

LE POTENTIEL ÉOLIEN ENTRE QUÉBEC ET L'EMBOUCHURE DU SAGUENAY  
UTILISANT LES DONNÉES DE "QUÉBEC 1984"

par

Richard Hallé, M.Sc.

Marc Besner, M.Sc.



Réalisé pour le  
Service de l'Environnement  
Atmosphérique

Contrat #QAES (90-AN-06)

Mars 1991

TJ  
820  
H34  
1991

3607345F

TJ

820

H34

1991

A la mémoire de Richard Hallé.

Le coauteur de cette étude tiens à rendre hommage à M. Richard Hallé, qui contribua de façon remarquable à la réalisation de ce texte mais donc malheureusement le sort fit qu'il décéda au cours de la rédaction de ce travail.

Marc Besner.

## RÉSUMÉ

L'information sur la vitesse et la direction des vents à différentes stations sont disponibles pour la période d'été 1984. A l'aide des observations prises aux stations principales possédant des périodes d'enregistrements des vents relativement longues, une distribution des fréquences du vent à long terme est calculée pour 9 stations temporaires situées entre Québec et Rivière-du-Loup.

L'estimation des fréquences aux stations est réalisée par la méthode des tables de contingence. Cette distribution du vent est classée selon 48 catégories, soit 8 directions et 6 classes de vitesse.

A partir des fréquences générées, une estimation du potentiel éolien a été faite aux différentes stations temporaires pour la saison estivale.

## TABLE DES MATIERES

	Page
RÉSUMÉ .....	II
TABLE DES MATIERES .....	III
LISTE DES FIGURES .....	V
LISTE DES TABLEAUX .....	VI
Chapitre 1 INTRODUCTION .....	1
1.1 Problématique .....	1
1.2 Approche générale .....	3
1.3 Estimation de la fréquence du vent à une station possédant peu de données .....	3
1.4 Potentiel éolien .....	5
Chapitre 2 LISTE DES STATIONS DISPONIBLES ET DONNÉES DE VENT UTILISÉES .....	8
2.1 Liste et caractéristiques des stations disponibles .....	8
2.2 Données utilisées et choix des stations .....	10
Chapitre 3 COMPARAISON DES DONNÉES SIMULTANÉES DE VENT ET TABLES DE CONTINGENCE .....	13
3.1 Tables de contingence sur les données de vitesse et direction .....	13
3.1.1 Tables de contingence .....	14
3.2 Génération des fréquences par la méthode des tables de contingence .....	16

	Page
Chapitre 4 POTENTIEL ÉOLIEN .....	20
4.1 Définition du potentiel éolien .....	20
4.2 Calcul du potentiel éolien aux différentes stations .....	22
Chapitre 5 DISCUSSION .....	31
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	33
APPENDICE A TABLES DE CONTINGENCE .....	35
APPENDICE B MÉTHODE DES TABLES DE CONTINGENCE .....	44
APPENDICE C DISTRIBUTION DES FRÉQUENCES GÉNÉRÉES .....	51

## LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 2.1 : Carte du St-Laurent indiquant la localisation des stations (tiré de Roy et al. (1989)).....	9

## LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 2.1: Types de stations automatiques utilisées en surface .....	10
Tableau 2.2: Liste des stations automatiques et temporaires .....	11
Tableau 3.1: Liste des stations associées pour .....	14
Tableau 3.2: Tables de contingence observées pour la comparaison de la vitesse et de la direction du vent entre Québec et l'île aux Grues .....	15
Tableau 3.3: Valeurs estimées du coefficient R* pour les stations comparées .....	16
Tableau 3.4: Fréquences observées pour les données estivales de 1984 disponibles à la station de l'île aux Grues .....	19
Tableau 3.5: Distribution des fréquences relatives en pourcentages de la fonction G*; selon les 40 catégories de la distribution du vent à la station temporaire de l'île aux Grues générée à partir des données de Québec .....	19
Tableau 4.1: Energie éolienne (kW-h) disponible et fréquence (en heures) des vents par classe de vitesse à différentes stations. Les fréquences en heures sont pour la période comprenant les mois de juin, juillet et août 1984 (un total de 2208 heures). .....	26
Tableau 4.2: Energie éolienne (kW-h) disponible et fréquence (en heures) des vents par classe de vitesse à différentes stations. Les fréquences en heures sont pour la période comprenant les mois de juin, juillet et août 1984 (un total de 2208 heures). .....	27

	Page
Tableau 4.3: Energie éolienne (kW-h) disponible et fréquence (en heures) des vents par classe de vitesse à différentes stations. Les fréquences moyenne en heures sont pour la période comprenant les mois de juin, juillet et août de 1967 à 1988 (un total de 2208 heures par saison). Les fréquences aux stations temporaires sont estimées à l'aide de l'information de la station de Québec. ....	28
Tableau 4.4: Energie éolienne (kW-h) disponible et fréquence (en heures) des vents par classe de vitesse à différentes stations. Les fréquences moyenne en heures sont pour la période comprenant les mois de juin, juillet et août de 1980 à 1987 (un total de 2208 heures par saison). Les fréquences aux stations temporaires sont estimées à l'aide de l'information de la station de Rivière du Loup. ....	29
Tableau A.1: Tables de contingence observées pour la comparaison de la vitesse et de la direction du vent entre Québec et Beauport .....	36
Tableau A.2: Même que A.1 entre Québec et Cap de la Madeleine .....	37
Tableau A.3: Même que A.1 entre Québec et Lauzon .....	38
Tableau A.4: Même que A.1 entre Québec et Neuville .....	39
Tableau A.5: Même que A.1 entre Québec et Portneuf .....	40
Tableau A.6: Même que A.1 entre Rivière-du-Loup et Cap à l'Aigle .....	41

	Page
Tableau A.7 : Même que A.1 entre Rivière-du-Loup et Kamouraska .....	42
Tableau A.8 : Même que A.1 entre Rivière-du-Loup et Rivière St-François .....	43
Tableau C.1: Fréquences observées pour les données estivales de 1984 disponibles à la station de Beauport .....	52
Tableau C.2: Distribution des fréquences générées à partir de la station de Québec pour la station de Beauport .....	52
Tableau C.3: Même que C.1 à la station du Cap de la Madeleine .....	53
Tableau C.4: Même que C.2 pour la station du Cap de la Madeleine .....	53
Tableau C.5: Même que C.1 à la station de l'île aux Grues .....	54
Tableau C.6: Même que C.2 pour la station de l'île aux Grues .....	54
Tableau C.7: Même que C.1 à la station de Lauzon .....	55
Tableau C.8: Même que C.2 pour la station de Lauzon .....	55
Tableau C.9: Même que C.1 à la station de Neuville .....	56
Tableau C.10: Même que C.2 pour la station de Neuville .....	56
Tableau C.11: Même que C.1 à la station de Portneuf .....	57
Tableau C.12: Même que C.2 pour la station de Portneuf .....	57
Tableau C.13: Même que C.1 à la station de Kamouraska .....	58
Tableau C.14: Distribution des fréquences générées à partir de Rivière-du-Loup pour la station de Kamouraska .....	58

	Page
Tableau C.15: Même que C.1 à la station du Cap à l'Aigle .....	59
Tableau C.16: Même que C.14 pour la station du Cap à l'Aigle .....	59
Tableau C.17: Même que C.1 à la station de Rivière St-François .....	60
Tableau C.18: Même que C.14 pour la station de Rivière St-François .....	60
Tableau C.19: Même que C.1 à la station de Rivière-du-Loup .....	61
Tableau C.20: Fréquences observées pour l'ensemble des données estivales disponibles à la station de Rivière-du-Loup .....	61
Tableau C.21: Même que C.1 pour la station de Québec .....	62
Tableau C.22: Fréquences observées pour l'ensemble des données estivales disponibles à la station de Québec .....	62

## CHAPITRE 1

### INTRODUCTION

Au cours de l'été 1984, lors de l'arrivée des Grands Voiliers, dans le cadre du 350<sup>ème</sup> anniversaire de Québec (Québec 1534-1984), un réseau de stations automatiques a été déployé le long du fleuve Saint-Laurent entre Trois-Rivières et Rivière-du-Loup par le Service de l'Environnement Atmosphérique (SEA). Le réseau a été mis en opération au début de l'été et démantelé à la fin août. Durant cette période, à cause de difficultés de communication, l'information disponible n'a pu être acheminée entièrement ou correctement pour l'ensemble des observations. Ces stations automatiques, selon le type employé, mesuraient certains paramètres météorologiques de surface telles la vitesse et la direction du vent. Ce réseau d'abord conçu pour aider à la prévision météorologique, permettait de connaître avec une certaine précision les variations dues aux effets locaux, tel que la topographie, le gradient thermique de l'eau, etc. Du point de vue de la climatologie appliquée, ces données peuvent devenir une source de renseignements intéressante concernant l'étude des vents dans la vallée du Saint-Laurent, et leurs impacts dans des domaines aussi variés que l'hydrographie, le bâtiment, l'érosion, etc.

#### 1.1 Problématique

Le nombre de réseaux permettant d'estimer la variabilité du potentiel éolien dans une zone donnée est très faible. Les données disponibles

sur de longues périodes sont recueillies par des stations d'observation principales du SEA, elles sont souvent situées à des distances assez significatives les unes des autres.

L'installation d'éoliennes pouvant fournir une production d'énergie acceptable demande d'estimer le potentiel énergétique généré par les vents. Il est donc nécessaire de recueillir toute l'information pertinente sur le comportement des vents dans le secteur envisagé et sur l'environnement même du site proposé. Malheureusement, cette connaissance locale des vents est rarement disponible, le site proposé se trouvant à une distance significative de la station d'observation la plus proche.

Une analyse complète des vents pour un site demande plusieurs années d'observations, ou du moins une année afin d'obtenir des renseignements utiles telles, les vitesses moyennes annuelles et mensuelles, les rafales maximales, etc. Il est possible que pour une région, on possède une base de données sur la vitesse des vents qui ne soit pas suffisamment longue pour être représentative du comportement des vents à long terme.

L'essentiel de ce travail est de pouvoir, à l'aide d'une base de données sur le vent prise sur une longue période, établir une climatologie des vents pour un endroit où l'information n'est disponible que sur une courte période et y évaluer le potentiel éolien.

## 1.2 Approche générale

A partir de deux stations principales (Québec et Rivière-du-Loup) dont les données sont disponibles sur de longues périodes, l'étude a été subdivisée comme suit:

- recherche et correction des données erronées provenant des stations temporaires et principales s'il y a lieu;
- comparaison des données simultanées de vent à la station temporaire et à la station principale la plus appropriée à l'aide de tables de contingence;
- détermination d'une relation statistique entre les différents paramètres comparés;
- établissement d'une banque de données sur la fréquence des vents aux stations temporaires;
- estimation du potentiel éolien à partir des résultats obtenus.

## 1.3 Estimation de la fréquence du vent à une station possédant peu de données

Une analyse de différentes techniques pour la production d'une base de données synthétiques sur la vitesse des vents a été réalisée par King (1980). Ce travail présentait en détail 3 techniques pour passer d'une courte série à une longue série de données sur la vitesse et la direction des vents. Une des méthodes, dite la méthode des rapports de Putnam (1948), consiste en une fonction de transfert déterminée à l'aide du

rapport des vents moyens mesurés sur une certaine période de temps. Par contre, King utilisa le rapport des paramètres d'échelle de la distribution de Weibull sur la vitesse. Cette méthode, en utilisant le rapport des paramètres d'échelle, insère dans la fonction de transfert de l'information sur le comportement de la courbe de distribution autour de la vitesse moyenne du vent.

Cette méthode ne tient pas compte de la dépendance directionnelle pouvant exister lorsque deux séries de données sont comparées. Jackson (1977) a modifié la méthode des rapports pour y introduire la dépendance directionnelle. Jackson calcula à partir des données simultanées une fonction empirique permettant d'estimer le changement moyen de direction entre les sites en fonction de la direction du site de référence.

La troisième méthode examinée par King a été la méthode des tables de contingence employée par Walmsley et Bagg (1978). Afin de créer une banque de données, ceux-ci ont comparé les observations simultanées de vent de 2 stations situées à 50 km l'une de l'autre. Les observations étaient disponibles pour des périodes de 2 à 13 ans respectivement. Dans un premier temps, ils ont pu établir une relation statistique entre les données de vent disponibles sur les 2 années d'observations simultanées à l'aide de tables de contingence, et ainsi à partir de la relation trouvée entre ces données, ils ont pu produire une série de données synthétiques pour le premier échantillon d'une durée égale à 13 ans, pouvant être utilisée dans un modèle de dispersion climatologique.

Dans cette étude, King arrive à la conclusion que la meilleure des 3 méthodes utilisées pour ajuster une courte série de données sur une longue période est la technique utilisant des tables de contingence.

#### 1.4 Potentiel éolien

L'estimation du potentiel éolien pour certaines régions a fait l'objet de plusieurs études. La démarche employée pour réussir une telle évaluation est surtout orientée par le type d'information disponible sur les données de vents couvrant la région d'intérêt ainsi que de la qualité des observations.

Au Québec d'après une étude de l'IREQ (Institut de Recherches Electriques du Québec), Vansant et McConnell (1977) ont évalué le potentiel éolien sur le territoire couvrant toute la province. Le calcul du potentiel éolien a été réalisé à l'aide de la valeur moyenne annuelle de la vitesse du vent. La vitesse du vent utilisée dans cette étude a été ajustée au niveau de 30 mètres au dessus du sol. Cette transformation a été réalisée par l'utilisation d'une relation donnant le profil de la vitesse du vent, en fonction de la hauteur tenant compte de la rugosité du sol. Ce rapport donne le potentiel éolien selon une base annuelle seulement.

Dans un rapport interne du SEA, Eschle et Pennyfather (1978) présentent une étude du potentiel éolien pour la province de l'Ontario. Les données de vent utilisées étaient du même type que celles utilisées dans l'étude réalisée par Vansant et McConnell. L'information disponible

pour un site était la valeur moyenne mensuelle du vent. Une bonne estimation du potentiel éolien pour un site peut être réalisable si la valeur du vent moyen était connue selon une base horaire. Une base de données horaires sur la vitesse du vent n'est disponible que pour un nombre limité de sites. Une des caractéristiques de cette étude est l'utilisation d'une régression linéaire employée par Lamont (1976), qui existe entre la vitesse moyenne mensuelle du vent et l'énergie cinétique totale mensuelle calculée à partir des données horaires de vent.

Le calcul du potentiel éolien à l'aide du vent moyen déterminée sur de longues périodes, mensuelles ou annuelles par exemple, peut entraîner certaines erreurs. Deux endroits différents possédant un même vent moyen annuel peuvent être très différents par rapport à leur potentiel éolien total calculé selon une base mensuelle.

Lorsque l'information sur la vitesse du vent est disponible selon une base horaire et sur une longue période, il devient intéressant de calculer l'énergie éolienne disponible à ce site selon différentes résolutions temporelles afin de mieux comparer les résultats.

La société américaine "Environmental Research & Technology, Inc." (1981) a publié plusieurs études sur le potentiel éolien aux Etats-Unis, dont une pour la région américaine des Grands Lacs. Ce rapport présente entre autre la variation moyenne du potentiel éolien calculé sur une base journalière pour les quatre saisons de l'année. On y présente également la variation du potentiel éolien déterminé à l'aide des moyennes mensuelles et annuelles de la vitesse des vents. L'examen de la variation

du potentiel éolien selon les mois de l'année, les saisons ou sur une base quotidienne pour les quatre saisons de l'année, montre une variation significative du potentiel éolien selon les différentes résolutions.

Ces études portant sur l'évaluation du potentiel éolien d'un site font ressortir l'importance de la base de données sur la vitesse des vents. L'information statistique sur les données de vent d'un site en particulier est rarement disponible. Il est souvent nécessaire, si on veut faire une étude sur le potentiel éolien en un lieu, d'examiner différentes techniques d'estimation.

## CHAPITRE 2

### LISTE DES STATIONS DISPONIBLES ET DONNÉES DE VENT UTILISÉES

#### 2.1 Liste et caractéristiques des stations disponibles

Durant l'été 1984 un réseau de 16 stations automatiques déployées le long du fleuve St-Laurent, mesuraient divers paramètres météorologiques de surface dépendant du type. Les données ont été mesurées à une hauteur de référence de 10 mètres et le site utilisé était exempt de tout obstacle majeur.

Pour les observations sur de longues périodes, les stations principales du SEA disponibles sont celles de Québec (1967-88) et de Rivière-du-Loup (1980-87).

La figure 2.1 montre la localisation des stations, alors que le tableau 2.1 donne les caractéristiques des différentes catégories de stations. Le tableau 2.2 donne la liste complète, ainsi que le nombre de données disponibles pour chacune des 16 stations automatiques (tiré de Roy et al. (1989)).



TYPE	TYPE D'OBSERVATION	INTERVALLE	PÉRIODE PAR JOUR
CR21	Pression Direction des vents Vitesse des vents Température Point de rosée	15 minutes	24 heures
78D	Direction des vents Vitesse des vents	15 minutes	24 heures
MESO	Direction des vents Vitesse des vents Température Point de rosée	60 minutes 7 heures	13 heures (11-23 TU*) 2 heures (13 et 20 TU)

\* TU : Temps universel

Tableau 2.1 Types de stations automatiques utilisées en surface.

## 2.2 Données utilisées et choix des stations

Dans cette étude, seules les observations horaires sont utilisées, en ne tenant pas compte des rafales enregistrées et des données intermédiaires (aux 15 minutes). Ceci afin de comparer les données simultanées de vent (direction et vitesse) entre les stations temporaires et principales.

A cause de difficultés de communications, certaines données ont été rejetées ou corrigées. Les observations ne comportant que la direction ou la vitesse (une des variables manquante), ainsi que celles

STATION	NOM	TYPE	DONNÉES DE VENT	
			TOTALES	% UTILISÉ
AUG	St-Augustin	MESO	714	99,6
BAU	Beauport	CR21	4832	25,1
CAL	Cap à l'Aigle	78D	5257	24,5
CDM	Cap de la Madeleine	78D	6494	24,1
CTO	Cap Tourmente	MESO	372	98,7
DCL	Deschailions	CR21	3062	23,0
ESC	Les Escoumins	MESO	748	94,9
GTM	G. Trans. Mar. Port de Québec	MESO	612	92,3
ILG	Ile aux Grues	78D	6982	24,9
KAM	Kamouraska	CR21	4904	25,2
LAU	Lauzon	78D	7143	24,5
LPC	La Pocatière	MESO	688	100,0
NEU	Neuville	78D	4817	22,9
POR	Portneuf	78D	4819	24,5
ROM	St-Romuald	MESO	587	98,8
RSF	Rivière St-François	78D	5193	24,2

Tableau 2.2 Liste des stations automatiques et temporaires.

indiquant une direction avec vent calme ont été rejetées. Après vérification des stations principales une seule donnée a été corrigée, en interpolant la valeur de la vitesse du vent.

Le pourcentage de données horaires pouvant être utilisées par rapport au nombre maximum d'observations des stations automatiques horaires et aux 15 minutes est indiqué au tableau 2.2.

Four le traitement statistique seules les stations dont la période d'observation s'étendait sur 24 heures (CR21 et 78D) et dont le nombre d'observations horaires était d'au moins 1000 (choix arbitraire) ont été retenues.

## CHAPITRE 3

### COMPARAISON DES DONNÉES SIMULTANÉES DE VENT ET TABLES DE CONTINGENCE

Afin d'établir des tables de contingence, les données de vent simultanées (direction et vitesse) ont été isolées pour chacune des stations temporaires en les associant à la station principale la plus près.

#### 3.1 Tables de contingence sur les données de vitesse et direction

Pour établir les tables de contingence, les vitesses ont été distribuées selon 5 classes différentes en excluant les vents calmes, ceux-ci n'étant pas pertinent dans le cadre de cette étude. La valeur de l'intervalle a été déterminée selon le nombre d'observations afin d'obtenir une fréquence relativement égale pour chacune des classes.

Les directions observées aux différentes stations temporaires et principales ont été ramenées à 8 points de compas. A cause du nombre peu élevé de données aux stations temporaires, le passage de 36 à 8 points de compas pour les directions du vent a été rendu nécessaire, ce qui peut apporter un certain biais dans les points cardinaux, mais permet une meilleure distribution des données dans les tables de contingence.

STATIONS PRINCIPALE	ASSOCIÉES TEMPORAIRE	NOMBRE DE DONNÉES
Québec (YQB)	BAU	932
	CDM	1163
	ILG	1300
	LAU	1321
	NEU	862
	POR	899
Rivière-du-Loup (WNH)	CAL	1164
	KAM	1117
	RSF	1135

Tableau 3.1: Liste des stations associées.

### 3.1.1 Tables de contingence

Pour chacune des stations comparées à une station principale, les tables de contingences ont été construites. Le tableau 3.1 montre les stations associées ainsi que le nombre de données disponibles pour la comparaison, en excluant les vents calmes.

Les tables de contingence ont été construites pour 5 classes de vitesse et 8 directions. Le tableau 3.2 montre à titre d'exemple les tables comparant les données des stations de Québec et de l'île aux Grues, les autres étant incluse à l'appendice A. Une estimation du coefficient de corrélation  $R^*$  entre les données a été calculé. Pour la vitesse et la direction le coefficient a été

## YQB

ILG	VITESSE (km/h)					TOTAL
	1-4	5-9	10-15	16-21	≥22	
1-4	15	19	10	0	0	44
5-9	43	57	27	9	6	142
10-15	32	99	70	25	4	230
16-21	27	123	97	47	18	312
≥22	32	97	165	138	140	572
TOTAL	14	395	369	219	168	1300

R\* : 0,611

ILG	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
NE	36	97	3	3	9	10	8	17	183
E	1	10	2	0	7	8	2	10	40
SE	1	4	4	2	2	4	1	6	24
S	3	5	4	11	112	59	5	12	211
SO	2	3	1	7	276	191	12	8	500
O	2	0	1	5	16	49	6	3	82
NO	1	1	1	0	4	8	7	2	24
N	44	124	1	1	17	18	12	19	236
TOTAL	90	244	17	29	443	347	53	77	1300

VITESSE ≥ 1 Km/h R\* : 0,721

Tableau 3.2: Tables de contingence observées pour la comparaison de la vitesse et de la direction du vent entre Québec et l'île aux Grues.

calculé en utilisant la diagonale et toutes les classes adjacentes, en additionnant celles-ci et en divisant par le nombre total de données. On observe dans le tableau 3.3 que dans la plupart des cas le coefficient R\* est de l'ordre de 70% pour la vitesse, mais que suivant la direction, certaines stations comme celles de Rivière St-François et du Cap à

	STATIONS	VITESSE R* (%)	DIRECTION R* (%)
YQB	BAU	72,1	88,3
	CDM	72,0	65,6
	ILG	61,2	72,1
	LAU	75,8	93,6
	NEU	72,6	92,7
	POR	73,4	89,9
WNH	CAL	69,1	54,2
	KAM	81,6	81,8
	RSF	70,9	52,2

Tableau 3.3 : Valeurs estimées du coefficient R\* pour les stations comparées.

l'Aigle présentent des coefficients relativement faibles. Ceci peut s'expliquer par l'éloignement des 2 stations par rapport à la station principale de Rivière-du-Loup, ou à la présence d'effets locaux prononcés mais non compris encore dans ce secteur du St-Laurent.

### 3.2 Génération des fréquences par la méthode des tables de contingence

Cette partie du travail résume la méthode utilisée pour la génération des fréquences d'occurrence aux différentes stations temporaires. L'appendice B donne en détail la méthode des tables de contingence.

La méthode utilisée pour la génération des fréquences est celle des tables de contingence. Cette technique employée par Waimsley et Bagg

consiste à estimer pour une station temporaire 'G' la fréquence d'occurrence des vents à partir de l'information disponible à une station principale 'F'.

Les données disponibles sur la vitesse du vent aux stations temporaires et principales ont été regroupées selon 8 directions et 6 classes de vitesse. En excluant les vents calmes, l'information pour chacune des stations a donc été distribuée selon 48 catégories (8 x 6).

Pour la génération des fréquences par la méthode des tables de contingence, différents termes sont définis. Soit  $g_j$  la distribution des fréquences relatives pour chacune des 48 catégories à une station temporaire et  $f_i$  la distribution des fréquences relatives à la station principale. Les termes  $g_j$  de  $G_j$  ou  $f_i$  de  $F_i$  sont distingués par les distributions de courte et longue durée respectivement.

A l'aide de l'information à court terme  $g_j$  enregistrée durant l'été 1984 à une station temporaire, et de l'information  $f_i$  prise simultanément à la station principale, la matrice de transfert  $c_{ij}$  satisfaisant la relation peut être exprimée par :

$$g_j = \sum_i f_i c_{ij} \quad (3.1)$$

où la fonction de transfert  $c_{ij}$  est une matrice déterminée par la méthode des tables de contingence. Les tables de contingence sont définies de façon à ce que l'élément d'indice (i,j) donne la fréquence relative

d'occurrence de la catégorie  $j$  à la station temporaire par rapport à la catégorie  $i$  à la station principale.

Lorsque la fonction de transfert  $c_{ij}$  est déterminée à l'aide des observations prises à court terme, il est possible d'estimer pour une station temporaire la fréquence d'occurrence du vent à l'aide de l'information disponible à long terme à une station principale. Cette estimation est donnée par la relation suivante :

$$G^*_j = \sum_i F_i c_{ij} \quad (3.2)$$

où  $G^*_j$  est un estimateur de  $G_j$  donnant la distribution des fréquences relatives du vent à une station temporaire, et  $F_i$  la distribution observée des fréquences relatives à long terme à la station principale.

L'estimateur de la distribution  $G_j$  a été calculé pour les différentes stations temporaires associées à une station principale (voir la liste donnée au tableau 3.1). La distribution  $G^*_j$  donne une représentation des fréquences du vent pour la période estivale aux différentes stations temporaires. Le tableau 3.4 montre les fréquences observées des vents en pourcentage pour les données estivales de 1984 à la station de l'île aux Grues, tandis que le tableau 3.5 montre les fréquences estimées de  $G^*_j$  à partir des données de Québec selon les 48 catégories de vent à la même station. Les fréquences relatives pour toutes les stations temporaires et principales sont données à l'appendice C.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	0,8	0,6	0,5	0,8	0,5	0,4	0,2	0,6	4,4
5-9	2,0	1,7	0,9	3,2	2,7	0,8	0,5	2,5	14,3
10-15	2,4	0,8	0,3	5,6	3,8	1,3	0,3	5,2	19,7
16-21	2,5	0,3	0,2	7,5	8,8	1,2	0,0	5,0	25,5
22-29	2,4	0,1	0,0	5,6	16,0	0,6	0,1	1,7	26,5
≥30	3,2	0,0	0,1	0,4	4,9	0,5	0,0	0,5	9,6
<b>TOTAL</b>	<b>13,3</b>	<b>3,5</b>	<b>2,0</b>	<b>23,1</b>	<b>36,7</b>	<b>4,8</b>	<b>1,1</b>	<b>15,5</b>	<b>100,0</b>

Tableau 3.4: Fréquences observées pour les données estivales de 1984 disponibles à la station de l'île aux Grues.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	1,0	0,7	0,5	0,5	0,0	0,4	0,1	0,6	3,8
5-9	2,5	1,6	1,3	2,4	2,3	0,7	0,5	2,9	14,2
10-15	2,9	0,7	0,2	2,7	3,0	1,8	0,4	6,6	18,3
16-21	3,0	0,3	0,1	4,4	7,0	1,5	0,0	5,3	21,6
22-29	3,0	0,1	0,0	6,0	18,5	0,6	0,3	2,9	31,4
≥30	3,1	0,0	0,1	0,2	6,2	0,6	0,0	0,5	10,7
<b>TOTAL</b>	<b>15,5</b>	<b>3,4</b>	<b>2,2</b>	<b>16,2</b>	<b>37,0</b>	<b>5,6</b>	<b>1,3</b>	<b>18,8</b>	<b>100,0</b>

Tableau 3.5: Distribution des fréquences relatives en pourcentages de la fonction  $G^*$ , selon les 48 catégories de la distribution du vent à la station temporaire de l'île aux Grues générée à partir des données de Québec.

## CHAPITRE 4

### POTENTIEL ÉOLIEN

#### 4.1 Définition du potentiel éolien

Le potentiel éolien représente l'énergie produite par le déplacement d'une masse d'air et est proportionnel au cube de la vitesse de déplacement de cette masse d'air. L'énergie fournie par un vent possédant une vitesse égale à  $V$ , est reliée de la manière suivante :

$$E \propto V^3 \quad (4.1)$$

L'énergie cinétique d'un corps en déplacement est définie par:

$$E = \frac{MV^2}{2} \quad (4.2)$$

où

$E$  : énergie cinétique du corps (Joules),

$M$  : masse du corps (kg),

$V$  : vitesse moyenne du corps (m/s).

Pour une masse d'air on peut remplacer le terme  $M$  de l'équation (4.2) par :

$$M = \rho AD \quad (4.3)$$

où :

$\rho$  : masse volumique de l'air (1,25 kg/m<sup>3</sup>),

A : surface exposée (m<sup>2</sup>),

D : déplacement (m).

Si une masse d'air se déplace à une vitesse V (m/s) durant un intervalle de temps  $\Delta t$  (sec), l'équation (4.3) peut être réécrite de la façon suivante :

$$M = \rho AD = \rho AV \Delta t \quad (4.4)$$

Et en introduisant l'expression (4.4) dans l'équation (4.2), on obtient pour l'énergie cinétique :

$$E = \rho \frac{AV^3}{2} \Delta t \quad (4.5)$$

Si V est exprimé en km/h et  $\Delta t$  en heures, en substituant les valeurs constantes dans l'équation (4.5) on obtient la relation suivante:

$$E = 1,3396 \times 10^{-5} AV^3 \Delta t \quad (4,6)$$

où l'énergie est exprimée en kilowatts-heures (kW-h).

Pour une surface de 1m<sup>2</sup>, l'énergie maximale disponible pour un vent de 1 km/h durant une heure sera de 1,3396x10<sup>-5</sup> kW-h.

## 4.2 Calcul du potentiel éolien aux différentes stations

À partir des stations principales les fréquences des vents par catégorie ont été calculées pour les différentes stations temporaires. Connaissant les fréquences sur la période totale<sup>1</sup>, on peut calculer le nombre d'heures pour chacune des classes de vitesse.

Il est de calculer l'énergie disponible correspondant à une classe de vitesse, en moyennant le terme de droite de l'équation (4.6), on obtient alors :

$$\begin{aligned}\langle E \rangle &= \langle 1,3396 \times 10^{-5} A V^3 \Delta t \rangle \\ \langle E \rangle &= 1,3396 \times 10^{-5} A \Delta t \langle V^3 \rangle\end{aligned}\quad (4.7)$$

où les crochets  $\langle \rangle$  indiquent que l'on considère la valeur moyenne de la classe de vitesse donnée. En prenant comme considération une distribution uniforme d'occurrence à l'intérieur de chacune des classes de vitesse. Si pour une classe de vitesse donnée on a  $V_1$  et  $V_2$ , alors en remplaçant dans l'équation (4.7) on a :

$$\begin{aligned}\langle E \rangle_{V_1, V_2} &= 1,3396 \times 10^{-5} A \Delta t \frac{1}{V_2 - V_1} \int_{V_1}^{V_2} V^3 dV \\ \langle E \rangle_{V_1, V_2} &= \frac{1,3396 \times 10^{-5}}{4(V_2 - V_1)} A \Delta t (V_2^4 - V_1^4)\end{aligned}\quad (4.8)$$

<sup>1</sup> La période étudiée comprend les mois de juin, juillet et août qui est constituée de 2 208 heures.

Par exemple si on veut calculer l'énergie moyenne disponible pour une classe allant de 5 à 9 km/h<sup>1</sup> (vitesse allant de 4,5 à 9,5 km/h) on a une durée totale de 672 heures. À partir de (4.8) on obtient avec :

$$\begin{aligned} V_1 &= 4,5 \text{ km/h} \\ V_2 &= 9,5 \text{ km/h} \\ \Delta t &= 672 \text{ heures} \\ A &= 1\text{m}^2 \end{aligned}$$

$$\langle E \rangle_{5,9} = \frac{1,3396 \times 10^{-5} \times 672 \times (9,5^4 - 4,5^4)}{4(9,5 - 4,5)}$$

$$\langle E \rangle_{5,9} = 3 \text{ kW-heures}$$

Le calcul du potentiel éolien demande en général des périodes d'enregistrement sur de longues durées. Par contre, à partir de l'information disponible sur la vitesse des vents obtenue durant l'été 1984, une estimation du potentiel éolien peut être faite à l'aide des distributions  $G^*_j$  et  $F_i$  aux stations temporaires et principales respectivement.

Pour les stations principales de Québec et Rivière-du-Loup, la fréquence  $F_i$  a été déterminée à partir des observations enregistrées durant la période de 1967-1988 pour Québec et de 1980-87 pour Rivière-du-Loup, en ne conservant que les données disponibles entre les mois de juin à août inclusivement.

---

<sup>1</sup> voir tableau 4.1, station de Québec.

Le potentiel éolien a été calculé à l'aide de l'équation (4.8) pour les stations temporaires et principales en utilisant comme densité moyenne de l'air  $1,25 \text{ kg/m}^3$ . Les fréquences d'occurrence en heures pour chacune des classes de vitesses sont déterminées à l'aide des fonctions  $G^*_j$  et  $F_i$ , voir les tableaux donnés à l'appendice C.

L'énergie disponible pour la période estivale de 1984 à la station principale de Québec ainsi qu'aux stations temporaires associées est présentée au tableau 4.1. Le tableau 4.2 donne l'énergie disponible pour l'été 1984 à la station principale de Rivière-du-Loup ainsi qu'aux stations temporaires associées.

Le tableau 4.3 donne l'énergie moyenne, calculée sur la période comprise entre 1967 et 1988 (21 ans), disponible à la station principale de Québec ainsi qu'aux stations temporaires associées pour les mois de juin à août. Le tableau 4.4 fournit l'énergie moyenne, calculée sur la période comprise entre 1980 et 1987 (8 ans), disponible à la station principale de Rivière-du-Loup ainsi qu'aux stations temporaires associées pour les mois de juin à août.

Dans le calcul du potentiel éolien, la limite supérieure de la dernière classe de vitesse a été fixée à  $V_2=33 \text{ km/h}$ . Pour toutes

les stations, la présence de vent plus intense à ce seuil n'est observé qu'en quelques occasions.

STATION	CLASSES DE VITESSE (km/h)						TOTAL
Période 1984	1-4	5-9	10-15	16-21	22-29	≥ 30	2208 heures
Québec <sup>1</sup>	0	3	16	33	59	19	130 kW-h
	265	672	587	382	258	44	2208 heures
Beauport	0	3	15	42	90	77	227 kW-h
	53	541	550	486	395	183	2208 heures
Cap de la Madelaine	0	3	14	34	66	27	144 kW-h
	305	638	514	396	291	64	2208 heures
Ile aux Grues	0	2	12	49	133	89	285 kW-h
	97	316	435	563	585	212	2208 heures
Lauzon	0	3	17	33	66	51	170 kW-h
	201	601	616	380	289	121	2208 heures
Neuville	0	3	11	38	89	82	223 kW-h
	243	530	411	435	393	196	2208 heures
Portneuf	0	3	14	37	79	51	181 kW-h
	252	550	510	426	349	121	2208 heures

Tableau 4.1 : Énergie éolienne (kW-h) disponible et fréquences (en heures) des vents par classe de vitesse à différentes stations. Les fréquences en heures sont pour la période comprenant les mois de juin, juillet et août 1984 ( un total de 2208 heures).

<sup>1</sup> Sur la première ligne associée à une station est indiquée l'énergie éolienne, sur la suivante, la fréquence.

STATION	CLASSES DE VITESSE (km/h)						TOTAL
Période 1984	1-4	5-9	10-15	16-21	22-29	≥ 30	2208 heures
Rivière-du-Loup <sup>1</sup>	0 305	4 773	20 726	28 318	19 84	1 2	72 kW-h 2208 heures
Kamouraska	0 254	4 714	16 565	32 362	54 238	32 75	138 kW-h 2208 heures
Cap à l'Aigle	0 1126	4 707	7 247	7 77	10 42	4 9	32 kW-h 2208 heures
Rivière St-François	0 570	3 639	9 322	17 192	42 183	127 302	198 kW-h 2208 heures

Tableau 4.2 : Énergie éolienne (kW-h) disponible et fréquences (en heures) des vents par classe de vitesse à différentes stations. Les fréquences en heures sont pour la période comprenant les mois de juin, juillet et août 1984 ( un total de 2208 heures).

<sup>1</sup> Sur la première ligne associée à une station est indiquée l'énergie éolienne, sur la suivante, la fréquence.

STATION	CLASSES DE VITESSE (km/h)						TOTAL
Période 1967-88	1-4	5-9	10-15	16-21	22-29	≥ 30	2208 heures
Québec <sup>1</sup>	0	3	18	34	51	21	127 kW-h
	247	649	645	395	223	49	2208 heures
Beauport	0	2	16	53	113	75	259 kW-h
	30	316	581	605	497	179	2208 heures
Cap de la Madelaine	0	3	15	41	98	27	177 kW-h
	262	548	526	466	432	64	2208 heures
Ile aux Grues	0	2	11	42	158	99	312 kW-h
	84	314	404	477	693	236	2208 heures
Lauzon	0	2	20	42	71	67	202 kW-h
	102	439	720	477	311	159	2208 heures
Neuville	0	2	12	47	96	98	255 kW-h
	155	411	450	538	422	232	2208 heures
Portneuf	0	2	16	46	96	67	227 kW-h
	137	395	568	528	422	159	2208 heures

Tableau 4.3 : Énergie éolienne (kW-h) disponible et fréquences (en heures) des vents par classe de vitesse à différentes stations. Les fréquences en heures sont pour la période comprenant les mois de juin, juillet et août de 1967 à 1988 ( un total de 2208 heures par saison). Les fréquences aux stations temporaires sont estimées à l'aide de l'information de la station principale de Québec.

<sup>1</sup> Sur la première ligne associée à une station est indiquée l'énergie éolienne, sur la suivante, la fréquence.

STATION	CLASSES DE VITESSE (km/h)						TOTAL
Période 1980-87	1-4	5-9	10-15	16-21	22-29	≥ 30	2208 heures
Rivière-du-Loup <sup>1</sup>	0 318	5 888	18 665	22 258	17 75	2 4	64 kW-h 2208 heures
Kamouraska	0 247	4 700	16 574	32 371	56 245	30 71	138 kW-h 2208 heures
Cap à l'Aigle	0 1077	4 711	8 274	8 91	10 46	4 9	34 kW-h 2208 heures
Rivière St-François	0 565	3 638	9 340	17 201	42 186	117 278	188 kW-h 2208 heures

Tableau 4.4 : Énergie éolienne (kW-h) disponible et fréquences (en heures) des vents par classe de vitesse à différentes stations. Les fréquences en heures sont pour la période comprenant les mois de juin, juillet et août de 1980 à 1987 ( un total de 2208 heures par saison). Les fréquences aux stations temporaires sont estimées à l'aide de l'information de la station principale de Rivière-du-Loup.

<sup>1</sup> Sur la première ligne associée à une station est indiquée l'énergie éolienne, sur la suivante, la fréquence.

L'énergie éolienne théoriquement disponible, présentée aux tableaux 4.1 à 4.4 n'est évidemment pas récupérable par une éolienne à 100 % . Pour une éolienne donc les limites de fonctionnement sont comprises entre un seuil minimal et maximal et ayant une efficacité connue, il est possible de faire le cumulatif de l'énergie disponible.

L'énergie éolienne disponible aux stations temporaires, tableau 4.1, associées à la station principale de Québec montre un pouvoir énergétique supérieur à celle-ci. Le site de l'Île aux Grues montre un potentiel éolien de 2,2 fois supérieur à celui de la station principale de Québec.

La station principale de Rivière-du-Loup, tableau 4.4, possède un potentiel éolien d'environ 50 % inférieur à celui de la station principale de Québec. L'examen des tableaux 4.3 et 4.4 montre que la station ayant le plus faible pouvoir énergétique est celle de Cap à l'Aigle (34 kW-h). La station de l'Île aux Grues présente le plus haut potentiel éolien (312 kW-h) disponible à une éolienne durant la période comprise entre le mois de juin et août inclusivement.

## DISCUSSION

Un des objectifs de ce rapport était d'estimer la fréquence d'occurrence des vents pour différentes stations dont les données sont disponibles à court terme. L'estimation des fréquences du vent à long terme aux stations temporaires a été réalisée pour chacune des stations à partir des observations disponibles aux stations principales de Rivière-du-Loup et de Québec. Dans ce rapport, pour générer les fréquences, la méthode des tables de contingence telle que suggérée par Walmsley et Bagg a été utilisée.

La fonction de distribution des vents  $G^*_j$  aux stations temporaires a été définie selon 48 catégories, soit 8 directions et 6 classes de vitesse. Cette estimation à long terme a été faite pour la saison estivale, c'est-à-dire de juin à août inclusivement.

Suite aux distributions de fréquence mesurées et générées, on présente pour la période estivale le potentiel éolien disponible aux différentes stations. La distribution des fréquences à long terme, pour chaque classe de vitesse générées aux stations temporaires, a été déterminée par la méthode des tables de contingence. Cette méthode utilise comme hypothèse que la fonction de transfert  $c_{ij}$  reste invariante dans le temps.

L'interprétation du potentiel éolien pour une station doit se faire de façon judicieuse, cette distribution du potentiel est estimée pour la saison estivale seulement, comprenant les mois de juin, juillet et

août pour un niveau à 10 mètres du sol et que seulement une partie de ce potentiel est transformable en énergie utile.

Le regroupement à court terme de l'information disponible en 48 catégories, 8 direction et 6 classes de vitesse, donne pour certaines stations temporaires des catégories où aucun vent n'est observé. Ces catégories où il y a absence de vent, impliquent pour la fonction de distribution générée du vent à long terme, des catégories où les fréquences estimées sont nulles. C'est pourquoi le regroupement en un nombre de catégories relativement peu nombreuses est souhaitable lorsque la quantité d'observations de la base données à court terme est plutôt limitée. La quantité d'information disponible pour une station à court terme a été déterminant dans le choix du nombre de catégories.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aléry, R., Grisollet, H. et Guilmet, B., 1973: Climatologie Méthodes et Pratiques, Gauthier-Villars, 434 pp.
- Brook, C. E. P., Carruthers, N., 1978: Handbook of Statistical Methods in Meteorology, AMS Press New-York, 412 pp.
- Environmental Research & Technology, Inc., 1981: The Great Lakes Region, Sacramento, Calif., Solar Energy Information Services, 170 pp.
- Eschle, T. et Pennyfather, M., 1978: A Climatology Review of the Potentiel for Wind Power Generation in Ontario, SEA Ontario Region Internal Report SSU-78-6, 93 pp.
- Jackson, P., 1977: The Thorndon Wind Power Project, Part III-Wind Climate, New Zealand Ministry of Public Works (unpub.)
- Jacques, G., 1985: L'Énergie Éolienne au Québec, Service de l'environnement atmosphérique, Gouvernement du Canada.
- King, P. S., 1980: Estimation of Wind Statistics at Potential Wecc Sites Using Two-Site Correlation Techniques, AES Internal Report MSRB-80-8, 81 pp.
- Lamont, A. H., 1976: A Simple Method for Estimating Available Wind Energy from Monthly Wind Speeds, Climatic Data Summaries, No. CDS 6-76, Toronto, Environment Canada - Atmospheric Environment Service.
- Munn, R. E., 1970: Biometeorological Methods, Academic Press, New-York, 366 pp.

Putnam, P. C., 1948: Power from the Wind, Van Nostrand and Reinhold Co.

Roy, S., Larocque, E. et Lefaiivre, L., 1989: Réseau à la Mésos-échelle,  
Québec 84; Guide de l'usager, Environnement Canada  
Division des Services scientifiques; Région du Québec, pp 4-9.

Saulnier, B., 1979: Principes de Base et Aspects Pratiques de  
l'Utilisation du Vent comme Source d'Energie,  
IREQ, Rapport No. IREQ-2047, 87 pp.

Vansant, J. H. et McConnell, R. D., 1977: Electrical Energy from Quebec's  
Wind, IREQ, Rapport No. IREQ-1575, 53 pp.

Walmsley, J.L. et Bagg, D. L., 1978: A Method of Correlation Wind Data  
between Two Stations with Application to the Alberta Oil  
Sands, Atmosphere-Ocean, 16(4), pp 333-347

APPENDICE A

TABLES DE CONTINGENCE

## YQB

BAU	VITESSE (km/h)					TOTAL
	1-4	5-9	10-15	16-21	≥22	
1-4	2	5	1	0	0	8
5-9	42	58	25	1	1	127
10-15	44	99	72	16	2	233
16-21	16	67	98	58	14	253
≥22	3	41	84	93	90	311
TOTAL	107	270	280	168	107	932

R\* : 0,721

BAU	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
NE	35	153	1	0	5	6	3	5	208
E	1	30	7	1	1	3	0	0	43
SE	0	2	5	4	7	4	0	2	24
S	0	0	0	2	76	31	2	0	111
SO	0	0	0	7	196	140	2	2	347
O	0	0	0	0	11	60	15	13	99
NO	1	0	0	0	2	2	4	30	39
N	16	14	2	1	4	2	3	19	61
TOTAL	53	199	15	15	302	248	29	71	932

VITESSE ≥ 1 Km/h

R\* : 0,883

Tableau A.1 : Tables de contingence observées pour la comparaison de la vitesse et de la direction du vent entre Québec et Beauport.

## YQB

CDM	VITESSE (km/h)					TOTAL
	1-4	5-9	10-15	16-21	≥22	
1-4	31	52	36	7	6	132
5-9	54	120	99	36	15	324
10-15	24	93	90	32	24	263
16-21	17	55	52	69	33	226
≥22	10	40	56	46	66	218
TOTAL	136	360	333	190	144	1163

R\* : 0,720

CDM	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
NE	14	53	1	1	4	2	0	2	77
E	3	6	1	2	7	5	1	1	26
SE	2	13	1	3	6	5	1	1	32
S	8	32	7	14	310	179	8	4	562
SO	0	4	1	0	49	66	3	3	126
O	2	2	1	1	14	61	18	13	112
NO	11	5	0	1	3	18	18	36	92
N	32	61	1	1	5	12	8	16	136
TOTAL	72	176	13	23	398	348	57	76	1163

VITESSE ≥ 1 Km/h

R\* : 0,656

Tableau A.2 : Tables de contingence observées pour la comparaison de la vitesse et de la direction du vent entre Québec et Cap de la Madeleine.

## YQB

LAU	VITESSE (km/h)					TOTAL
	1-4	5-9	10-15	16-21	≥22	
1-4	16	24	9	2	2	53
5-9	71	112	54	4	2	243
10-15	48	145	130	56	19	398
16-21	11	81	85	77	57	311
≥22	6	41	95	84	90	316
TOTAL	152	403	373	223	170	1321

R\* : 0,758

LAU	DIRECTION								
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	TOTAL
NE	29	32	0	0	1	2	1	15	80
E	49	192	5	1	8	8	3	10	276
SE	1	7	8	0	1	1	1	1	20
S	1	1	4	10	40	11	1	0	68
SO	1	0	0	16	328	183	2	4	534
O	1	0	1	1	69	154	38	12	276
NO	0	0	0	2	1	4	11	17	35
N	1	3	0	1	1	1	3	22	32
TOTAL	83	235	18	31	449	364	60	81	1321

VITESSE ≥ 1 Km/h

R\* : 0,936

Tableau A.3 : Tables de contingence observées pour la comparaison de la vitesse et de la direction du vent entre Québec et Lauzon.

YQB.

NEU	VITESSE (km/h)					TOTAL
	1-4	5-9	10-15	16-21	≥22	
1-4	12	27	7	1	0	47
5-9	34	66	38	8	4	150
10-15	23	82	56	23	3	187
16-21	16	55	68	44	21	204
≥22	4	40	75	76	79	274
TOTAL	89	270	244	152	107	862

R\* : 0,726

NEU	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
NE	36	114	1	0	1	0	0	7	159
E	1	4	0	0	1	1	0	0	7
SE	0	0	0	0	3	0	0	1	4
S	1	4	0	7	31	8	0	0	51
SO	1	0	1	7	189	153	5	1	357
O	2	0	0	5	33	106	30	6	182
NO	1	0	0	0	3	5	15	18	42
N	19	17	0	0	0	0	2	22	60
TOTAL	61	139	2	19	261	273	52	55	862

VITESSE ≥ 1 Km/h

R\* : 0,927

Tableau A.4 : Tables de contingence observées pour la comparaison de la vitesse et de la direction du vent entre Québec et Neuville.

## YQB

POR	VITESSE (km/h)					TOTAL
	1-4	5-9	10-15	16-21	≥22	
1-4	18	28	7	5	4	62
5-9	41	57	46	8	2	154
10-15	30	81	79	23	8	221
16-21	10	69	72	50	17	218
≥22	5	31	60	73	75	244
TOTAL	104	266	264	159	106	899

R\* : 0,734

POR	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
NE	15	32	0	0	0	1	1	5	54
E	16	132	3	0	1	0	0	0	152
SE	2	25	9	0	0	1	0	0	37
S	3	7	4	7	79	26	0	0	126
SO	0	2	0	4	148	96	0	1	251
O	0	2	0	3	46	77	7	5	140
NO	7	4	0	2	9	18	14	22	76
N	7	9	0	0	1	4	5	37	63
TOTAL	50	213	16	16	284	223	27	70	899

VITESSE ≥ 1 Km/h

R\* : 0,899

Tableau A.5 : Tables de contingence observées pour la comparaison de la vitesse et de la direction du vent, entre Québec et Portneuf.

## WNH

CAL	VITESSE (km/h)					TOTAL
	1-4	5-9	10-15	16-21	≥22	
1-4	96	224	205	49	9	583
5-9	54	130	117	56	13	370
10-15	11	44	39	36	8	138
16-21	2	1	26	10	4	43
≥22	0	2	4	15	9	30
TOTAL	163	401	391	166	43	1164

R\* : 0,691

CAL	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
NE	4	1	6	7	12	13	16	32	91
E	0	2	5	5	17	4	5	8	46
SE	0	0	3	7	8	4	1	3	26
S	4	2	12	94	132	26	24	33	327
SO	3	9	3	77	78	28	14	12	224
O	2	6	5	68	17	12	12	12	134
NO	3	2	13	45	24	16	20	16	139
N	6	7	24	51	18	14	27	30	177
TOTAL	22	29	71	354	306	117	119	146	1164

VITESSE ≥ 1 Km/h

R\* : 0,542

Tableau A.6 : Tables de contingence observées pour la comparaison de la vitesse et de la direction du vent entre Rivière-du-Loup et Cap à l'Aigle.

## WNH

KAM	VITESSE (km/h)					TOTAL
	1-4	5-9	10-15	16-21	≥22	
1-4	31	70	18	1	0	120
5-9	65	171	107	11	1	355
10-15	43	98	105	36	5	287
16-21	12	41	84	44	4	185
≥22	2	19	52	67	30	170
TOTAL	153	399	366	159	40	1117

R\* : 0,816

KAM	DIRECTION									TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N		
NE	7	12	9	14	4	3	23	48	120	
E	1	2	3	5	4	2	2	3	22	
SE	1	3	8	26	12	5	3	4	62	
S	0	1	16	199	84	25	4	4	333	
SO	0	0	9	79	170	26	14	0	288	
O	0	1	1	6	18	36	7	0	69	
NO	0	1	1	1	1	5	7	1	17	
N	12	6	22	8	2	12	57	87	206	
TOTAL	21	26	69	338	295	114	107	147	1117	

VITESSE ≥ 1 Km/h R\* : 0,818

Tableau A.7 : Tables de contingence observées pour la comparaison de la vitesse et de la direction du vent entre Rivière-du-Loup et Kamouraska.

## WNH

RSF	VITESSE (km/h)					TOTAL
	1-4	5-9	10-15	16-21	≥22	
1-4	61	131	72	18	3	285
5-9	47	143	108	19	5	322
10-15	18	55	64	22	5	164
16-21	9	21	39	29	5	103
≥22	18	41	101	77	24	261
TOTAL	153	391	384	165	42	1135

R\* : 0,709

RSF	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
NE	6	1	8	16	6	12	28	44	121
E	2	3	2	16	10	5	12	18	68
SE	0	0	2	16	20	15	8	4	65
S	1	5	7	115	163	23	12	6	332
SO	0	0	5	27	26	10	3	4	75
O	1	7	10	46	14	23	19	15	135
NO	4	2	6	21	15	10	8	19	85
N	7	11	30	72	47	19	27	41	254
TOTAL	21	29	70	329	301	117	117	151	1135

VITESSE ≥ 1 Km/h

R\* : 0,522

Tableau A.8 : Tables de contingence observées pour la comparaison de la vitesse et de la direction du vent entre Rivière-du-Loup et Rivière St-François.

APPENDICE B

MÉTHODE DES TABLES DE CONTINGENCE

## APPENDICE B

### MÉTHODE DES TABLES DE CONTINGENCE

Une estimation de la fréquence d'occurrence des vents à long terme pour une région a fait l'objet d'une étude de la part de Walmsley et Bagg (1978). La technique employée consiste à utiliser des tables de contingence. La construction de ces tables consiste en premier lieu à comparer deux banques de données simultanées à court terme sur le vent aux deux sites différents. Par contre, les observations à long terme sur le vent doivent être disponibles à l'une des stations. Le problème dans la génération d'une banque de données synthétiques consiste à évaluer une fonction de transfert à partir des informations sur le vent à court terme prises simultanément aux 2 stations.

L'approche utilisée par Walmsley et Bagg a pour but d'estimer une longue série de données à partir d'une autre série de courte durée pour différents sites. La méthode suppose l'existence d'une régression linéaire entre les observations aux deux sites considérés. De plus, une hypothèse doit être posée sur la fonction de transfert, celle-ci est invariante dans le temps.

Pour présenter la méthode de la génération des fréquences, la notation tensorielle est utilisée. La valeur des indices  $i$  et  $j$  sera comprise entre 1 et 48, représentant 8 directions du vent et 6 classes de vitesse.

Soit un site 'G' où la distribution des fréquences du vent à court terme  $g_j$  est connue, et un autre site 'F' où la distribution des fréquences

à court terme  $f_i$  est également connue. Les distributions  $g_j$  et  $f_i$  ont été enregistrées sur une même période. On a aussi pour le site 'F' la distribution des fréquences à long terme  $F_i$ .

L'estimation de la distribution des fréquences du vent à long terme au site 'G' peut être exprimée comme suit :

$$G_j = \sum_i F_i c_{ij} \quad (b.1)$$

où  $c_{ij}$  est un tenseur, ou fonction de transfert, déterminée de façon à pouvoir donner la meilleure estimation de  $G_j$ .

La fonction de transfert  $c_{ij}$  doit également satisfaire la relation suivante :

$$g_j = \sum_i f_i c_{ij} \quad (b.2)$$

où  $g_j$  et  $f_i$  sont les distributions de fréquence des deux banques de données à court terme, dont les observations sur le vent sont prises simultanément aux sites 'G' et 'F' respectivement.

En définissant  $d_{ij}$  comme la distribution relative des fréquences d'occurrence des catégories  $i$  et  $j$ , alors par définition on a :

$$f_i = \sum_j d_{ij} \quad (b.3)$$

$$g_j = \sum_i d_{ij} \quad (b.4)$$

en acceptant que :

$$c_{ij} = \frac{d_{ij}}{f_i} \quad (\text{b.5})$$

et à partir de (b.1) et (b.5) on a :

$$\begin{aligned} \sum_i f_i c_{ij} &= \sum_i f_i \left[ \frac{d_{ij}}{f_i} \right] && (\text{b.6}) \\ &= \sum_i d_{ij} \\ &= g_j && \text{par (b.4)} \end{aligned}$$

La définition de  $c_{ij}$  donnée par (b.5) satisfait (b.1). Si la fonction de transfert  $c_{ij}$  demeure invariante dans le temps, alors une estimation de  $G_j$  peut être donnée par :

$$G^*_j = \sum_i F_i c_{ij} \quad (\text{b.7})$$

où  $G^*_j$  est un estimateur de la distribution des fréquences pour la classe  $j$  des vents à long terme au site 'G'. Une représentation matricielle simplifiée de la génération de la distribution des fréquences peut être démontrée.

Pour simplifier la démonstration, supposons que pour les sites 'G' et 'F' les vents sont distribués selon 3 catégories seulement.

Alors pour le site 'G' on a que :

$$[ g_1 , g_2 , g_3 ] \quad (b.8)$$

représente la distribution des fréquences d'occurrence du vent à court terme pour le site 'G'.

Pour le site 'F' on a :

$$[ f_1 , f_2 , f_3 ] \quad (b.9)$$

la distribution des fréquences du vent à court terme, et avec :

$$[ F_1 , F_2 , F_3 ] \quad (b.10)$$

représentant la distribution des fréquences à long terme pour le site 'F'. Les fréquences relatives d'occurrence simultanées pour l'information disponible à court terme aux sites 'G' et 'F' peuvent être comparées. Les fréquences sont alors obtenues à partir de tables de contingence en comparant les données simultanées de la façon suivante :

$$\text{site 'F' } \begin{matrix} & \text{site 'G'} \\ \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (b.11)$$

avec :

$$\begin{aligned}
 \sum_j d_{1j} &= f_1 & \sum_i d_{i1} &= g_1 \\
 \sum_j d_{2j} &= f_2 & \sum_i d_{i2} &= g_2 \\
 \sum_j d_{3j} &= f_3 & \sum_i d_{i3} &= g_3
 \end{aligned}
 \tag{b.12}$$

La matrice de transfert  $c_{ij}$  déterminée à l'aide de (b.5) est donnée par :

$$c_{ij} = \begin{bmatrix} \frac{d_{11}}{f_1} & \frac{d_{12}}{f_1} & \frac{d_{13}}{f_1} \\ \frac{d_{21}}{f_2} & \frac{d_{22}}{f_2} & \frac{d_{23}}{f_2} \\ \frac{d_{31}}{f_3} & \frac{d_{32}}{f_3} & \frac{d_{33}}{f_3} \end{bmatrix}
 \tag{b.13}$$

La génération des fréquences synthétiques à long terme pour le site 'G' est obtenue par l'expression suivante :

$$G^*_j = [G^*_{j1}, G^*_{j2}, G^*_{j3}] = [F_1, F_2, F_3] * \begin{bmatrix} \frac{d_{11}}{f_1} & \frac{d_{12}}{f_1} & \frac{d_{13}}{f_1} \\ \frac{d_{21}}{f_2} & \frac{d_{22}}{f_2} & \frac{d_{23}}{f_2} \\ \frac{d_{31}}{f_3} & \frac{d_{32}}{f_3} & \frac{d_{33}}{f_3} \end{bmatrix}
 \tag{b.14}$$

En effectuant le produit, on obtient pour la station 'G' une estimation de la distribution des fréquences de la vitesse du vent à long terme donnée par les termes suivants :

$$G^*_1 = \frac{F_1 d_{11}}{f_1} + \frac{F_2 d_{21}}{f_2} + \frac{F_3 d_{31}}{f_3} \quad (b.15)$$

$$G^*_2 = \frac{F_1 d_{12}}{f_1} + \frac{F_2 d_{22}}{f_2} + \frac{F_3 d_{32}}{f_3} \quad (b.16)$$

$$G^*_3 = \frac{F_1 d_{13}}{f_1} + \frac{F_2 d_{23}}{f_2} + \frac{F_3 d_{33}}{f_3} \quad (b.17)$$

Une généralisation de la méthode peut être faite sur les indices  $i$  et  $j$ . Dans de ce rapport les indices  $i$  et  $j$  sont compris entre 1 et 48 et représentent les 48 catégories de vent.

La génération des fréquences relatives des vents à long terme a été faite pour différentes stations, les résultats sont présentés sous formes graphiques pour la vitesse (sans tenir compte de la direction) au chapitre 3 et sous forme de tableaux pour toutes les vitesses et directions à l'appendice C.

APPENDICE C

DISTRIBUTION DES FRÉQUENCES GÉNÉRÉES

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,7	0,2	0,2	2,4
5-9	1,6	1,2	1,3	2,1	8,9	4,4	3,0	2,0	24,5
10-15	1,6	0,7	0,8	4,1	10,5	2,9	1,7	2,6	24,9
16-21	4,7	0,6	0,8	2,5	10,3	1,6	0,4	1,1	22,0
22-29	6,9	1,1	0,1	2,2	5,4	1,0	0,1	1,1	17,9
≥30	4,6	0,9	0,0	0,2	0,6	1,0	0,1	0,9	8,3
TOTAL	19,6	4,7	3,2	11,5	36,0	11,6	5,5	7,9	100,0

Tableau C.1: Fréquences observées pour les données estivales de 1984 disponibles à la station de Beauport.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	0,2	0,0	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	1,4
5-9	1,1	0,5	0,6	1,2	4,6	2,6	2,2	1,5	14,3
10-15	1,5	1,1	1,0	4,0	10,0	3,4	2,7	2,6	26,3
16-21	5,2	0,3	1,1	3,4	12,7	2,4	0,7	1,6	27,4
22-29	7,7	0,7	0,0	2,8	7,9	1,2	0,1	2,1	22,5
≥30	3,3	0,5	0,0	0,2	0,7	1,7	0,1	1,6	8,1
TOTAL	19,0	3,1	3,0	11,9	36,0	11,5	6,0	9,5	100,0

Tableau C.2: Distribution des fréquences générées à partir de la station de Québec pour la station de Beauport.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	0,5	1,1	0,6	3,8	2,9	2,3	1,7	0,9	13,8
5-9	1,7	1,1	1,2	9,3	3,7	3,8	3,3	4,8	28,9
10-15	1,5	0,4	0,5	13,6	1,5	1,2	1,5	3,1	23,3
16-21	1,5	0,2	0,2	13,5	0,7	0,2	0,3	1,3	17,
22-29	0,8	0,0	0,3	10,6	0,2	0,0	0,0	1,3	13,2
≥30	0,6	0,0	0,2	1,9	0,0	0,0	0,0	0,2	2,9
TOTAL	6,6	2,8	3,0	52,7	9,0	7,5	6,8	11,6	100,0

Tableau C.3: Fréquences observées pour les données estivales de 1984 disponibles à la station du Cap de la Madeleine,

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	0,2	1,3	0,7	3,4	2,1	1,4	2,1	0,7	11,9
5-9	1,0	1,1	0,8	4,7	3,3	4,4	4,8	4,7	24,8
10-15	1,8	0,4	0,7	10,2	1,4	1,1	2,9	5,3	23,8
16-21	1,7	0,1	0,2	14,7	0,9	0,3	0,4	2,8	21,1
22-29	2,1	0,0	0,2	11,8	0,2	0,0	0,0	1,2	15,5
≥30	0,5	0,0	0,2	2,0	0,0	0,0	0,0	0,2	2,9
TOTAL	7,3	2,9	2,8	46,8	7,9	7,2	10,2	14,9	100,0

Tableau C.4: Distribution des fréquences générées à partir de la station de Québec pour la station du Cap de la Madeleine.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	0,8	0,6	0,5	0,8	0,5	0,4	0,2	0,6	4,4
5-9	2,0	1,7	0,9	3,2	2,7	0,8	0,5	2,5	14,3
10-15	2,4	0,8	0,3	5,6	3,8	1,3	0,3	5,2	19,7
16-21	2,5	0,3	0,2	7,5	8,8	1,2	0,0	5,0	25,5
22-29	2,4	0,1	0,0	5,6	16,0	0,6	0,1	1,7	26,5
≥30	3,2	0,0	0,1	0,4	4,9	0,5	0,0	0,5	9,6
TOTAL	13,3	3,5	2,0	23,1	36,7	4,8	1,1	15,5	100,0

Tableau C.5: Fréquences observées pour les données estivales de 1984 disponibles à la station de l'île aux Grues.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	1,0	0,7	0,5	0,5	0,0	0,4	0,1	0,6	3,8
5-9	2,5	1,6	1,3	2,4	2,3	0,7	0,5	2,9	14,2
10-15	2,9	0,7	0,2	2,7	3,0	1,8	0,4	6,6	18,3
16-21	3,0	0,3	0,1	4,4	7,0	1,5	0,0	5,3	21,6
22-29	3,0	0,1	0,0	6,0	18,5	0,6	0,3	2,9	31,4
≥30	3,1	0,0	0,1	0,2	6,2	0,6	0,0	0,5	10,7
TOTAL	15,5	3,4	2,2	16,2	37,0	5,6	1,3	18,8	100,0

Tableau C.6: Distribution des fréquences générées à partir de la station de Québec pour la station de l'île aux Grues.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	0,6	1,2	0,7	1,2	1,5	2,1	0,9	0,9	9,1
5-9	1,8	2,7	1,0	3,6	10,0	5,8	1,0	1,3	27,2
10-15	2,6	2,4	0,4	1,5	13,1	6,2	0,6	1,1	27,9
16-21	1,1	3,8	0,0	0,3	8,6	2,9	0,3	0,2	17,2
22-29	0,6	6,1	0,0	0,1	4,3	1,5	0,5	0,0	13,1
≥30	0,1	4,4	0,0	0,0	0,2	0,7	0,1	0,0	5,5
TOTAL	6,8	20,6	2,1	6,7	37,7	19,2	3,4	3,5	100,0

Tableau C.7: Fréquences observées pour les données estivales de 1984 disponibles à la station de Lauzon.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	0,1	0,7	0,5	0,4	0,6	1,3	0,6	0,4	4,6
5-9	1,6	2,4	0,7	3,1	6,5	2,6	1,2	1,8	19,9
10-15	4,0	2,5	0,4	1,9	14,3	6,4	1,0	2,1	32,6
16-21	1,8	4,6	0,0	0,7	10,3	3,2	0,7	0,3	21,6
22-29	0,5	4,8	0,0	0,1	4,9	1,9	1,9	0,0	14,1
≥30	0,1	5,6	0,0	0,0	0,3	1,1	0,1	0,0	7,2
TOTAL	8,1	20,6	1,6	6,2	36,9	16,5	5,5	4,6	100,0

Tableau C.8: Distribution des fréquences générées à partir de la station de Québec pour la station de Lauzon.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	1,0	0,2	0,4	1,0	2,2	3,8	0,9	1,5	11,0
5-9	2,4	0,4	0,1	1,6	5,6	9,0	2,0	2,9	24,0
10-15	1,2	0,3	0,0	1,8	8,5	3,0	0,8	3,0	18,6
16-21	3,0	0,1	0,2	1,0	12,0	1,1	0,8	1,5	19,7
22-29	7,2	0,4	0,0	0,2	7,5	1,6	0,0	0,9	17,8
≥30	5,9	0,0	0,0	0,2	2,1	0,6	0,0	0,1	8,9
TOTAL	20,7	1,4	0,7	5,8	37,9	19,1	4,5	9,9	100,0

Tableau C.10: Fréquences observées pour les données estivales de 1984 disponibles à la station de Neuville,

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	0,7	0,1	0,3	0,3	0,8	2,1	2,0	0,8	7,1
5-9	1,5	0,2	0,0	0,8	4,8	7,6	2,1	1,7	18,7
10-15	0,6	0,2	0,0	2,4	9,1	3,3	1,2	3,6	20,4
16-21	3,0	0,1	0,3	2,1	14,3	1,2	1,3	2,1	24,4
22-29	7,6	0,3	0,0	0,2	8,3	1,4	0,0	1,2	19,0
≥30	5,8	0,0	0,0	0,2	3,4	0,9	0,0	0,1	10,4
TOTAL	19,2	0,9	0,6	6,0	40,7	16,5	6,6	9,5	100,0

Tableau C.11: Distribution des fréquences générées à partir de la station de Québec pour la station de Neuville.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	0,3	0,4	0,2	1,2	1,3	2,4	3,2	2,4	11,4
5-9	1,1	1,7	0,7	2,8	2,4	4,9	4,7	6,6	24,9
10-15	2,7	2,3	0,9	3,8	6,0	3,6	1,5	2,3	23,1
16-21	0,9	5,3	1,0	3,7	4,7	1,5	1,2	1,0	19,3
22-29	0,4	4,0	0,6	1,5	6,7	1,1	0,9	0,6	15,8
≥30	0,3	0,9	0,5	0,5	2,4	0,8	0,1	0,0	5,5
TOTAL	5,7	14,6	3,9	13,5	23,5	14,3	11,6	12,9	100,0

Tableau C.11: Fréquences observées pour les données estivales de 1984 disponibles à la station de Portneuf.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	0,1	0,0	0,1	1,0	1,1	1,7	1,4	0,8	6,2
5-9	1,2	0,9	0,3	1,7	1,5	5,2	4,2	2,9	17,9
10-15	3,9	1,7	1,0	4,1	6,2	3,5	2,5	2,8	25,7
16-21	0,9	5,2	0,6	5,4	5,5	2,5	2,1	1,7	23,9
22-29	0,2	3,0	0,7	2,6	8,6	1,3	1,3	1,4	19,1
≥30	0,2	0,8	0,3	0,6	4,3	0,9	0,1	0,0	7,2
TOTAL	6,5	11,6	3,0	15,4	27,2	15,1	11,6	9,6	100,0

Tableau C.12: Distribution des fréquences générées à partir de la station de Québec pour la station de Portneuf.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	1,3	1,0	1,2	4,1	1,5	0,9	0,6	0,9	11,5
5-9	4,1	0,6	3,2	12,7	4,7	2,4	0,6	4,0	32,3
10-15	2,4	0,2	1,1	7,0	7,1	1,8	0,4	5,6	25,6
16-21	1,3	0,0	0,0	3,3	7,1	0,7	0,2	3,8	16,4
22-29	1,1	0,1	0,1	1,9	4,0	0,2	0,0	3,4	10,8
≥30	0,5	0,0	0,0	1,4	0,8	0,1	0,0	0,6	3,4
TOTAL	10,7	1,9	5,6	30,4	25,2	6,1	1,8	18,3	100,0

Tableau C.13: Fréquences observées pour les données estivales de 1984 disponibles à la station de Kamouraska.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	1,0	1,2	1,4	4,0	1,2	1,0	0,6	0,8	11,2
5-9	4,4	0,7	3,2	11,3	4,4	2,9	0,7	4,1	31,7
10-15	3,4	0,4	0,9	5,6	6,6	2,3	0,4	6,4	26,0
16-21	1,9	0,0	0,0	2,5	6,1	0,9	0,3	5,1	16,8
22-29	1,4	0,1	0,1	1,7	3,4	0,4	0,0	4,0	11,1
≥30	0,5	0,0	0,0	1,4	0,7	0,0	0,0	0,6	3,2
TOTAL	12,6	2,4	5,6	26,5	22,4	7,5	2,0	21,0	100,0

Tableau C.14: Distribution des fréquences générées à partir de la station de Rivière-du-Loup pour la station de Kamouraska.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	3,5	2,3	1,5	13,5	9,1	6,7	6,1	8,3	51,0
5-9	1,2	1,4	0,5	7,7	7,1	5,0	4,3	4,8	32,0
10-15	0,9	0,0	0,1	4,8	2,4	0,3	1,4	1,3	11,2
16-21	0,7	0,0	0,0	1,3	0,9	0,0	0,1	0,5	3,5
22-29	1,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,4	1,9
≥30	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
TOTAL	7,5	3,8	2,1	27,9	19,5	12,0	11,9	15,3	100,0

Tableau C.15: Fréquences observées pour les données estivales de 1984 disponibles à la station du Cap à l'Aigle.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	3,9	2,3	1,6	12,7	8,8	5,9	6,0	7,6	48,8
5-9	1,3	1,5	0,6	7,6	6,7	5,2	4,6	4,7	32,2
10-15	1,3	0,0	0,0	4,6	2,5	0,4	1,8	1,8	12,4
16-21	1,2	0,0	0,0	1,1	0,8	0,0	0,1	0,9	4,1
22-29	1,2	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,4	2,1
≥30	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
TOTAL	9,1	3,9	2,2	26,6	18,8	11,5	12,5	15,4	100,0

Tableau C.16: Distribution des fréquences générées à partir de la station de Rivière-du-Loup pour la station du Cap à l'Aigle.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	2,1	2,8	1,6	3,7	2,3	3,7	3,5	6,1	25,8
5-9	4,4	2,4	2,0	3,8	1,5	4,1	1,7	9,1	28,9
10-15	2,3	0,7	1,0	3,4	0,9	1,4	0,8	4,1	14,6
16-21	0,9	0,2	0,4	2,7	0,8	0,9	0,7	2,1	8,7
22-29	0,5	0,0	0,6	4,5	0,8	0,7	0,7	0,5	8,3
≥30	0,4	0,0	0,4	10,0	0,4	1,9	0,4	0,2	13,7
TOTAL	10,5	6,1	6,0	28,1	6,7	12,7	7,8	22,1	100,0

Tableau C.17: Fréquences observées pour les données estivales de 1984 disponibles à la station de Rivière Saint-François.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	1,9	2,7	1,5	3,5	2,5	3,7	3,2	6,6	25,6
5-9	4,9	2,6	2,2	3,8	1,2	4,3	1,5	8,4	28,9
10-15	3,3	1,0	1,1	3,1	0,7	1,4	0,8	4,0	15,4
16-21	1,0	0,2	0,5	2,3	0,8	0,9	1,0	2,4	9,1
22-29	0,6	0,0	0,4	4,2	0,7	0,8	1,1	0,6	8,4
≥30	0,4	0,0	0,3	8,8	0,5	2,0	0,5	0,1	12,6
TOTAL	12,1	6,5	6,0	25,7	6,4	13,1	8,1	22,1	100,0

Tableau C.18: Distribution des fréquences générées à partir de la station de Rivière-du-Loup pour la station de Rivière St-François.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	1,1	1,3	1,2	1,9	1,7	2,2	2,4	2,0	13,8
5-9	0,6	0,7	1,6	10,6	5,7	5,8	5,1	4,9	35,0
10-15	0,4	0,1	1,5	11,9	9,7	2,5	2,2	4,6	32,9
16-21	0,2	0,0	0,8	3,6	6,3	0,3	0,7	2,5	14,4
22-29	0,2	0,0	0,2	1,0	1,6	0,0	0,0	0,8	3,8
≥30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
TOTAL	2,5	2,1	5,3	29,0	25,1	10,8	10,4	14,8	100,0

Tableau C.19: Fréquences observées pour les données estivales de 1984 disponibles à la station de Rivière-du-Loup.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	1,0	1,5	1,4	1,7	1,8	2,7	2,4	1,9	14,4
5-9	1,3	1,6	1,9	10,4	7,3	7,1	5,5	5,1	40,2
10-15	0,7	0,5	0,9	8,9	8,7	3,0	3,2	4,2	30,1
16-21	0,2	0,2	0,4	2,8	4,7	0,7	0,9	1,8	11,7
22-29	0,1	0,1	0,1	0,8	1,2	0,2	0,2	0,7	3,4
≥30	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
TOTAL	3,3	3,9	4,7	24,7	23,7	13,7	12,2	13,8	100,0

Tableau C.20: Fréquences observées pour l'ensemble des données estivales disponibles à la station de Rivière-du-Loup.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	1,9	1,5	0,1	0,8	2,5	2,1	0,8	2,3	12,0
5-9	3,8	5,0	0,7	1,0	8,5	6,7	1,3	3,4	30,4
10-15	1,8	6,2	0,2	0,3	9,0	6,2	1,1	1,8	26,6
16-21	0,8	4,2	0,2	0,1	6,5	5,0	0,5	0,0	17,3
22-29	0,7	2,7	0,0	0,0	5,1	2,6	0,5	0,1	11,7
≥30	0,2	0,2	0,0	0,0	0,8	0,6	0,1	0,1	2,0
<b>TOTAL</b>	<b>9,2</b>	<b>19,8</b>	<b>1,2</b>	<b>2,2</b>	<b>32,4</b>	<b>23,2</b>	<b>4,3</b>	<b>7,7</b>	<b>100,0</b>

Tableau C.21: Fréquences observées pour les données estivales de 1984 disponibles à la station de Québec.

VITESSE (km/h)	DIRECTION								TOTAL
	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
1-4	1,2	0,9	0,5	1,1	1,7	1,7	1,1	3,0	11,2
5-9	3,9	2,7	0,8	2,2	6,6	4,7	2,4	6,1	29,4
10-15	4,4	2,9	0,3	1,7	10,6	5,2	2,2	1,9	29,2
16-21	2,3	1,9	0,1	0,9	7,6	3,8	1,0	0,3	17,9
22-29	1,3	0,9	0,0	0,3	4,5	2,3	0,6	0,2	10,1
≥30	0,3	0,2	0,0	0,0	1,1	0,5	0,1	0,0	2,2
<b>TOTAL</b>	<b>13,4</b>	<b>9,5</b>	<b>1,7</b>	<b>6,2</b>	<b>32,1</b>	<b>18,2</b>	<b>7,4</b>	<b>11,5</b>	<b>100,0</b>

Tableau C.22: Fréquences observées pour l'ensemble des données estivales disponibles à la station de Québec.