

ÉVALUATION D'UNE MÉTHODOLOGIE
POUR LA DÉTERMINATION DU TAUX
DE SÉDIMENTATION DE DÉPOT SEC
DES POLLUANTS ACIDES SUR LE COUVERT
DE NEIGE À LA STATION CAPMOU,
FORÊT MONTMORENCY, QUÉBEC

par

V. Delmas

INRS-Eau
Université du Québec
C.P. 7500
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

Octobre 1985

REMERCIEMENTS

Un grand merci à H. Gérald Jones, mon directeur de thèse qui a su me conseiller et m'encourager de façon très dynamique.

J'aimerais remercier les étudiants et le personnel de l'INRS-Eau pour m'avoir accueillie très amicalement parmi eux. Plus particulièrement, je tiens à remercier Wanda Sochanska, Roger Beauchemin, Hélène Rodrigue, Michelle Bordeleau, Suzanne Dussault, Sylvie Cloutier et André Parent qui m'ont bien aidé dans l'achèvement de mes travaux.

Je remercie aussi Fahim Ashkar et Peter Adams pour avoir corrigé avec soin ce mémoire.

LISTE DES FIGURES

	<u>Page</u>
1. Localisation du bassin du lac Laflamme.....	2
2. Stations de prélèvement de neige, lac Laflamme.....	9
3. Synthèse des données météorologiques relevées à la station de la forêt Montmorency (vent et température) et à la station CAPMoN (précipitations) de décembre 1983 à mars 1984 et direction du vent lorsque la vitesse dépasse 6 Km h ⁻¹	12
4. Trajectoires des masses d'air circulant au-dessus du Lac Laflamme les 19 décembre 1983, 19 et 27 janvier, 28 février et 1 ^{er} mars 1984.....	26-30
5. Analyse en composantes principales - neige de surface hiver 1983-1984; Lac Laflamme.....	33
6. Stratification des stations 1 et 2 le 28 janvier 1984. Expérience en milieu semi-contrôlé.....	64
7. Expérience en milieu semi-contrôlé : suivi de la conductivité et contenu en eau des échantillons strate 1, stations 1 et 2. Direction du vent dominant et précipitations.....	66

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
1. INTRODUCTION.....	1
2. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE.....	8
2.1 Description du site.....	8
2.2 Échantillonnage in situ et milieu semi-contrôlé.....	8
2.3 Analyses de laboratoire.....	14
2.4 Validation des données.....	17
2.5 Traitement des données.....	17
2.5.1 Analyse statistique.....	17
2.5.2 Calcul des dépôts secs par la méthode des analyses successives.....	20
2.5.3 Utilisation des résultats du modèle de Sheih pour pour la détermination des flux de dépôt sec.....	22
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	25
3.1 Trajectoire des masses d'air qualité des précipitations..	25
3.2 Description statistique des données de précipitation.....	31
3.3 Représentativité des analyses de précipitation CAPMON....	34
3.4 Analyse de la première période.....	35
3.4.1 Estimation du flux de sédimentation de dépôt sec entre les 19 et 21 décembre 1983.....	37
3.4.2 Bilan: dépôts secs et humides le 22 décembre.....	45
3.5 Analyse de la deuxième période.....	48
3.6 Analyse de la quatrième période.....	54
3.7 Analyse de la cinquième période.....	59
3.8 Milieu semi-contrôlé, métamorphisme.....	61
4. SYNTHÈSE ET CONCLUSION.....	69
5. RÉFÉRENCES.....	71

Annexes

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>
1. Vitesses de sédimentation des dépôts secs sur un couvert de neige: valeurs et méthodes utilisées.....	7
2. Campagne d'échantillonnage, en vue de constituer la banque de données pour l'hiver 1983-1984, forêt Montmorency.....	13
3. Méthodologie d'analyses physico-chimiques de la neige, lac Laflamme.....	16
4. Comparaison de la qualité de la neige recueillie simultanément dans le collecteur standard à la station CAPMoN et au sol sur le plastique les 19 et 20 janvier 1984, forêt Montmorency.....	36
5. Conditions expérimentales de la 1ère période (19-22 décembre 1983), forêt Montmorency.....	38
6. Différences moyennes statistiquement significatives (exprimées en $\mu\text{eq l}^{-1}$) pour la période 1.....	39
7. Comparaison des flux de dépôts secs mesurés et donnés par le modèle de Sheih (exprimées en $\mu\text{eq m}^{-2} \text{ j}^{-1}$) pour la période 1.....	40
8. Vitesse de sédimentation (cm s^{-1}) donnée par le modèle de Sheih entre le 19 et le 21 décembre 1983.....	42
9. Concentrations mesurées nécessaires au bilan et comparaison avec les valeurs calculées pour le 22 décembre ($\mu\text{eq l}^{-1}$).....	47
10. Conditions expérimentales de la 2ième période (18-23 janvier), forêt Montmorency.....	49
11. Tableau comparatif entre les différences des concentrations calculées pour la période du 20-21 janvier (ΔC) et les écarts types du 20 janvier 1985 (exprimées en $\mu\text{eq l}^{-1}$) pour la période 2.....	53
12. Conditions expérimentales de la 4ème période (29 février - 5 mars 1984), forêt Montmorency.....	55
13. Nombre d'échantillons (n) nécessaires pour la mise en évidence de taux de dépôt sec (D) identiques à ceux mesurés lors de la première période rapportés au volumes échantillonnés le 29 février et, à titre comparatif, l'écart type des distributions pour cette dernière date, pour la période 4.....	58

	<u>Page</u>
14. Conditions expérimentales de la 5ème période (14-16 mars), forêt Montmorency.....	60
15. Concentrations moyennes journalières observées pendant la 5e période	62

1. INTRODUCTION

Le phénomène contemporain des pluies acides a pris une telle ampleur dans la région du nord-ouest de l'Amérique (Likens et Butler, 1981) que les répercussions de ces retombées sur les bassins versants à faible capacité de tampon se font déjà sentir à plusieurs niveaux des écosystèmes aquatiques (Wright, 1983). Ainsi, dans le bassin versant du lac Laflamme, assis sur le bouclier canadien du Québec (figure 1), les concentrations élevées des polluants acides dans la neige (Jones, 1984) et, par la suite, dans les eaux de fonte (Jones et al., 1984), contribuent à l'abaissement de la valeur du pH des eaux courantes au printemps (Charette et al., 1984) à un niveau jugé néfaste pour la faune et la flore aquatique en général.

Il s'avère donc qu'une partie importante de la problématique canadienne des études environnementales sur les pluies acides vise l'acquisition des connaissances sur le couvert de neige comme réservoir des particules acides atmosphériques (c'est-à-dire, aérosols composés principalement d'une association des ions: H^+ , NH_4^+ , SO_4^- , NO_3^-) apportées soit par sédimentation de dépôts secs (captage superficiel des particules acides de l'ordre du micron et des gaz SO_2 , HNO_3 , en continu), soit par les dépôts humides (les événements discrets de précipitation) pour les périodes avant et pendant la fonte.

Les variations physico-chimiques d'un couvert de neige peuvent se montrer appréciables dans des périodes de temps très courtes (épisodes de fonte ou de pluie), ce qui rend difficile la distinction entre les deux types d'apports et leur contribution relative à l'acidité de la neige au sol. Il

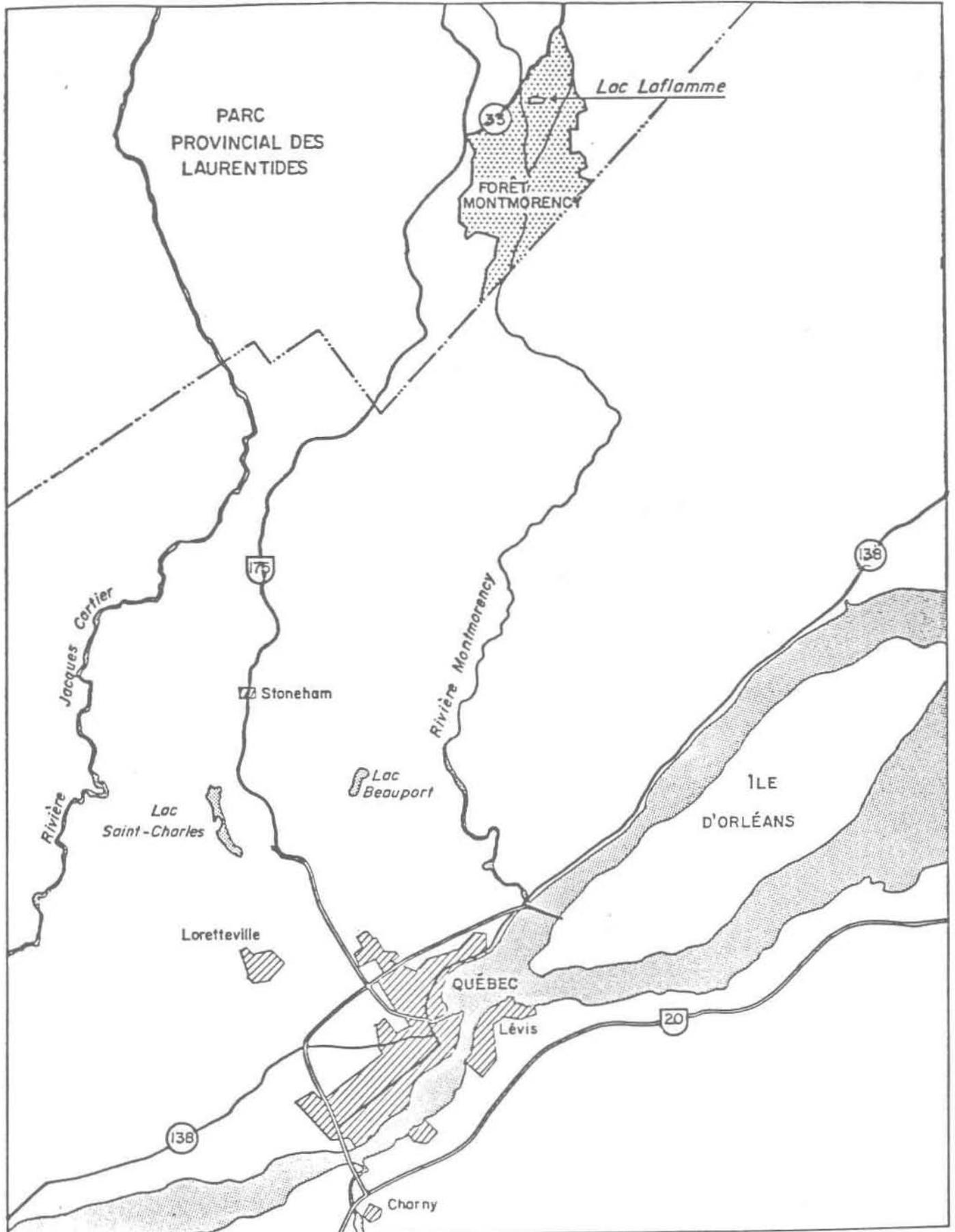


Figure 1. Localisation du lac Laflamme.

s'avère, toutefois, que pendant les périodes froides, le taux de transport des polluants acides à travers la neige est beaucoup plus bas et la dynamique physico-chimique du couvert se trouve considérablement ralentie. Ainsi, l'évolution de la charge totale en H^+ , NH_4^+ , SO_4^- et NO_3^- ($meq\ m^{-2}t^{-1}$) de la neige au sol doit être concomitante avec les apports atmosphériques, c'est-à-dire l'intégrale des taux des apports humides et des apports secs pendant les périodes sous étude.

Les apports humides (neige) étant plus faciles à échantillonner par événement particulier, ils sont généralement déterminés par des mesures d'analyse directe. Par contre, le phénomène de sédimentation des dépôts secs est plus complexe et sa quantification sur la couverture neigeuse est très difficile.

Théoriquement, on considère que le flux de dépôt sec est égal à la concentration de la substance dans l'air que multiplie la vitesse de sédimentation. Cette vitesse dépend de plusieurs facteurs comme la turbulence atmosphérique, les caractéristiques de la surface et la substance considérée.

Plusieurs méthodes de détermination de cette vitesse sont discutées dans la littérature. Il existe tout d'abord des collecteurs artificiels qui, exposés à l'atmosphère, permettent une mesure directe des matériaux déposés pendant une période de temps donnée. Le problème majeur de l'utilisation de ces appareils est que leur efficacité de collecte, reliée à la nature de la surface exposée, est une fonction de la taille des particules, différente pour chaque surface et différente de celle de la

neige (Ibrahim et al., 1983) et que de plus, les gaz ne sont pas collectés (Dash, 1984). Un deuxième genre de méthode comprend les mesures indirectes soit par calcul de la différence entre des analyses successives de la neige au sol pendant une période de temps pour laquelle la couverture de neige est stable soit par l'étude des gradients de concentration atmosphérique de particules acides au-dessus de la couverture de neige. La comparaison de ces deux méthodes a été effectuée dans le cas du dioxyde de soufre par Dovland et Eliassen (1977). Ils ont obtenu pour la vitesse de déposition par l'étude des gradients de concentration une valeur d'un ordre de grandeur supérieur à celui calculé à partir des analyses successives. La difficulté majeure de cette dernière méthode réside dans la distribution hétérogène des dépôts physiques et de la composition chimique des chutes originales de neige (Forland et Gjessing, 1975) et dans les apports locaux de poussière et la neutralisation subséquente des polluants acides (Popp et al., 1982). En dépit de ces lacunes, la méthode de mesure de l'évolution physico-chimique de neige peut s'avérer utile comme première approximation de la quantification des dépôts secs.

Certains auteurs considèrent que la quantité totale de SO_4 précipitée (dépôts secs et humides) sur un bassin versant est équivalente à celle déchargée à l'exutoire de ce bassin à l'échelle d'une année (Wright, 1983). En effectuant le bilan Décharge - Dépôts humides, on calcule ainsi l'importance relative des dépôts secs (ex: Lac Laflamme; Papineau, 1984).

Enfin, des modèles mathématiques ont été développés pour estimer les flux de déposition à grande échelle. Le modèle de Sheih et al., 1979 dont nous utilisons les résultats dans cette étude, s'applique à l'Amérique du

Nord. Il prend en compte les changements saisonniers dans les caractéristiques de surface, la stabilité atmosphérique et l'utilisation du territoire.

Ibrahim et al., 1983 ont proposé un autre modèle théorique adapté à la sédimentation des dépôts secs sur un couvert de neige et l'ont testé par une expérience contrôlée avec production de particules $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ radioisotopiques. Les auteurs concluent à une sous-estimation des résultats théoriques par rapport aux valeurs expérimentales.

Ainsi, pour une même espèce chimique et souvent dans les mêmes conditions expérimentales, les vitesses de sédimentation de dépôt sec rapportées dans la littérature varient beaucoup suivant la méthodologie d'estimation utilisée et sans qu'aucune des méthodes présentées jusqu'ici ne soit encore imposée. Le tableau 1 donne un aperçu des valeurs de vitesse de sédimentation de dépôt sec proposées par différents auteurs.

La méthode d'estimation des flux de dépôt sec par des analyses successives de la composition chimique de la neige de surface présente l'avantage d'être peu onéreuse et de ne pas nécessiter d'appareillage sophistiqué. De plus, dans les travaux antérieurs (Dovland et Eliassen, 1977) l'hétérogénéité des dépôts atmosphériques secs et humides sur le sol (Jones et al., 1984) n'a pas été prise en compte et cela a pu conduire à des erreurs importantes d'interprétation. Dans cette étude, on reconsidère cette méthodologie en procédant à des échantillonnages plus intensifs et à un traitement statistique des données. Ainsi, on définit la composition initiale de la neige de surface avec une certaine précision et on évalue par

la suite, les changements significatifs de cette composition dans le temps. Ces variations nettes mesurées sont, par hypothèse, reliées à des flux de dépôts secs mais on ne peut exclure la possibilité d'intervention de phénomènes autres que celui de sédimentation dans l'évolution chimique de la neige de surface. En particulier, les flocons de neige fraîchement déposés subissent un métamorphisme, et se transforment graduellement en grains de glace. Ce phénomène s'accompagnant du rejet d'aérosols à la surface des grains (Colbeck, 1983), peut-il être la source de variations chimiques même lentes, au sein de la strate de neige (remise en suspension, solubilisation ou encore migration des aérosols vers le sol par gravité)?

Les objectifs de l'étude présentée ci-après sont l'estimation des taux de dépôts secs sur un couvert de neige stable, par un suivi de la qualité de la neige de surface et l'évaluation de cette méthodologie par comparaison avec les résultats issus de l'application du modèle de Sheih (Sheih et al., 1979) aux conditions existant au Lac Laflamme. Dans un premier temps, on procède à l'exposé de la méthodologie d'étude puis à l'analyse de la composition des échantillons de départ (événements de précipitation de référence). On interprète alors l'évolution de ces échantillons en termes de flux de sédimentation de dépôts secs.

Enfin, par une expérience en milieu semi-contrôlé qui fait partie des travaux rapportés, on examine la possibilité de changement chimique de la neige de surface en relation avec le métamorphisme des flocons.

TABLEAU 1: Vitesses de sédimentation des dépôts secs sur un couvert de neige valeurs et méthodes utilisées

Auteurs	Matériel déposé	Vitesse de déposition cm s ⁻¹	Conditions	Méthode de mesure théorique (t) ou expérimentale (e)
Agnew <u>and al.</u> , 1982	SO ₂ SO ₄ NO ₂ NO ₃	.2 à 1. .5 à 1.5 0 à .2 0 à .2 .5 à 2.	Région: sèche humide sèche et humide sèche et humide sèche et humide	Estimation pour les régions canadiennes pendant la saison froide (t)
Dovland and Eliassen, (1977)	SO ₂	.54 .04	Atmosphère Stable	Méthode du gradient analyses successives (e)
Garland (1978)	SO ₂	.1 à .17	Glace	(t)
Granat et Johanssen (1983)	NO + NO ₂ SO ₂ SO ₂	< .03 < .01 très rapide	Chambre froide: T < 0°C T < -3°C neige fondue	Différence de concentration de l'air avant et après passage dans la chambre (e)
Husar <u>and al.</u> (1978)	SO ₂ SO ₂	.1 même comportement qu'avec l'eau	Neige sèche Neige humide	(t)
Ibrahim <u>and al.</u> (1983)	(NH ₄) ₂ SO ₄ 0 = .7 µm (NH ₄) ₂ SO ₄ 0 = 7 µm	.039 .096 .096 - .16	Atmosphère: stable instable instable	Expérience avec production de particules ³⁵ S radioisotope et comparaison avec des valeurs théoriques (e)
Masse and Voldner (1982)	SO ₂ SO ₄	< .4 .1	Neige	Utilisation du modèle Sheih amélioré, valeurs mensuelles (t)
Whelpdale and Shaw (1974)	SO ₂	.05 1.6 .52	Atmosphère: stable instable neutre	Méthode du gradient (e)

2. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

2.1 DESCRIPTION DU SITE

Le bassin du lac Laflamme (altitude 777 m - 884 m; 47°19'N - 71°07'O) est localisé dans la forêt Montmorency (parc des Laurentides, Québec) à 80 km au nord de la ville de Québec (figure 1). La région se caractérise par une zone forestière de sapinières à bouleau blanc sur une roche mère de gneiss charnokitique précambrien de la province de Grenville. La température moyenne annuelle est de 0.2°C (température minimale moyenne, janvier: -15°C; température maximale moyenne, juillet: 15°C). Les vents dominants soufflent dans la direction ouest-est et les précipitations annuelles moyennes enregistrées depuis 1966 sont environ de 1 400 mm dont 34% en neige (Plamondon, 1981).

Les stations de prélèvement (figure 2) ont été établies dans un terrain déboisé dans la partie ouest du bassin versant à côté de la station CAPMoN de collecte des précipitations. La superficie du champ est d'environ 200 x 200 m, il est légèrement en pente, exposé sud-ouest, entouré de conifères et sa couverture végétale est arbustive.

2.2 ÉCHANTILLONNAGE "IN SITU" ET MILIEU SEMI-CONTRÔLÉ

Cinq séries d'échantillonnage (périodes 1, 2, 3, 4, 5) ont été effectuées durant l'hiver 1983-1984 pour le compte du Service d'Environnement Atmosphérique (SEA) dans le but d'estimer les taux de dépôts secs, sur une surface de neige, sous des températures froides (pas de fonte

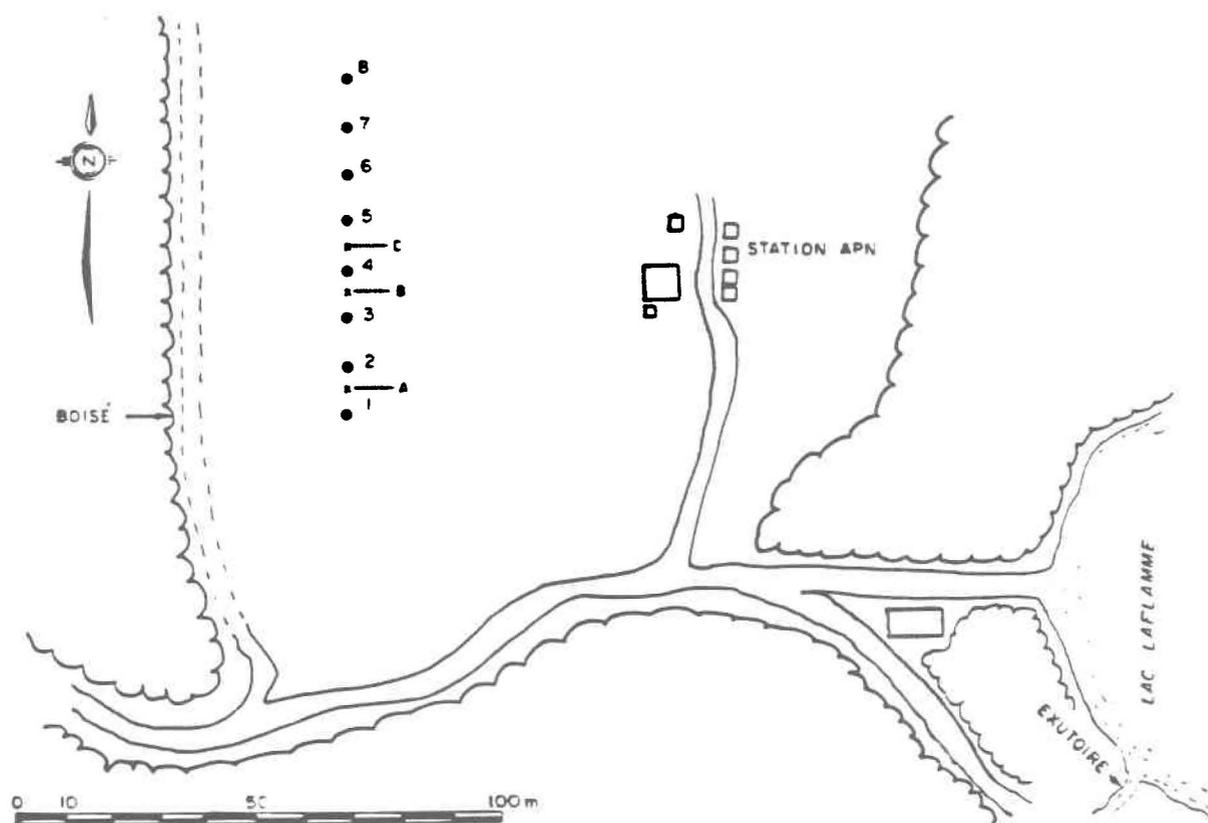


Figure 2. Stations de prélèvement de neige, lac Laflamme.

ni de pluie). On dénombre 210 échantillons qui se répartissent en 90 carottes intégrées sur la hauteur du banc de neige et 120 échantillons de surface. Les carottes intégrées n'ont pu donner lieu à aucun calcul de flux de dépôt sec, le contenu en polluants y étant trop important vis-à-vis de l'évolution temporelle des concentrations relatives aux dépôts atmosphériques.

Les nouvelles chutes de neige déposées soit sur le champ de neige vierge, soit sur les feuilles de plastique (polyéthylène 0.01 mm, 1 m²), la couche de neige de surface anciennement déposée sur le champ et les tranches verticales des couches intégrées de plusieurs chutes de neige ont été prélevées par la méthode de coupe sélective au moyen de palettes de "plexiglass" (26 cm x 26 cm) tel que décrit par Jones et al. (1984). Les échantillons de neige ont été conservés dans les sacs de plastique à -10°C jusqu'au moment de la fonte et de la filtration pour fins d'analyse.

Le début de l'expérience en milieu semi-contrôlé (période 3A) coïncide avec la période 3. Cette série s'étend sur 14 jours. On y a suivi à 2 stations d'échantillonnage l'évolution de la qualité de 5 strates de neige recouvertes d'une feuille plastique de façon à bloquer les apports atmosphériques directs (secs et humides) et d'une plaque de polystyrène destinée à éviter la fonte de la neige de surface exposée aux radiations solaires. Le but de cette expérience étant de suivre l'évolution physicochimique d'une chute de neige fraîche, on a échantillonné plus précisément la neige de surface, sujette à un métamorphisme plus intense; les strates inférieures servant alors de contrôle. Cette série a donné lieu

à 77 échantillons (échantillonnage tous les jours du 28.01 au 1.02 puis à des intervalles de 2 à 3 jours jusqu'au 13.02).

L'inventaire de ces données expérimentales et leur utilisation pour chaque période d'échantillonnage est indiqué au tableau 2. La première période s'est déroulée dans les conditions météorologiques les plus propices à l'utilisation de la méthodologie d'estimation des dépôts secs. Au cours des autres périodes, on note l'intervention de phénomènes parasites dans l'observation du phénomène de sédimentation (épisodes de neige, fonte). La troisième période qui ne compte qu'une seule journée d'échantillonnage de la neige de surface a été rejetée.

On dispose des relevés de la station météorologique de la Forêt Montmorency située à 1 km en ligne directe du site. D'une fréquence bi-journalière, ils comprennent les données suivantes:

- températures minimale et maximale;
- vitesse du vent (mesure intégrée sur une heure);
- nébulosité (mesure instantanée);
- quantités, heures de début et de fin des précipitations.

Une synthèse de ces données a été reportée sur la figure 3.

On utilise aussi les données qualitatives (précipitations et compositions atmosphériques journalières) recueillies à la station CAPMoN (annexes 1 et 2). Enfin, le SEA a fourni les valeurs des vitesses de sédimentation issues du modèle de Sheih pour les six classes de stabilité et

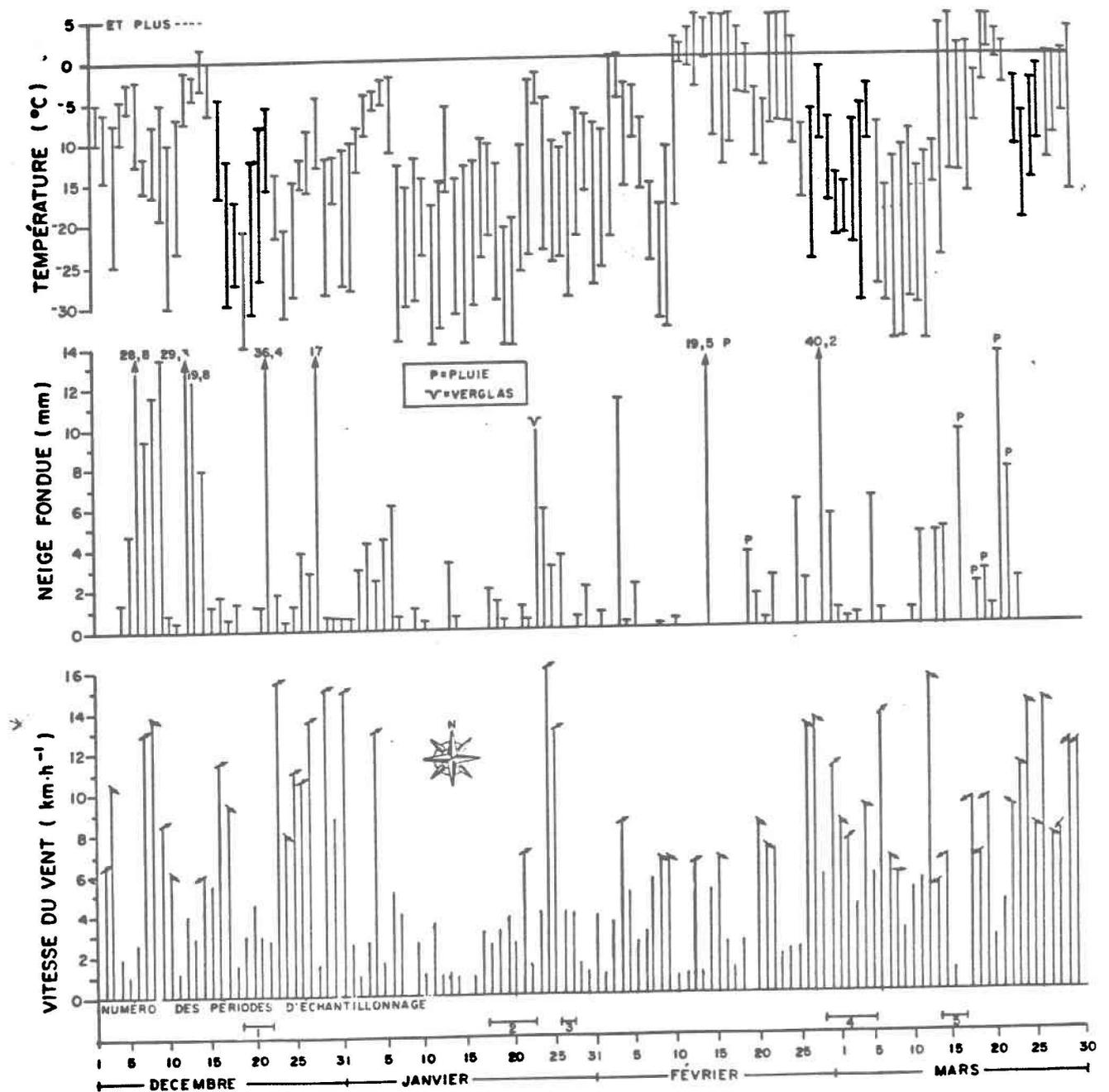


Figure 3. Synthèse des données météorologiques relevées à la station de la forêt Montmorency (vent et température) et à la station CAPMON (précipitations) de décembre 1983 à mars 1984 et direction du vent lorsque la vitesse dépasse 6 km h⁻¹.

TABLEAU 2. Campagne d'échantillonnage en vue de constituer la banque de données pour l'hiver 1983-1984, Forêt Montmorency

PÉRIODE	conditions météorologiques après la chute de neige initiale	utilisation des données	NOMBRE D'ÉCHANTILLONS	
			SURFACE	INTÉGRÉE
19 au 22 déc. (1)	ensoleillé venteux le 21 chute de neige le 22	- calcul de dépôt sec, comparaison avec le modèle de Sheih - bilan des dépôts secs et humides pour le 22	8 (x4)	8 (x2)
19 au 23 jan. (2)	petites chutes de neige intermittentes venteux le 22	- importance relative des deux types de dépôt d'après les données atmosphériques et de précipitations - influence de la redistribution par le vent sur la composition de la neige de surface	2 (x1) 6 (x4)	6 (x6)
27-28 janvier (3)	chute de neige le 28	- données inutilisables, expérience abandonnée	6 (x1)	6 (x2)
28 janvier au 13 fév. (3A)		- expérience en milieu semi-contrôlé	xxxx	77
29 fév. au 5 mars (4)	très venteux avec petites chutes de neige	- influence du vent sur la qualité de la composition d'une chute de neige	6 (x3) 4 (x3)	2 (x1) 5 (x1) 4 (x4)
14 au 16 mars (5)	neige le 15 fonte le 16	- influence de la fonte sur la composition de la neige	8 (x3)	0

les huit classes d'utilisation du sol (annexe 4), ainsi que les trajectoires des masses d'air pendant les 5 jours précédant leur passage au dessus du Lac Laflamme (fréquence journalière).

2.3 ANALYSES DE LABORATOIRE

Les échantillons ont été fondus dans des béchers en plastiques et le volume de liquide obtenu mesuré au moyen d'un cylindre gradué en plastique.

Toute la vaisselle en contact avec les échantillons a été trempée dans l'acide nitrique 15% (v/v) pendant 24 heures, rincée plusieurs fois à l'eau déminéralisée, retrempée pendant 24 heures dans l'eau déminéralisée et rincée à l'eau ultrapure. Les contenants servant à entreposer les sous-échantillons pour le dosage des anions ont été rincés à l'eau ultrapure seulement.

Tous les échantillons ont été filtrés sur un système en polycarbonate (Sartorius no SM16-510) avec un filtre en polycarbonate (Nucléopore) de 47 mm de diamètre et de 0.4 μm de porosité. Le filtre a été posé avec des pinces en plastique et préalablement rincées avec 50 ml d'eau ultrapure dont la conductivité a été inférieure à 1 $\mu\text{S/cm}$ (système Millipore Milli-Q3R0/Milli-Q2). Les anions, le pH et la conductivité ont été dosés le jour même de la fonte des échantillons tandis qu'un sous-échantillon, servant aux dosages des métaux, a été conservé à 4°C dans un contenant en polyéthylène, après avoir ajouté de l'acide nitrique (Aristar) pour obtenir une concentration finale de 0.5% v/v. Un deuxième sous-échantillon a été conservé avec H_2SO_4 (Aristar) à une concentration de 0.2% v/v et à 4°C pour

le dosage ultérieur de l'azote ammoniacal. Toutes les analyses ont été faites d'après les méthodes reconnues (EPA, 1979) et à l'intérieur des délais de conservation recommandés.

La mesure du pH a été faite à l'aide d'un pHmètre (Radiometer PHM26) et d'une électrode combinée et celle de la conductivité à 25°C avec un conductivimètre Radiometer. Les quatre anions (Cl^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^-) ont été dosés simultanément par le chromatographe ionique Dionex 12S. L'éluant utilisé consistait en un mélange de NaHCO_3 .0024M et de Na_2CO_3 .0030M. Le dosage des métaux (calcium, magnésium, sodium, potassium) se fait par spectrophotométrie à absorption atomique avec flamme (Varian, modèle 575). L'azote ammoniacal a été mesuré au moyen de l'analyseur automatique Technicon en utilisant une méthode colorimétrique. Le tableau 3 résume ces méthodes d'analyse, les unités de mesure et le seuil de détection pour chaque paramètre.

La précision des analyses par chromatographie ionique (NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) et par colorimétrie (NH_4^+) est de l'ordre de $0.2 \mu\text{eq l}^{-1}$. La mesure de la concentration en H^+ est beaucoup plus imprécise. Elle est obtenue indirectement par la détermination du pH connu à 0.01 unité près; à des pH de l'ordre de 4.0, on calcule une précision sur la mesure de H^+ d'environ 2-3 $\mu\text{eq l}^{-1}$. Il a été vérifié que les différences de concentration statistiquement significatives entre 2 moyennes journalière mises en évidence au paragraphe 3.4 de cette étude sont aussi significatives au regard de la précision des mesures au laboratoire.

TABLEAU 3. Méthodologie d'analyse physico-chimiques de la neige, lac Laflamme.

PARAMÈTRE	MÉTHODE	SEUIL DE DÉTECTION
chlorures	chromatographie ionique	0.1 mg Cl/L
sulfates	chromatographie ionique	0.1 mg SO ₄ /L
nitrites	chromatographie ionique	0.1 mg NO ₃ /L
calcium	absorption atomique	.01 mg Ca/L
magnésium	absorption atomique	.01 mg Na/L
potassium	absorption atomique	.01 mg K/L
azote ammoniacal	colorimétrie	.01 mg N/L

2.4 VALIDATION DES MESURES

Par un test positif sur les données pairées, on établit que la différence moyenne ($\Sigma\text{cations} - \Sigma\text{anions}$) n'est pas significativement différente de 0 au seuil $\alpha = 5\%$ sur l'ensemble des 120 échantillons de surface. Nous concluons donc à l'équilibre de la balance ionique pour la neige de surface. Par contre, le même test effectué sur les carottes intégrées met en évidence un déficit cationique significatif ($4.8 \mu\text{eq l}^{-1}$) sur 90 échantillons.

En ce qui concerne l'expérience en milieu semi-contrôlé, sur 77 échantillons, on a aussi déterminé un déficit cationique ($9.1 \mu\text{eq l}^{-1}$).

2.5 TRAITEMENT DES DONNÉES

En ce qui concerne l'estimation des taux de sédimentation de dépôt sec, on s'est intéressé plus spécifiquement au calcul de la sédimentation des ions majeurs, principaux responsables de l'acidité des dépôts.

2.5.1 Analyse statistique

Toutes les expériences se rapportant à l'étude de la composition chimique de la neige soulignent l'hétérogénéité des échantillons issus d'un même épisode de précipitation et par suite ceux recueillis au sein du couvert de neige. Dès lors, il est important d'avoir une approche statistique si l'on veut décrire la composition chimique de la neige au sol, et à fortiori si l'on veut étudier une évolution dans le temps.

Pour analyser la variabilité dans le temps de la composition chimique de la couverture de neige par comparaison des concentrations moyennes journalières en ions majeurs, on applique les méthodes d'analyse de variance. Pour ce faire, il convient d'en vérifier les hypothèses d'applicabilité.

- normalité des populations dont les séries journalières sont tirées: test W (Shapiro et Wilk, 1965);
- variances des populations sont égales (test de Bartlett);
- modèle additif. C'est-à-dire que l'on suppose que l'on peut écrire les données sous la forme:

$$X_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij} \quad (\text{élément } j \text{ de la série } i)$$

où μ : représente un effet global et est la moyenne pondérée des μ_i

α_i : représente un effet spécifique relatif à la série i ($\mu + \alpha_i = \mu_i$)

e_{ij} : est une variable aléatoire normalement distribuée

Intuitivement, le modèle est bien additif puisque les charges polluantes des différents dépôts s'accumulent dans le banc de neige.

En ce qui concerne l'indépendance des e_{ij} , le champ de neige présente des caractéristiques (topographie, ensoleillement) assez homogènes. Le choix des huit stations a été aléatoire. Par contre, il est possible que l'on ait introduit un biais systématique en prélevant les échantillons toujours aux mêmes stations, c'est-à-dire dans certaines zones bien définies. La question qui se pose alors est de savoir si deux mesures

prises dans un rayon de quelques dizaines de centimètres à 1-2 mètres sont indépendantes et distribuées aléatoirement autour de la moyenne journalière calculée sur le champ de neige. On ne dispose pas d'assez de données pour faire l'étude comparée des variabilités spatiales à l'échelle du champ de neige et à celle des stations. Toutefois, en calculant les coefficients de corrélation entre les séries journalières consécutives prises 2 à 2 en regroupant par paire les échantillons recueillis à une même station et en obtenant des coefficients de corrélation non significativement différents de 0 (absence de corrélation), on a considéré les e_{ij} de chaque série indépendants entre eux (ou faiblement liés). Ceci a été vérifié pour les périodes 1, 2 et 5. Toutefois, pour la période 4, en raison du fort degré d'hétérogénéité du couvert de neige causé par le vent, les e_{ij} ne sont pas distribués d'une façon aléatoire.

Les conditions préalables vérifiées, l'on teste l'hypothèse H_0 (égalité des moyennes journalières) à l'aide du test F. Lorsqu'on rejette H_0 , on peut raffiner l'analyse en comparant systématiquement toutes les paires possibles de moyennes journalières. Avec le système SPSS (Statistical Package for Social Sciences, Univ. de Chicago), on dispose de plusieurs procédures qui répartissent les séries en des groupes homogènes dans lesquels les différences dans les moyennes prises 2 à 2 ne sont pas significatives. Ces procédures se réfèrent à différents tests statistiques plus ou moins puissants. Comme nos séries journalières ont des tailles inégales, nous avons choisi le test de DUNCAN au seuil $\alpha = 5\%$ de signification.

2.5.2 Calcul des dépôts secs par la méthode des analyses successives

Par la méthode d'analyses successives, on veut déterminer l'apport journalier de particules atmosphériques sur une surface de référence S. Soit \bar{H} la hauteur moyenne de neige échantillonnée comprise entre la surface et la barrière physique (feuille plastique ou verglas), on obtient:

$$\bar{V} = S\bar{H} = \text{volume (moyenne des huit échantillons)}$$

Dans des conditions idéales, il n'y a pas de transport de matière autre que sous forme de dépôt sec, le volume échantillonné est constant d'un jour à l'autre et l'excès de particules se répartit de façon homogène dans la tranche de neige. On a alors:

$$DS_i = (\bar{C}_i - \bar{C}_{i-1})\bar{V} \quad (1)$$

où:

\bar{C}_i : concentration moyenne en polluant de la neige au jour i

DS_i : quantité de dépôt sec de ce polluant de la neige au jour i

En pratique, on constate que la hauteur et donc le volume de neige, moyens échantillonnés, ne sont pas constant entre deux jours successifs. Certains des facteurs responsables de ces variations sont le tassement de la neige, sa redistribution spatiale par le vent, et possiblement, dans certaines conditions, la sublimation d'une partie des cristaux de glace.

Si, pour une même surface d'échantillonnage on obtient les mêmes volumes de neige fondue, d'un jour sur l'autre, c'est que la différence des hauteurs (ou volumes) de neige s'explique en totalité par le phénomène de compaction. Dans le cas contraire, on suppose qu'il y a eu transport de matière (neige + particules acides), vraisemblablement dû au vent. Pour en tenir compte dans le bilan en matières polluantes, il faut émettre des hypothèses, en particulier sur la concentration en particules acides du volume de neige déplacée.

Hypothèse 1: distribution initiale homogène des polluants dans la strate de neige et répartition uniforme des apports par dépôts secs dans toute son épaisseur.

Hypothèse 2: a. la neige a été déplacée avant tout phénomène de dépôt sec et le bilan se fait exclusivement sur le volume final échantillonné (équation 2).

$$DS_i = (C_i - C_{i-1})V_i \quad (2)$$

Hypothèse 2: b. le volume de neige a été déplacé après enrichissement en polluants par dépôts secs. Le bilan s'effectue alors sur le volume initial (équation 3).

$$V_{i-1} (C_i - C_{i-1}) = DS_i \quad (3)$$

Ces deux hypothèses alternatives représentent des cas extrêmes. Une situation intermédiaire doit mieux représenter la réalité car l'intervention

des facteurs naturels (vent, dépôt sec, etc.) est progressive. En effectuant les deux bilans, on obtient une fourchette de valeurs comme estimation du flux de dépôt sec. (cf. 3.4.1)

2.5.3 Utilisation des résultats du modèle de Sheih pour la détermination des flux de dépôt sec

On dispose des vitesses de sédimentation théoriques (V_d), déterminées par le modèle de Sheih, pour SO_2 , SO_4 , NO_3 et HNO_3 pendant la saison hivernale (cf. annexe 4). Pour chaque espèce chimique, huit tables sont fournies. Les sept premières correspondent à un type donné d'utilisation des terres. La dernière donne la valeur moyenne de ces vitesses pondérées par les pourcentages d'utilisation de la terre dans un rayon de 100 km autour de la station. Comme le champ d'étude est relativement petit, il est probable que les forêts attenantes tendent à modifier les profils de concentration au-dessus de l'étendue de neige. Les arbres constituent en effet de véritables pièges pour les particules et les gaz atmosphériques. Comme le modèle de Sheih est très global, il est utilisé à des échelles de temps et d'espace plus grandes que celles de l'expérimentation. Il est difficile de dire si les vitesses de sédimentation déterminées pour la classe mixte d'utilisation du territoire sont plus proches des valeurs réelles que celles données pour la classe "champ d'herbe". Compte tenu aussi de la variété des taux de sédimentation sur la neige proposés dans la littérature, on a opté pour le choix des deux vitesses déterminées, obtenant ainsi une gamme de flux de dépôts secs en comparaison avec les résultats expérimentaux.

On a vu que le modèle de Sheih donne les valeurs de V_d pour NO_3^- , HNO_3 , SO_4^{2-} et SO_2 . Il convient donc dans un 1^{er} temps de déterminer quelles sont les formes d'association des ions dans l'atmosphère et par la suite, les vitesses de sédimentation à appliquer.

Dans l'atmosphère, pour le système HNO_3 , NH_3 , NH_4NO_3 , H_2SO_4 , NH_4^+ , SO_4^{2-} , on a les constantes d'équilibre suivantes (Stelson et al., 1983):

NH_4NO_3 (solide)	$\rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{HNO}_3$	3.03×10^{-17}
NH_4NO_3 (aq)	$\rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{HNO}_3$	2.71×10^{-18}
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (solide)	$\rightleftharpoons 2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$	2.33×10^{-58}
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (aq)	$\rightleftharpoons 2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$	2.62×10^{-38}

L'ion NH_4^+ est associé en priorité avec SO_4^{2-} sous forme solide ou liquide et on lui applique la vitesse de sédimentation de SO_4^{2-} . En présence d'un excès de NH_3 par rapport à la quantité disponible de SO_4^{2-} , on a formation de NH_4NO_3 solide ou liquide. On utilise alors pour ce produit la vitesse de sédimentation relative à NO_3^- . Si, au contraire, on a $|\text{SO}_4^{2-}| > |\text{NH}_4^+| + |\text{métaux}|$, l'ion NH_4^+ est en totalité associé avec SO_4^{2-} et l'ion NO_3^- existe surtout comme HNO_3 auquel correspond une V_d spécifique. Pour chaque espèce ionique, le flux de dépôt sec s'obtient alors par:

$$F = V_d \times \text{Cat}$$

Cat = concentration atmosphérique de l'espèce considérée

Remarques:

En l'absence de données précises sur la stabilité de l'atmosphère, on recommande d'opter pour la classe D (atmosphère neutre) du modèle. Enfin, la vitesse de vent journalière moyenne est calculée à partir des deux mesures hebdomadaires de la station Montmorency.

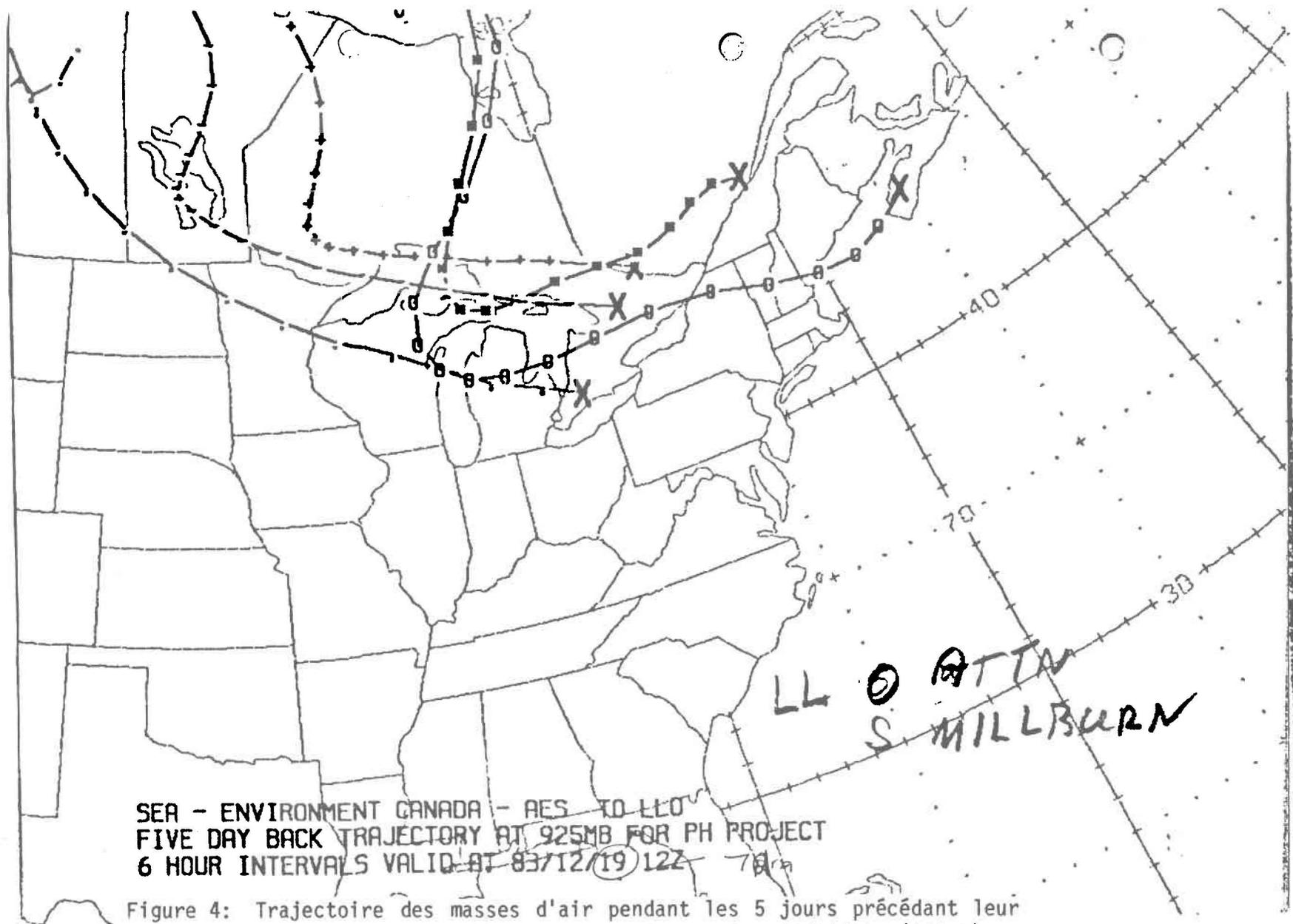
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 TRAJECTOIRE DES MASSES D'AIR - QUALITÉ DES PRÉCIPITATIONS

Par l'analyse conjointe des données de 5 journées d'échantillonnage et des trajectoires des masses d'air qui s'y rapportent, on peut décrire les conditions de dépôt des matériaux atmosphériques les plus couramment observées au Lac Laflamme.

Le 19 décembre 1983, début de la 1ere période d'échantillonnage (trajectoire du 83/12/19) les masses d'air arrivant au dessus de la forêt Montmorency proviennent du Nord après un passage rapide sur la région des grands lacs. Les concentrations atmosphériques relevées à la station CAPMoN pour cette journée sont relativement faibles: NO_3 ($.10 \mu\text{g m}^{-3}$) SO_4^{2-} ($.55 \mu\text{g m}^{-3}$) et NH^+ ($.05 \mu\text{g m}^{-3}$).

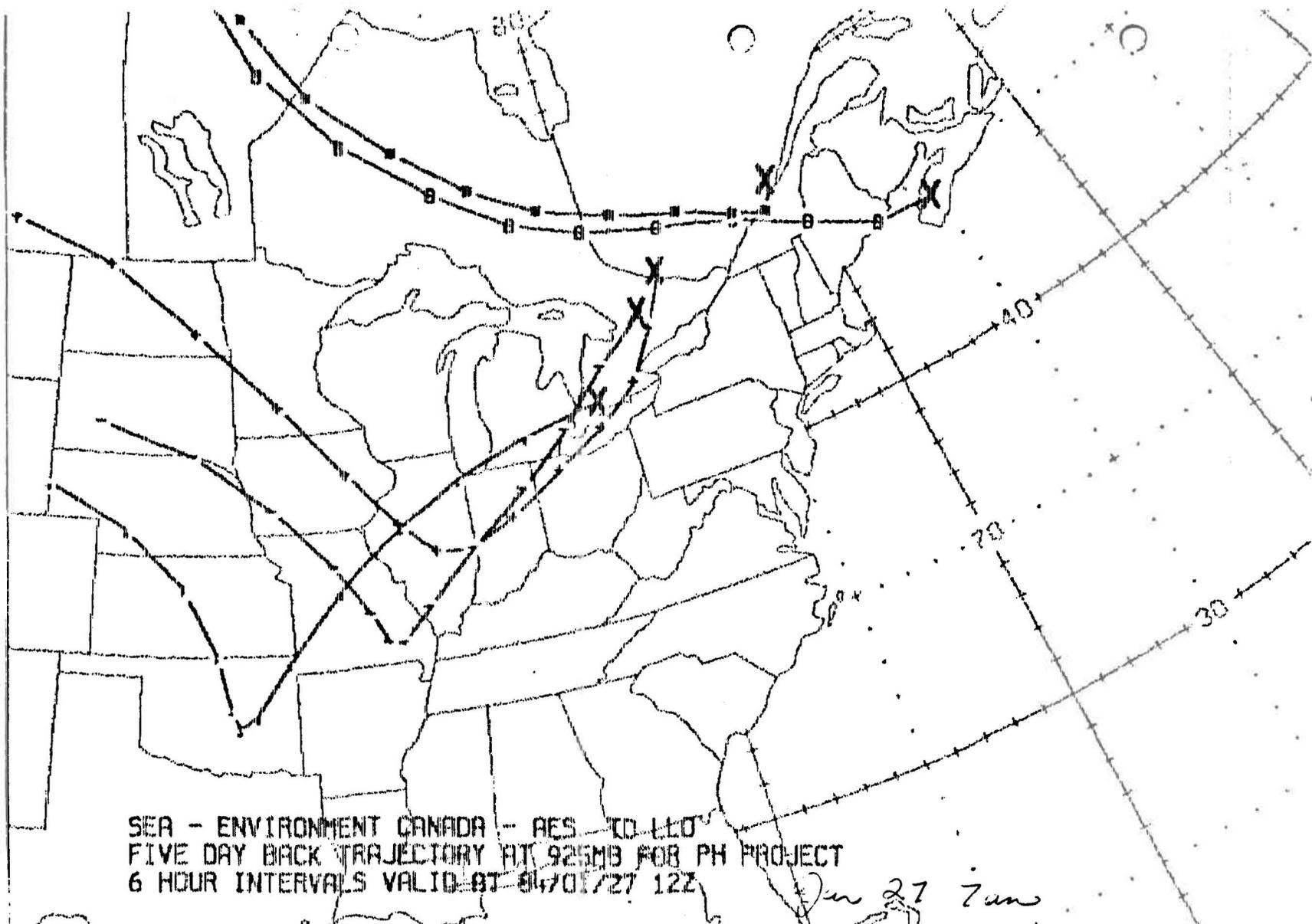
Au début de la 2e période d'échantillonnage, les masses d'air circulant au-dessus du Lac Laflamme proviennent directement des Grands Lacs et des États-Unis (trajectoire du 19.01.84). L'analyse de la neige tombée et recueillie le jour même révèle un pH = 3.8 très acide, des très forts taux de NO_3^- ($131 \mu\text{eq l}^{-1}$) et des concentrations moyennes de SO_4^{2-} ($10 \mu\text{eq l}^{-1}$) et de NH_4^+ ($2 \mu\text{eq l}^{-1}$) si l'on considère les concentrations généralement obtenues au Lac Laflamme. Cette forte acidité est liée à l'activité industrielle intense aux USA et dans la région des Grands Lacs. En revanche les 27 et 28 janvier (période 3), les masses d'air survolant la forêt Montmorency sont en provenance de l'ouest canadien (trajectoire du 27/01/84)



SEA - ENVIRONMENT CANADA - AES TO LLO
 FIVE DAY BACK TRAJECTORY AT 925MB FOR PH PROJECT
 6 HOUR INTERVALS VALID AT 83/12/19 12Z

LL @ ATTN
 S. MILLBURN

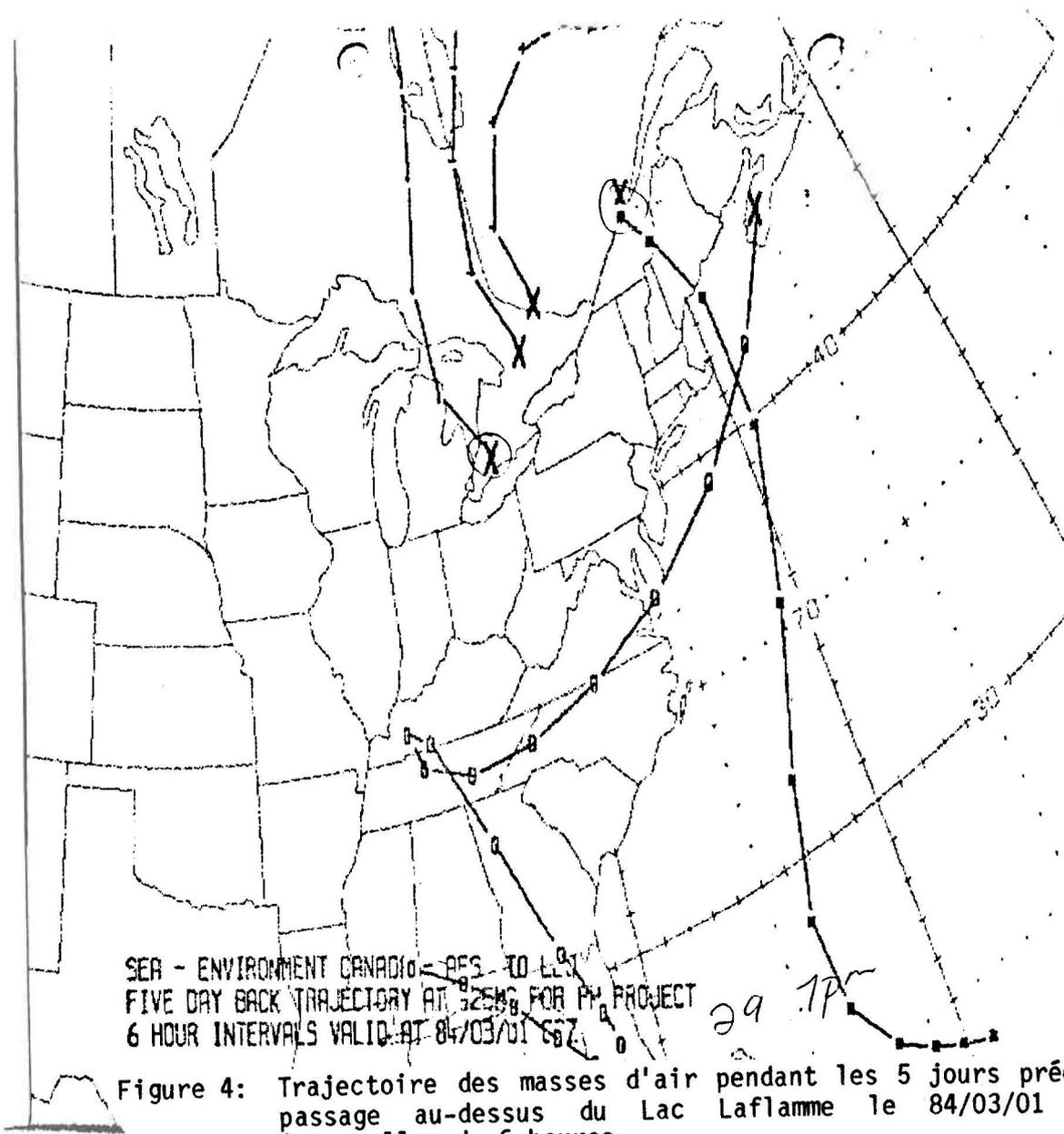
Figure 4: Trajectoire des masses d'air pendant les 5 jours précédant leur passage au-dessus du Lac Laflamme le 83/12/19 (925MB) - intervalles de 6 heures



SEA - ENVIRONMENT CANADA - RES. CO. LTD.
 FIVE DAY BACK TRAJECTORY AT 925MB FOR PH PROJECT
 6 HOUR INTERVALS VALID AT 84/01/27 12Z

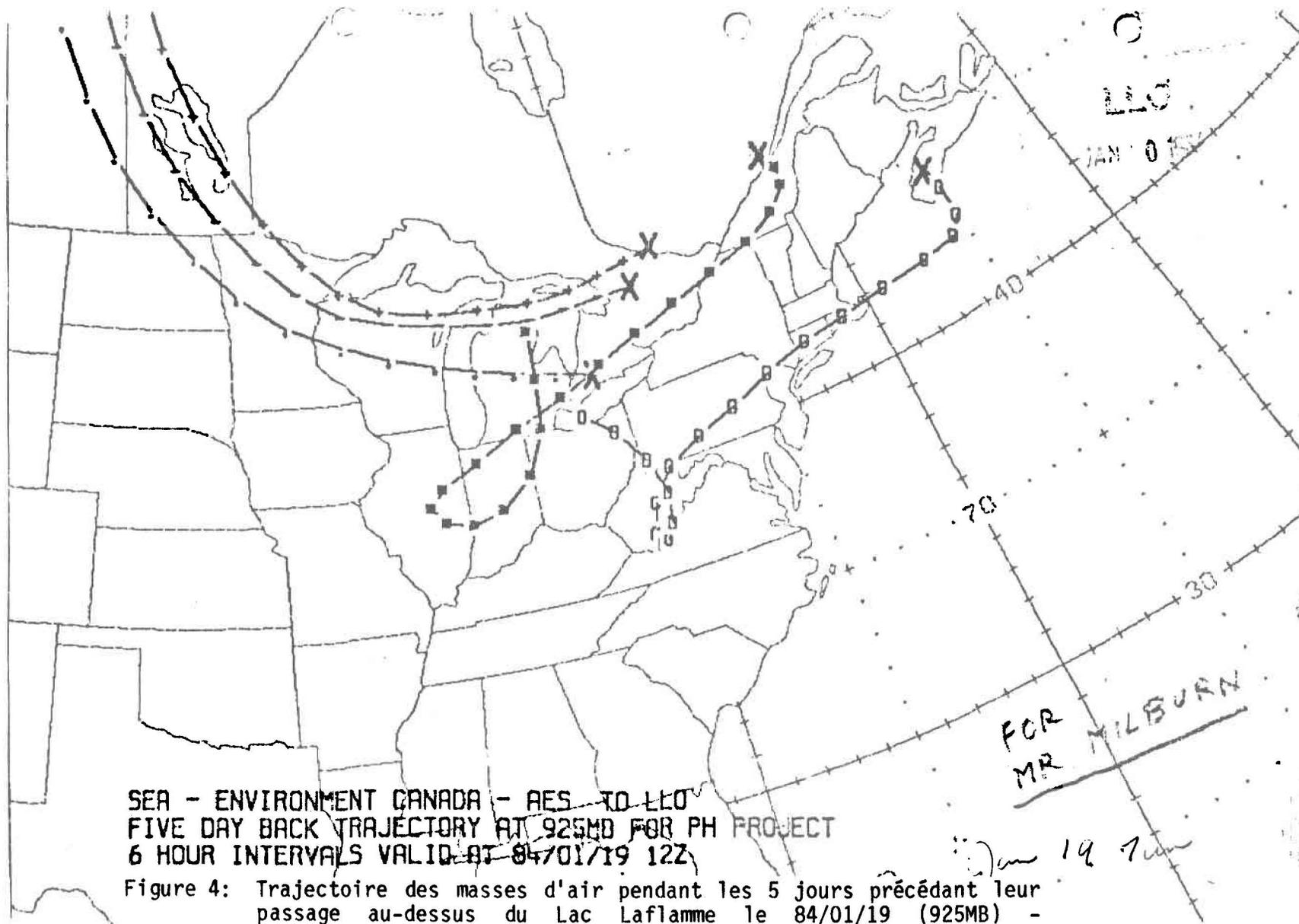
Jan 27 7am

Figure 4: Trajectoire des masses d'air pendant les 5 jours précédant leur passage au-dessus du Lac Laflamme le 84/01/27 (925MB) - intervalles de 6 heures



SEA - ENVIRONMENT CANADA - RES TO LES
 FIVE DAY BACK TRAJECTORY AT 525MB FOR PM PROJECT
 6 HOUR INTERVALS VALID AT 84/03/01 06Z

Figure 4: Trajectoire des masses d'air pendant les 5 jours précédant leur passage au-dessus du Lac Laflamme le 84/03/01 (925MB) - intervalles de 6 heures



SEA - ENVIRONMENT CANADA - RES TO LEO
 FIVE DAY BACK TRAJECTORY AT 925MB FOR PH PROJECT
 6 HOUR INTERVALS VALID AT 84/01/19 12Z

Figure 4: Trajectoire des masses d'air pendant les 5 jours précédant leur passage au-dessus du Lac Laflamme le 84/01/19 (925MB) - intervalles de 6 heures

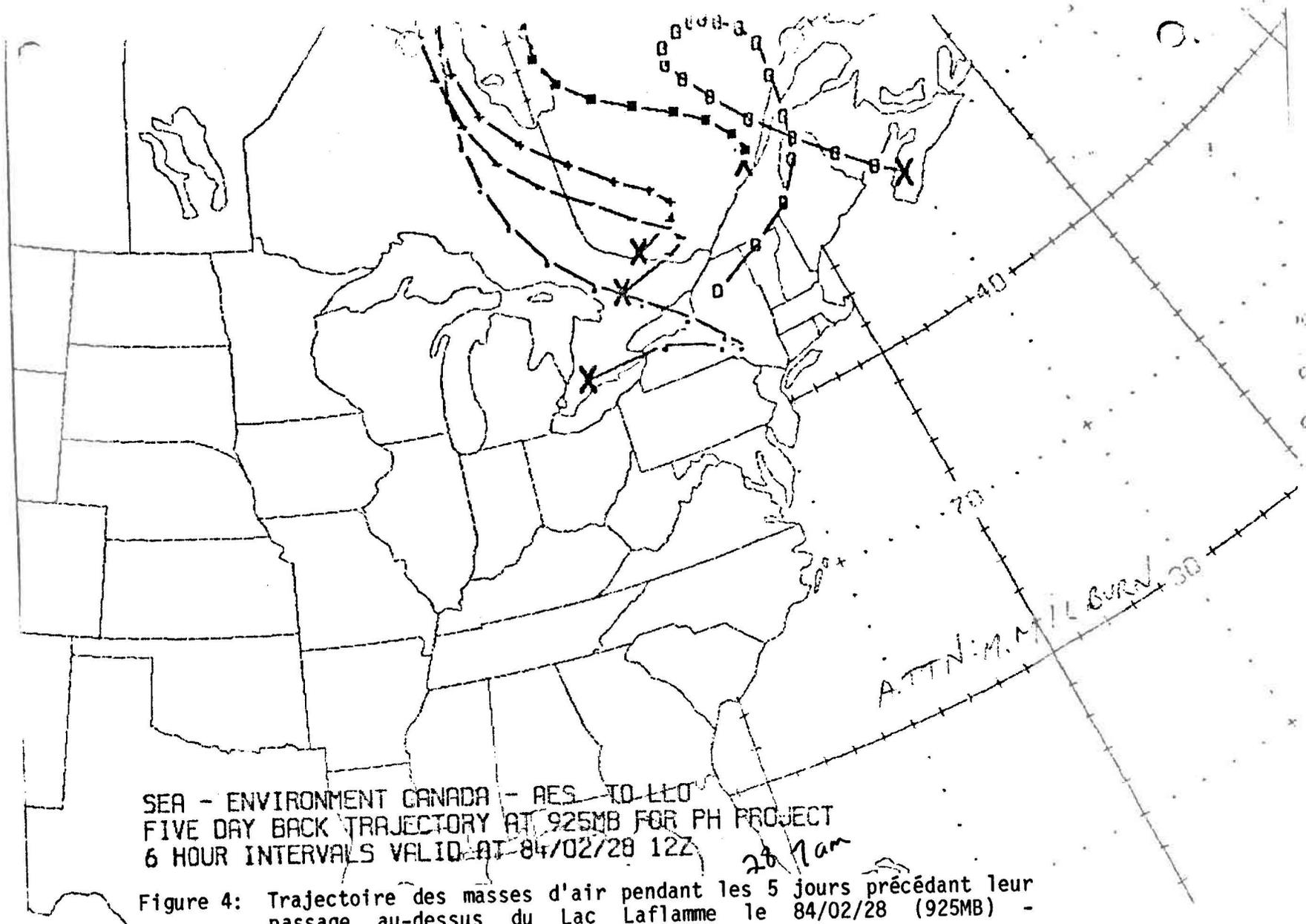


Figure 4: Trajectoire des masses d'air pendant les 5 jours précédant leur passage au-dessus du Lac Laflamme le 84/02/28 (925MB) - intervalles de 6 heures

et les taux de NO_3^- ($60 \mu\text{eq l}^{-1}$) obtenus dans nos échantillons sont moyens alors que l'on observe des concentrations relativement élevées de SO_4^{2-} ($17 \mu\text{eq l}^{-1}$) et de NH_4^+ ($9 \mu\text{eq l}^{-1}$)

Au début de la 4^e période, les masses d'air issues du Nord (trajectoire du 28.02.84) sont pauvrement chargées en polluants (concentration de NO_3^- : $6.3 \mu\text{eq l}^{-1}$, SO_4^{2-} : $10.9 \mu\text{eq l}^{-1}$).

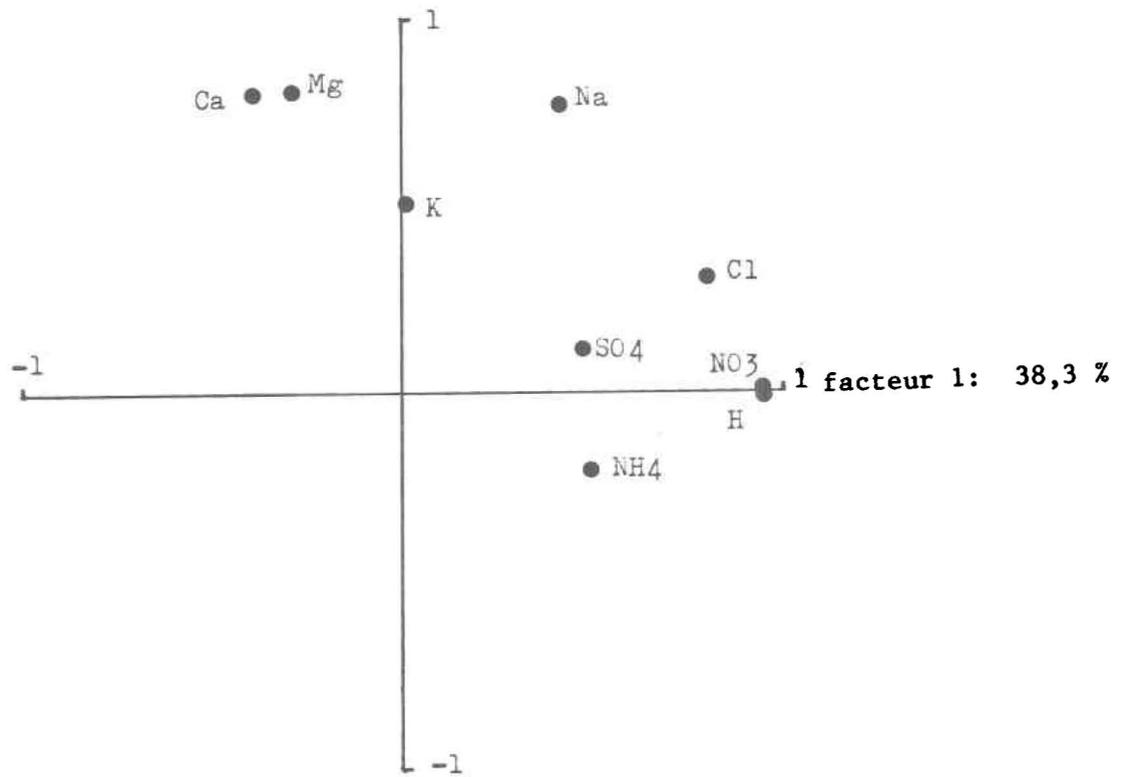
Enfin, le 1^{er} mars 1984, il semble que l'on puisse attribuer, au moins en partie, l'augmentation des concentrations atmosphériques de Na^+ et surtout Cl^- (annexe 1) à l'origine marine des masses d'air (trajectoire du 01/03/84). Le site d'échantillonnage étant situé à 3 km de la transcanadienne et dans la direction du vent dominant, ces concentrations élevées peuvent aussi s'expliquer par une remise en suspension de sel de route (temps sec et venteux).

3.2 DESCRIPTION STATISTIQUE DES DONNÉES DE PRÉCIPITATION

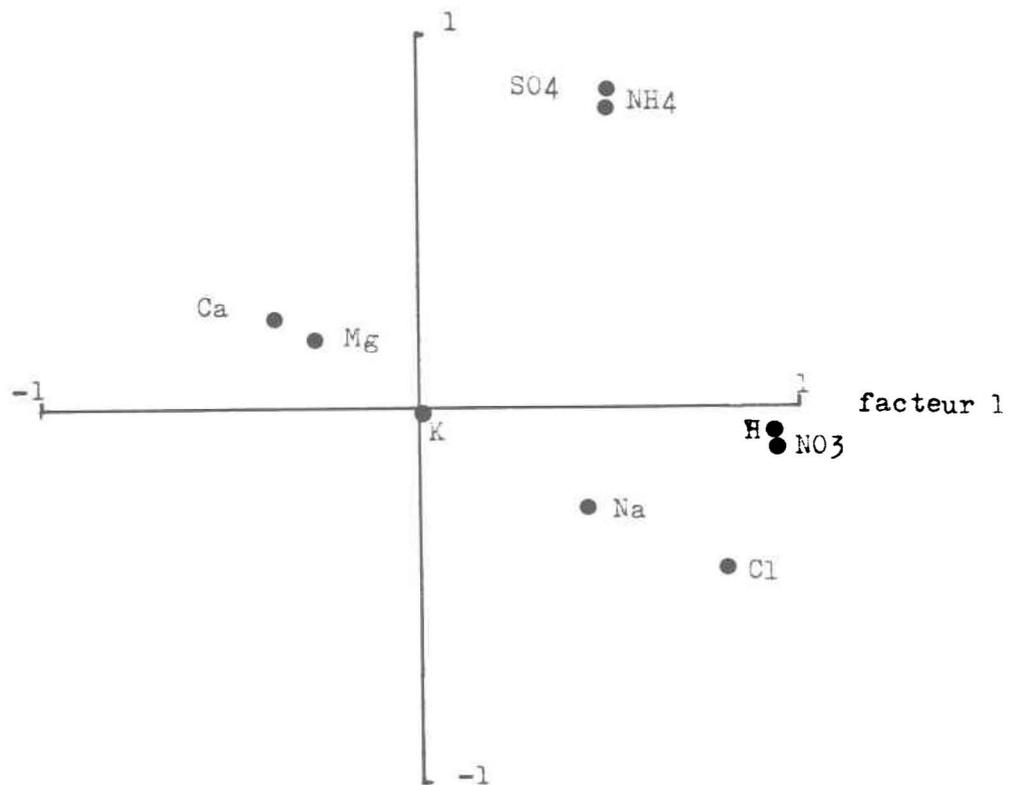
L'on connaît la nature hétérogène physique et chimique des précipitations (neige ou pluie) dans l'espace (Vet et Wright, 1982) et aussi dans le temps (lessivage progressif de l'atmosphère, Huebert et al., 1982). Sur le terrain, on a recueilli des séries journalières de 4 à 8 échantillons de neige fraîchement tombée. L'analyse de ces distributions permet d'avoir une connaissance plus précise de la qualité de la neige au sol et de sa variation à l'échelle du champs. Les éléments analysés peuvent être séparés en 2 classes.

D'une part les ions majeurs (H^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+) dont les distributions journalières sont relativement homogènes (coefficients de variation de l'ordre de 10%) à condition que le dépôt de la neige se soit effectué en présence d'un vent modéré ou nul. L'on verra que si le dépôt a lieu en présence d'un vent fort les séries sont beaucoup plus hétérogènes (cf. paragraphe 3.6). Cette homogénéité des concentrations s'explique par l'éloignement des sources de pollution (Jones et Sochanska, 1985). Il s'agit d'aérosols de petite taille dont le temps de dépôt est très long. Le test W de Shapiro et Wilk démontre que, si la méthodologie d'analyse est bien respectée (isolement des précipitations sur un support matériel soit une feuille de plastique soit une lentille de glace), les ions majeurs sont distribués d'une façon normale (seuil $\alpha = 1$ ou 5%).

À l'opposé on regroupe les éléments dont les distributions sont plus hétérogènes (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^-) et pour lesquels les coefficients de variation sont généralement compris entre 20 et 100%. Il s'agit d'aérosols de grande taille, de poussières d'origine locale, comme par exemple l'ion K^+ principalement issu de débris végétaux. Le dépôt de ces polluants est très influencé par la microgéographie du site et la turbulence locale (proximité d'un arbre, d'une forêt, d'une route: épandage de NaCl, exposition au vent...) ce qui explique la plus grande hétérogénéité des séries. Par suite, il est difficile d'effectuer un suivi de la concentration de ces ions par la méthode d'analyses successives, les moyennes journalières calculées étant peu précises. D'autant plus que dans un nombre relativement important de cas, le test W met en évidence la non normalité des distributions (principalement en ce qui concerne les ions Ca^{2+} et Mg^{2+}).



facteur 3: 19,5%



Figuré 5: Analyse en composantes principales
Neige de surface. Lac Laflamme. Hiver 1983-1984
% de variance expliqué par les 3 premières composantes

Cette séparation des éléments en 2 groupes, basée sur l'examen des coefficients de variation des séries journalières peut être raffinée par une analyse en composantes principales qui permet d'observer la similarité de comportement de certains ions.

Sauf dans le cas de K^+ , l'introduction de 3 composantes principales suffit à expliquer la majeure partie de la variance des ions. Sur la figure 5, les ions H^+ et NO_3^- démontrent une similitude quasiment parfaite de comportement, ce qui confirme l'association de ces ions dans les précipitations. On observe d'une façon un peu moins nette le même résultat pour les ions NH_4^+ et SO_4^{2-} .

Les cations Ca^{2+} et Mg^{2+} , tous deux d'origine terrestre ont aussi un motif identique de dépôt. Les ions Na^+ et Cl^- semblent avoir des positions intermédiaires entre les ions majeurs et les 2 cations précédents. Ceci peut s'expliquer par une plus grande diversité des sources de pollution de ces ions (source lointaine = origine marine, source plus proche = sel de route).

Enfin, on a déjà noté le cas de l'ion K^+ , d'origine végétale et qui se différencie par un comportement très particulier (variance expliquée par la composante 2 exclusivement).

3.3 REPRÉSENTATIVÉ DES ANALYSES DE PRÉCIPITATION CAPMoN

Pour les mois de décembre 1983 à mars 1984, on dispose à la fois des analyses de précipitation de la station CAPMoN et des échantillons récoltés

au sol. A plusieurs reprises nous avons constaté que les deux sources d'information ne correspondent pas en ce qui concerne les concentrations ioniques alors qu'il s'agit de la même neige.

Si on examine par exemple la neige précipitée le 19.01 (tableau 4) on observe que seuls les pH sont similaires, et le pH est la seule mesure prise directement sur le terrain par le SEA. De plus, le calcul de la balance ionique pour les analyses du SEA met en évidence un déficit anionique de 77 $\mu\text{eq l}^{-1}$ et 75 $\mu\text{eq l}^{-1}$ respectivement pour les deux journées, alors que les échantillons de neige recueillis sur le plastique sont bien équilibrés.

Cette différence relève du fait que les échantillons prélevés par le SEA sont entreposés à +4,0°C pendant 15 jours au maximum sans conservation.

Dans le cadre de cette étude il a été ainsi décidé de travailler uniquement à partir des échantillons de neige fraîche au sol, en laissant de côté les données CAPMoN peu fiables.

3.4 ANALYSE DE LA PREMIÈRE PÉRIODE

Dans les sections 3.1 à 3.3 on a décrit globalement les échantillons de précipitation (neige fraîche) qui servent de données de base dans la méthodologie de mesure des taux de sédimentation de dépôt sec par des analyses de la neige de surface. L'application de cette méthodologie est à présent discutée pour chacune des périodes d'échantillonnage.

TABLEAU 4. Comparaison de la qualité de la neige recueillie simultanément dans le collecteur standard à la station CAPMoN et au sol sur le plastique les 19 et 20 janvier 1984, forêt Montmorency.

DATE		Hauteur cm	pH	SO_4^{2-} (mg l ⁻¹)	NO_3^- (mg l ⁻¹)	NH_4^+ (mg l ⁻¹)
18-01 → 19-01	collecteur standard plastique	0.18* 3.0	4.0 3.97	0.8 0.43	1.63 6.21	0.055 0.07
19-01 → 20-01	collecteur standard plastique	0.12* 2.0	3.9 4.08	1.4 0.53	1.75 5.39	0.11 0.028

* équivalence en eau

Pendant la première période, on observe à la station CAPMoN des concentrations atmosphériques de polluants relativement faibles (cf. annexe 1). Les températures relevées sont très basses, en particulier au début de la période. Le tableau 5 présente les conditions expérimentales de cette période

La chute de neige du 22 décembre limite à deux jours la durée de l'expérimentation de la méthodologie. Pour la journée du 22 décembre, dans un second temps on précise l'importance relative des dépôts secs et humides sur la composition de la neige au sol.

3.4.1 Estimation du flux de sédimentation de dépôts secs entre les 19 et 21 décembre

Les résultats de l'analyse de variance ont permis de constater, d'une part, la normalité des distributions journalières des quatre ions majeurs pendant la forte période et, d'autre part, l'homogénéité des variances du 19 au 21 décembre (au seuil 5% pour $\text{SO}_4^{=}$ et NH_4^+ et 1% pour NO_3^- et H^+). Le tableau 6 reproduit les différences significatives mises en évidence entre les concentrations moyennes des 19, 20 et 21 décembre.

Considérant la surface d'échantillonnage ($S = 0.27 \text{ m}^2$) et sous l'une ou l'autre des hypothèses alternatives (équations 2 et 3), on a calculé deux flux de dépôts secs. Les deux hypothèses conduisent à des résultats très proches (pour $\text{SO}_4^{=}$, par exemple, la différence entre les deux flux est de $2 \mu\text{eq m}^{-2}\text{j}^{-1}$). Le tableau 7 nous présente une valeur moyenne de ces deux flux (flux "mesuré").

TABLEAU 5. Conditions expérimentales de la lère période (19-22 décembre 1983), forêt Montmorency

DATES	ÉCHANTILLONNAGE	CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET REMARQUES
14-15 déc.	-	pluie verglaçante → base d'échantillonnage (= verglas)
16-19 déc.	-	petits événements de neige qui s'accumulent au sol
19 déc.	N = 8	température maximale = -17°C; masse d'air en provenance du nord avec passage au-dessus des Grands-Lacs; distribution homogène des hauteurs de neige.
20 déc.	N = 8	un peu de vent; masses d'air en provenance de l'ouest; température maximale = -21°C
21 déc.	N = 7* + 1**	vent d'ouest pendant la nuit → redistribution de la neige au sol; température maximale = -12°C
22 déc.	N = 7 + 1***	nouvelle chute de neige environ 2,0 cm

* à la station 7, la plaque de verglas a été mise à nu par le vent, pas d'échantillonnage

** échantillon de neige redistribuée recueilli dans les empreintes d'une coupe des 19 et 20 décembre

*** échantillon de nouvelle neige à la station 7 au-dessus de la plaque de verglas

TABLEAU 6. Différences moyennes statistiquement significatives (exprimées en $\mu\text{eq l}^{-1}$) pour la période 1.

Δt	ΔNO_3^-	ΔH^+	ΔSO_4^{2-}	ΔNH_4^+	ΔMg^{2+}	ΔCl^-
19 - 20 déc.		9.4		-1.2		
20 - 21 déc.	14.0	12.8	4.7	2.1	0.1	0.56
19 - 21 déc.	17.0	22.1	3.1		0.05	1.12

TABLEAU 7. Comparaison des flux de dépôts secs mesurés et donnés par le modèle de Sheih (exprimées en $\mu\text{eq m}^{-2} \text{j}^{-1}$) pour la période 1.

	NO_3^-	NO_3^- (Sheih)		$\text{SO}_4^{=}$	$\text{SO}_4^{=}$ (Sheih)		SO_2 (Sheih)		NH_4^+	NH_4^+ (Sheih)	
	mesuré	classe mixte	champ	mesuré	classe mixte	champ	classe mixte	champ	mesuré	classe mixte	champ
19 - 20 déc.		1.4	0.18		2.9	0.43	7.9	7.9	-6.1	0.5	0.07
20 - 21 déc.	63.8	0.9	0.12	21.6	1.1	0.16	BDL	BDL	9.7	1.0	0.15
19 - 21 déc.	39.5	1.1	0.14	7.2	2.0	0.30	4.0	4.0		0.7	0.10

D'autre part, pour une vitesse moyenne du vent de 4.5 km h^{-1} , le modèle de Sheih donne (du 19 au 21 déc., saison hivernale), les vitesses de sédimentation indiquées au tableau 8. Sauf pour SO_2 , on voit que les vitesses de sédimentation sont très différentes si l'on considère l'une ou l'autre des classes d'utilisation du territoire.

Le bilan ionique atmosphérique révèle un excès de $\text{SO}_4^=$ par rapport à la somme $[\text{NH}_4^+ + \text{métaux}]$. On considère donc que le nitrate présent dans l'air était sous la forme HNO_3 et on lui applique la vitesse de sédimentation théorique correspondante. L'ion NH_4^+ est déposé à la même vitesse que $\text{SO}_4^=$ auquel il est associé. Dans le tableau 7, on a aussi reporté les flux calculés à partir de ces vitesses de sédimentation théoriques ("classe mixte"). L'importance du SO_2 dans le modèle de Sheih est à souligner: il représente 66% ou 93% du soufre atmosphérique total déposé pour l'une ou l'autre des vitesses de sédimentation considérées.

Si l'on compare les résultats de ces deux méthodes, on constate, dans le cas de NO_3^- , que le flux mesuré est d'un ou de deux ordres de grandeur supérieur au flux issu de la modélisation suivant la classe d'utilisation du territoire choisie. On peut rapprocher ce résultat de ceux obtenus par Johannes et Alwicker (1982) qui ont comparé des flux hebdomadaires, mensuels ou saisonniers de NO_3^- et $\text{SO}_4^=$ mesurés à l'aide de collecteurs de dépôts secs avec des flux calculés en utilisant les concentrations atmosphériques et des vitesses de sédimentation généralement acceptées (soit respectivement $V_d = 0.1 \text{ cm s}^{-1}$ pour $\text{SO}_4^=$ et $V_d = 1 \text{ cm s}^{-1}$ pour NO_3^-). Dans tous les cas, les

TABLEAU 8. Vitesse de sédimentation (cm s^{-1}) donnée par le modèle de Sheih entre le 19 et le 21 décembre 1983.

UTILISATION DU TERRITOIRE	NO_3^-	HNO_3	SO_4^{2-}	SO_2
mixte	0.47	1.0	0.27	0.07
champ	0.06	0.13	0.04	0.07

valeurs mesurées excèdent les valeurs calculées. Le rapport flux mesuré/flux calculé varie entre 1.6 et 37.2, les plus grosses valeurs étant observées en hiver. Les auteurs proposent plusieurs explications dont certaines semblent pouvoir être aussi valables dans le cas des dépôts secs sur la neige:

- apports de matériaux atmosphériques lors d'un épisode de poudrerie, de gelée blanche, de brouillard ou de brume;
- dépôt gazeux de NO_x ; Johannes et Alwicker (1982) pensent qu'une quantité importante du flux observé de NO_3^- est d'origine gazeuse.

Toutefois, les données atmosphériques du SEA pour le site du Lac Laflamme n'incluent pas les concentrations de NO_2 et NO_x . Or Huébert et al. (1982) ont observé des concentrations atmosphériques de NO_x d'un ordre de grandeur supérieur à la somme $|\text{HNO}_3| + |\text{NO}_3^-|$ en hiver dans les montagnes du Colorado. Ceci souligne l'importance que peut avoir la sédimentation de NO_x gazeux sur la valeur des flux apparents de NO_3^- , s'il y a oxydation de NO_x déposé en NO_3^- dans la matrice de neige. Dans l'atmosphère, Agnew et al. (1982) considèrent un taux d'oxydation de NO_2 en NO_3 de $4\% \text{ hr}^{-1}$, quelle que soit l'humidité ambiante. Contrairement à NO_3 et HNO_3 , il existe peu d'estimation des vitesses de sédimentation sur la neige pour NO_x . Tout de même, Agnew et al. (1982) proposent une valeur de 0.2 cm s^{-1} pour NO_2 , ce qui rendrait significatif le taux de dépôt gazeux si les concentrations atmosphériques de NO_x sont aussi élevées que celles rapportées par Huébert et al. (1982).

Pour $\text{SO}_4^=$, le bilan entre le 19 et le 21 décembre donne un flux mesuré supérieur à celui du modèle de Sheih, si l'on ne tient pas compte du dépôt gazeux de SO_2 . Or, le flux de sédimentation de SO_2 calculé par la modélisation est très important. Si SO_2 est oxydé en $\text{SO}_4^=$ dans la neige, à une vitesse suffisamment rapide, le flux apparent mesuré de $\text{SO}_4^=$ équivaut à la somme du flux de $\text{SO}_4^=$ particulaire et du flux de SO_2 gazeux. La somme de ces deux flux calculés par Sheih est très proche du flux mesuré de $\text{SO}_4^=$ ($7.2 \mu\text{eqn}^{-2}\text{j}^{-2}$) par analyses successives. Dans l'atmosphère sèche et humide, Agnew et al. (1982) proposent des gammes de taux d'oxydation de SO_2 en $\text{SO}_4^=$ de 0.2 à $0.5\% \text{ h}^{-1}$ et 2 à $10\% \text{ h}^{-1}$ respectivement. Mais l'on ne connaît pas la vitesse d'oxydation sur la surface de la neige. Il est probable qu'elle dépend de l'humidité et de la température, peut-être aussi de l'ensoleillement (possibilité d'oxydation par l'ozone; Palmer et al., 1975). On remarque que la concentration atmosphérique de SO_2 est de $4.2 \mu\text{g m}^{-3}$ entre le 19 et le 20 décembre et est en-dessous de la limite de détection entre le 20 et le 21. Pourtant, la différence entre les concentrations moyennes de $\text{SO}_4^=$ des deux premiers jours n'est pas significative alors qu'elle l'est entre le 20 et le 21. Dans l'hypothèse d'une oxydation de SO_2 en $\text{SO}_4^=$ au taux de quelques $\% \text{ h}^{-1}$, on comprend que la mise en évidence d'une augmentation significative de la concentration de $\text{SO}_4^=$ dans la neige peut s'effectuer sur deux jours, particulièrement si le SO_2 gazeux constitue la source majeure de soufre atmosphérique déposé par temps sec. Enfin, la température très basse des 19 et des 20 décembre a pu provoquer un ralentissement des taux d'oxydation. En accord avec ces résultats, les études récentes de Pierson et al. (1985) sur l'acidité de la rosée ont démontré que le SO_2 constitue la plus grande partie du S déposé par temps sec et que son oxydation en SO_4^{2-} au sein des gouttes de rosée

n'est pas complète à la fin de la nuit (c'est-à-dire à l'échelle de quelques heures).

Dans le cas de NH_4^+ , l'on constate que l'apport théorique de NH_4^+ ($\approx 10^{-5} \mu\text{eq m}^{-2} \text{s}^{-1}$, soit $\approx 0.2 \mu\text{eq l}^{-1} \text{j}^{-1}$) pour une hauteur de neige de 5 cm environ n'est pas significatif au regard de la plage de variation des observations: l'écart type des distributions journalières des concentrations de NH_4^+ est de l'ordre du $\mu\text{eq l}^{-1}$). Un tel apport n'est pas mesurable par la méthode d'analyses successives avec une taille d'échantillon de l'ordre de 8. Pourtant, entre le 19 et le 20 décembre, on mesure une perte apparente significative de l'ion NH_4^+ et entre le 20 et le 21 décembre, un flux positif du même ordre de grandeur. Présentement, il n'est pas proposé d'explication de ce phénomène. Il n'existe pas de littérature qui traite de la dynamique de NH_4^+ dans la neige.

3.4.2 Bilan du dépôt sec et du dépôt humide le 22 décembre

Le 22 décembre, à 7h du matin, la première période d'expérimentation a été interrompue par une chute de neige sur une hauteur moyenne d'environ 1.8 cm. Avant la précipitation, il y a pu avoir sédimentation de dépôts secs. À la station 7, le 21 décembre, le vent avait balayé toute la neige et mis à nu la plaque de verglas. La composition chimique de l'échantillon recueilli le 22 décembre reflète donc celle de la neige fraîchement déposée. On a calculé la concentration résultant de l'accumulation de 1.81 cm de nouvelle neige sur l'ancienne surface par un bilan volumique et comparé le résultat avec la composition chimique de la neige recueillie le 22 décembre.

Le bilan s'écrit:

$$C_{\text{cal}} * \bar{V}_f = \bar{C}_i \bar{V}_i + cv \frac{\bar{H}}{h} \quad (4)$$

où:

- c, v, h = concentration, volume et hauteur respectivement de l'échantillon de nouvelle neige,
- \bar{H} = hauteur moyenne de nouvelle neige,
- \bar{V}_f = volume final de neige (le 22 décembre)
- $\bar{C}_i \bar{V}_i$ = concentration et volume initiaux (21 décembre)

Le tableau 9 reproduit les résultats du bilan.

Bien qu'il n'ait pas été tenu compte de l'apport des dépôts secs dans notre bilan, les valeurs estimées sont supérieures ou égales à celles observées dans le cas de SO_4 pour lequel la différence entre valeur mesurée et valeur calculée = $0.8 \mu\text{eq l}^{-1}$ n'est pas statistiquement significative.

Le calcul d'un taux de sédimentation de dépôts secs est donc impossible. L'observation de ce phénomène de sédimentation des dépôts secs a donc été masquée par les 2 cm de nouvelle neige. La méthodologie par analyses successives est inadaptée dans de telles conditions.

En conclusion, les résultats de la 1ere période démontrent des changements significatifs dans la qualité de la neige de surface. Toutefois, on manque de données pour l'interprétation du flux mesuré de NO_3^- :

TABLEAU 9. Concentrations mesurées nécessaires au bilan et comparaison avec les valeurs calculées pour le 22 décembre ($\mu\text{eq l}^{-1}$).

	NO_3^-	SO_4^{2-}	H^+	NH_4^+
échantillon nouvelle neige	14.5	2.1	20.0	0.67
21 décembre	71.7	22.8	86.8	8.7
22 décembre (mesuré)	50.0	17.8	61.5	5.75
22 décembre (bilan)	55.5	17.0	67.9	6.43

y aurait-il dépôt gazeux de NO_x et son oxydation en NO_3^- dans la neige? Pour interpréter le flux apparent de $\text{SO}_4^{=}$, on a fait l'hypothèse de l'apport de SO_2 gazeux comme source importante de soufre atmosphérique. D'après ces résultats, on remarque l'importance prépondérante des dépôts gazeux (HNO_3 et SO_2) dans le phénomène de dépôt sec: (cf.: aussi Pierson et al., 1985). Enfin, il faut remarquer que l'échantillonnage du 20 décembre n'a apporté aucune information supplémentaire pour le calcul des flux. Il aurait été préférable d'effectuer deux échantillonnages le 19 et le 21 décembre, de façon plus précise, avec un nombre d'échantillons plus élevé et ne pas intervenir le 20.

3.5 ANALYSE DE LA DEUXIÈME PÉRIODE

Pendant toute la deuxième période, les concentrations des ions majeurs dans l'air et dans les précipitations sont très élevées. La température maximale rencontrée est de -10.5°C . On remarque qu'il y a chaque jour un épisode de dépôt humide (minimes les 21 et 22 janvier). Le tableau 10 présente les conditions expérimentales de la 2ième période.

La moitié des échantillons de surface (stations 1, 4 et 6) ont été prélevés sur des toiles de plastique posées le 18 janvier. Aux trois autres stations non équipées de plastique, on a évalué la hauteur de neige équivalente et procédé à l'échantillonnage de la même quantité de neige. Avant toute analyse se rapportant aux moyennes journalières des six stations, il faut vérifier que les échantillons recueillis suivant l'une ou l'autre des méthodes proviennent bien de la même population et que l'on n'a pas créé d'hétérogénéité en procédant de deux manières différentes. Le test-t de

TABLEAU 10. Conditions expérimentales de la 2ième période (18-23 janvier 1984), forêt Montmorency

DATE	ÉCHANTILLONS	CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET REMARQUES
18 janvier		pose de 3 toiles pour isoler la chute de neige prévue (3 stations ne sont pas équipées de toile)
19 janvier	n = 2	nouvelle neige sur 3 cm
20 janvier	n = 6 + 1*	nouvelle neige
21 janvier	n = 6 + 1**	nouvelle neige (trace)
22 janvier	n = 6	venteux + trace de neige
23 janvier	n = 6	nouvelle neige

* échantillon sur une hauteur de 2 cm seulement (nouvelle neige)

** échantillon sur une hauteur de 0,5 cm seulement (nouvelle neige)

Student a été appliqué pour comparer les deux moyennes correspondant respectivement aux stations avec ou sans plastique, ceci pour chaque élément et chaque jour. Les moyennes ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha = 5\%$. C'est donc que l'on a pu identifier la même couche de neige même sans plastique et que les échanges verticaux entre la neige de surface et les couches situées au-dessous peuvent être considérées négligeables pendant la période étudiée et sous les conditions météorologiques correspondantes (vent faible à fort, températures assez basses).

Du 18 au 23 janvier, il y a eu intervention des deux types de sédimentation (sèche et humide). Nous dressons un bilan pour évaluer l'ordre de grandeur de chacun des phénomènes. L'on a pu identifier le 21 janvier une couche superficielle de neige fraîche de 0.5 cm de hauteur précipitée dans la nuit du 20 au 21 et en recueillir un échantillon.

Cette nouvelle chute de neige, minime en quantité empêche-t-elle aussi l'observation du phénomène de sédimentation entre les 20 et 21 janvier?

Les distributions observées le 21 janvier ne sont pas normales, ce qui restreint la validité des résultats de l'analyse de variance. L'ion SO_4^{2-} est le seul élément pour lequel on note une différence significative entre les deux moyennes journalières.

L'analyse de l'échantillon des 5 mm de neige fraîche révèle des concentrations de NO_3^- , H^+ et NH_4^+ plus basses que celles de la couche de neige initialement déposée. Ceci a provoqué une diminution de la concentration de ces éléments dans la quantité de neige totale qui peut

masquer une éventuelle augmentation des concentrations résultant de la sédimentation de dépôts secs. Par contre, l'accroissement significatif des concentrations de l'ion $\text{SO}_4^=$ s'explique au moins en partie par la grande quantité de cet ion dans la précipitation. Par un bilan similaire à celui du paragraphe 3.4.2, peut-on détecter l'intervention du phénomène de sédimentation sèche entre les échantillonnages des 20 et 21 janvier?.

L'hypothèse de base de ce bilan est que, s'il y a eu dépôt sec, les polluants gazeux ou particulaires déposés ont été répartis par circulation d'air dans la hauteur totale de neige échantillonnée. Dans un premier temps, on soustrait aux charges moyennes observées le 21 janvier la quantité de polluants et de neige apportée par la nouvelle précipitation. On compare ensuite les concentrations ainsi calculées à celles observées le 20 janvier à l'aide du test de la moyenne de Student. S'il existe une différence significative, on considère qu'elle est issue des dépôts secs dont on n'a pas tenu compte dans le bilan.

Pour chaque élément, on a:

$$C_{\text{cal}} (21) = \frac{\bar{C}_F \bar{V}_F - cv}{\bar{V}_I} \quad (5)$$

où c, v : concentration et volume de l'échantillon de nouvelle neige

\bar{C}_F, \bar{V}_F : concentration et volume moyens du 21 janvier

\bar{V}_I : volume moyen du 20 janvier

Dans le tableau 11, les différences $\Delta C = C_{\text{obs}} (20 \text{ Janv.}) - C_{\text{cal}} (21 \text{ Janv.})$ obtenues sont reproduites et à titre comparatif les écarts types des distributions du 20 janvier. En appliquant le test de Student, on constate qu'il n'y a donc pas de différence significative entre les concentrations calculées et observées le 20 janvier. On peut alors faire plusieurs hypothèses:

- pas ou peu de dépôt sec entre le 20 et le 21 janvier, l'atmosphère étant plus propre à cause du pouvoir de lessivage de la neige;
- il y a eu sédimentation de dépôts secs mais l'hypothèse de base n'est pas respectée. C'est-à-dire qu'une partie importante des dépôts secs est restée préférentiellement à la surface dans les 5 mm de nouvelle neige. Le bilan serait alors faussé puisque l'échantillon de surface comprendrait à la fois l'acidité des dépôts secs et humides.

Dans la journée du 22 janvier 1984, on a observé une redistribution importante de la neige due au très fort vent. La comparaison des moyennes journalières du 21 et du 22 janvier montre une baisse statistiquement significative des concentrations de NO_3^- ($25 \mu\text{eq l}^{-1}$) et de SO_4^{2-} ($2 \mu\text{eq l}^{-1}$) dans les échantillons de surface en dépit des concentrations atmosphériques élevées de SO_4^{2-} et de SO_2 le 22 janvier (4.26 et 75.4 mg m^{-3} respectivement) qui auraient dû engendrer des forts taux de dépôts secs (de l'ordre de $10 \mu\text{eq l}^{-1}$ de SO_4^{2-} d'après Sheih). Plusieurs phénomènes expliquent vraisemblablement cette décroissance: remise en suspension d'aérosols contenus dans la neige de surface, balayage d'une partie de la neige superficielle vers des endroits plus abrités du vent (forêt, etc.) et exposition

TABLEAU 11. Tableau comparatif entre les différences des concentrations calculées pour la période du 20-21 janvier (ΔC) et les écarts types du 20 janvier 1985 (exprimées en $\mu\text{eq l}^{-1}$) pour la période 2

	NO_3^-	$\text{SO}_4^{=}$	H^+	NH_4^+
ΔC	3.6	0.41	2.2	0.3
Δ_{obs}	10.5	0.54	9.3	0.6

d'anciennes couches plus profondes, moins concentrées en polluants qui sont à leur tour partiellement redistribuées. Ceci met en évidence l'influence du vent sur la composition chimique de la neige redistribuée qui peut donc masquer tout apport par sédimentation de dépôts secs.

En conclusion, l'application de la méthodologie à la 2ième période ne met pas en évidence d'apport significatif de polluants atmosphériques par sédimentation de dépôts secs. Entre le 20 et le 21 janvier, il est tombé 5 mm de neige qui limitent la part des dépôts secs dans l'enrichissement de la neige. Le 22 janvier, l'intervention d'un fort vent masque l'observation d'un taux de dépôts secs qui aurait dû être très élevé au regard des concentrations des polluants présents dans l'air.

3.6 ANALYSE DE LA 4ième PÉRIODE

Le tableau 12 présente les conditions expérimentales de la 4ème période. On retrouve des concentrations ioniques très basses dans les données de précipitation et dans la composition de l'air (Annexes 1 et 2). La température maximale observée est de $-1,5^{\circ}\text{C}$.

On a vu à l'occasion de la période 2, qu'un fort vent intervenant après le dépôt de la neige au sol déplace ou remet en suspension une certaine quantité de matière, si bien que l'observation de dépôt sec par la méthodologie est impossible.

La 4ième période a été elle aussi très venteuse. Le 29 février, en particulier, un vent important ($v = 12 \text{ km h}^{-1}$) a soufflé cette fois-ci

TABLEAU 12. Conditions expérimentales de la 4ème période (29 février - 5 mars 1984), forêt Montmorency

dates	échantillons	conditions météorologiques et remarques
28 fév.		pose de 6 toiles pour isoler la chute de neige prévue
29 fév.	N=6	Dépot de la neige en présence d'un fort vent. Distribution hétérogène
1 mars	N=6	Nouvelle neige
2 mars	N=6	Très venteux + petite chute de neige
3 mars	N=4	Vent moyen + petite chute de neige
4 mars	N=4	Vent + petite chute de neige
5 mars	N=4	Vent fort

pendant la chute de neige. Quelle est alors l'influence de ce vent sur la méthode de mesure par analyses successives? La distribution des échantillons du 29 février est très hétérogène; les hauteurs de neige sont échelonnées de 6 à 18 cm et les coefficients de variation sont élevés: respectivement 68, 60, 65 et 126% pour les ions NO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, H^+ et NH_4^+ alors que dans des conditions de dépôt sans vent, ils sont de l'ordre de 10%. Cette hétérogénéité se répercute sur les autres journées de la période bien qu'elle semble atténuée par le dépôt de la neige du 1er mars, sans doute plus homogène. Ceci conduit à une précision médiocre des valeurs moyennes de concentration spécialement lorsque la taille des échantillons journaliers se réduit à 4, à partir du 3 mars. Comme, de plus, on déplore de petites chutes de neige chaque jour de la période, la détermination des taux de sédimentation est délicate. De fait, l'analyse de variance ne met en évidence aucune différence significative entre les 6 moyennes journalières en ce qui concerne les ions majeurs.

Toutefois, il faudrait préciser dans quelle mesure l'hétérogénéité de la neige au sol est incompatible avec cette méthodologie de mesure du phénomène de sédimentation. En l'absence de dépôt humide et de vent occurant après le 29 février, quelle aurait dû être la taille des échantillons nécessaire à la détermination statistique des flux de dépôts secs tels que ceux observés lors de la 1ère période? En utilisant le test de comparaison de 2 moyennes et en supposant la variance des populations journalières constante dans le temps et indépendante de la taille des échantillons, on arrive à la formule suivante, donnant la taille de l'échantillon minimal (Freund 1961):

$$N = 2 \frac{t^2 s^2}{d^2}$$

où: t = valeur du t de Student à $\nu = 2(N-1)$ degrés de liberté

s^2 = variance des échantillons

d = augmentation moyenne des concentrations liée aux dépôts secs.

On rapporte les flux de dépôts secs observés pendant la première période (exprimés en $\mu\text{eq m}^{-2} \text{j}^{-1}$) à la surface échantillonnée le 29 février ($S = 0.0676 \text{ m}^2$, soit une surface 4 fois moindre que pour la 1ère période pour une hauteur de neige triple) et au volume d'eau moyen des échantillons ($V = .941$). On obtient alors les différences $d = \bar{X}_1 - \bar{X}_2$ à mettre en évidence pour l'observation d'un phénomène de sédimentation de dépôts secs analogue à celui observé pendant la 1ère période. La taille de l'échantillon nécessaire a été calculée pour 2 cas d'observation (sur 1 et 2 jours). Les résultats sont présentés dans le tableau 13.

Les valeurs moyennes de NO_3^- le 29 février sont très faibles si bien que même avec des coefficients de variation élevés, les écarts types observés sont moyens, comparables à ceux de la 1ère période. De plus, le flux observé pendant la 1ère période est suffisamment important pour être mis facilement en évidence. Ceci explique les tailles d'échantillon raisonnables calculées pour cet ion. Par contre, pour NH_4^+ et SO_4^{2-} , les différences de concentration entre les moyennes journalières sont minimales par rapport aux écarts types observés. Il aurait été impossible de mettre en évidence un changement significatif dans les concentrations de l'ordre de grandeur des dépôts secs.

TABLEAU 13. Nombre d'échantillons (n) nécessaires pour la mise en évidence de taux de dépôt sec (d) identiques à ceux mesurés lors de la première période rapportés au volumes échantillonnés le 29 février et, à titre comparatif, l'écart type des distributions pour cette dernière date, pour la période 4.

	NO_3^-	H^+	$\text{SO}_4^{=}$	NH_4^+
D sec ($\mu\text{éq l}^{-1} \text{ j}^{-1}$)	2.8	3.7	0.5	0.05
Δ 29 fév. ($\mu\text{éq l}^{-1}$)	4.3	9.3	6.6	0.8
n sur 1 jour	18	5	1 339	1 967
n sur 2 jours	6	12	335	492

On ne peut tirer de cet exemple aucune règle systématique quant au nombre d'échantillons à prendre. Il est relié directement aux variances des distributions journalières qui dépendent elles-mêmes fortement des conditions atmosphériques et de l'espèce ionique considérée. Il est aussi inversement proportionnel à d^2 . Cette valeur d représente l'augmentation des concentrations dans un certain volume de neige de référence. Pour un même flux de dépôts secs, plus l'épaisseur de la neige de référence est grande, moins net est l'accroissement de concentration. On aurait donc intérêt à isoler des petites strates de neige, par exemple, la fin d'une précipitation, pour appliquer la méthode par analyses successives. Enfin, la valeur de d dépend aussi de l'origine des masses d'air. On a choisi ici de reprendre le flux mesuré lors de la 1ère période (vent d'ouest). Pour des masses d'air plus polluées (vent sud-ouest), les valeurs de d seraient plus élevées et donc plus faciles à mettre en évidence.

3.7 ANALYSE DE LA 5^{ème} PÉRIODE

Le tableau 14 présente les conditions expérimentales de la 5^{ème} période. La température maximale pour le 15 et le 16 mars a dépassé 0°C et la neige a commencé à fondre. De plus, on n'avait pas posé de plastique avant la chute de neige du 14 mars et il était difficile de distinguer les différentes strates déposées dans l'épaisseur de la neige. C'est pourquoi il n'a pas été calculé de flux de sédimentation pour cette période. En échantillonnant 4 cm de neige le 15 et le 16 mars, on a obtenu respectivement des volumes moyens de 0,38 et 0,69 l de neige fondue. Le 16 mars, la neige mouillée s'est compactée et on a récolté des échantillons composés de neige déposée les 2 jours précédents et de neige précipitée

TABLEAU 14. Conditions expérimentales de la 5ème période (14-16 mars), forêt Montmorency

date	échantillons	conditions météorologiques et remarques
14 mars	N=8	pas de plastique posé au préalable 2 cm de neige
15 mars	N=8	nouvelle neige - venteux - début de fonte
16 mars	N=8	ensoleillé, épisode de fonte

avant le 14 mars beaucoup plus riche en polluants d'après les données qualitatives de précipitations de la station CAPMoN (cf. annexe 2). On observe bien que les échantillons mélangés du 16 mars sont plus concentrés que ceux du 14 et du 15 mars dans le tableau 15.

L'enrichissement des échantillons du 16 mars peut s'expliquer aussi en partie par des flux de sédimentation de dépôt sec plus importants sur la neige mouillée. Husar et al. (1978) considèrent que la neige mouillée a le même comportement que l'eau vis-à-vis des polluants atmosphériques. Ainsi, pour SO₂, par exemple, conseillent de prendre une vitesse de sédimentation de 0.7 cm s⁻¹ lorsque la neige est humide au lieu de 0.1 cm s⁻¹ pour la neige sèche. Cependant, il est impossible de faire la part de ce qui provient des dépôts secs et du mélange avec les strates inférieures dans l'enrichissement observé de la neige de surface pendant cette dernière période.

En conclusion, l'analyse de la 5e période permet de souligner la nécessité d'une barrière physique séparant la strate de nouvelle neige des strates inférieures dans la méthodologie.

3.8 MILIEU SEMI-CONTRÔLÉ - MÉTAMORPHISME

La méthodologie d'échantillonnage de l'expérience en milieu semi-contrôlé a été exposée au point 2.2. Les 2 stations sont situées au dessous du plastique dans l'axe SW-NE.

TABLEAU 15. Concentrations moyennes journalières observées pendant la 5^{ème} période

	= SO ₄	+ H
14 mars	4.79	12.58
15 mars	4.02	8.77
16 mars	9.23	27.67

On ne dispose pas d'assez de données pour procéder à une analyse statistique raffinée; nous nous contentons de poser l'hypothèse suivante, démontrée dans les paragraphes précédents: les concentrations en ions majeurs dans une strate de neige, bien délimitée, sont distribuées selon une loi normale, autour de la moyenne. Dès lors, on juge qu'une concentration est significativement différente de la moyenne initiale lorsqu'elle s'en éloigne d'au moins 2 écarts types (seuil $\alpha = 5\%$).

La figure 5 démontre la structure des stations d'échantillonnage: les 3 strates supérieures d'une hauteur de 3 cm chacune ne sont pas séparées par des limites physiques, à la différence des strates 1 et 0.

En pratique, on s'est aperçu de la nécessité de telles séparations. Au fur et à mesure de l'expérimentation, la neige de surface s'est compactée, principalement sous le poids des chutes de neige et à partir du 6.02, on a dû réduire à 2 le nombre de strates supérieures. Le suivi de la qualité de la neige de surface s'est avéré impossible, puisque l'on a pas été capable d'isoler exactement les mêmes strates d'une journée d'échantillonnage à l'autre. En revanche, la strate 1 a pu être bien identifiée entre 2 lentilles de glace et les résultats obtenus sont inattendus.

Pour cette strate, les valeurs moyennes de référence sont estimées pour chaque ion majeur par les moyennes du 29.01, journée pour laquelle on dispose d'un triple échantillonnage.

Au lieu d'une variation minime de la composition de la neige escomptée en rapport avec les mécanismes de métamorphisme des flocons,

	Strate	Hauteur (cm)
Plastique <u> </u>		
-----	4	3
-----	3	3
Lentille de glace <u> </u>	2	3
Lentille de glace <u> </u>	1	21
verglas <u> </u>	0	25

Figure 6: Stratification des stations 1 et 2 le 28.01.84. Expérience en milieu semi-contrôlé.

on observe un pic rapide, significatif dans les concentrations des ions majeurs et dans la conductivité les 6 et 9 février à la station 1 et les 1 et 3 février à la station 2 (figure 6). Pour NO_3^- , SO_4^{2-} , H^+ et NH_4^+ , les variations de concentration observées sont de l'ordre de 1 à 20 $\mu\text{eq l}^{-1}$ suivant l'espèce. Suivant un motif identique, les volumes d'eau échantillonnés sont aussi très élevés, alors que les volumes de neige restent relativement constant. L'on observe sur la figure 7, le suivi de la densité de la neige qui subit un accroissement très net lorsque les concentrations augmentent.

Il semble donc qu'il y ait eu simultanément apport de polluants et d'eau. Plusieurs phénomènes tels que les gradients de température et les courants convectifs dus au vent pourraient être à l'origine de ce transport de matériaux. Toutefois, d'après certains calculs effectués par DeQuervain (1972) les mouvements de vapeur d'eau occasionnés par les gradients de température au sein de la matrice de neige seraient relativement négligeables en ce qui concerne les changements de densité (de l'ordre de $2 \cdot 10^{-5} \text{g/cm}^3 \times \text{jour}$) ce qui correspond à une augmentation d'environ 0,1 g par litre d'eau (= neige fondue) et par jour. En l'absence de données physiques précises (température, humidité de l'air et de la neige pour la période étudiée) on n'est pas en mesure de vérifier une autre hypothèse impliquant le phénomène de condensation de vapeur d'eau à l'interface air-neige pour expliquer l'accroissement de densité de la neige.

Sur la figure 7, on remarque que l'enrichissement en polluants de la neige à l'une ou l'autre station est relié à l'occurrence concomitante de 2 événements météorologiques:

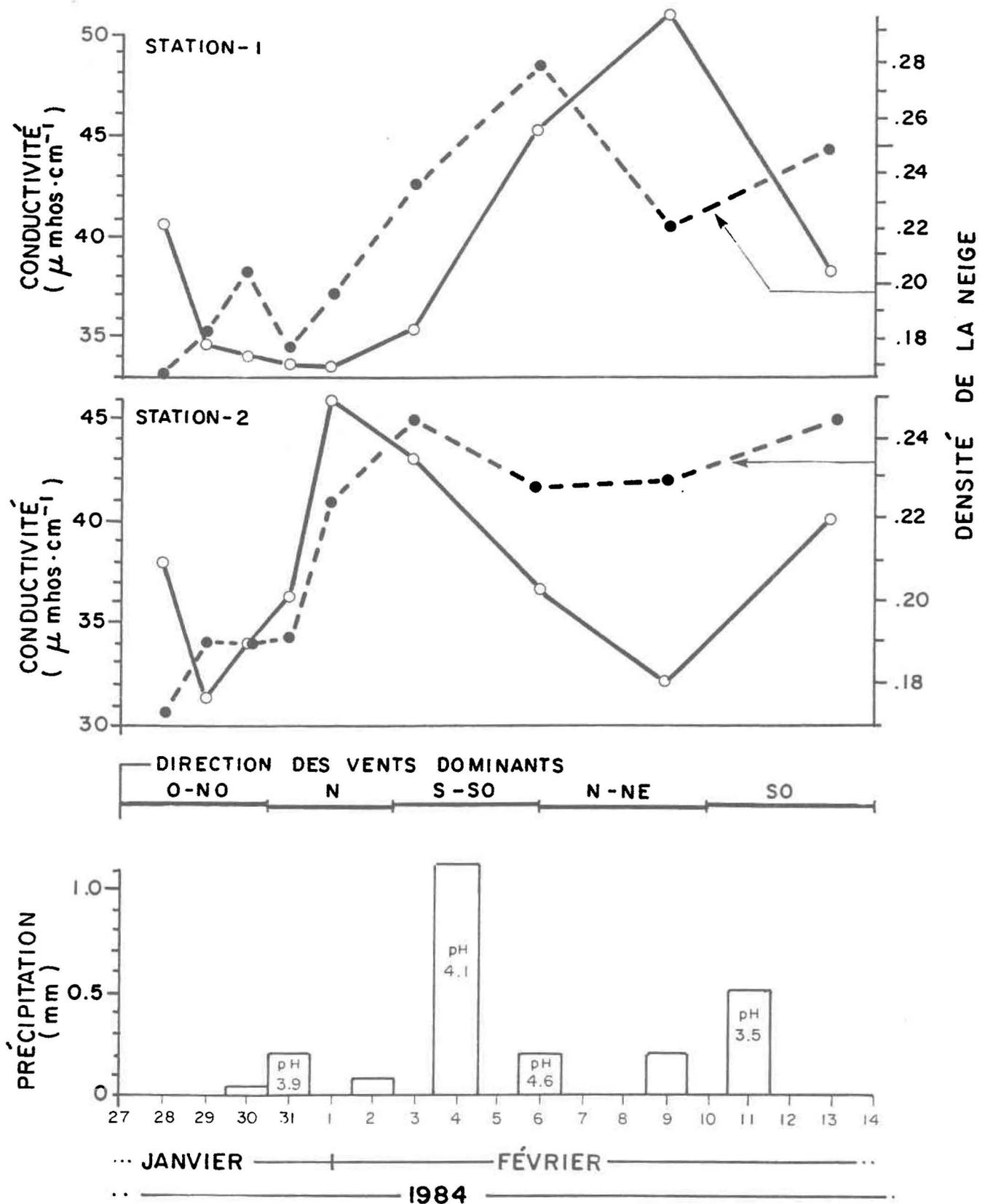


Figure 7: Expérience en milieu semi-contrôlé: suivi de la conductivité en eau des échantillons strate 1, stations 1 et 2. Direction du vent dominant et précipitations.

- dépôt de quelques cm de neige chargée en particules acides
- direction du vent dominant (nord pour station 2, sud pour station 1)

On peut alors vraisemblablement attribuer les changements chimiques observés à un effet de redistribution des aérosols par le vent. DeQuervain (1972) estime que les variations de pression causées par des bourasques de vent induisent des courants convectifs, préférentiellement dans les strates supérieures de la neige au sol et que cette ventilation peut être la principale raison du transport de matériaux dans certaines couches de neige.

Il y aurait alors remise en suspension d'aérosols contenus dans la chute de neige très chargée et leur réincorporation, au moins partielle, à l'intérieur de la matrice de neige; le vent constituant alors le vecteur principal de cette redistribution. Cette hypothèse est impossible à vérifier avec nos seules données. Gjessing (1977), dans une expérience de laboratoire a prouvé que la neige possède un bon pouvoir filtrant sur un courant d'air chargé de matériaux.

De plus notre installation expérimentale constituait un véritable "piège à vent" du fait des petites tranchées d'accès aux stations situées de chaque côté du plastique et dans lesquelles le vent pouvait s'engouffrer préférentiellement.

En conclusion, il convient de souligner le rôle important de la turbulence atmosphérique sur la qualité de la neige même en lieu couvert. Ici on a vu qu'il peut provoquer des augmentations rapides de l'ordre de $60 \mu\text{eq l}^{-1}$ de la concentration totale. Il s'agit donc d'un facteur d'évolution primordial, dont les effets sur la composition de la neige semblent plus considérables que ceux reliés au métamorphisme des cristaux ou encore aux transferts de vapeur d'eau occasionnés par les gradients de température au sein des couches de neige.

4. SYNTHÈSE ET CONCLUSION

Lors de la 1ère période d'échantillonnage, qui s'est déroulée dans les conditions expérimentales les plus propices à l'application de la méthodologie statistique, on a observé sur 3 jours un enrichissement significatif de la neige de surface (NO_3^- , SO_4^{2-} , H^+). Pour NO_3^- , le flux mesuré est d'un ordre de grandeur supérieur à celui donné par le modèle mathématique de Sheih. NO_x gazeux pourrait participer d'une façon non négligeable à l'augmentation des concentrations en NO_3^- dans la neige déposée. Pour SO_4^{2-} , les deux flux mesurés et calculés ont des valeurs très proches si l'on considère l'oxydation de SO_2 gazeux en SO_4^{2-} après son absorption à la surface des cristaux. Il semble donc qu'en ce qui concerne les dépôts secs, les espèces gazeuses aient une importance quantitative prépondérante par rapport aux polluants particuliers.

Les conditions idéales pour l'application de la méthodologie de mesure des taux de dépôt sec par analyses successive peuvent être résumées ainsi:

- période froide (ni fonte, ni pluie)
- précipitation de référence pauvre en polluants et peu abondante (masse d'air en provenance de nord);
- concentrations atmosphériques élevées après la précipitation (masse d'air en provenance du sud-ouest ou de l'ouest);

Dans l'avenir, cette méthode pourrait être utilisée pour des sujets de recherche concernant l'interaction entre le couvert de neige et l'atmosphère.

En conclusion, le phénomène de sédimentation de dépôt sec est difficile à discerner d'une façon évidente du fait de l'intervention d'une multitude de facteurs sur la qualité de la neige et dans lesquels la turbulence atmosphérique semble jouer un très grand rôle. Le vent redistribue une bonne quantité des matériaux contenus dans la matrice de neige. Il constitue donc un agent d'évolution très important, à ne pas négliger dans toute étude visant la connaissance ou la modélisation de l'évolution physicochimique du couvert hivernal.

5. RÉFÉRENCES

- AGNEW, T.A., WILSON, F., BARRIE, L.A., REID, J.D. et FAULKNER, D. (1982).
Estimation of long term acidic deposition over snow and snowmelt shock potential. Symposium Canadien d'Hydrologie 82, Frédéricton, Nouveau-Brunswick, pp. 598-614.
- BERNIER, P., PADILLA, F., DESSUREAULT, M., GELINAS, P.J., AZZARIA, L.M. et GOULET, S. (1983). Etude hydrogéologique et hydrogéochemie du bassin versant du lac Laflamme en 1982. Direction des eaux intérieures, région de Québec, Environnement Canada, 237 p.
- CHARETTE, J.Y., JONES, H.G., SOCHANSKA, W. et GAUTHIER, J.M. (1984).
Changes in lake water quality during spring runoff in a northern boreal forest subjected to acidic precipitation. Symposium Canadien d'hydrologie, Université Laval, Québec, 10-12 juin.
- COLBECK, S.C. (1983). Snow particle morphology in the seasonal snow cover. American Meteorological Society Bulletin 64(6).
- DASH, J.M. (1984). The direct measurement of dry deposition to a polyethylene bucket and various surrogate surfaces. GMR Research Report 4790, General Motors Research Laboratories.
- De QUERVAIN, M.R. (1972). Snow structure, heat, and mass flux through snow. Actes des colloques de Banff, Vol. 1, pp. 203-226. Unesco-OMM-AISH.

DOVLAND, H. et ELIASSEN, A. (1977). Estimates of dry deposition on snow. IR 34/77 (17 pages), SNSF-prosjektet; POB 61, 1432 As-NLH.

EPA (1979). Methods for chemical analysis of Water Wastes. United States Environmental Protection Agency, Research and Development report EPA-600/4-79-020.

FORLAND, E.J. et GJESSING, Y.T. (1975). Snow contamination from washout rainout and dry deposition. Atmospheric Environment, 9: 339-352.

FREUND, J.E. (1961). Modern Elementary Statistics. Prentice-Hall, N.J.

GARLAND, J.A. (1978). Dry and wet removal of sulphur from the atmosphere. Atmospheric Environment 12, 349-362.

GJESSING, Y.T. (1977). The filtering effect of snow. IAHS Publ. No. 118.

GRANAT, L. et JOHANSEN, C. (1983). Dry deposition of SO_2 and NO_x in winter. Atmospheric Environment, Vol. 17, No.1, pp. 191-192.

HUÉBERT, B.J., NORTON, R.B., BOLLINGER, M.J., PARRISH, D.D., HAHN, C. BUSH, Y.A., MURPHY, P.C., FEHNSENFELD, F.C et ALBRITTON D.L. (1982). Gas phase and precipitation acidities in the Colorado mountains. Proceedings of International symposium on hydrometeorology, pp. 443-450. American Water Resources Association. June 13-17, 1982; Denver Colorado. Eds. A.I. Johnson and R.E. Clark.

HUSAR, R.B., LODGE, J.P. and MOORE, D.J. Eds. (1978). Sulfur in the atmosphere. Proc. Int. Symp. Dubrovnik, Sept. 1977. Atmospheric Environment, 12, 7-23.

IBRAHIM, M., BARRIE, L.A. et FANAKI, F. (1983). An experimental and theoretical investigation of the dry deposition of particles to snow, pine trees and artificial collectors. *Atmospheric Environment* 17, pp. 781-788.

JOHANNES, A.H. et ALWICKER, E.R. (1982). Relationship between dry deposition as measured via collection with a dry bucket vs ambient air concentration. *Precipitation Scavenging, Dry deposition and Resuspension Proceedings of the 4th International Conference, Santa Monica, Ca., p. 903.*

JONES, H.G. (1984). The influence of boreal forest on the chemical composition of snowcover. *Proceedings of the Eastern Snow Conference, Washington, D.C., 7-9 juin. pp. 126-138.*

JONES, H.G. et BISSON, M. (1984). Physical and chemical evolution of snow packs on the Canadian Shield (Winter 1979-1980). *Verh. Internat. Verein, Limnol.* 22p.

JONES, H.G., SOCHANSKA, W., GAUTHIER, J.M. et CHARETTE, J.Y. (1984). The physical and chemical evolution of snowpack structure, meltwater flow patterns and surface runoff during the spring melt period in a northern boreal forest. *Symposium Canadien d'Hydrologie, Université Laval, Québec, 10-12 juin.*

- JONES, H.G. et SOCHANSKA, W. (1985). The chemical characteristics of snowcover in a northern boreal forest during the spring runoff period. Symposium on Snow and Ice Chemistry and the Atmosphere, Trent University, Peterborough, Ontario, August 19-24, 1984 Annals of Glaciology, 7: 165-174.
- LIKENS, G.E. et BUTLER, T.J. (1981). Recent acidification of precipitation in North America. Atmospheric Environment, 15: 1103-1110.
- MASSE, L. et VOLDNER, E.C. (1982). Estimation of dry deposition velocities of sulfur over Canada and United States east of the Rocky Mountains. In.: Pruppacher et al., Editors, International Conference, Santa Monica, Ca. pp. 991-1002.
- PALMER, T.Y., SMITH, L.R. et NEIRINCKX, J. (1975). Ozone in the valleys of the high Sierra Nevada, Paper 32-7. Int. Conf. on Envir. Sensing and Assessment, Sept. 14-19, 1975, Las Vegas, Nev. IEEE, pub., N.Y.
- PAPINEAU, M. (1984). Composition chimique et bilan ionique du Lac Laflamme forêt Montmorency, Québec. Rapport interne de la direction des eaux intérieures. Disponible par: Environnement Canada, région du Québec.
- PIERSON, W.R., BRACHACZEF, W.W., GORSE, R.A. Jr., JAPAR, S.N., KORBECK, J.M. (1985). On the acidity of dew, in Abstracts of the International Symposium on Acidic Precipitation, Muskoka Ontario, sept. 15-20, p. 71.

- PLAMONDON, A. (1981). Étude hydrologique du bassin du lac Laflamme, forêt Montmorency, Québec, en relation avec le programme d'étude d'impact des pluies acides sur l'environnement forestier. Direction générale des eaux intérieures, Région du Québec. Faculté de foresterie et de géodésie de l'Université Laval et Centre de recherches sur l'eau.
- POPP, C.J., JENSEN, C.M., BRANDVOLD, D.K. et BRANDVOLD, L.A. (1982). Précipitation analysis in central New Mexico. In: Lawrence H. Keith (ed.) Energy and Environmental Chemistry (Acid rain, pp. 89-101). Ann Arbor Science.
- SHAPIRO, S.S. et WILK, M.B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52, (3 and 4): 591-611.
- SHEIH, C.M., WESELY, M.L., et HICKS, B.B. (1979). Estimated dry deposition velocities of sulfur over the Eastern United States and surrounding regions. *Atmospheric Environment*, 13: 1361-1368.
- STELSON, A.W. BASSETT, W.E. et SEINFELD, J.H. (1983). Thermodynamic equilibrium properties of aqueous solutions of nitrate, sulfate and ammonium in chemistry of particles. *Fogs and Rain; Ed. J. L. Durham, Acid precipitation Series. Vol.2 JI Teasley Series, Editor Butterworth Publishers, Stoneham, Ma 02180. ISBN 0-250-40567-9.*
- VET, R.J. et WRIGHT, R.G. (1982). An investigation of total deposition on the Canadian Shield using snow core sampling. A report prepared for the Atmospheric Environment Service, CSC-74.

WRIGHT, R. (1983). Predicting acidification of North American lakes. Acid Rain Research Report 4/1983, Niva Project no 0-81036, SNSF project, Oslo, Norway.

WHELPDALE, D.M. et SHAW, R.W. (1974). Sulphur Dioxide Removal Tellus XXVI, 1-2, pp. 196-204.

Annexe 1:

Concentrations atmosphériques recueillies à la station CAPMoN, forêt Montmorency, pour les périodes d'échantillonnage, telles que fournies par le Service d'Environnement Atmosphérique, région de Québec, Montréal.

FORÊT MONTMORENCY

SAMPLE DATE	HOURS SAMPLED	MEAN FLOW RATE (1/MIN)	AIR SAMPLES m ³	Cl ⁻	AIR CONCENTRATIONS, µg/m ³					
					NO ₃	SO ₄	Na	K	NH ₄ ⁺	SO ₂
Dec. 19 1983	24.0	17.3	24.9	0.05	0.10	0.55	0.07	BDL	0.05	1.4
Dec. 20 1983	24.0	17.7	25.5	0.04	0.10	0.59	0.06	BDL	0.04	4.2
Dec. 21 1983	24.0	18.4	26.4	0.02	0.06	0.24	0.01	BDL	0.07	BDL
Dec. 22 1983	24.0	17.4	25.1	0.01	0.06	0.91	0.02	BDL	0.18	1.1
Jan. 18 1984	21.0	18.6	23.4	BDL	0.10	10.8	0.05	BDL	2.20	22.1
Jan. 19 1984	24.0	17.9	25.8	0.02	0.21	3.97	0.11	BDL	0.82	3.1
Jan. 20 1984	24.0	18.6	26.8	0.04	0.17	1.18	0.09	0.04	0.33	2.9
Jan. 21 1984	24.0	18.2	26.2	0.03	0.22	0.98	0.15	BDL	0.16	1.2
Jan. 22 1984	24.0	17.6	25.3	BDL	0.37	4.26	0.18	BDL	0.98	15.4
Jan. 23 1984	24.0	17.1	24.6	BDL	0.19	7.70	0.14	BDL	1.26	22.1
Jan. 27 1984	24.0	17.9	25.8	BDL	0.04	2.13	BDL	BDL	0.37	3.4
Jan. 28 1984	24.0	18.2	26.2	BDL	0.04	0.09	BDL	BDL	0.04	0.2
Feb. 29 1984	24.0	17.3	24.9	0.03	0.07	0.43	0.01	0.05	0.09	0.5
Mar. 1 1984	24.0	17.7	25.5	0.17	0.21	0.52	0.21	0.04	0.06	0.2
Mar. 2 1984	24.0	18.2	26.2	0.41	0.22	0.56	0.36	0.05	0.05	BDL
Mar. 3 1984	24.0	17.7	25.5	0.56	0.28	0.51	0.45	0.05	0.05	BDL
Mar. 4 1984	24.0	17.3	24.9	0.09	0.17	0.56	0.12	0.04	0.05	BDL
Mar. 5 1984	24.0	16.9	24.3	0.03	0.11	1.26	0.04	0.05	0.22	1.9
Mar. 14 1984	24.0	18.8	27.1	0.02	0.11	0.11	0.03	0.01	0.09	0.7
Mar. 15 1984	24.0	18.0	25.9	BDL	0.28	1.17	0.23	0.05	0.19	1.0
Mar. 16 1984	24.0	18.4	26.5	BDL	0.09	0.86	0.05	0.05	0.16	0.9

Annexe 2:

Données qualitatives des précipitations recueillies à la station CAPMoN, forêt Montmorency, hiver 83-84, telles que fournies par le Service Environnement Atmosphérique, Région de Québec, Montréal.

CAPRON QUALITY CONTROL PROGRAM
 PRECIPITATION CONCENTRATIONS IN MG/L

8143 MONDAY, SEPTEMBER 10, 1984 66

----- STATION=MONTMORENCY MONTH=12(DEC) YEAR=83 -----

CARD FROM HR TO HK CRNT LABNO STNU CUL+*BAG CUL+*BAG PREC STD PH SU4-- NUJ-- CA++ NH4+ NO3+ NA+ CL- K+

JAY DAY DAY DAY U (LRT) (LRT) (LRT) TYPE USED

13242 30 09 31 09 0 0.06 . . 1 2

13247 31 09 01 09 0 0.06 . . 1 2

CAPROM QUALITY CONTROL PROGRAM
PRECIPITATION CONCENTRATIONS IN MG/L

STATION	MONTH	YEAR	PRECIPITATION (CM)	PRECIPITATION (IN)	CONCENTRATION (MG/L)	CONCENTRATION (PPM)	CONCENTRATION (PPB)	CONCENTRATION (PPM)	CONCENTRATION (PPB)	CONCENTRATION (PPM)	CONCENTRATION (PPB)
19	02	12	03	03	0.20						
24	03	08	04	08	0.41						
27	05	08	05	08	0.22						
34	05	08	06	08	0.44						
39	06	08	07	08	0.63						
44	07	08	08	08	0.05						
49	09	08	10	08	0.10						
54	10	08	11	08	0.04						
59	13	08	14	12	0.33						
64	14	12	15	09	0.66	0.17	136.6	1	2	3.7	4.0
73	10	11	17	09	0.02						
75	18	09	19	09	1.02	0.26	212.6	1	2	4.0	4.8
92	19	09	20	09	1.03	0.10	167.6	1	2	3.7	1.3
109	23	09	21	09	0.04	0.13	105.6	1	2		
119	21	07	22	09	0.02						
124	22	09	23	09	0.10	0.13	167.6	1	2		
126	23	09	24	09	0.04	0.13	105.6	1	2		
132	24	05	25	09	0.95						
153	29	07	26	13	0.32	0.32	261.6	1	2	3.0	3.4
165	25	13	27	09	0.40	0.40	323.0	1	2	4.0	0.3
182	27	09	28	09	0.38	0.38	277.6	1	2	4.0	1.3
199	29	09	30	09	0.13	0.13	106.6	1	2	4.0	1.6
211	30	09	31	09	0.19	0.27	218.6	1	2	3.7	1.4

M. ... sample for analysis *Q: ... collected ...*

LAPROR QUALITY CONTROL PROGRAM
 PRECIPITATION CONCENTRATIONS IN MG/L

12112 HUNDAY, SEPTEMBER 10, 1984 2

DATE	HR	CMNT	LABNO	STNO	QTY	PREC	PH	COND	TEMP	PHOS	NITR	AMON	CHLOR	COBALT	COBALT	COBALT	COBALT	COBALT	COBALT	
228	01	09	02	09	N	0.07	0.15	123.1	1	2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
234	03	09	08	10		17289	1.12	0.93	1	2	4.1	2.0	0.710	0.0221	0.001	0.00	0.14	0.02		
251	04	10	05	04			-0.02		1	2										
256	05	09	06	09		17290	0.24	0.17	1	2	4.0	0.5	0.350	0.010	0.025	0.003	0.07	0.02		
272	06	09	07	09	0		-0.02		1	2										
277	07	09	08	09	0		-0.02		1	2										
282	08	09	09	09	0		0.02		1	2										
287	10	11	11	09		17291	0.09	0.13	1	2	3.5	1.0	0.130		0.007					
299	11	09	12	09	0		-0.02		1	2										
304	12	09	13	09	0		-0.02		1	2										
309	14	09	15	09		17292	1.95	2.00	0	2	4.0	1.0	0.180	-0.05	0.035	0.002	0.12	0.23	-0.02	
320	19	09	20	09		17919	0.34	0.33	2	3	3.9	3.7	0.930	0.07	0.254	0.01	0.07	0.12	0.034	
345	20	09	21	09		17920	0.14	0.22	1	2	4.1	3.0	0.630	0.07	0.237	0.001	0.05	0.00	-0.02	
304	21	09	22	09	0		0.04		1	2										
304	22	09	23	09		17921	0.24	0.24	1	2	4.4	1.0	0.511	0.13	0.073	0.002	0.08	0.03	-0.02	
308	23	09	24	09		17922	0.80	0.82	1	2	4.5	1.0	0.600	0.48	0.116	0.00	0.06	0.027	0.033	
407	26	09	27	09		17923	0.22	0.13	1	2	4.0	0.3	0.250	-0.03						
422	27	09	28	09	0		-0.02		1	2										
427	28	09	29	09		17924	4.02	1.20	1	2	5.0	0.5	0.640	0.05	0.012	0.01	0.06	0.00	-0.02	
448	29	09	31	09		17925	0.32	0.40	1	2	4.2	0.5	0.600	0.03	0.002	0.00	0.03	0.07	0.002	

7

Annexe 3:

Données de la campagne d'échantillonnage moyennes et écart types pour chaque ion, pour les 5 périodes d'étude de 1983-84.

ECHELLE DE METE AU STATION DU LAC LAFLAMME 1983 - 80

FILE NONAME (CREATION DATE = 85/03/27.)

..... D.E.S.C.R.I.P.T.I.O.N. D.E. S.U.B.P.O.P.U.L.A.T.I.O.N.S.

CRITERION VARIABLE NMB AMONIAQUE UFU PAR L
 BROKEN DOWN BY JOUR

VARIABLE	CODE	VALEUR LABEL	SUM	MEAN	STN DEV	VARIANCE	N
FOR ENTIRE POPULATION							
JOUR	19		327.0300	2.8192	3.3483	11.1886	(116)
JOUR	20		4.0000	2.0000	1.4142	2.0000	(2)
JOUR	21		11.1700	1.8617	.5797	.3381	(6)
JOUR	22		8.8400	1.8733	.2983	.0890	(6)
JOUR	23		7.2300	1.2050	.7009	.0000	(6)
JOUR	24		7.9300	1.3217	.4538	1.0000	(6)
JOUR	25		54.1600	9.0247	1.1028	1.2163	(6)
JOUR	26		3.8300	.8383	.8070	.6512	(6)
JOUR	60		2.2800	.8800	.5800	.3669	(6)
JOUR	61		1.6100	.2683	.4284	1.0000	(6)
JOUR	62		.6700	.1675	.3350	.1122	(4)
JOUR	63		1.2800	.3200	.3752	1.0000	(4)
JOUR	64		.6700	.1675	.3350	.1122	(4)
JOUR	65		2.1700	.2713	.7672	.5886	(6)
JOUR	74		0	0	0	0	(0)
JOUR	75		0	0	0	0	(0)
JOUR	76		5.1700	.6862	.6024	.3629	(8)
JOUR	77		62.1800	7.7225	.7984	.6381	(8)
JOUR	353		52.6700	6.5838	.7001	.4902	(8)
JOUR	354		60.8900	8.6986	1.5322	2.3476	(7)
JOUR	355		40.2800	5.7543	1.3851	1.9186	(7)
JOUR	356						

TOTAL CASES = 116

FILE NONAME (CREATION DATE = 85/03/27.)

----- DESCRIPTION OF SUBPOPULATIONS -----

CRITERION VARIABLE NO3 NITRATE (UG PAR L
BROKEN DOWN BY JOUR

VARIABLE	CODE	VALUE LABEL	SUM	MEAN	STD DEV	VARIANCE	N
FOR ENTIRE POPULATION			5445.6100	46.9449	37.1444	1379.8563	(116)
JOUR	19,		261.9300	130.9650	43.5608	1897.8960	(2)
JOUR	20,		646.9500	107.8250	10.5053	110.3620	(6)
JOUR	21,		633.0500	105.5083	18.1284	328.4938	(6)
JOUR	22,		482.5600	80.4267	8.8439	78.2149	(6)
JOUR	23,		579.0300	96.5050	8.2594	68.2171	(6)
JOUR	28,		380.3200	63.3867	4.6882	21.9790	(6)
JOUR	40,		38.0700	6.3450	4.3144	18.6145	(6)
JOUR	61,		120.1500	20.0250	8.5503	73.1072	(6)
JOUR	62,		108.2200	18.0367	11.2414	126.3691	(6)
JOUR	63,		57.8900	14.4725	8.5805	73.6243	(4)
JOUR	64,		69.6800	17.4200	7.7510	60.0785	(4)
JOUR	65,		51.3000	12.8250	7.6671	58.7886	(4)
JOUR	74,		60.0000	7.5000	8.7238	76.1045	(8)
JOUR	75,		28.4000	3.5500	3.7941	14.3953	(8)
JOUR	76,		178.0600	22.2575	8.7186	76.0145	(8)
JOUR	353,		437.1000	54.6375	3.0410	9.2475	(8)
JOUR	354,		461.2900	57.6613	4.7793	22.8814	(8)
JOUR	355,		501.6200	71.6600	8.8275	77.9243	(7)
JOUR	356,		349.9900	49.9986	8.8339	78.0349	(7)

TOTAL CASES = 116

FILE NOMAME (CORRELATION DATE = 05/03/27.)

DESCRIPTION OF SUBPOPULATIONS

CRITERION VARIABLE S²₀ SULFATE NEG PAR L
 BROKEN DOWN BY JOUR

VARIABLE	CODE	VALUE LABEL	SUM	MEAN	STD DEV	VARIANCE	N
FOR ENTIRE POPULATION			1375,7200	11,8597	5,9909	35,8914	(116)
JOUR	19		20,3300	10,1650	1,7607	3,1001	(2)
JOUR	20		56,8500	9,0750	,5368	,2881	(6)
JOUR	21		64,9400	10,8233	1,2413	1,5407	(6)
JOUR	22		53,7400	8,9567	1,0513	1,1053	(6)
JOUR	23		58,9200	9,8200	,9235	,8528	(6)
JOUR	28		102,9100	17,1517	1,6822	2,8299	(6)
JOUR	40		65,7600	10,9600	1,5936	2,5361	(6)
JOUR	41		57,4700	9,5783	3,3704	11,3596	(6)
JOUR	62		58,3000	9,7167	3,2683	10,6815	(6)
JOUR	63		37,3400	9,3350	3,7172	13,8174	(4)
JOUR	64		32,9800	8,2450	1,5166	2,3001	(4)
JOUR	65		34,6400	8,6600	2,8818	8,3088	(4)
JOUR	74		38,3600	8,7950	2,7665	7,6536	(8)
JOUR	75		32,1600	8,0200	,9157	,8385	(8)
JOUR	76		73,8600	9,2325	4,1557	17,2699	(8)
JOUR	353		157,6900	19,7112	2,7174	7,3800	(8)
JOUR	354		145,2200	18,1525	1,8397	3,3805	(8)
JOUR	355		159,7600	22,8229	2,3906	5,7339	(7)
JOUR	356		124,4900	17,7843	3,7627	14,1579	(7)

TOTAL CASES = 116

FILE NNAME (CREATION DATE = RS/03/27.)

DESCRIPTION OF SUBPOPULATIONS

CRITERION VARIABLE NA SODIUM IEN PAR L.
BROKEN DOWN BY JOUR

VARIABLE	CODE	VALUE LABEL	SUM	MEAN	STD. DEV.	VARIANCE	N
POP ENTIRE POPULATION							
JOIR	19		322,5300	2,7804	1,7101	2,9286	116
JOIR	20		8,2600	4,1300	1,5415	2,3742	2
JOIR	21		33,4800	5,5800	2,8408	8,1212	6
JOIR	22		29,1300	8,8550	1,8115	3,2814	6
JOIR	23		22,1700	3,4950	1,9543	3,8388	6
JOIR	24		19,1300	3,1843	1,6847	2,8516	6
JOIR	25		9,1100	1,5103	5,308	2,2860	6
JOIR	26		16,0900	2,6817	1,7478	3,0549	6
JOIR	27		10,1300	3,1843	1,3928	1,9398	6
JOIR	28		17,3800	2,8967	1,3114	1,7197	6
JOIR	29		11,3100	2,8275	2,8949	6,2484	4
JOIR	30		10,4200	2,6050	1,6659	2,7753	4
JOIR	31		10,8600	2,7150	2,3912	5,7179	4
JOIR	32		10,8700	1,3588	6,382	4,022	8
JOIR	33		13,9000	1,7375	1,3147	1,7338	6
JOIR	34		21,3100	2,6638	7,517	5,650	8
JOIR	35		18,6900	2,3363	5,672	3,217	8
JOIR	36		17,8200	2,2275	5,902	3,483	6
JOIR	37		18,2600	2,6046	9,719	9,447	7
JOIR	38		15,2100	2,1729	1,2829	1,6458	7

TOTAL CASES = 116

FILE NONAME (CREATION DATE = 85/03/27.)

- - - - - DESCRIPTION OF SUBPOPULATIONS - - - - -

CRITERION VARIABLE K POTASSIUM UFG PAR L
BROKEN DOWN BY JOUR

VARIABLE	CODE	VALUE LABEL	SUM	MEAN	STD DEV	VARIANCE	N
FOR ENTIRE POPULATION			81.3700	.7015	.5751	.3307 (	116)
JOUR	19,		.7700	.3850	.5445	.2965 (	21)
JOUR	20,		7.9300	1.3217	1.5639	2.0457 (	61)
JOUR	21,		4.6000	.7667	.8411	.7074 (	61)
JOUR	22,		2.3100	.3850	.5310	.2819 (	61)
JOUR	23,		1.2900	.2150	.3002	.0901 (	61)
JOUR	28,		.2600	.0433	.1041	.0113 (	61)
JOUR	60,		7.4000	1.2333	.7509	.0629 (	61)
JOUR	61,		3.8400	.6400	.3526	.1243 (	61)
JOUR	62,		4.6100	.7683	.1613	.0260 (	61)
JOUR	63,		1.7900	.4475	.1250	.0156 (	41)
JOUR	64,		2.3000	.5750	.1300	.0169 (	41)
JOUR	65,		1.2900	.3225	.1250	.0156 (	41)
JOUR	74,		3.8400	.8800	.1627	.0265 (	81)
JOUR	75,		7.1600	.8950	.5626	.3166 (	81)
JOUR	76,		6.3900	.7987	.4798	.2302 (	81)
JOUR	353,		6.9000	.8625	.3315	.1099 (	81)
JOUR	354,		5.8900	.7363	.2546	.0648 (	81)
JOUR	355,		6.4000	.9143	.2900	.0841 (	71)
JOUR	356,		6.4000	.9143	.5308	.2817 (	71)
TOTAL CASES = 116							

FILE NONAME (CREATION DATE = 85/03/27.)

----- DESCRIPTION OF SUBPOPULATIONS -----

CRITERION VARIABLE MG MAGNESIUM UFG PAR L
 BROKEN DOWN BY JOUR

VARIABLE	CODE	VALUE LABEL	SUM	MEAN	STD DEV	VARIANCE	N
FOR ENTIRE POPULATION			45.9000	.3957	.3568	.1273	(116)
JOUR	19,		.1700	.0850	.1202	.0144	(2)
JOUR	20,		1.5000	.2500	.1978	.0391	(6)
JOUR	21,		1.8500	.2083	.2020	.0408	(6)
JOUR	22,		.8300	.1383	.1356	.0184	(6)
JOUR	23,		1.3300	.2217	.1561	.0244	(6)
JOUR	28,		1.2500	.2083	.0868	.0075	(6)
JOUR	40,		4.0800	.6800	.5899	.3480	(6)
JOUR	41,		4.6600	.7767	.3189	.1017	(6)
JOUR	42,		5.0800	.8467	.2768	.0766	(6)
JOUR	43,		3.1700	.7925	.6106	.3839	(4)
JOUR	44,		3.5000	.8750	.3896	.1518	(4)
JOUR	45,		3.5900	.8975	.6119	.3784	(4)
JOUR	74,		1.5000	.1875	.2367	.0560	(8)
JOUR	75,		.2500	.0313	.0627	.0039	(8)
JOUR	76,		2.9100	.3637	.1880	.0353	(8)
JOUR	353,		2.7400	.3425	.0552	.0031	(8)
JOUR	354,		2.3200	.2900	.0428	.0018	(8)
JOUR	355,		2.7500	.3929	.0652	.0043	(7)
JOUR	356,		2.4200	.3457	.0896	.0080	(7)

TOTAL CASES = 116

FILE NONAME (CREATION DATE = 05/03/27.)

----- DESCRIPTION OF SUBPOPULATIONS -----

CRITERION VARIABLE CA CALCIUM UFG PAR L
 BROKEN DOWN BY JOUR

VARIABLE	CODE	VALUE LABEL	SUM	MEAN	STD DEV	VARIANCE	N
FOR ENTIRE POPULATION			172.0000	1.4828	1.2211	1.4910 (	116)
JOUR	19,		1.5000	.7500	.3536	.1250 (	2)
JOUR	20,		4.5000	.7500	.5204	.2750 (	6)
JOUR	21,		5.0000	.8333	.4082	.1667 (	6)
JOUR	22,		4.0000	.6667	.5164	.2667 (	6)
JOUR	23,		5.5000	.9167	.5805	.3417 (	6)
JOUR	28,		2.0000	.3333	.5164	.2667 (	6)
JOUR	40,		22.0000	3.6667	1.2111	1.4667 (	6)
JOUR	61,		19.5000	3.2500	.7583	.5750 (	6)
JOUR	62,		18.5000	3.0833	.6606	.4417 (	6)
JOUR	63,		12.5000	1.1250	1.1087	1.2292 (	4)
JOUR	64,		10.5000	2.6250	.7500	.5625 (	4)
JOUR	65,		10.5000	2.6250	1.3769	1.8958 (	4)
JOUR	74,		5.0000	.6250	.7906	.6250 (	8)
JOUR	75,		2.0000	.2500	.2673	.0714 (	8)
JOUR	76,		12.0000	1.5000	.8018	.6429 (	8)
JOUR	353,		10.0000	1.2500	.2673	.0714 (	8)
JOUR	354,		8.0000	1.0000	.6507	.4286 (	8)
JOUR	355,		9.5000	1.3571	.3780	.1429 (	7)
JOUR	356,		9.5000	1.3571	.6288	.3929 (	7)
TOTAL CASES =		116					

FILE NONAME (CREATION DATE = 85/03/27.)

----- DESCRIPTION OF SUBPOPULATIONS -----

CRITERION VARIABLE H HYDROGENE UFD PAR L
BROKEN DOWN BY JOUR

VARIABLE	CODE	VALUE LABEL	SUM	MEAN	STD DEV	VARIANCE	N
FOR ENTIRE POPULATION			6540.3300	56.4597	40.0729	1605.8381	(1161
JOUR	19,		253.4500	126.7250	20.5415	021.9513	(-2)
JOUR	20,		664.0200	110.8200	9.2901	86.3053	(6)
JOUR	21,		640.7600	106.7933	18.6080	346.2593	(6)
JOUR	22,		679.3200	113.2200	11.8524	140.0800	(6)
JOUR	23,		733.3900	122.2317	12.7738	163.1703	(6)
JOUR	28,		386.2900	69.3817	3.1394	9.8560	(6)
JOUR	60,		86.0000	14.3333	9.3220	86.8099	(6)
JOUR	61,		156.1800	26.0300	10.1804	103.6400	(6)
JOUR	62,		152.3500	25.3917	12.8439	164.9663	(6)
JOUR	63,		86.2800	21.5700	9.7006	94.1009	(4)
JOUR	64,		93.4100	23.3525	7.1378	50.9481	(4)
JOUR	65,		77.0200	19.2550	7.9769	63.6306	(4)
JOUR	74,		100.6400	12.5800	9.7667	95.3875	(8)
JOUR	75,		70.1600	8.7700	4.6456	21.5814	(8)
JOUR	76,		221.3200	27.6650	10.1486	102.9907	(8)
JOUR	353,		517.3500	64.8688	3.9178	15.3255	(8)
JOUR	354,		592.2500	74.0287	4.2175	17.7877	(8)
JOUR	355,		607.6400	86.8057	10.4305	108.7949	(7)
JOUR	356,		430.6200	61.5171	6.7740	95.5312	(7)

TOTAL CASES = 116

Annexe 4:

Vitesses de sédimentation données par le modèle de Sheih telles que fournies par le Service d'Environnement Atmosphérique. Région de Québec, Montréal.

MONTMORENCY

LONG : -71.150 LAT : 47.317

S02

SEASON : WINTER

LAND USE CLASSES

	WATER	C. FOR	D. FOR	SWAMP	CULT	GRASS	URBAN
%	9.90	38.15	38.15	0.70	0.00	13.00	0.10

DRY DEPOSITION VELOCITY (CM/S)

STABILITY CLASSES

WIND KNOTS	A	B	C	D	E	F
1.	0.07	0.07	0.06	0.06		0.05
2.	0.07	0.07	0.07	0.07		0.06
3.	0.08	0.08	0.08	0.07		0.06
4.	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07
5.	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07
6.		0.08	0.08	0.08	0.08	0.07
7.		0.08	0.08	0.08	0.08	
8.		0.08	0.08	0.08	0.08	
9.		0.09	0.08	0.08	0.08	
10.			0.08	0.08	0.08	
11.			0.09	0.08		
12.			0.09	0.09		
13.			0.09	0.09		
14.			0.09	0.09		
15.			0.09	0.09		
16.			0.09	0.09		
17.			0.09	0.09		
18.			0.09	0.09		
19.			0.09	0.09		
20.			0.09	0.09		
21.			0.09	0.09		
22.			0.09	0.09		
23.			0.09	0.09		
24.			0.09	0.09		
25.			0.09	0.09		

MONTMORENCY

LONG : -71.150 LAT : 47.317

S02

SEASON : WINTER

LAND-USE CATEGORY : GRASSLAND

DRY DEPOSITION VELOCITY (CM/S)

WIND KNOTS	STABILITY CLASSES					
	A	B	C	D	E	F
1.	0.05	0.05	0.04	0.04		0.03
2.	0.07	0.07	0.07	0.06		0.05
3.	0.09	0.08	0.08	0.08		0.06
4.	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.07
5.	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08
6.		0.11	0.10	0.10	0.09	0.08
7.		0.11	0.11	0.11	0.10	
8.		0.11	0.11	0.11	0.10	
9.		0.12	0.11	0.11	0.11	
10.			0.12	0.11	0.11	
11.			0.12	0.12		
12.			0.12	0.12		
13.			0.12	0.12		
14.			0.12	0.12		
15.			0.12	0.12		
16.			0.13	0.12		
17.			0.13	0.12		
18.			0.13	0.13		
19.			0.13	0.13		
20.			0.13	0.13		
21.			0.13	0.13		
22.			0.13	0.13		
23.			0.13	0.13		
24.			0.13	0.13		
25.			0.13	0.13		

MONTMORENCY

LONG : -71.150 LAT : 47.317

S04

SEASON : WINTER

		LAND USE CLASSES						
		WATER	C. FOR	D. FOR	SWAMP	CULT	GRASS	URBAN
*		9.90	38.15	38.15	0.70	0.00	13.00	0.10

DRY DEPOSITION VELOCITY (CM/S)

WIND KNOTS	STABILITY CLASSES					
	A	B	C	D	E	F
1.	0.31	0.29	0.26	0.22		0.10
2.	0.32	0.31	0.29	0.26		0.15
3.	0.32	0.32	0.31	0.28		0.18
4.	0.33	0.32	0.31	0.29	0.26	0.20
5.	0.33	0.32	0.32	0.30	0.27	0.22
6.		0.33	0.32	0.30	0.27	0.23
7.		0.33	0.32	0.30	0.28	
8.		0.33	0.32	0.31	0.28	
9.		0.33	0.32	0.31	0.29	
10.			0.32	0.31	0.29	
11.			0.33	0.31		
12.			0.33	0.31		
13.			0.33	0.31		
14.			0.33	0.31		
15.			0.33	0.31		
16.			0.33	0.32		
17.			0.33	0.32		
18.			0.33	0.32		
19.			0.33	0.32		
20.			0.33	0.32		
21.			0.33	0.32		
22.			0.33	0.32		
23.			0.33	0.32		
24.			0.33	0.32		
25.			0.33	0.32		

MONTMORENCY

LONG : -71.150 LAT : 47.317

S04

SEASON : WINTER

LAND-USE CATEGORY : GRASSLAND

DRY DEPOSITION VELOCITY (CM/S)

WIND KNOTS	STABILITY CLASSES					
	A	B	C	D	E	F
1.	0.05	0.05	0.04	0.03		0.02
2.	0.07	0.06	0.06	0.04		0.03
3.	0.07	0.07	0.07	0.04		0.03
4.	0.08	0.08	0.08	0.05	0.03	0.03
5.	0.08	0.08	0.08	0.05	0.04	0.03
6.		0.08	0.08	0.05	0.04	0.03
7.		0.09	0.08	0.05	0.04	
8.		0.09	0.09	0.05	0.04	
9.		0.09	0.09	0.05	0.04	
10.			0.09	0.05	0.04	
11.			0.09	0.05		
12.			0.09	0.05		
13.			0.09	0.05		
14.			0.09	0.05		
15.			0.09	0.05		
16.			0.09	0.05		
17.			0.09	0.05		
18.			0.09	0.05		
19.			0.09	0.05		
20.			0.09	0.05		
21.			0.09	0.06		
22.			0.09	0.06		
23.			0.09	0.06		
24.			0.10	0.06		
25.			0.10	0.06		

MONTMORENCY

LONG : -71.150 LAT : 47.317

NO3

SEASON : WINTER

		LAND USE CLASSES						
		WATER	C. FOR	D. FOR	SWAMP	CULT	GRASS	URBAN
*		9.90	38.15	38.15	0.70	0.00	13.00	0.10

DRY DEPOSITION VELOCITY (CM/S)

WIND KNOTS	STABILITY CLASSES					
	A	B	C	D	E	F
1.	0.59	0.54	0.44	0.35		0.13
2.	0.62	0.59	0.53	0.45		0.21
3.	0.63	0.61	0.56	0.50		0.26
4.	0.64	0.62	0.59	0.53	0.43	0.30
5.	0.64	0.63	0.60	0.55	0.46	0.33
6.		0.64	0.61	0.56	0.48	0.36
7.		0.64	0.62	0.57	0.50	
8.		0.64	0.62	0.58	0.51	
9.		0.65	0.63	0.59	0.52	
10.			0.63	0.59	0.53	
11.			0.64	0.60		
12.			0.64	0.60		
13.			0.64	0.61		
14.			0.64	0.61		
15.			0.64	0.61		
16.			0.64	0.61		
17.			0.65	0.62		
18.			0.65	0.62		
19.			0.65	0.62		
20.			0.65	0.62		
21.			0.65	0.62		
22.			0.65	0.62		
23.			0.65	0.62		
24.			0.65	0.62		
25.			0.65	0.63		

MONTMORENCY

LONG : -71.150 LAT : 47.317

N03

SEASON : WINTER

LAND-USE CATEGORY : GRASSLAND

DRY DEPOSITION VELOCITY (CM/S)

WIND KNOTS	STABILITY CLASSES					
	A	B	C	D	E	F
1.	0.06	0.06	0.06	0.04		0.03
2.	0.10	0.09	0.09	0.06		0.04
3.	0.12	0.11	0.11	0.07		0.05
4.	0.13	0.13	0.12	0.08	0.06	0.05
5.	0.14	0.14	0.13	0.09	0.06	0.06
6.		0.15	0.14	0.09	0.06	0.06
7.		0.15	0.15	0.09	0.07	
8.		0.16	0.15	0.09	0.07	
9.		0.16	0.16	0.10	0.07	
10.			0.16	0.10	0.07	
11.			0.16	0.10		
12.			0.17	0.10		
13.			0.17	0.10		
14.			0.17	0.10		
15.			0.17	0.10		
16.			0.17	0.10		
17.			0.17	0.10		
18.			0.18	0.10		
19.			0.18	0.11		
20.			0.18	0.11		
21.			0.18	0.11		
22.			0.18	0.11		
23.			0.18	0.11		
24.			0.18	0.11		
25.			0.18	0.11		

MONTMORENCY

LONG : -71.150 LAT : 47.317

HNO3

SEASON : WINTER

	LAND USE CLASSES						
	WATER	C. FOR	D. FOR	SWAMP	CULT	GRASS	URBAN
*	9.90	38.15	38.15	0.70	0.00	13.00	0.10

DRY DEPOSITION VELOCITY (CM/S)

WIND KNOTS	STABILITY CLASSES					
	A	B	C	D	E	F
1.	1.16	0.93	0.66	0.47		0.14
2.	1.80	1.51	1.13	0.85		0.26
3.	2.20	1.90	1.49	1.15		0.38
4.	2.48	2.19	1.77	1.40	0.90	0.49
5.	2.69	2.41	1.99	1.62	1.06	0.60
6.		2.59	2.18	1.80	1.22	0.70
7.		2.73	2.34	1.96	1.35	
8.		2.85	2.47	2.10	1.48	
9.		2.95	2.59	2.22	1.59	
10.			2.69	2.33	1.70	
11.			2.78	2.43		
12.			2.86	2.52		
13.			2.94	2.60		
14.			3.00	2.67		
15.			3.06	2.74		
16.			3.12	2.80		
17.			3.17	2.86		
18.			3.22	2.92		
19.			3.26	2.97		
20.			3.30	3.02		
21.			3.34	3.06		
22.			3.38	3.10		
23.			3.41	3.14		
24.			3.44	3.18		
25.			3.47	3.22		

MONTMORENCY

LONG : -71.150 LAT : 47.317

HN03

SEASON : WINTER

LAND-USE CATEGORY : GRASSLAND

DRY DEPOSITION VELOCITY (CM/S)

WIND KNOTS	STABILITY CLASSES					
	A	B	C	D	E	F
1.	0.07	0.07	0.06	0.06		0.03
2.	0.14	0.14	0.12	0.11		0.07
3.	0.21	0.20	0.18	0.16		0.10
4.	0.28	0.27	0.24	0.22	0.18	0.14
5.	0.35	0.33	0.30	0.27	0.22	0.17
6.		0.39	0.35	0.32	0.26	0.20
7.		0.45	0.41	0.37	0.31	
8.		0.50	0.46	0.42	0.35	
9.		0.56	0.51	0.46	0.39	
10.			0.56	0.51	0.43	
11.			0.61	0.55		
12.			0.66	0.60		
13.			0.71	0.64		
14.			0.75	0.69		
15.			0.80	0.73		
16.			0.84	0.77		
17.			0.89	0.81		
18.			0.93	0.85		
19.			0.97	0.89		
20.			1.01	0.92		
21.			1.05	0.96		
22.			1.09	1.00		
23.			1.13	1.04		
24.			1.17	1.07		
25.			1.20	1.11		

Annexe 5:

Données de l'expérience en milieu semi-contrôlé, période 3A.

RESULTATES D'ANALYSE - LAC LAFLANNE - 1984

AT	STRATTE	AN	MO	JR	HR	MI	HNE CM	VNF CM3	VFA CCM	PH	COND US	CL- PPM	PO4-- PPM	NO3- PPM	SO4-- PPM	HC03- PPM	NH4+ PPM	CA++ PPM	MG++ PPM	K+ PPM	NA+ PPM
1	4	84-	1-28	01	0	4	2873	190	4.15	36.5	.41	-1.00	4.71	1.17	-9.00	153.	.07	.01	.09	.14	
1	3	84-	1-28	01	0	4	2454	250	4.47	16.0	.14	-1.00	2.05	.23	-9.00	51.	.03	-1.00	.02	.05	
1	2	84-	1-28	01	0	2	1771	240	4.25	31.0	.26	-1.00	2.83	2.02	-9.00	153.	.07	.01	.06	.11	
1	1	84-	1-28	01	0	19	3549	585	4.07	40.5	.27	-1.00	4.45	1.64	-9.00	243.	.03	-1.00	.02	.08	
2	4	84-	1-28	01	0	3	2366	160	4.15	35.0	.43	-1.00	4.62	1.30	-9.00	161.	.07	.01	.13	.14	
2	3	84-	1-28	01	0	3	2028	200	4.35	20.5	.21	-1.00	2.98	.24	-9.00	40.	.04	.01	.03	.11	
2	2	84-	1-28	01	0	3	2028	350	4.20	30.0	.30	-1.00	3.16	1.89	-9.00	161.	.08	.01	.28	.21	
2	1	84-	1-28	01	0	19	3211	555	4.10	38.0	.24	-1.00	4.68	1.41	-9.00	102.	.05	.01	.03	.06	
2	0	84-	1-28	01	0	23	3887	1160	4.35	19.5	.26	-1.00	2.56	.90	-9.00	71.	.02	-1.00	.02	.13	
1	4	84-	1-29	01	0	3	2267	200	4.17	35.0	.21	-1.00	4.49	1.13	-9.00	153.	.06	.01	.19	.21	
1	3	84-	1-29	01	0	3	2785	200	4.51	15.2	.24	-1.00	2.95	.28	-9.00	24.	.06	-1.00	.07	.14	
1	2	84-	1-29	01	0	3	1521	250	4.18	34.1	.31	-1.00	2.73	2.08	-9.00	232.	.06	.01	.07	.14	
1	1	84-	1-29	01	0	16	2788	510	4.13	34.5	.21	-1.00	3.70	1.26	-9.00	161.	.02	-1.00	.01	.07	
2	4	84-	1-29	01	0	3	1859	180	4.15	36.0	.41	-1.00	4.39	1.04	-9.00	-9.	.03	.01	.09	.15	
2	3	84-	1-29	01	0	4	2366	235	4.45	16.0	.97	-1.00	2.53	.48	-9.00	36.	.05	.01	.06	.08	
2	2	84-	1-29	01	0	2	1521	270	4.15	41.0	.61	-1.00	3.95	2.66	-9.00	200.	-9.00	-9.00	-9.00	-9.00	
2	1	84-	1-29	01	0	15	2535	480	4.15	31.2	.25	-1.00	3.77	1.38	-9.00	98.	.06	.01	.03	.08	
E	4	84-	1-29	01	0	4	2366	210	4.15	36.0	.37	-1.00	4.71	1.01	-9.00	137.	.05	.01	.07	.36	
E	3	84-	1-29	01	0	3	2366	160	4.35	21.0	.32	-1.00	3.10	.19	-9.00	28.	.05	.01	.07	.13	
E	2	84-	1-29	01	0	3	2028	305	4.23	30.0	.32	-1.00	3.07	1.62	-9.00	137.	.05	.01	.09	.14	
E	1	84-	1-29	01	0	16	3042	600	4.10	38.0	.27	-1.00	4.23	2.00	-9.00	141.	.04	.01	.05	.10	
1	4	84-	1-30	01	0	4	2454	180	4.31	40.0	1.79	-1.00	4.46	1.33	-9.00	98.	.16	.02	1.00	.90	
1	3	84-	1-30	01	0	3	1778	140	4.60	18.2	.53	-1.00	2.38	.31	-9.00	51.	.06	.01	.26	.34	
1	2	84-	1-30	01	0	2	1521	240	4.41	30.0	.63	-1.00	3.77	2.09	-9.00	185.	.09	.01	.23	.32	
1	1	84-	1-30	01	0	16	2788	570	4.26	34.0	.26	-1.00	3.57	1.36	-9.00	141.	.04	-1.00	.06	.10	
2	4	84-	1-30	01	0	4	2454	205	4.16	34.5	.52	-1.00	4.30	1.10	-9.00	184.	.06	.02	.15	.25	
2	3	84-	1-30	01	0	2	1609	160	4.39	18.0	.18	-1.00	2.60	.31	-9.00	44.	.02	-1.00	.05	.09	
2	2	84-	1-30	01	0	3	2028	380	4.31	33.5	.28	-1.00	2.91	2.01	-9.00	144.	.05	-1.00	.05	.11	
2	1	84-	1-30	01	0	15	2535	480	4.21	34.0	.20	-1.00	3.47	1.16	-9.00	105.	.02	-1.00	.02	.07	
1	4	84-	1-31	01	0	3	2028	120	4.25	36.2	1.06	-1.00	4.74	1.34	-9.00	188.	.12	.02	.27	.40	
1	3	84-	1-31	01	0	2	1521	185	4.28	23.8	.56	-1.00	3.23	.30	-9.00	68.	.07	.02	.26	.30	
1	2	84-	1-31	01	0	3	1859	305	4.33	25.0	.27	-1.00	2.38	1.56	-9.00	144.	.06	.01	.09	.14	
1	1	84-	1-31	01	0	17	2873	505	4.00	33.5	.20	-1.00	3.57	1.30	-9.00	178.	.03	.01	.02	.08	
2	4	84-	1-31	01	0	3	2028	220	4.18	34.0	.27	-1.00	4.08	.99	-9.00	145.	.04	.01	.05	.09	
2	3	84-	1-31	01	0	3	1778	200	4.56	13.5	.18	-1.00	2.24	.28	-9.00	38.	.02	.01	.07	.08	
2	2	84-	1-31	01	0	2	1778	340	4.21	40.5	.29	-1.00	4.16	2.62	-9.00	263.	.06	.01	.05	.11	
2	1	84-	1-31	01	0	15	2535	485	4.12	36.2	.26	-1.00	3.27	1.24	-9.00	149.	.02	.01	.06	.11	

RESULTS ANALYSE - LAC LAFLAMME - 1980

AT	STRATTE	AN	MO	JR	HR	MI	HNE CM	VNF CM3	VFA CM	PH	COND UIS	CL- PPM	PO4--- PPM	NO3- PPM	SO4-- PPM	HC03- PPM	NH4+ PPB	CA++ PPM	MG++ PPM	K+ PPM	NA+ PPM
1	4 84-	2-	1	01	0	3	1690	180	4,13	37,0	.50	-1,00	4,19	1,25	-9,00	227.	.04	.01	.09	.15	
1	3 84-	2-	1	01	0	2	1690	100	4,36	22,2	.47	-1,00	2,90	.30	-9,00	56.	.06	.01	.11	.20	
1	2 84-	2-	1	01	0	2	2285	270	4,29	26,0	.25	-1,00	2,06	1,72	-9,00	162.	.05	.01	.05	.12	
1	1 84-	2-	1	01	0	17	2958	580	4,12	33,5	.16	-1,00	3,65	1,32	-9,00	125.	.01	.01	.04	.07	
1	0 84-	2-	1	01	0	23	3887	1100	4,52	16,5	.15	-1,00	1,52	.76	-9,00	93.	.02	.01	.05	.07	
2	4 84-	2-	1	01	0	3	2366	220	4,15	37,0	.62	-1,00	4,36	1,11	-9,00	-9.	.07	.01	.16	.27	
2	3 84-	2-	1	01	0	3	1521	190	4,53	15,5	.43	-1,00	1,82	.31	-9,00	60.	.06	.01	.09	.22	
2	2 84-	2-	1	01	0	2	1521	300	4,09	40,3	.50	-1,00	3,60	2,48	-9,00	255.	.09	-9,00	-9,00	-9,00	
2	1 84-	2-	1	01	0	16	2704	600	4,00	45,8	.36	-1,00	4,61	2,35	-9,00	210.	.04	.01	.07	.16	
2	0 84-	2-	1	01	0	21	3549	1060	4,42	18,6	.27	-1,00	3,06	.91	-9,00	121.	.06	.02	.10	.17	
1	4 84-	2-	3	01	0	2	1352	160	4,15	36,8	.41	-1,00	4,28	1,24	-9,00	270.	.05	.01	.08	.16	
1	3 84-	2-	3	01	0	3	1947	220	4,31	22,0	.23	-1,00	2,76	.38	-9,00	71.	.02	-1,00	.05	.07	
1	2 84-	2-	3	01	0	2	1440	300	4,22	29,0	.20	-1,00	2,37	1,75	-9,00	195.	.04	.01	.04	.08	
1	1 84-	2-	3	01	0	15	2535	595	4,13	35,3	.18	-1,00	3,67	1,40	-9,00	189.	.01	-1,00	.02	.05	
2	4 84-	2-	3	01	0	3	1947	210	4,14	34,9	.54	-1,00	4,09	1,02	-9,00	214.	.07	.01	.11	.21	
2	3 84-	2-	3	01	0	2	1433	180	4,52	15,3	.32	-1,00	1,56	.23	-9,00	56.	.05	.01	.11	.16	
2	2 84-	2-	3	01	0	2	1352	290	4,10	38,0	.35	-1,00	3,06	2,31	-9,00	234.	.06	.01	.09	.14	
2	1 84-	2-	3	01	0	16	2704	660	4,04	43,0	.25	-1,00	4,90	2,38	-9,00	288.	.02	-1,00	.05	.08	
1	3 84-	2-	6	01	0	3	2366	300	4,13	34,0	.37	-1,00	3,98	1,05	-9,00	185.	.02	-1,00	.05	.05	
1	2 84-	2-	6	01	0	3	1859	390	4,21	28,2	.17	-1,00	2,48	1,56	-9,00	155.	.04	-1,00	.05	.07	
1	1 84-	2-	6	01	0	17	2570	720	4,06	45,0	-9,00	-1,00	4,32	2,35	-9,00	291.	.02	-1,00	.03	.07	
1	0 84-	2-	6	01	0	21	3550	1040	4,71	9,6	.07	-1,00	1,05	.28	-9,00	56.	.01	-1,00	.02	.03	
2	3 84-	2-	6	01	0	3	2285	310	4,24	29,0	.30	-1,00	3,61	.79	-9,00	121.	.05	.01	.09	.15	
2	2 84-	2-	6	01	0	3	1778	385	4,19	29,8	.28	-1,00	2,60	1,69	-9,00	182.	.05	.01	.07	.14	
2	1 84-	2-	6	01	0	15	2535	570	4,07	36,5	.26	-1,00	4,10	1,78	-9,00	168.	.02	-1,00	.06	.10	
2	0 84-	2-	6	01	0	23	3887	960	4,52	14,5	.10	-1,00	1,42	.62	-9,00	64.	.01	-1,00	.04	.06	
1	3 84-	2-	9	01	0	3	2028	250	4,25	31,0	.25	-1,00	3,47	.84	-9,00	185.	.02	.01	.04	.06	
1	2 84-	2-	9	01	0	4	2873	580	4,35	24,0	.13	-1,00	2,16	1,10	-9,00	161.	.03	-1,00	.04	.06	
1	1 84-	2-	9	01	0	14	2450	540	4,05	51,0	.29	-1,00	4,88	2,67	-9,00	388.	.02	.01	.04	.08	
2	3 84-	2-	9	01	0	4	2535	375	4,30	26,0	.24	-1,00	3,21	.67	-9,00	224.	.04	.01	.08	.12	
2	2 84-	2-	9	01	0	3	2028	300	4,25	35,0	.21	-1,00	2,48	1,62	-9,00	239.	.05	.01	.06	.11	
2	1 84-	2-	9	01	0	14	2450	560	4,20	32,0	.16	-1,00	3,65	1,48	-9,00	192.	.02	.01	-9,00	.05	
1	3 84-	2-	13	01	0	4	2704	400	4,21	30,8	.69	-1,00	3,29	.95	-9,00	151.	.06	.01	.17	.38	
1	2 84-	2-	13	01	0	2	1605	280	4,22	32,0	.74	-1,00	2,43	2,10	-9,00	204.	.10	.01	.15	.40	
1	1 84-	2-	13	01	0	13	2197	540	4,09	38,0	.34	-1,00	3,72	1,86	-9,00	153.	.04	.01	.11	.21	
1	0 84-	2-	13	01	0	20	3380	1175	4,44	17,4	.22	-1,00	1,61	.84	-9,00	85.	.01	.01	.07	.10	
2	3 84-	2-	13	01	0	3	2028	310	4,20	32,0	.75	-1,00	3,49	.95	-9,00	147.	.09	.01	.27	.40	
2	2 84-	2-	13	01	0	4	2704	480	4,22	28,5	.38	-1,00	2,60	1,56	-9,00	180.	.05	.01	.09	.18	
2	1 84-	2-	13	01	0	14	2366	575	4,06	40,0	.44	-1,00	3,79	1,51	-9,00	195.	.03	.01	.08	.15	
2	0 84-	2-	13	01	0	21	3550	1345	4,52	17,8	.17	-1,00	1,38	.72	-9,00	68.	.01	-1,00	.04	.07	