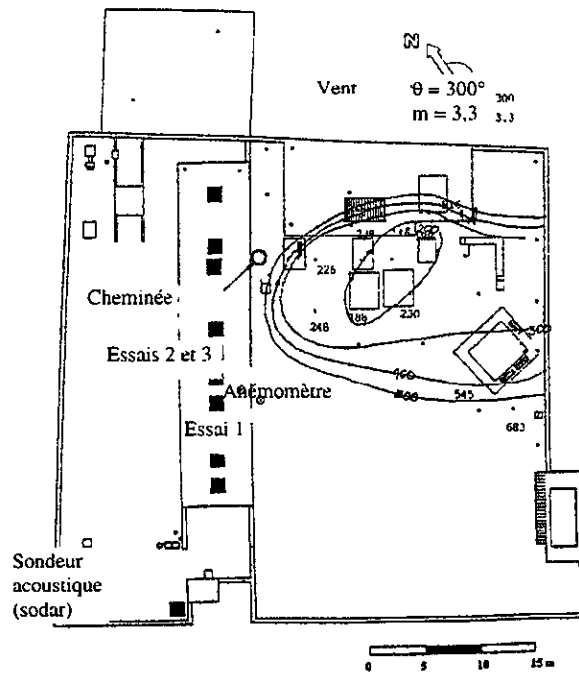
La figure 40 reproduit les tracés de contours de dilution obtenus en soufflerie pour  $M = 3$  lorsque le vent venait du nord-ouest ( $\theta = 300^\circ$ ), de même que les mesures types recueillies sur le terrain le 1<sup>er</sup> octobre alors que le vent venait à peu près de la même direction. La valeur moyenne de  $M$ , telle que mesurée lors de l'essai sur le terrain, était d'environ 3,3, et les données de terrain s'établissent généralement à un facteur deux près des résultats obtenus en soufflerie pour  $M = 3$ .

La figure 41a présente les données recueillies en soufflerie par vent d'ouest ( $\theta = 270^\circ$ ) pour  $M = 2$ , tandis que la figure 41b fait état des mesures obtenues sur le terrain le 10 octobre pour un vent de direction comparable et  $M \sim 1,8$ . Il appert que les données de terrain se comparent relativement bien aux résultats en soufflerie pour  $M = 2$ , tout particulièrement sur l'édicule.

La figure 42 révèle l'influence de la direction du vent sur les valeurs de dilution en soufflerie et sur le terrain à certains points d'échantillonnage de l'édicule, tandis que la figure 43 fait de même pour les emplacements du toit principal. Les courbes de dilution en soufflerie sont tracées pour  $M = 2$  et  $M = 3$ , une grande partie des données recueillies sur le terrain se trouvant à l'intérieur de cette fourchette; or, compte tenu des incertitudes liées à l'estimation de  $M$  et de  $\theta$  lors des essais sur le terrain, la concordance des données en soufflerie par rapport aux données de terrain se veut plutôt encourageante.

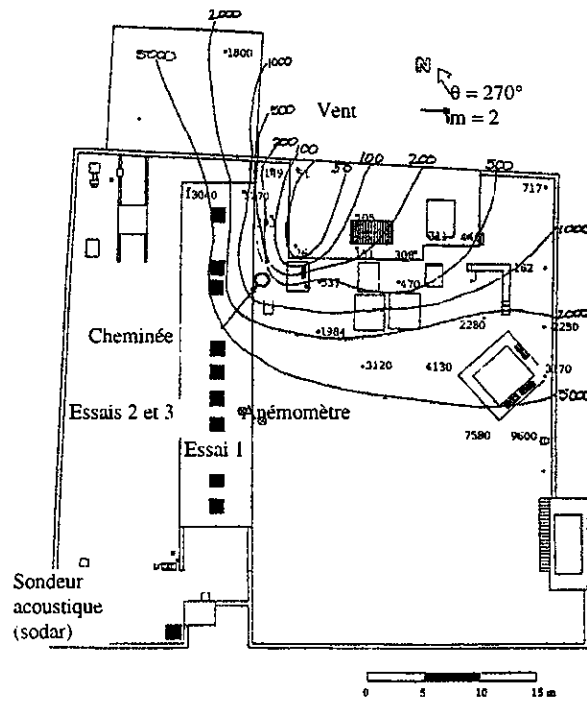


a) Données obtenues en soufflerie

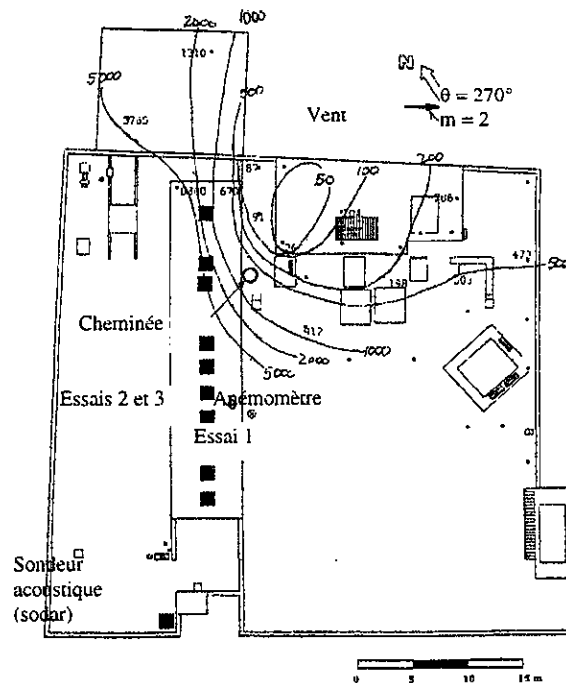


b) Données obtenues sur le terrain

Figure 40 : Isoplèthes de dilution en soufflerie et sur le terrain pour l'édifice BE ( $M \sim 3, \theta = 300^\circ$ ).



a) Données obtenues en soufflerie



b) Données obtenues sur le terrain

Figure 41 Isoplèthes de dilution en soufflerie et sur le terrain pour l'édifice BE ( $M \sim 2$ ,  $\theta = 270^\circ$ ).

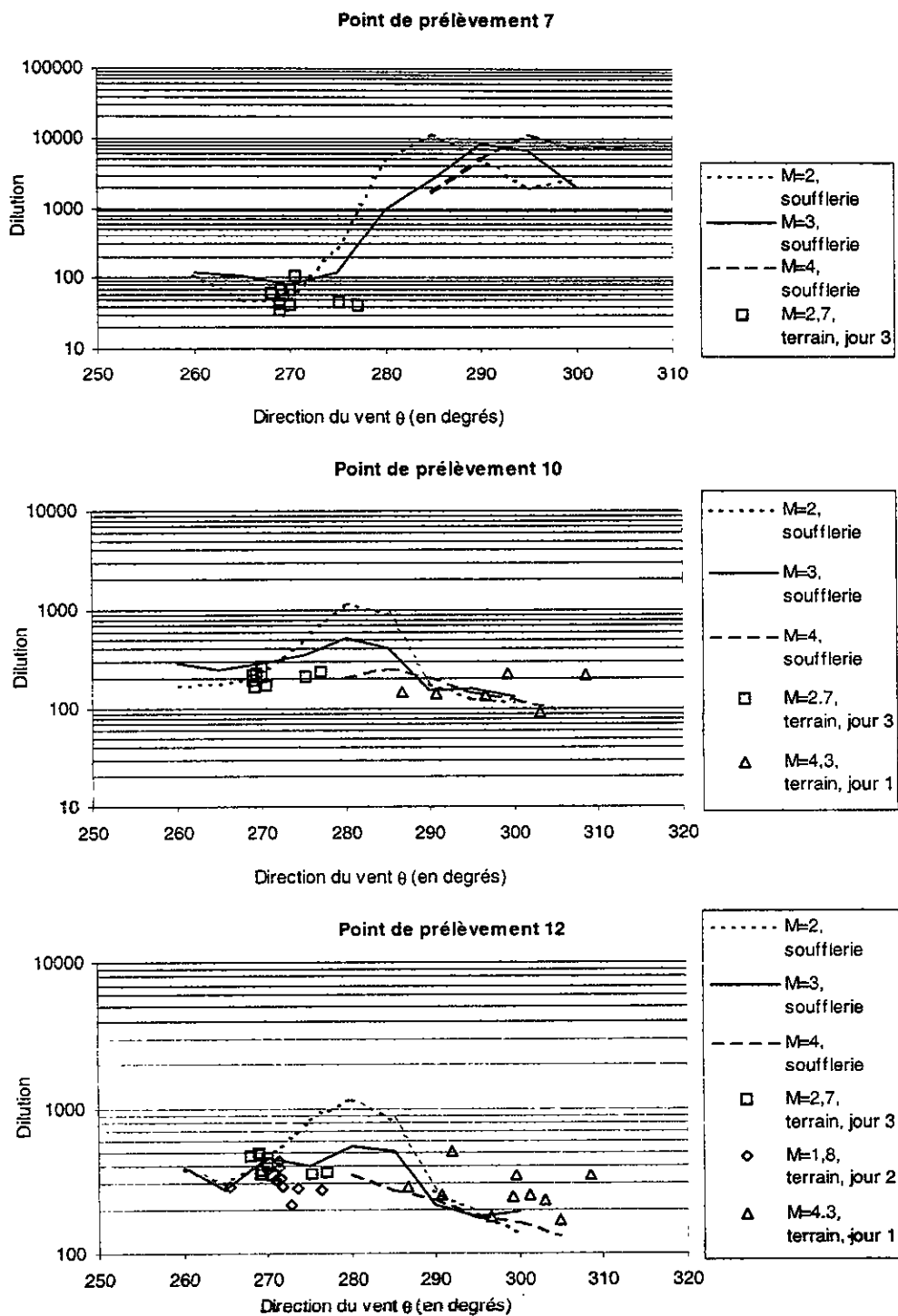


Figure 42 : Effet de la direction du vent sur la dilution en soufflerie et sur le terrain, mesurée sur l'édicule de l'édifice BE.

À l'emplacement 7 de l'édicule, les courbes de dilution en soufflerie pour  $M = 2$  et  $M = 3$  affichent une variabilité comparable à celle obtenue à l'emplacement 2 (fig. 42a). Pour  $260^\circ < \theta < 275^\circ$ , on obtient des valeurs de dilution minimale variant entre 50 et 100; mais, dès lors que le vent prend une direction ouest-nord-ouest ( $285^\circ < \theta < 290^\circ$ ),  $D$  grimpe abruptement jusqu'à atteindre un sommet de 10 000. Cela dit, les données de terrain n'ont été recueillies que pour des vents d'ouest au cours de l'essai du 2 décembre, quoiqu'elles se comparent très bien aux données obtenues en soufflerie; dans l'ensemble, les données obtenues en soufflerie se révèlent supérieures aux valeurs de terrain, mais selon un facteur inférieur à deux.

Les courbes de dilution en soufflerie résultant des prélèvements effectués aux emplacements 10 et 12 de l'édicule revêtent un aspect comparable, ainsi qu'en témoignent les figures 42b et 42c. À ces points d'échantillonnage, les données de dilution pour  $M = 2$  et  $M = 3$  tendent à diverger lorsque la direction du vent s'inscrit à l'intérieur de la fourchette  $275^\circ < \theta < 285^\circ$ , les valeurs correspondant à  $M = 2$  s'avérant alors trois fois plus élevées que pour  $M = 3$ . Les résultats de l'étude terrain sont peu concluants en ce qui concerne la variation de  $D$  par rapport à  $M$  à l'intérieur de cette fourchette de  $\theta$ , car le nombre d'échantillons est trop restreint, bien que plusieurs prélèvements aient été effectués le 10 octobre ( $M \sim 1,8$ ) à l'emplacement 12 pour  $270^\circ < \theta < 280^\circ$ . Ces données ne se comparent toutefois pas avantageusement à celles obtenues en soufflerie pour  $M = 2$ , les valeurs de dilution en soufflerie s'avérant dans ce cas jusqu'à quatre fois plus élevées que les valeurs de terrain. Par contre, les données de terrain obtenues pour  $M \sim 2,7$  se comparent relativement bien aux données obtenues en soufflerie pour  $M = 3$  aux emplacements 10 et 12.



La raison de l'augmentation par un facteur de quatre de la dilution en soufflerie pour  $M = 2$  et  $275^\circ < \theta < 285^\circ$  n'apparaît pas clairement, mais pourrait être liée à la turbulence causée par plusieurs bâtiments élevés à environ 150 m en amont de l'édifice BE. Des expériences supplémentaires ont ainsi été effectuées afin de déterminer la sensibilité de  $D$  aux variations de  $M$  pour cette fourchette directionnelle. La figure 43 indique que la dilution à l'emplacement 10 est relativement élevée ( $D \sim 800$ ) pour  $0,8 < M < 1,9$ , mais qu'elle tombe abruptement à 400 pour  $M = 2$ , puis à 200 pour  $M = 3$ . (Il convient de noter l'important écart distinguant les dilutions pour  $M = 2$  et  $\theta = 280^\circ$  entre les figures 42 et 43, écart attribuable à l'incertitude liée à l'estimation de  $M$ .)

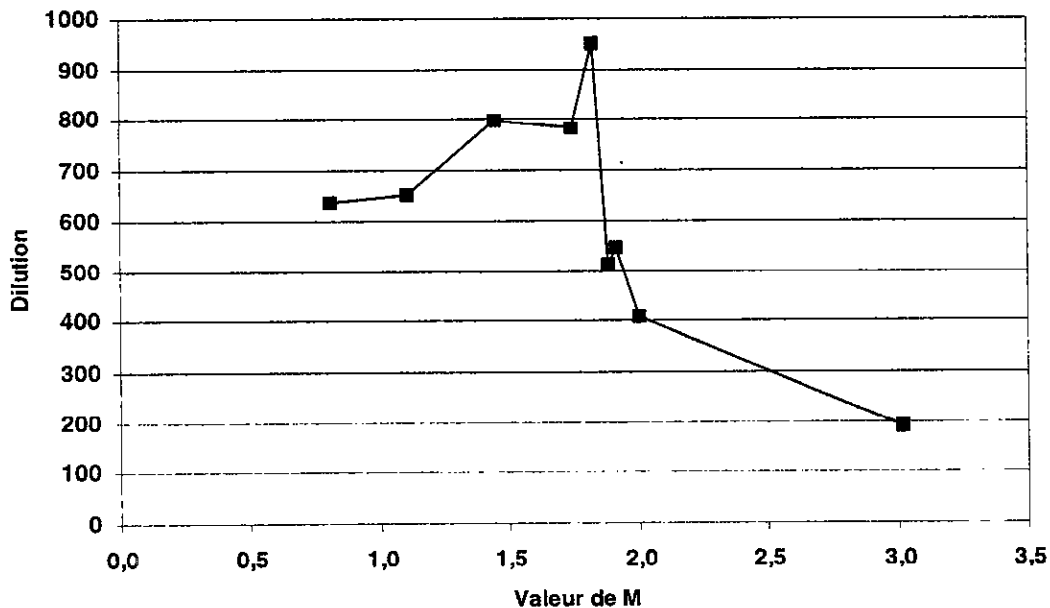


Figure 43 : Variation de  $D_s$  par rapport à  $M$  au point de prélèvement 10 pour  $\theta = 280^\circ$ .

Des essais en soufflerie ont été effectués pour  $M = 4$ , par vents ouest-nord-ouest, afin d'en comparer les résultats aux données recueillies sur le terrain le 1<sup>er</sup> octobre. À l'emplacement 10, les données en soufflerie se comparent bien aux dilutions mesurées sur le terrain. À l'emplacement 12, cependant,

les dilutions enregistrées sur le terrain se révèlent légèrement plus élevées que les valeurs obtenues en soufflerie lorsque  $\theta = 300^\circ$ . Cela dit, il est intéressant de noter la similitude, aux deux emplacements (10 et 12), des courbes de  $D$  en soufflerie pour  $M = 2$ ,  $M = 3$  et  $M = 4$  lorsque  $\theta > 290^\circ$ , et leur dissimilitude lorsque  $\theta < 290^\circ$ .

La figure 44a reproduit les données de dilution prélevées à l'emplacement 6 du toit principal, et les courbes de dilution en soufflerie pour  $M = 2$  et  $M = 3$  revêtent une allure semblables à celles obtenues pour l'emplacement 7. La dilution atteint un plancher de 150 à 300 par vent d'ouest, mais augmente abruptement jusqu'à 10 000 à mesure que  $\theta$  grandit jusqu'à atteindre  $285^\circ$ . Les données de terrain provenant de l'emplacement 6 correspondent surtout à des vents d'ouest, et concordent dans l'ensemble plutôt bien avec les résultats obtenus en soufflerie. Pour  $\theta = 270^\circ$ ,  $D_{\text{souf}}$  excède  $D_{\text{terr}}$  jusqu'à trois fois, bien qu'on observe de plus grands écarts encore lorsque  $\theta \sim 275^\circ$ . Compte tenu de l'incertitude associée aux mesures de  $\theta$  sur le terrain, cette augmentation apparente de la marge d'erreur attribuable à la modélisation pour  $\theta \sim 275^\circ$  peut toutefois n'avoir aucun fondement. De toute évidence, d'autres expériences sur le terrain seront requises pour déterminer de façon concluante la variabilité de la dilution en fonction de la direction du vent.

Les figures 44b et 44c présentent les données de dilution recueillies aux emplacements 16 et 24 du toit principal, tandis que les courbes de dilution en soufflerie pour  $M = 2$  et  $M = 3$  y atteignent un sommet d'environ 1 500 par vent d'ouest ( $270^\circ < \theta < 285^\circ$ ). Les données recueillies sur le terrain lors des essais du 10 octobre et du 2 décembre, toujours par vent d'ouest et pour des valeurs de  $M$  à l'intérieur de la même fourchette, affichent une sensibilité moindre à la direction du vent. Par ailleurs, les valeurs de dilution relativement faibles obtenues par vents d'ouest lors des essais sur le

---

terrain étonnent quelque peu dans la mesure où les échantillonneurs ne se trouvaient pas dans l'axe du panache. Il semble en outre que la dispersion latérale ait été beaucoup plus importante lors des essais sur le terrain que dans le cadre des simulations en soufflerie.

La dilution minimale en soufflerie aux emplacements 16 et 24 a été enregistrée, pour  $M = 2$ ,  $M = 3$  et  $M = 4$ , lorsque la direction du vent était de  $290^\circ$ . Les données de terrain prélevées à l'emplacement 16 par vent ONO (1<sup>er</sup> octobre,  $M_{moy} = 4,3$ ) se comparent très bien aux valeurs de dilution obtenues en soufflerie pour  $M = 4$ . Par contre, les données de dilution recueillies sur le terrain à l'emplacement 24 sont environ deux fois plus élevées que les valeurs obtenues en soufflerie par vent ONO.

Cheminée

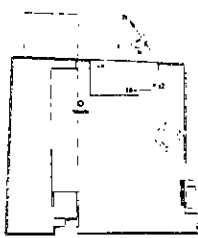
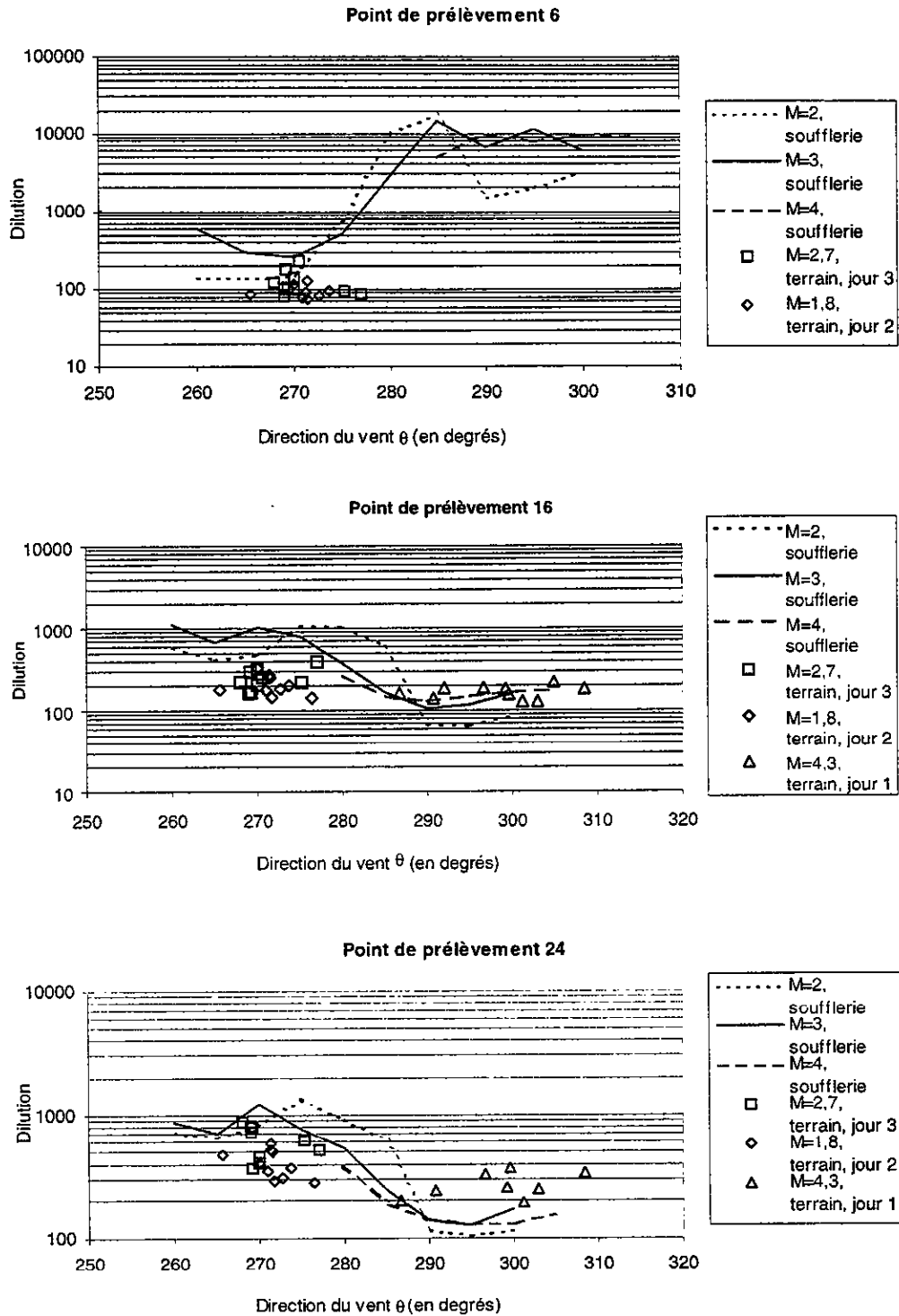


Figure 44 : Effet de la direction du vent sur la dilution en soufflerie et sur le terrain, mesurée sur le toit principal de l'édifice BE.

#### 4.2.3 Sommaire des résultats de l'étude sur l'édifice BE

Les essais sur le terrain et en soufflerie effectués sur l'édifice BE ont fourni une quantité appréciable de données concernant la dispersion des émissions d'une cheminée de 3 m érigée sur le toit d'un bâtiment de faible élévation en milieu urbain. Les données provenant des échantillonneurs situés à proximité de la cheminée, sur l'édicule adjacent, revêtent à cet égard une importance particulière en ce qu'elles fournissent une approximation valable de la dilution initiale du panache.

Les principales conclusions de cette étude s'énoncent comme suit :

1. Le modèle de Halitsky produit des estimations très modestes de la dilution minimale.

Les modèles de dilution minimale de Wilson-Lamb et de Wilson-Chui fournissent généralement des limites inférieures raisonnables quant à la  $D_{\min}$ , bien que les deux modèles aient aussi produit des prévisions démesurées quant à certaines données de terrain.

La formule de dilution initiale de Wilson-Chui amène le modèle WC à surestimer lourdement  $D_{\min}$  aux abords de la cheminée lorsque son facteur d'impulsion est élevé ( $M > 4$ ).

La formule de dilution initiale de Wilson-Lamb fournit une approximation plus réaliste de la dilution initiale que la formule WC lorsque  $M$  est élevé. Cette même formule entraîne cependant une surestimation de  $D_0$ , ce qui semble être la cause principale des surestimations occasionnelles de  $D_{\min}$  fournies par le modèle WL.

Les mesures par traçage et les données relatives à la visualisation de l'écoulement obtenues dans le cadre des essais sur le terrain ont démontré que le panache avait fréquemment été rabattu vers le toit principal, tout près de la cheminée, et ce, bien que le facteur d'impulsion des émissions ait été

relativement élevé. Ce phénomène, qui a d'ailleurs été bien reproduit en soufflerie, peut être dû à la turbulence exceptionnellement élevée du vent en amont, ou encore aux configurations d'écoulement engendrées par l'édifice BE lui-même. De nouveaux essais en soufflerie pourraient être effectués à partir d'un modèle isolé afin de mieux élucider cette question.

Les données de dilution issues de l'étude en soufflerie se trouvent généralement à un facteur deux près des données de terrain. À la plupart des emplacements, les valeurs de dilution en soufflerie tendent par ailleurs à être légèrement plus élevées que les mesures sur le terrain.

## **5.0 DIRECTIVES DE CONCEPTION**

La présente étude fournit des renseignements révélateurs en ce qui concerne la dispersion des émissions provenant des cheminées de toit. Elle soulève par contre également de nouvelles questions qui demandent à être étudiées avant que des directives fermes puissent être formulées, ce qui n'empêche pas pour autant d'en dégager les directives de conception provisoires qui suivent :

1. La comparaison entre les modèles de l'ASHRAE et les résultats obtenus sur le terrain révèle que le modèle de Halitsky fournit des estimations modestes de dilution, de sorte qu'il s'applique bien aux cas où des gaz toxiques sont en cause et où il convient de prévoir un facteur de sécurité. Le modèle de Wilson-Lamb et le modèle révisé de Wilson-Chui (qui intègre l'approximation de dilution initiale de Wilson-Lamb) fournissent généralement, quant à eux, une limite inférieure raisonnable en ce qui a trait aux valeurs de dilution, et conviennent bien aux situations où de simples gaz nauséabonds sont en cause. Dans le cas de gaz toxiques, toutefois, il conviendra d'appliquer un facteur de sécurité, car ces deux modèles peuvent produire des estimations démesurées de la dilution minimale à certains endroits. Cela dit, le

modèle révisé de Wilson-Chui est davantage recommandé du fait qu'il est plus simple à utiliser.

2. Pour les bâtiments à géométrie complexe, une étude faisant appel à une modélisation en soufflerie s'avère préférable à l'utilisation des formules de l'ASHRAE. Il est par ailleurs recommandé d'appliquer un facteur de sécurité de 2 aux mesures obtenues en soufflerie.
3. Les études en soufflerie devraient intégrer des données concernant la sensibilité des résultats au ratio vitesse d'évacuation/vitesse du vent ( $M$ ).

## 6.0 REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à exprimer leur reconnaissance à messieurs Yves Beaudet et Claude Létourneau de l'IRSST pour l'excellence de leur travail relativement à la cueillette des données de terrain. La contribution de monsieur Po Te, qui a construit les échantillonneurs, doit également être soulignée.

Les élèves suivants du Centre d'études sur le bâtiment ont apporté leur concours aux essais sur le terrain et en soufflerie : Xuan Wei, Joanne Choubavlis, Anthony Caci et Enrico Yu. Monsieur Hanqing Wu, D. Ph., a contribué à l'analyse des données. Les auteurs remercient en outre le professeur David Frost de l'université Concordia et le professeur Rod Rogers de l'université McGill pour les données météorologiques qu'ils leur ont fournies. Ils tiennent enfin à témoigner leur appréciation des commentaires que leur ont transmis les réviseurs de ce rapport d'étude, dont la version finale tient d'ailleurs compte dans une grande mesure.

---

## 7.0 RÉFÉRENCES

- Allwine, K., Meroney, R. et Peterka, J. (1980) "Rancho Seco building wake effects on atmospheric diffusion: Simulation in a meteorological wind tunnel", NUREG/CR-1286.
- ASHRAE (1993) Chapitre 14, Airflow around buildings, *ASHRAE handbook--1993 fundamentals*, American Society of Heating, Refrig. and Air-Cond. Eng., Inc., Atlanta.
- ASHRAE (1997) Chapitre 15, Airflow around buildings, *ASHRAE handbook--1997 fundamentals*, American Society of Heating, Refrig. and Air-Cond. Eng., Inc., Atlanta.
- Bachlin, W., Theurer, W. et Plate, E. J. (1991) "Wind field and dispersion in a built-up area – a comparison between field measurements and wind tunnel data", *Atmospheric Environment*, vol. 25A, n° 7, pp. 1135-1142.
- Castro, I.P. et Robins, A.G. (1977) "The flow around a surface-mounted cube in uniform and turbulent streams", *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 79, pp. 307-335.
- Chui, E.H. et Wilson, D.J. (1988) "Effects of varying wind direction on exhaust gas dilution", *Journal of Wind Engineering and Ind. Aerodyn.*, vol. 31, pp. 87-104.
- Georgakis, K., Smith, J., Goodfellow, H. et Pye, J. (1995) "Review and evaluation of models estimating the minimum atmospheric dilution of gases exhausted near buildings", *Journal of the Air & Waste Management Assoc.*, vol. 45, pp. 722-729.
- Halitsky, J. (1963) "Gas diffusion near buildings", *ASHRAE Transactions*, vol. 69, pp. 464-484.
- Halitsky, J. (1990) "Calculation of minimum available atmospheric dilution downwind of building exhausts", *ASHRAE Transactions*, vol. 96, pp. 46-51.
- Higson, H. L., Griffiths, R.F., Jones, C.D. et Hall, D.J. (1994) "Concentration measurements around an isolated building: a comparison between wind tunnel and field data", *Atmospheric Environment*, vol. 28, n° 11, pp. 1827-1836.
- Higson, H.L., Griffiths, R.F., Jones, C.D. et Biltoft, C. (1995) "Effect of atmospheric stability on concentration fluctuations and wake retention times for dispersion in the vicinity of an isolated building", *Environmetrics*, vol. 6, pp. 571-581.
- Lam, K.S., Kot, S.C., Fung, K.W. et Ma, R.Y.P. (1985) "A field validation of roof-top dispersion formula in an urban centre", *Journal of Wind Engineering and Ind. Aerodyn.*, vol. 21, pp. 295-305.
- Lam, K.S. et Kot, S.C. (1993) "Field study of roof top dispersion in an urban area", 3<sup>rd</sup> Asia-Pacific Symposium on Wind Engineering, Dec. 13-15, Hong Kong.
- Lamb, B. et Cronn, D. (1986) "Fume hood exhaust reentry into a chemistry building", *Journal of the Am. Ind. Hyg. Assoc.*, vol. 47 (2), pp. 115-123.



Li, W.W. et Meroney, R.N. (1983) "Gas dispersion near a cubical model building", *Journal of Wind Engineering and Ind. Aerodyn.*, vol. 12, pp. 15-23.

Martin, J.E. (1965) "The correlation of wind tunnel and field measurements of gas diffusion using krypton-85 as a tracer", Thèse de doctorat, Dept. of Health Sciences, Univ. of Michigan.

Ogawa, Y., Oikawa, S. et Uehara, K. (1983a) "Field and wind tunnel study of the flow and diffusion around a model cube--I. Flow measurements", *Atmospheric Environment*, vol. 17, pp. 1145-1159.

Ogawa, Y., Oikawa, S. et Uehara, K. (1983b) "Field and wind tunnel study of the flow and diffusion around a model cube--II. Nearfield and cube surface flow and concentration patterns", *Atmospheric Environment*, vol. 17, pp. 1161-1171.

Oikawa, S. et Meng, Y. (1997) "A field study of diffusion around a model cube in a suburban area", *Boundary-Layer Meteorology*, vol. 84, pp. 399-410.

Perera, M.D., Tull, R.G., White, M.K. et Walker, R.R. (1991) "Assessing Intake contamination from atmospheric dispersion of building exhaust", *12<sup>th</sup> AIVC Conference*, Ottawa, pp. 347-357.

Petersen, R.L. (1986) "Wind tunnel investigation on the effect of platform-type structures on dispersion of effluents from short stacks", *Journal of the Air Pollution Control Assoc.*, vol. 36, pp. 1347-1352.

Petersen, R.L. et Wilson, D.J. (1989) "Analytical versus wind tunnel determined concentrations due to laboratory exhaust", *ASHRAE Transactions*, vol. 95 (2), pp. 729-736.

Petersen, R.L. et Ratcliff, M.A. "An objective approach to laboratory stack design", *ASHRAE Transactions*, vol. 97 (2), 553-561 (1991).

S-2.1. r.15 (1994) "Règlement sur la qualité du milieu de travail", Québec.

Saathoff, P. et Stathopoulos, T. (1997) "Dispersion of exhaust gases from roof level stacks and vents on a laboratory building--Discussion", *Atmospheric Environment*, vol. 31, pp. 1087-1089.

Saathoff, P., Wu, H. et Stathopoulos, T. (1996) "Dilution of exhaust from rooftop stacks -- Comparison of wind tunnel data with full-scale measurements", *Proc. Of the 9th Joint Conf. On Applications of Air Pollution Meteorology*, AMS/AWMA, Atlanta, pp. 341-345.

Schuyler, G.D. et Turner, G.G. (1989) "Comparison of wind tunnel test results with empirical exhaust dilution factors", *ASHRAE Transactions*, vol. 95 (2), pp. 737-744.

Start, G., Cate, J., Dickson, C., Ricks, N. Ackerman, G. et Sagendorf, J. (1977) "Rancho Seco building wake effects on atmospheric diffusion", NOAA Tech. Memo. ERL ARL-69.

Turner, D.B. (1994) *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates*, 2<sup>nd</sup> Ed., CRC Press .

Wilson, D.J. et Chui, E. (1985) "Influence of exhaust velocity and wind incidence angle on dilution from roof vents", *ASHRAE Transactions*, vol. 91 (2B), pp. 1693-1706.

Wilson, D.J. et Chui, E. (1987) "Effect of Turbulence from Upwind Buildings on Dilution of Exhaust Gases", *ASHRAE Transactions*, vol. 93 (2), pp. 2186-2197.

Wilson, D.J. et Lamb, B. (1994) "Dispersion of exhaust gases from roof level stacks and vents on a laboratory building", *Atmospheric Environment*, vol. 28, pp. 3099-3111.

Wilson, D.J. et Chui, E.H. (1994) "Influence of building size on rooftop dispersion of exhaust gas", *Atmospheric Environment*, vol. 28, n° 14, pp. 2325-2334.

Wilson, D.J. (1995) *Concentration Fluctuations and Averaging Time in Vapor Clouds*, Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers.

## ANNEXE A

### Analyse des données anémométriques

L'anémomètre ultrasonique Gill mesure trois composantes de la vitesse du vent selon le principe dit du temps de vol. L'appareil en question compte six transducteurs, dont une paire mesure la composante verticale  $w_c$ , et les deux autres, les composantes horizontales  $u_c$  et  $v_c$ , où l'indice représente un point de mesure dans l'axe du transducteur. Chaque transducteur agit alternativement en tant qu'émetteur et récepteur d'impulsions ultrasoniques, et la mesure du temps de vol de ces impulsions permet de déterminer les composantes de la vitesse éolienne.

La figure A1 montre l'orientation des transducteurs par rapport aux directions positives  $u_c$  et  $v_c$ , cependant que la figure A2 illustre le rapport liant  $u_c$  et  $v_c$  aux composantes sous le vent et vent de travers,  $u$  et  $v$ , du vent.

La direction moyenne du vent ( $\theta$ ) s'obtient en calculant sa direction moyenne pivotée ( $\theta_p$ ) :

$$\bar{\theta}_p = \tan^{-1}(\bar{u}_c/\bar{v}_c) \quad \text{A1}$$

de sorte que : 
$$\bar{\theta} = \bar{\theta}_p - 90 + \phi \quad \text{A2}$$

où un trait supérieur indique une valeur moyenne,  $\phi$  étant pour sa part défini à la figure A2. Les composantes sous le vent et vent de travers moyennes s'établissent quant à elles comme suit :

$$\bar{u} = \bar{u}_c \sin \bar{\theta}_p + \bar{v}_c \cos \bar{\theta}_p \quad \text{A3}$$

$$\bar{v} = \bar{u}_c \cos \bar{\theta}_p + \bar{v}_c \sin \bar{\theta}_p = 0 \quad \text{A4}$$

La composante sous le vent peut également être obtenue par la formule suivante :

$$\bar{u} = (\bar{u}_c^2 + \bar{v}_c^2)^{0,5} \quad \text{A5}$$

La variance de la vitesse sous le vent se calcule comme suit :

$$\begin{aligned} \sigma_u^2 = & (\overline{u_c u_c}) \sin^2 \overline{\theta}_p + 2(\overline{u_c v_c}) \sin \overline{\theta}_p \cos \overline{\theta}_p + (\overline{v_c v_c}) \cos^2 \overline{\theta}_p \\ & - (\overline{u_c})(\overline{u_c}) \sin^2 \overline{\theta}_p - 2(\overline{u_c})(\overline{v_c}) \sin \overline{\theta}_p \cos \overline{\theta}_p - (\overline{v_c})(\overline{v_c}) \cos^2 \overline{\theta}_p \end{aligned} \quad A6$$

L'anémomètre enregistre l'écart moyen et l'écart-type de  $u_c$  et  $v_c$ , ce qui permet d'en calculer les carrés moyens (p. ex.  $\overline{u_c u_c} = \sigma_{u_c}^2 + \overline{u_c}^2$ ). La covariance ( $\overline{u_c v_c}$ ) n'a pas été mesurée, mais elle peut être estimée dès lors qu'on présume que l'intensité de la turbulence du vent de travers est directement proportionnelle à l'intensité de la turbulence sous le vent. Par définition, la variance du vent de travers s'établit comme suit :

$$\sigma_v^2 = (\overline{v_c v_c}) \sin^2 \overline{\theta}_p - 2(\overline{u_c v_c}) \sin \overline{\theta}_p \cos \overline{\theta}_p + (\overline{u_c u_c}) \cos^2 \overline{\theta}_p \quad A7$$

De précédentes études [p. ex. Ogawa et al. (1983), Oikawa et Meng (1997)] indiquent que, en moyenne,  $\sigma_v \sim 0,8\sigma_u$ , bien que dans certains cas l'ordre de grandeur de  $\sigma_v$  puisse s'approcher de celui de  $\sigma_u$ .

Si l'on admet que  $\sigma_v = 0,8\sigma_u$ , l'équation A7 peut être remaniée pour donner :

$$2(\overline{u_c v_c}) \sin \overline{\theta}_p \cos \overline{\theta}_p = (\overline{v_c v_c}) \sin^2 \overline{\theta}_p + (\overline{u_c u_c}) \cos^2 \overline{\theta}_p - 0,64\sigma_u^2 \quad A8$$

Puis, en transposant le résultat ainsi obtenu en A6, on obtient :

$$\sigma_u^2 = 1/1,64[(\overline{u_c u_c}) + (\overline{v_c v_c}) - (\overline{u_c})(\overline{u_c}) \sin^2 \overline{\theta}_p - 2(\overline{u_c})(\overline{v_c}) \sin \overline{\theta}_p \cos \overline{\theta}_p - (\overline{v_c})(\overline{v_c}) \cos^2 \overline{\theta}_p] \quad A9$$

ou

$$\sigma_u^2 = 1/1,64(\sigma_{u_c}^2 + \sigma_{v_c}^2) \quad A10$$

### Exemple :

La pertinence de la méthode énoncée ci-dessus pour calculer  $\sigma_u$  peut être évaluée en regard des intervalles où la direction moyenne du vent correspondait à l'axe d'orientation de l'anémomètre, la valeur mesurée de  $\sigma_u$  pouvant alors être comparée au résultat fourni par l'équation A10.

Les données éoliennes prélevées le 26 juin sur l'édifice Hall sont reproduites au tableau A1. Le relevé de 10h35 indique que le vent soufflait alors dans l'axe de  $v_c$ , puisque  $u_c \sim 0$ . L'intensité de la turbulence devient par conséquent :  $\sigma_u/U = \sigma_{v_c}/U = 1,27/2,82 = 0,45$ . En transposant les valeurs de  $\sigma_{u_c}$  et  $\sigma_{v_c}$  à l'équation A10, on obtient  $\sigma_u = 1,253$  m/sec. Ainsi la valeur estimative de  $\sigma_u/U$  devient-elle 0,444, ce qui correspond à peu de chose près à la mesure réelle.

## Références

ASTM D5527 "Standard practices for measuring surface wind and temperature by acoustic means", The American Society for Testing and Materials (1994).

Ogawa, Y., Oikawa, S. and Uehara, K. (1983) "Field and wind tunnel study of the flow and diffusion around a model cube--I. Flow measurements, *Atmospheric Environment*, vol. 17, pp. 1145-1159.

Oikawa, S. and Meng, Y. (1997) "A field study of diffusion around a model cube in a suburban area", *Boundary-Layer Meteorology*, vol. 84, pp. 399-410.

Tableau A1 : Données éoliennes prélevées sur l'édifice Hall lors de l'essai n° 1.

TEMPS	Hall Jour 1			26 juin 1998			Int. turb
	Vit. moy. (m/s)	U/c (m/s)	V/c (m/s)	$\sigma U/c$ (m/s)	$\sigma V/c$ (m/s)	$\sigma u$ (m/s)	
10:25	4,036	0,36	-4,02	1,17	1,56	1,522694	0,377278
10:30	3,369	-0,24	-3,36	1,3	1,56	1,585683	0,470669
10:35	2,82	0,01	-2,82	0,98	1,27	1,252631	0,444196
10:40	5,021	-3,5	-3,6	1,78	1,33	1,735093	0,345567
10:45	5,168	-1,45	-4,96	1,15	1,6	1,538629	0,297722
10:50	5,02	-1,09	-4,9	0,88	1,9	1,635058	0,325709
10:55	5,499	-0,93	-5,42	0,98	1,34	1,296336	0,23574
11:00	5,62	-0,75	-5,57	1,15	1,37	1,39673	0,248528
11:05	6,428	-1,12	-6,33	0,82	1,28	1,187023	0,184664
11:10	4,377	-1,56	-4,09	1,39	1,86	1,81318	0,414252
11:15	4,812	-1,24	-4,65	1,13	1,28	1,333275	0,277073
11:20	3,209	-1,14	-3	1,03	1,42	1,369818	0,426868
11:25	3,46	-1,67	-3,03	1,51	1,42	1,618585	0,467799
11:30	4,966	-1,82	-4,62	1,38	1,77	1,752577	0,352915
11:35	6,537	-1,18	-6,43	0,95	2,07	1,778496	0,272066
11:40	5,424	-1,79	-5,12	1,57	2,41	2,245999	0,414085
11:45	4,737	-1,09	-4,61	1,19	1,94	1,777176	0,375169
11:50	4,9	-1,82	-4,55	1,39	1,89	1,831999	0,373877
11:55	3,974	-2,82	-2,8	1,85	1,63	1,925344	0,484485

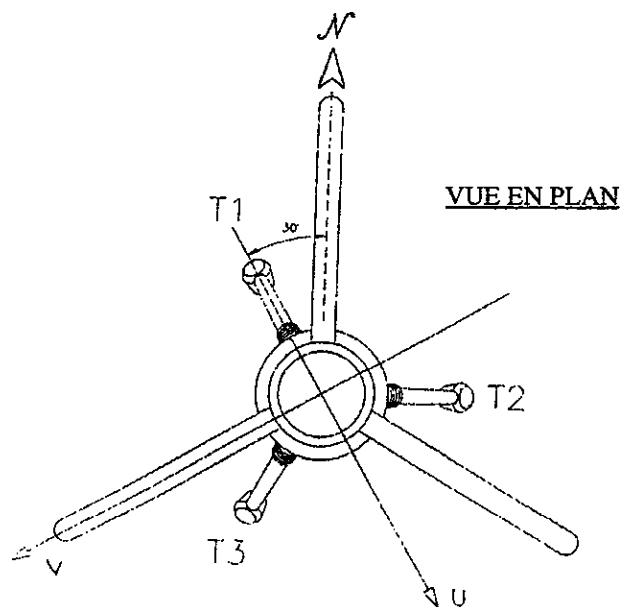


Figure A1 Vue en plan de l'anémomètre sonique Gill montrant l'orientation des transducteurs.

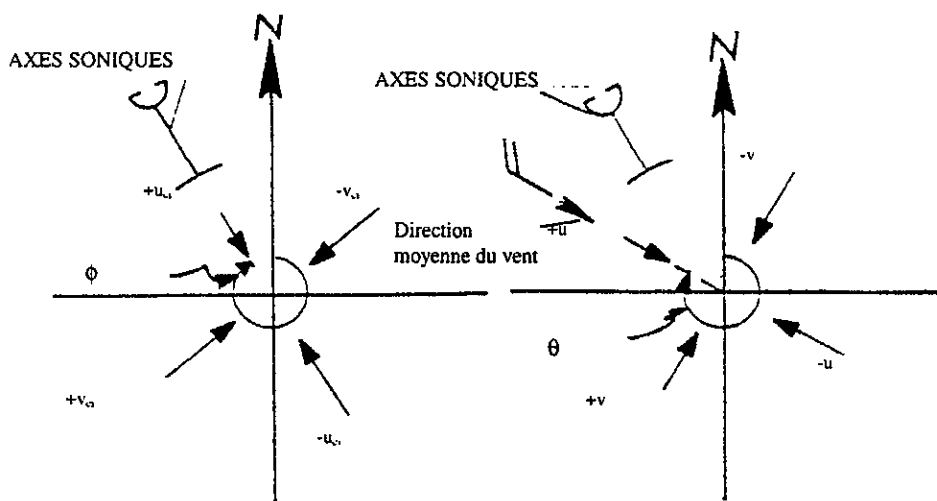


Figure A2 Système de coordonnées de l'anémomètre sonique (tirées de ASTM D5527).

## ANNEXE B

### Design des échantillonneurs d'air automatisés

Le module d'échantillonnage automatisé qui apparaît à la figure B1 a été conçu et fabriqué à l'IRSST en vue du prélèvement séquentiel de plusieurs échantillons d'air à intervalles prédéterminés. Chaque module est équipé d'une pompe d'échantillonnage à faible débit (MSA C-210) reliée à un distributeur auquel 10 sacs d'un litre (Cali-5-Bond) sont rattachés par des tubes flexibles en polyéthylène (voir fig. B1). Chacun de ces sacs est équipé d'une valve de type Luer, normalement fermée de manière à empêcher toute fuite du contenu pour le cas où le tube de raccordement viendrait accidentellement à se débrancher.

Des essais préliminaires ont permis d'établir que l'hexafluorure de soufre ( $\text{SF}_6$ ) n'adhérait pas au matériau du sac, ce qui écartait tout risque de contamination des échantillons. Par mesure de sécurité, chaque sac a en outre été purgé à l'air saturé entre les prélèvements.

Le programmeur manuel, représenté à la figure B2, commande le temps d'échantillonnage et, au besoin, la période d'attente entre les prélèvements; il assure en outre le déclenchement simultané de tous les modules. Les paramètres d'opération sont transmis à tous les modules d'échantillonnage par ondes radio, la fréquence de transmission de l'antenne étant de 49,830 MHz. La programmation peut par ailleurs s'effectuer au moyen d'un ordinateur relié au port de communications RS-232 du module, ce qui constitue une alternative utile lorsque les paramètres d'échantillonnage diffèrent d'un module à l'autre, et en particulier lorsque les modules ne sont pas déclenchés en même temps.



En mode normal, l'afficheur à cristaux liquides reproduit les données d'échantillonnage instantanées, à savoir le numéro de la valve (ou du sac) en usage, le temps d'échantillonnage total, le temps d'échantillonnage écoulé et l'intensité du courant utilisé par la pompe d'échantillonnage. En mode visualisation, les mêmes renseignements sont affichés, mais seulement pour les valves qui ne sont pas en service.

Le module d'échantillonnage requiert une alimentation de 110/120 V, ou peut être branché à une pile à électrolyte gélifié rechargeable de 12 V et d'une capacité de 7,5 ampère-heures, l'autonomie de cette dernière étant d'environ 8 heures.

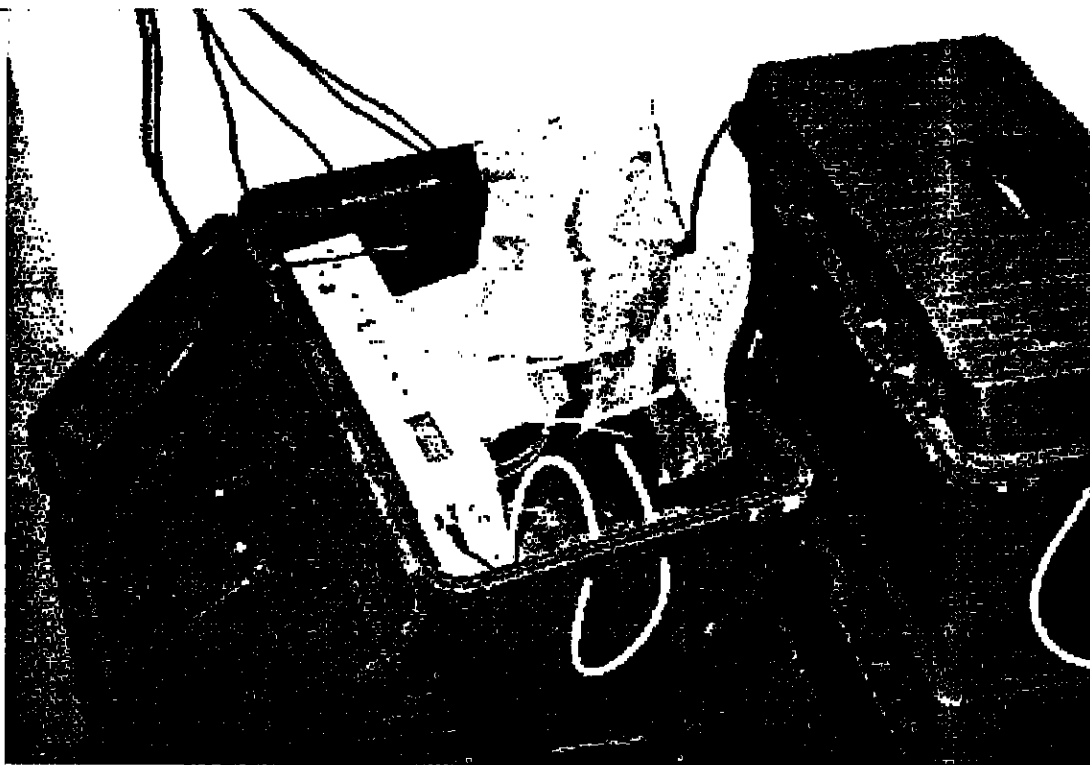


Figure B1 : L'échantillonneur automatisé, ses sacs de prélèvement en place.



Figure B2 : Le programmeur manuel des modules d'échantillonnage.