

INFORMATION TO USERS

This manuscript has been reproduced from the microfilm master. UMI films the text directly from the original or copy submitted. Thus, some thesis and dissertation copies are in typewriter face, while others may be from any type of computer printer.

The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted. Broken or indistinct print, colored or poor quality illustrations and photographs, print bleedthrough, substandard margins, and improper alignment can adversely affect reproduction.

In the unlikely event that the author did not send UMI a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if unauthorized copyright material had to be removed, a note will indicate the deletion.

Oversize materials (e.g., maps, drawings, charts) are reproduced by sectioning the original, beginning at the upper left-hand corner and continuing from left to right in equal sections with small overlaps. Each original is also photographed in one exposure and is included in reduced form at the back of the book.

Photographs included in the original manuscript have been reproduced xerographically in this copy. Higher quality 6" x 9" black and white photographic prints are available for any photographs or illustrations appearing in this copy for an additional charge. Contact UMI directly to order.

UMI

**A Bell & Howell Information Company
300 North Zeeb Road, Ann Arbor MI 48106-1346 USA
313/761-4700 800/521-0600**



Université d'Ottawa • University of Ottawa

**«Évaluation de la réponse du modèle
CANBEIS (CANadian Biogenic Emissions Inventory System)
aux modifications de certains facteurs environnementaux»**

**Thèse présentée à
l'école des études supérieures et de la recherche
en vue de l'obtention
de la maîtrise ès Arts en Géographie**

**Par
Dominique Ratté
Département de Géographie
Université d'Ottawa**

© Dominique Ratté, Ottawa, Canada, 1997.



National Library
of Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions et
services bibliographiques

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of his/her thesis by any means and in any form or format, making this thesis available to interested persons.

The author retains ownership of the copyright in his/her thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced with the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de sa thèse de quelque manière et sous quelque forme que ce soit pour mettre des exemplaires de cette thèse à la disposition des personnes intéressées.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège sa thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-20947-4

RÉSUMÉ

Le modèle CANBEIS qui permet l'estimation des émissions de COV d'origine biogénique a été évalué grâce à diverses analyses de sensibilité. De nombreuses simulations impliquant la variation de paramètres-clés tels que les conditions météorologiques ont été effectuées et analysées en comparaison avec les constats provenant de la littérature existante.

Dans plusieurs cas, certaines similarités dans les comparaisons sont ressorties alors que dans d'autres cas, la divergence des résultats a fait en sorte qu'une ré-évaluation de certains aspects méthodologiques du modèle devra être considérée.

De plus, la topographie du terrain a aussi été évaluée relativement à son impact sur la température et par conséquent sur les émissions afin de déterminer si cette composante pouvait jouer un rôle déterminant dans le modèle. Cette analyse, réalisée pour la vallée du fleuve Fraser en Colombie-Britannique, a permis de constater qu'en effet, les émissions pouvaient varier considérablement lorsque la topographie était impliquée dans le calcul des émissions.

ABSTRACT

The evaluation of the model **CANBEIS** that allows the estimation of biogenic VOC emissions has been performed through various sensitivity analyses. Numerous simulations involving the variation of key parameters such as meteorological conditions were conducted and analyzed in comparison with the results from existing literature.

Most of the time, there were similarities in the comparisons although in some cases, divergence brought up the consideration of re-assessment of some methodologies in the model.

The impact of the terrain elevation on temperature and consequently on emissions, was also evaluated to determine its potential role in the model. This analysis, performed for the lower Fraser Valley in British Columbia, has confirmed that when terrain elevation was involved in the calculation of emissions, the latter indicated significant variations.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Mr. Marc Deslauriers qui m'a permit l'accès à de nombreuses informations pertinentes reliées à l'étude et à l'analyse des émissions de type biogénique à la Direction des Données sur la Pollution du Service de la Protection de l'Environnement d'Environnement Canada. Sans cette source précieuse, il m'aurait été difficile de faire évoluer cette thèse parallèlement à ce qui se fait actuellement dans le domaine.

J'aimerais aussi remercier mon directeur de thèse, Mr. Claude Duguay, maintenant au Centre d'Études Nordiques de l'Université Laval à Québec, pour son support technique et l'encouragement constant qu'il m'a offert et qui m'a permit de compléter cette thèse.

Je tiens à remercier infiniment mon grand ami et ancien collègue de travail, Mr. Wolfgang Bitterlich pour avoir joué un rôle primordial dans l'accomplissement de ce travail. Sans son appui moral et sa contribution notable au niveau de l'élaboration des objectifs de recherche et du développement d'outils de travail essentiels pour l'analyse, il m'aurait été presque impossible ou du moins difficile de compléter cette étude.

Je suis aussi très reconnaissante aux membres qui ont siégé sur mon comité pour avoir lu et commenté avec grand intérêt cette thèse.

Je remercie aussi toutes les personnes-ressources d'Environnement Canada et d'Agriculture Canada pour tous les renseignements pertinents qui m'ont été offerts.

Par-dessus tout, c'est à mes proches et ami(e)s qui ont manifesté un encouragement soutenu, auxquels j'aimerais dire: "Merci beaucoup!".

TABLE DES MATIÈRES

	page
RÉSUMÉ.....	i
ABSTRACT	ii
REMERCIEMENTS	iii
TABLE DES MATIÈRES	iv
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1: CONTEXTE , OBJECTIFS ET STRUCTURE	2
1.1 Mise en situation des émissions biogéniques.....	2
1.2 Objectifs de recherche.....	3
1.3 Structure de la thèse	4
CHAPITRE 2: CADRE THÉORIQUE.....	5
2.1 Les émissions biogéniques	5
2.1.1 Nature des émissions.....	5
2.1.2 Variables contrôlant les émissions	8
2.2 Modélisation des émissions biogéniques	9
2.2.1 Constats des études antérieures.....	9
2.2.2 Modèles PC-BEIS et CANBEIS	12
2.2.3 Limitations et besoins	16

CHAPITRE 3: MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE.....	19
3.1 Région et période d'étude	19
3.2 Source et utilisation de données	21
3.2.1 Couverture et utilisation des sols	21
3.2.2 Flux standards d'émissions et facteurs de croissance végétale.....	21
3.2.3 Données météorologiques	28
3.2.4 Modèles numériques d'altitude.....	29
3.3 Évaluation de la sensibilité des estimations en fonction des facteurs environnementaux relatifs aux conditions météorologiques	32
3.4 Évaluation du rôle de la topographie comme contrôle sur les émissions.....	36
 CHAPITRE 4: ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	 46
4.1 Évaluation de la sensibilité des estimations aux facteurs environnementaux.....	46
4.1.1 Présentation et analyse des résultats	46
4.1.1.1 Température ambiante près de la surface.....	46
4.1.1.2 Couverture nuageuse	57
4.1.1.3 Humidité relative.....	65
4.1.1.4 Vitesse du vent	72
4.1.2 Comparaison et interprétation des résultats	76
4.1.2.1 Température ambiante près de la surface.....	76
4.1.2.2 Couverture nuageuse	77
4.1.2.3 Humidité relative.....	78
4.1.2.4 Vitesse du vent	79

4.2 Évaluation du rôle de la topographie.....	79
4.2.1 Présentation et analyse des résultats	79
4.2.1.1 Estimations sans ajustement.....	80
4.2.1.2 Estimations avec ajustements.....	80
4.2.2 Comparaison et interprétation des résultats	84
 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	 94
 BIBLIOGRAPHIE	 97

LISTE DES FIGURES

	page
Figure 1. Localisation de la zone d'étude.....	20
Figure 2. Carte de couverture des sols	22
Figure 3. Diagrammes des données agricoles	23
Figure 4. Carte des divisions agricoles.....	24
Figure 5: Localisation des stations météorologiques	30
Figure 6. Modèle numérique d'altitude	31
Figure 7. Dimension de la matrice de points.....	41
Figure 8. Calcul d'ajustement des variables météorologiques.....	45
Figures 9-17. Variation des émissions selon la température.....	47
Figures 18-23. Variation des émissions par intervalles de température.....	54
Figures 24-29. Variation des émissions selon la couverture nuageuse.....	58
Figures 30-35. Variation des émissions par intervalles de couverture nuageuse.....	62
Figures 36-41. Variation des émissions selon l'humidité relative	66
Figures 42-47. Variation des émissions par intervalles d'humidité relative.....	69
Figures 48-53. Variation des émissions par intervalles de vitesse du vent.....	73
Figure 54. Densité des émissions totales sans ajustement	82
Figure 55. Densité des émissions totales avec ajustements	83
Figure 56. Variation des émissions totales sans et avec ajustements.....	85
Figure 57. Variation des émissions d'isoprènes sans et avec ajustements.....	86
Figure 58. Variation des émissions d'alpha-pinènes sans et avec ajustements.....	87
Figure 59. Variation des émissions des autres monoterpènes sans et avec ajustements.....	88
Figure 60. Variation des émissions non-identifiées sans et avec ajustements	89
Figures 61-64. Variation des densités moyennes sans et avec ajustements.....	92

LISTE DES TABLEAUX

	page
Tableau 1. Flux d'émissions standards	27
Tableau 2. Variables météorologiques	28
Tableau 3. Description des simulations.....	35
Tableau 4. Matrice de points et information relative	42

INTRODUCTION

Le problème de l'ozone au sol qui est une composante importante du smog, est devenu une préoccupation majeure dans le cas de certaines zones spécifiques au Canada. L'expérience américaine a démontré que le contrôle des émissions atmosphériques de COV (composés organiques volatils) et de NOx (oxydes d'azote) qui contribuent à la formation de l'ozone au sol, ne pouvait se réaliser sans y considérer l'apport des émissions de COV provenant de la végétation. En effet, il a été démontré dans plusieurs études que la végétation pouvait dans certaines régions émettre de 5 à 6 fois plus d'émissions de COV de type biogénique.

C'est dans cette perspective qu'Environnement Canada a entrepris l'estimation de ce type d'émissions en parallèle à celle provenant des activités humaines. Le modèle CANBEIS qui permet d'estimer des émissions biogéniques a donc été créé et ce, sur la base d'un modèle américain. Étant en constante évolution, il se doit d'être testé de façon rigoureuse relativement à certains aspects méthodologiques afin d'en évaluer son efficacité en tant que modèle.

Cette étude propose donc une série d'analyses de sensibilité du modèle à divers facteurs jouant un rôle dans l'estimation des émissions. Ces analyses permettront de faire ressortir certains aspects importants qui serviront à évaluer le modèle afin d'apporter des recommandations sur le développement futur de ce dernier.

CHAPITRE 1: CONTEXTE , OBJECTIFS ET STRUCTURE

1.1 Mise en situation des émissions biogéniques

Depuis plusieurs années, l'ozone au sol est devenu une préoccupation majeure dans les pays industrialisés. Ce type de polluant est créé à partir du mélange d'oxydes d'azote (NO_x) et de composés organiques volatils (COV) en présence de radiations solaires et de températures élevées. Avec le temps, l'intérêt pour l'étude des émissions en COV particulièrement d'origine biogénique s'est grandement accru et ce, surtout aux États-Unis. En effet, vu l'échec de certaines grandes villes américaines à rencontrer les standards de qualité de l'air au niveau de l'ozone au sol, l'intérêt s'est dirigé vers ce domaine d'étude. Au Canada, il existe trois grandes zones géographiques qui sont prises en considération du fait que le taux maximum standard acceptable de concentration d'ozone au sol (82 ppm ou parties par milliard) est souvent dépassé au cours de la période estivale et quelquefois durant les journées chaudes au printemps. Ces zones d'intérêt sont appelées les TOMAS (Tropospheric Ozone Management AreaS). Elles sont mieux connues comme étant la vallée du fleuve Fraser en Colombie-Britannique, le corridor Windsor-Québec et la région du sud des provinces de l'Atlantique. Actuellement, des études visant la gestion et la mise en oeuvre du contrôle des émissions de NO_x et de COV provenant des activités humaines sont en cours pour ces régions.

Les émissions biogéniques de COV peuvent contribuer de façon significative à la formation photochimique des oxydants et de l'ozone au sol en particulier, selon plusieurs études effectuées au cours des quinze dernières années. Ainsi, de par le besoin d'évaluer de façon quantitative ce type d'émissions, quelques modèles ont été élaborés à partir des découvertes réalisées au fil des ans. L'Agence de Protection Environnementale (EPA) des États-Unis a développé un programme informatique appelé PC-BEIS. Ce programme permet d'estimer des taux horaires d'émissions biogéniques basés sur l'utilisation du sol,

la biomasse foliaire, les conditions climatiques ainsi que sur des facteurs standards d'émissions pour chaque espèce végétale. Le ministère de l'Environnement du Canada a repris ce programme afin de le modifier et de l'adapter aux conditions canadiennes pour ainsi créer un modèle appelé **CANBEIS**. Étant constamment en état de développement, il se doit donc d'être testé et évalué selon diverses approches de modélisation spatiale afin d'être amélioré pour qu'il puisse générer des estimations reflétant le mieux possible les conditions observées sur le terrain. Le modèle actuel tient compte des variations altitudinales du terrain, et de ce fait effectue des ajustements environnementaux en relation avec les paramètres de température près de la surface et de pression atmosphérique mesurées près du sol. Par ailleurs, la sensibilité du modèle à la variation de certains paramètres-clés n'a aussi jamais été testée afin d'analyser les tendances générales des émissions estimées par ce modèle.

1.2 Objectifs de recherche

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la réponse du modèle **CANBEIS** aux variations de certains paramètres environnementaux importants dans l'estimation des émissions biogéniques. Le but de cette évaluation est donc de faire ressortir les points importants sous forme de constats afin de considérer d'éventuels modifications à apporter au modèle. Les objectifs spécifiques proposés sont les suivants:

- 1) Modifier certaines variables météorologiques-clés du modèle telles que la température et l'intensité de lumière ainsi que l'humidité relative et la vitesse du vent dans le but d'évaluer si les tendances générales des estimations résultantes se rapprochent de celles mentionnées dans la littérature existante.

- 2) **Estimer les émissions biogéniques sans et avec ajustements de la température près de la surface et de la pression atmosphérique en fonction de modèles numériques d'altitude (MNA) afin d'évaluer si les résultats obtenus sont comparables et si l'introduction de modèles numériques d'altitude a un effet significatif dans l'estimation des émissions biogéniques.**

1.3 Structure de la thèse

La présente étude se compose en trois sections distinctes. Dans un premier temps, une revue détaillée de la littérature existante a été réalisée afin de cerner l'interaction complexe des émissions biogéniques et des facteurs qui les contrôlent puis aussi pour faire ressortir tous les points saillants des études et modèles reliés à l'estimation des émissions de type biogénique.

Une seconde section est consacrée à la méthodologie employée afin de répondre aux objectifs de cette présente étude. De façon plus précise, la région d'étude et les données utilisées ainsi que les diverses étapes relatives aux objectifs y sont expliquées en détails.

Finalement, la troisième section présente l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus en relation avec entre autres, les aspects pertinents qui sont ressortis de la revue de littérature.

CHAPITRE 2: CADRE THÉORIQUE

2.1 Les émissions biogéniques

2.1.1 Nature des émissions

Tel que mentionné dans la mise en situation au premier chapitre, le principal déclencheur de l'intérêt pour l'étude des émissions biogéniques est la pollution par l'ozone (O_3) au sol. Aussi appelé ozone troposphérique car il se situe dans la première couche de l'atmosphère (0 à 12km), il est produit lorsque les «précurseurs de l'ozone» qui sont les composés organiques volatils (COV) et les oxydes d'azote (NO_x), sont combinés avec l'oxygène (O) et aussi avec la radiation solaire et des températures élevées. La stagnation des masses d'air est un autre facteur significatif dans les épisodes d'ozone car celles-ci peuvent durer plusieurs jours et sont fréquentes lorsque les masses d'air sont immobiles. De plus, la présence d'inversions thermiques, particulièrement dans les vallées, contribue aussi au problème étant donné que ces inversions font fonction de «trappes» et retiennent ainsi les polluants près du sol.

L'ozone au sol est un polluant secondaire ce qui signifie qu'il n'est pas directement rejeté dans l'atmosphère. Il est une des composantes les plus importantes du «smog urbain» lequel est un mélange de polluants atmosphériques incluant des vapeurs, gaz et particules. Il y a des niveaux d' O_3 dits «naturels» qui se situent entre 15 et 25 ppm; cependant lorsque l' O_3 ne se décompose pas immédiatement après sa formation et que les concentrations de ces couches dites naturelles sont dépassées pour atteindre plus de 82

ppm, il devient un polluant nocif et préoccupant car au-delà de ce seuil, il a été prouvé que davantage de personnes souffrant de maladies respiratoires aiguës sont hospitalisées. Toutefois, il ne faut pas confondre l'ozone troposphérique avec l'ozone stratosphérique qui sont deux éléments totalement différents. L'ozone troposphérique résulte d'une accumulation nocive d'ozone dans la première couche atmosphérique et l'ozone stratosphérique ou «couche d'ozone» est une composante cruciale dans le processus de filtration des rayons ultra-violet. En fait le problème relié à la «couche d'ozone» est dû à un amincissement et non à une accumulation. Cette situation est causée par les chlorofluocarbures (CFC) qui sont par ailleurs totalement inactifs dans la formation de l'ozone au sol car ils sont considérés comme «non-réactifs».

Les précurseurs de l'ozone, c'est-à-dire les NO_x et les COV font actuellement parties de programmes fédéraux de gestion et de contrôle des émissions atmosphériques. Ces précurseurs incluent les vapeurs et gaz carboniques présents dans l'atmosphère. Ils peuvent provenir soit des activités humaines (combustion de combustibles fossiles, certains procédés industriels et évaporation de combustibles, solvants liquides et composés chimiques organiques, etc.), soit de sources naturelles (forêts, agriculture, types de sols, etc.).

Il existe dans la troposphère naturelle et polluée des COV; cependant, ils ne contribuent pas tous significativement à la formation de l'ozone. Ils peuvent donc être classés en fonction de leur réactivité qui mesure la tendance des COV à contribuer à l'accumulation de l'ozone dans les atmosphères contenant des NO_x . Afin de mesurer la «réactivité», on doit utiliser la méthode du coefficient de formation du radical hydroxyle. Plus les COV se dégradent rapidement dans l'atmosphère par les radicaux d'hydroxyle menant ainsi à la formation d'autres espèces de radicaux libres, plus les coefficients sont élevés et plus les COV sont réactifs. Les émissions de COV biogéniques ou d'hydrocarbures biogéniques

non-méthanés, proviennent de la végétation et font partie des COV qui ont une «réactivité» significative et qui contribuent réellement à la formation de l'ozone au sol. Les espèces d'émissions biogéniques les plus importantes sont l'isoprène, l'alpha-pinène et les autres monoterpènes. Par ailleurs, une proportion considérable du total des émissions de COV biogéniques est constituée d'espèces non-identifiées.

Outre leur réactivité élevée, les émissions biogéniques valent la peine d'être étudiées plus à fond du fait qu'il a été démontré que l'ozone et ses précurseurs peuvent être transportés à plus de 100 kilomètres de leur point d'origine, et qu'il soit donc possible que des émissions biogéniques provenant de zones rurales ou forestières puissent largement contribuer à la formation de l'ozone au sol en milieu urbain. De plus, les prédictions des niveaux d'ozone correspondent plus aux concentrations observées lorsque les émissions de sources naturelles y sont incluses (Lamb et al. 1987). Quelques études de modélisation et plus particulièrement celle de Chameides et al (1988), ont d'ailleurs souligné le besoin d'inclure les émissions biogéniques dans la prédiction de l'ozone au sol. Selon Ortech (1989), on estime qu'au Canada les émissions totales de COV provenant de sources naturelles, principalement des forêts, sont près de six fois supérieures aux émissions d'origine anthropogénique.

Il existe aussi d'autres types d'émissions dites naturelles qui proviennent entre autres du sol, de la foudre et des infiltrations et fuites de gaz et d'huile. Ils sont actuellement considérés comme sources potentielles peu significatives, mais dans certaines régions particulières, ils devraient être sérieusement pris en considération.

2.1.2 Variables contrôlant les émissions

Afin de comprendre et d'évaluer les émissions biogéniques de COV, il est nécessaire dans un premier temps de cerner les paramètres-clés qui jouent un rôle significatif dans l'issue des calculs d'estimations des émissions. Certaines conditions climatiques favorables à la production d'émissions telles que des températures élevées et des taux d'ensoleillement importants peuvent en effet, jouer un rôle significatif. Ainsi, la température ambiante, la radiation solaire, l'humidité relative et la vitesse du vent sont des facteurs contribuant d'une certaine manière à modifier les comportements des composantes de la végétation comme par exemple la température foliaire. La végétation réagit à ces facteurs dans le cadre de mécanismes complexes d'adaptation et d'auto-défense.

Par ailleurs, il y a aussi les facteurs d'émissions spécifiques à chaque type de végétation qui représentent un autre niveau de variables contrôlant les taux d'émissions. Dans le cadre de recherches surtout réalisées aux États-Unis, des taux d'émissions pour plusieurs plantes émettrices ont déjà été mesurés. Des efforts similaires ont été réalisés au Canada afin de mesurer et répertorier des taux d'émissions spécifiques aux espèces végétales typiquement canadiennes. Cependant, étant donné l'ampleur et le coût de ce type de recherche, les processus d'étude dans le domaine sont plutôt lents et souvent partiels au Canada. Il est nécessaire à l'heure actuelle de faire usage des mesures existantes provenant des États-Unis, qui pour la plupart, peuvent être utilisées dans le contexte canadien. Malgré tout, il faut bien comprendre que la variabilité de ces taux standards d'émissions entraîne aussi une certaine variabilité dans l'estimation des émissions. Il existe donc entre eux, une relation significative qui n'est pas à négliger dans toute analyse relative au comportement des émissions biogéniques.

La densité de biomasse ou l'index de surface foliaire (ISF) est aussi un autre facteur important. Cependant, il y a beaucoup d'incertitudes au niveau des fonctions de la biomasse végétale que l'on assume d'ailleurs constante pour certains types de végétation. En effet, on ne considère pas plusieurs éléments pouvant faire varier cette biomasse tels que la localisation spatiale et la morphologie du paysage et plus spécifiquement la pente du terrain et son orientation qui sont aussi importantes d'ailleurs dans le calcul du rayonnement solaire incident ($K\downarrow$). Grâce à la télédétection, il est possible de mieux déterminer l'ISF ainsi que la distribution foliaire sur un territoire spécifique. Le développement d'applications est donc un outil majeur à l'avancement dans ce domaine.

L'âge foliaire (niveau saisonnier de croissance du feuillage de la plante) et la période de floraison, le niveau de stress de la plante dû à des changements à long terme des conditions climatiques, ainsi que le sol, sont aussi d'autres facteurs à considérer comme paramètres de contrôle des émissions biogéniques (Guenther et al. 1991).

2.2 Modélisation des émissions biogéniques

2.2.1 Constats des études antérieures

Les premières mesures d'émissions naturelles de composés organiques volatils ont été effectuées vers les années 1965 par Rasmussen et Went dans des forêts tempérées. Depuis la fin des années 1970, beaucoup d'études locales sur le terrain et en laboratoire ont été menées aux États-Unis afin de mesurer ce type d'émissions. En 1979, Zimmermann a développé une technique de «vegetation enclosure» qui lui permis de capter plus de 600 mesures sur 69 types de végétation spécifiques en Floride et au Texas (Zimmermann, 1979). De nombreuses investigations semblables ont été réalisées avec la même technique et pour différentes régions et espèces végétales. Il existe par ailleurs

d'autres techniques de mesure comme la méthode micro-météorologique et la procédure du traceur de flux d'émissions. Les diverses recherches sur le terrain et en laboratoire ont donné des résultats relativement comparables malgré le fait qu'elles étaient réalisées sur de multiples sites à différentes périodes de l'année et à l'aide de diverses techniques de mesure. Encore aujourd'hui, beaucoup est mis sur la recherche liée à la mesure des taux d'émissions des différentes espèces végétales et ce, surtout aux États-Unis.

Plusieurs analyses en laboratoire ont démontré certains comportements-types pour les différentes espèces d'émissions de COV. Déjà en 1966, Sanadze et Kalandadze ont démontré une relation de dépendance entre les émissions d'isoprènes et l'intensité de la lumière. D'ailleurs, plusieurs études menées par Tingey et al. entre 1979 et 1981, entreprises dans des conditions de simulation de température ambiante et de lumière incidente sur différents échantillons foliaires, ont permis de constater plusieurs faits intéressants. Une augmentation exponentielle des émissions d'isoprènes a été observée pour des températures foliaires allant jusqu'à 30°C. Les émissions tendent à augmenter jusqu'à un niveau de saturation atteint vers 40°C, après quoi, les taux d'émissions déclineraient rapidement. Si les tendances constatées peuvent être reportées sur un environnement naturel tel qu'une forêt, il semblerait que l'évolution du processus d'émissivité cesserait rapidement dès que les plantes seraient exposées à la noirceur (Sanadze et Kalandadze, 1966). De plus, les taux d'isoprènes répondraient à la lumière avec une augmentation linéaire jusqu'à un certain point de saturation de luminosité selon les résultats d'une étude de sensibilité effectuée par Guenther et al. en 1993. Toujours selon cette étude, il semblerait que le comportement des taux de monoterpènes seraient de façon générale, exponentiellement reliés à la température tout comme les isoprènes. Cependant, l'intensité de lumière ne jouerait pas un rôle aussi significatif dans les processus d'émissivité des émissions de monoterpènes. Par ailleurs, la vitesse du vent et

l'humidité relative ne semblent pas être des facteurs aussi importants que la température ambiante et la luminosité selon la plupart des études consultées.

Plusieurs faits intéressants sont ressortis de l'étude de sensibilité de Bouley et Baugues (1992) qui consistait à effectuer diverses simulations de 24 heures pour trois différents comtés. Des augmentations et réductions de la température, de l'humidité relative, de la vitesse du vent et la couverture nuageuse caractérisaient les nombreuses simulations. Le comportement général des résultats obtenus était similaire à celui observé dans la littérature existante:

- Résultats significatifs de l'influence de la température sur les émissions totales:

↑ 5°F == ↑ 16% à 22%

↓ 5°F == ↓ 17% à 21%

↓ 10-15°F == ↓ 33% à 54%

- Résultats moins significatifs pour les autres variables:

↑ 20% couvert nuageux == ↓ 1% à 2%

↓ 20% couvert nuageux == ↑ moins de 1%

↓ ↑ 20% humidité relative == ↓ ↑ 2% à 5%

↑ 2x et ↓ ½ vitesse du vent == ↓ ↑ moins de 1%

Les tendances générales des études réalisées antérieurement ont ainsi démontré que la température était le principal contrôleur des émissions. Malgré tout, il faut bien comprendre que ces constats dépendent en grande partie des intrants tels que les taux standards d'émissions, la biomasse et la couverture des sols qui peuvent jouer un rôle considérable dans les résultats d'analyse.

2.2.2 Modèles PC-BEIS et CANBEIS

En 1987, Lamb et son équipe ont développé un inventaire national d'émissions biogéniques, basé sur les données recueillies au fil des ans concernant les taux et flux d'émissions de différentes espèces végétales. En y ajoutant diverses données provenant de la «Geoecology Data Base» telles que l'utilisation du sol et des données mensuelles climatologiques à l'échelle du comté américain ainsi que des données relatives à la biomasse foliaire, des estimations mensuelles d'émissions par comté pouvaient être calculées. A la suite de cet inventaire et de l'expérience avec des modèles tels que ROM et UAM, l'Agence de Protection Environnementale (EPA) des États-Unis a développé un programme en langage FORTRAN appelé PC-BEIS (Personal Computer Biogenic Emissions Inventory System). Ce programme est en fait une version informatisée de l'inventaire de Lamb. Les mêmes données sont utilisées et les estimations sont aussi fournies à l'échelle du comté américain. Il ne peut cependant fournir des estimations que pour un seul comté par simulation et jusqu'à 24 heures à la fois. L'équation de base afin de calculer les taux d'émissions de chaque espèce de COV (isoprène, alpha-pinène, autres monoterpènes et espèces non-identifiées) est la suivante pour les surfaces non-forestières:

$$ER_i = \sum_{j=1}^n \{ A_j \cdot EF_{ij} \cdot F_{ij}(S,T) \} \quad (1)$$

où ER_i est le taux d'émission en $\mu\text{g hr}^{-1}$ de chaque espèce chimique (i) pour tous les types d'utilisation du sol, A_j est la surface (m^2) de chaque type d'utilisation du sol (j), EF_{ij} est le facteur d'émission en $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$ pour l'espèce chimique (i) et l'utilisation du sol (j) et $F_{ij}(S,T)$ est un facteur d'ajustement environnemental qui varie en fonction de l'intensité de lumière (S) et de la température foliaire (T). Pour les surfaces forestières, un paramètre de facteur de biomasse foliaire (BF_{ij}) y est ajouté:

$$ER_i = \sum_{j=1}^n \{ A_j \text{ BF}_{ij} \text{ EF}_{ij} \text{ F}_{ij}(S,T) \} \quad (2)$$

où BF_{ij} est le facteur de biomasse foliaire (g m^{-2}) qui relie la masse foliaire sèche à la surface forestière et le facteur d'émission EF_{ij} est donné en termes de $\mu\text{g (g-biomasse foliaire)}^{-1} \text{ hr}^{-1}$. Les facteurs d'émission sont basés sur l'analyse de Lamb et al. (1987) des données de Zimmerman (1979) et les facteurs de biomasse foliaire proviennent aussi de Lamb et al. (1987). Les résultats subissent des ajustements environnementaux reliés à la température foliaire et à la radiation solaire pour les différents niveaux (hauteurs) de la canopée forestière et non-forestière (urbaine) des conifères et des feuillus et ce, pour les isoprènes et les autres espèces de COV. Un modèle de bilan d'énergie foliaire pour simuler les profils verticaux de la température foliaire et de la radiation solaire dans la canopée forestière y est ainsi inclus. Ce modèle provient de Gates et Papian (1971) et a été modifié par Gay en 1987. Les calculs d'intensité solaire sont basés sur Iqbal (1983) et l'atténuation par couvert nuageux provient de Holstag et Van Ulden (1983). Un index de surface foliaire (ISF) y est aussi utilisé afin de répartir la surface foliaire (m^2) sur une superficie au sol égale pour les conifères et pour les feuillus. Le programme requiert des données météorologiques comme la température, l'humidité relative, la vitesse du vent et la couverture nuageuse afin de calculer les ajustements nécessaires.

Lors de la création de **PC-BEIS**, le programme américain se devait de rencontrer deux objectifs précis qui étaient de 1) fournir des estimations totales (tonnes par jour) de COV biogéniques requises pour les inventaires mandatés par le «1990 Clean Air Act Amendments» et 2) fournir des estimations horaires ($\text{kg/km}^2/\text{hr}$) de COV biogéniques pour les espèces majeures (isoprènes, alpha-pinènes, autres monoterpènes, et espèces non-identifiées) afin de les utiliser avec le modèle EKMA (Empirical Kinetics Modeling Approach).

Une nouvelle version du programme, **PC-BEIS2**, a été créée en 1994. Plusieurs modifications ont été apportées au modèle. Entre autres, les algorithmes d'ajustement des paramètres climatiques ont été modifiés et des facteurs de croissance végétale ont été ajoutés à chacune des espèces végétales utilisées par le modèle. Cependant, ces facteurs de croissance n'indiquent que deux stades distincts de maturité des espèces: 0% ou 100% de masse foliaire. D'autres modifications y ont aussi été apportées mais demeurent peu pertinentes dans le cadre de cette étude.

L'étude de sensibilité réalisée par Bouley et Baugues en 1992 qui est décrite à la section 2.2.1, était basée sur le modèle **PC-BEIS**. C'est d'ailleurs dans la même perspective que celle de Bouley et Baugues que la présente étude sera réalisée, en utilisant toutefois le modèle **CANBEIS** (**CAN**Adian **Biogenic Emissions Inventory System**) qui est la version canadienne modifiée du programme **PC-BEIS**. Sa raison d'être résulte surtout du constat de l'existence de régions préoccupantes relativement à l'ozone au sol au Canada et d'un besoin de quantifier les émissions de COV biogéniques à un niveau global pour ensuite évaluer leur contribution dans la formation photochimique de l'ozone au sol dans ces régions. La division de l'analyse des données de pollution d'Environnement Canada a donc mandaté en 1992 le développement d'un modèle similaire à **PC-BEIS**. Les principes de base de calcul de **CANBEIS** sont les mêmes que ceux de la première version du programme américain. Les flux standards d'émissions utilisés par le modèle canadien ont aussi été empruntés au modèle américain étant donné que peu de recherches effectuées n'aient fourni de résultats significatifs concernant les flux standards des espèces végétales typiquement canadiennes. Ainsi, de façon générale, les méthodologies employées dans **CANBEIS** afin de calculer les taux d'émissions et les ajustements environnementaux demeurent inchangées. Cependant, quelques caractéristiques distinguent le modèle canadien du modèle américain:

- 1) l'unité spatiale de base des simulations qui est une matrice de points régulière ou irrégulière de dimensions illimitées définie par l'utilisateur et superposée à n'importe quelle région d'étude;
- 2) l'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) dans les nombreuses procédures de modélisation spatiale:
 - a) collecte, traitement, analyse et création des données spatiales dans les diverses étapes du traitement des données;
 - b) cartographie des estimations d'émissions;
- 3) l'usage du langage C pour calculer les émissions et ajustements environnementaux et afin d'automatiser certaines autres tâches routinières grâce à des sous-routines;
- 4) le calcul de résultats dans un format différent:
 - a) pour chaque entité de la matrice de points: les émissions totales (tonnes), les densités totales (kg/ km²) et les densités moyennes (kg/km²/hr) pour chacune des quatre (4) espèces (isoprènes, alpha-pinènes, autres monoterpènes et espèces non-identifiées);
 - b) pour chaque heure de la période: des densités moyennes et des totaux pour chacune des quatre (4) espèces;
- 5) l'ajustement de données météorologiques en fonction des variations altitudinales;
- 6) l'intégration d'un modèle de croissance saisonnière pour chacune des espèces végétales afin de mieux refléter l'état de la masse foliaire de celles-ci au cours de l'année;
- 7) l'emploi de données spatiales d'utilisation et de couverture des sols provenant de sources diverses;
- 8) la flexibilité de la période de simulation (jusqu'à une année entière).

Pour plus de détails concernant le modèle, veuillez vous référer au document de méthodologie intitulé: «Canadian Biogenic Emissions Inventory System (CANBEIS) - System Manuel», Environnement Canada, Division des données de Pollution, 1994.

Les nombreuses composantes de compilation et d'ajustement des données, entre autre à l'aide d'un SIG, représentent ainsi une contribution majeure dans le domaine de l'étude des biogéniques au Canada.

2.2.3 Limitations et besoins

Le modèle actuel **CANBEIS** a beaucoup évolué depuis sa création en 1992. En effet, plusieurs modules d'ajustements y ont été ajoutés afin de le rendre plus réaliste. Toutefois, afin de faciliter les comparaisons et la compatibilité des estimations avec celles des États-Unis, le modèle **CANBEIS** se doit de pouvoir fonctionner en parallèle avec le programme américain. Cela permettrait ainsi une certaine standardisation des estimations d'émissions biogéniques. De nombreuses modifications devront éventuellement être considérées et apportées au modèle canadien suivant l'expérience américaine:

- 1) un nouveau module de calcul d'estimation des émissions de NO_x produites par les composantes du sol;
- 2) un nouvel algorithme d'ajustement des facteurs environnementaux;
- 3) une certaine reconsidération de l'utilisation de données sur l'humidité relative et la vitesse du vent dans les ajustements des émissions;
- 4) l'intégration d'une base de données forestières nationale.

Par ailleurs, de façon générale le modèle actuel **CANBEIS** doit aussi pouvoir démontrer une certaine fiabilité quand aux résultats qu'il fournit. Il est donc nécessaire d'évaluer la sensibilité des estimations d'émissions calculées, à la variation des paramètres-clés du

modèle afin d'analyser leurs tendances générales. Cependant, on ne peut parler de fiabilité des estimations tant qu'aucune étude de vérification n'ait été effectuée sur le terrain. Il faut mentionner toutefois, que durant les périodes printanière et estivale de l'année 1993, des mesures de taux d'émissions sur le terrain ont été réalisées pour une forêt de feuillus au sud de l'Ontario. Les résultats ont ensuite été comparés à des estimations effectuées à l'aide du modèle américain **BEIS** qui est semblable à **PC-BEIS** au niveau du calcul des estimations mais qui comporte cependant quelques variations de méthodologie et fonctionne aussi sur une toute autre plate-forme. Les résultats divergeaient sur certains aspects relatifs à la façon dont l'humidité relative et la température ambiante étaient modélisées à l'intérieur-même de la canopée forestière. Ainsi, le modèle fournissait d'une part des conditions micro-climatiques réalistes au niveau de la canopée forestière où les variations de températures ambiante et foliaire modélisées et mesurées jouaient autour de 3°C. D'autre part, des caractéristiques micro-climatiques inadéquates étaient fournies pour le bas de la canopée où les températures foliaires estimées et mesurées différaient jusqu'à 10°C. Des recommandations de modifications des algorithmes d'ajustement des paramètres climatiques telles que proposées par Guenther et al (1993) ont été établies dans le cas du modèle **BEIS**. Étant donné que **CANBEIS** utilise les mêmes algorithmes de calcul que **PC-BEIS** et **BEIS**, la même faiblesse de modélisation se retrouve donc dans le modèle canadien. Afin d'enrichir le degré de validité des estimations qu'il génère, des modifications semblables devront aussi être apportées au modèle.

La variabilité des taux standards d'émissions, est par ailleurs la plus grande source d'incertitudes relativement à la fiabilité du modèle car elle entraîne aussi une certaine variabilité dans l'estimation des émissions. Le besoin de calibrer les mesures des taux d'émissions standards dans le contexte canadien, est une priorité non négligeable. En effet, plusieurs facteurs tels que la localisation géographique - condition climatique

engendrée - ainsi que la spécificité des espèces, influencent grandement les estimations d'émissions.

Les résultats d'analyse de cette présente étude permettront donc l'apport d'une certaine contribution canadienne relativement aux comportements des émissions en réponse au rôle joué par les facteurs environnementaux. Cette contribution non négligeable servira de base à de futures analyses dans le domaine et plus spécifiquement en relation avec le modèle CANBEIS.

CHAPITRE 3: MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

De façon générale, c'est par le biais d'analyses de sensibilité qu'à été réalisée cette présente étude. Les paramètres susceptibles de jouer un rôle dans l'issue des estimations ont été évalués à tour de rôle pour chacun des deux objectifs. La version la plus récente du modèle **CANBEIS** a été utilisée; c'est celle qui est sommairement décrite à la section 2.2.2. Les procédures détaillées afin de répondre à chacun des objectifs visés par cette étude sont décrites aux sections 3.3 et 3.4.

3.1 Région et période d'étude

Dans le cadre du second objectif, la région d'étude choisie est la vallée du fleuve Fraser en Colombie-Britannique (figure 1). Cette zone s'étend de Hope, à l'extrémité du canyon du Fraser, jusqu'au détroit de Georgie et couvre une superficie de 17,000km². La zone recouvre quatre districts régionaux ou divisions de recensement où vivent une population toujours croissante de plus de 1,7 millions de personnes (Recensement de 1986). La topographie de la région varie de 0 à 150 mètres dans les basses terres et peut dépasser 1800 mètres dans la chaîne montagneuse. Étant donné que cette région fait partie de l'une des trois zones d'intérêt pour l'ozone au sol mentionnées auparavant dans l'introduction et que sa topographie varie considérablement malgré sa petite dimension, le choix de cette zone était justifiable afin de mener ce projet à terme. L'année 1990 a été choisie pour l'étude surtout du fait que la base de données existante était en grande partie créée à partir de données datant de 1990. Une emphase a été mise sur la période entre les mois de mai et septembre car c'est la période la plus importante quand aux concentrations élevées d'ozone au sol, donc d'émissions biogéniques de COV de façon générale.

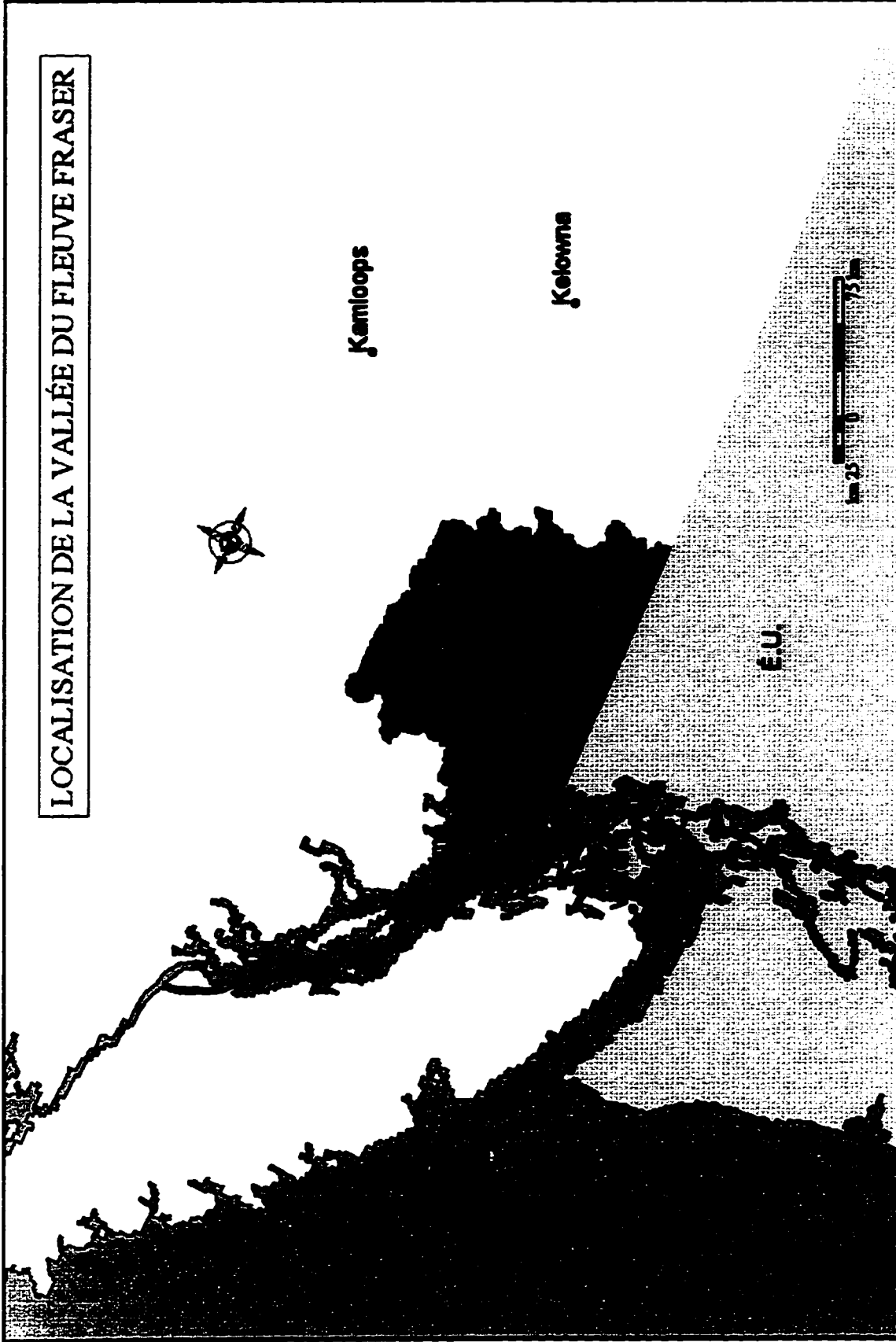


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

3.2 Source et utilisation de données

3.2.1 Couverture et utilisation des sols

La carte de couverture des sols provenant de la classification d'images satellitaires NOAA AVHRR a été utilisée comme information de base principale par le modèle. Elle a une résolution au sol de 1 km par 1 km et contient 12 classes distinctes (figure 2).

Les données agricoles reliées aux diverses cultures pour chaque division de recensement comprise dans la région d'étude et provenant de Statistique Canada, ont été aussi utilisées afin de subdiviser en sous-classes, la classe «Agriculture» de la carte de couverture des sols ce qui permet un niveau de détail plus élevé. Ainsi pour chacune des divisions de recensement de Central Fraser Valley, Dewdney-Alouette, Fraser-Cheam, Greater Vancouver (figure 4), a été assignée une valeur en km² de chacune des classes agricoles présentées à la figure 3.

Il est à noter que selon la politique de Statistique Canada, lorsqu'une division agricole n'est associée qu'à moins de dix (10) fermes déclarantes, l'information doit demeurer confidentielle et ainsi n'est pas disponible à des fins d'étude. Heureusement, aucune donnée n'était considérée comme confidentielle pour les quatre (4) divisions concernées.

3.2.2 Flux standards d'émissions et facteurs de croissance végétale

Les flux standards d'émissions sont utilisés dans le calcul des estimations. Un flux standard est une valeur qui réfère aux taux d'émissions de COV pour une espèce végétale spécifique. Dans le modèle CANBEIS, les flux sont représentés par des valeurs totales

CARTE DE COUVERTURE DES SOLS

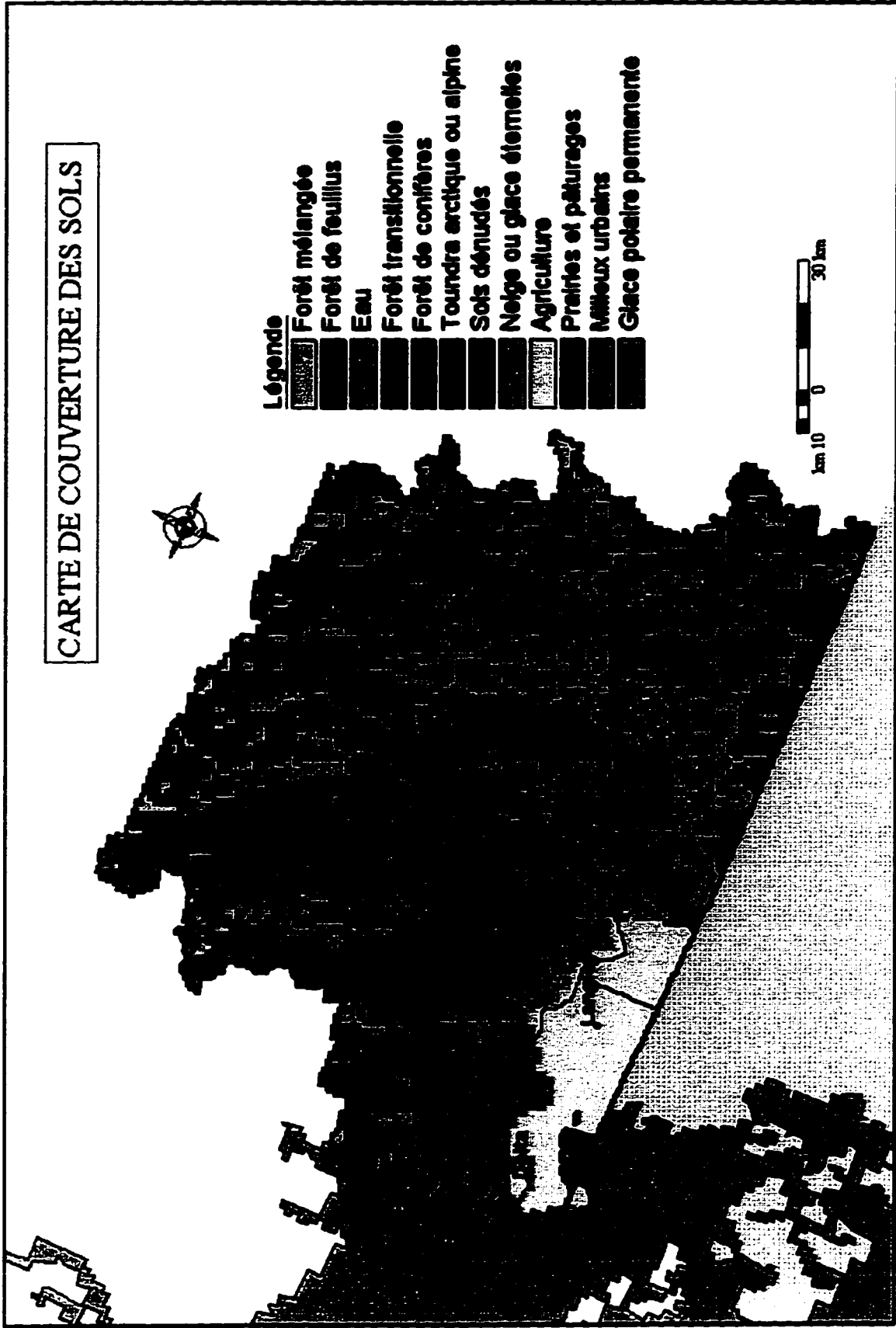


Figure 2. Carte de couverture des sols

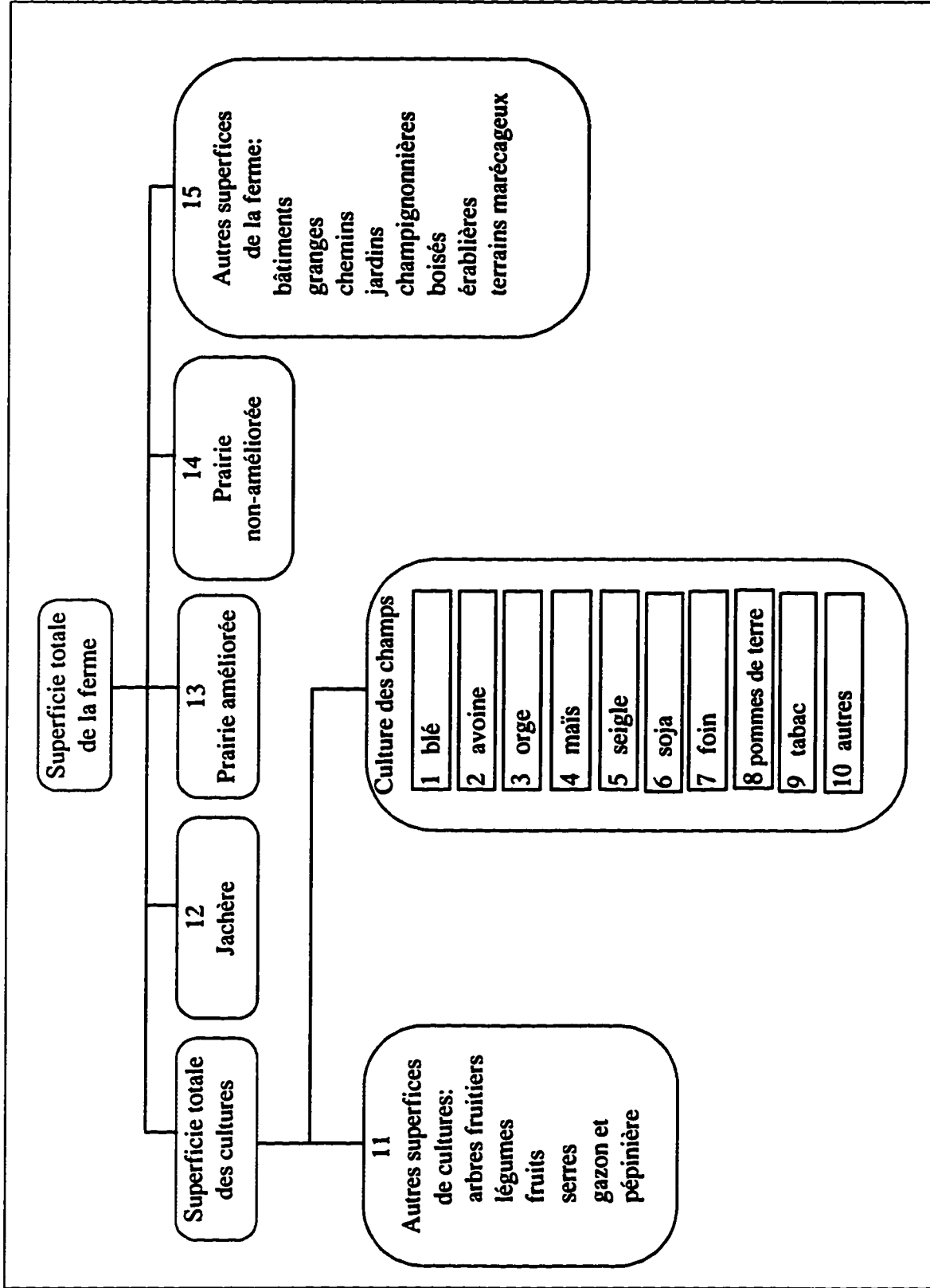


Figure 3. Diagrammes des données agricoles

LIMITES ADMINISTRATIVES DES DIVISIONS AGRICOLES

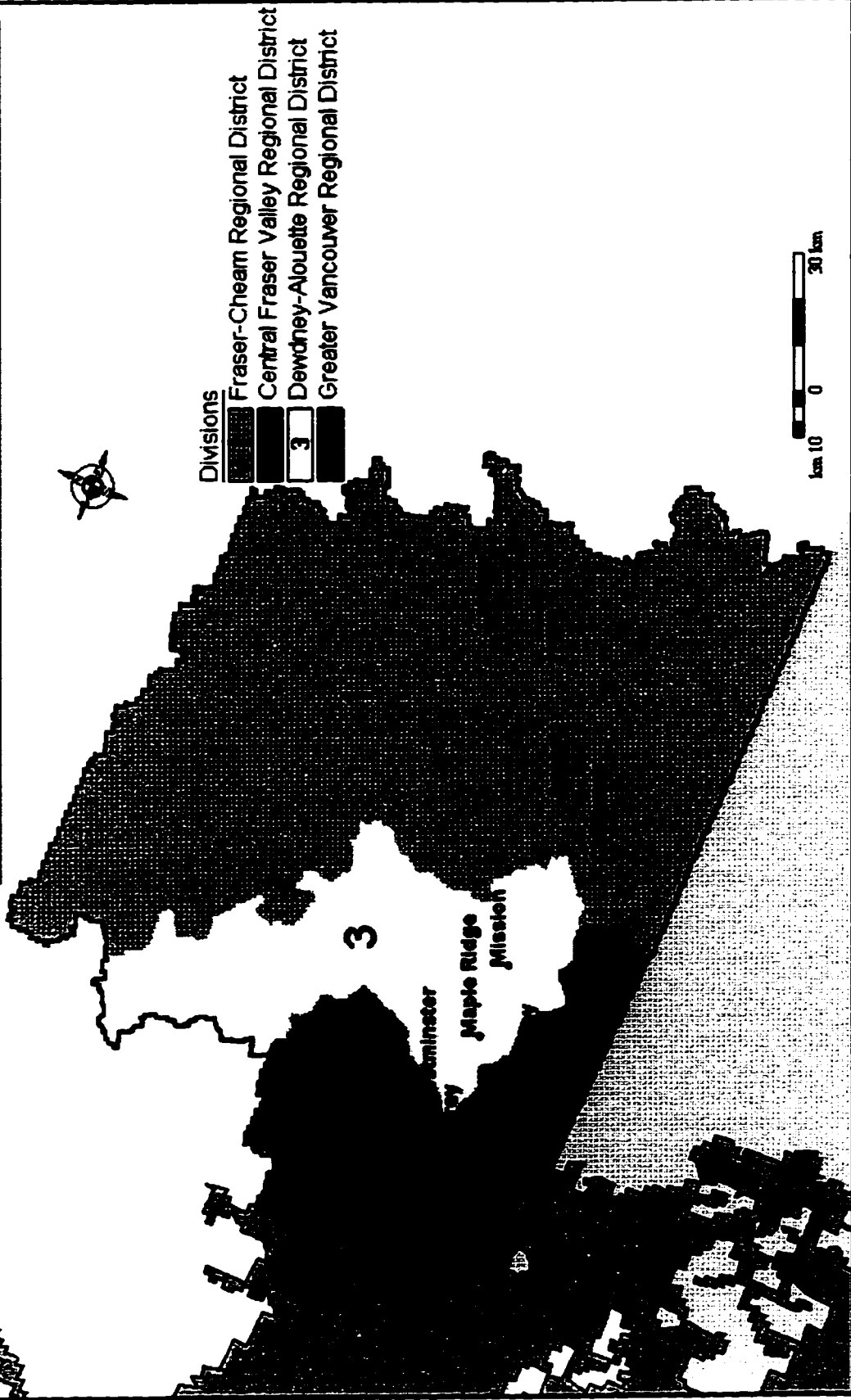


Figure 4. Carte des divisions agricoles

en kg/km²/hr (µg/m²/hr) et par une distribution en pourcentages pour chacune des espèces de COV (isoprènes, alpha-pinènes, autres monoterpènes et espèces non-identifiées). Le modèle utilise ces flux standards (tableau 1) et les applique sur la superficie totale de chaque classe de couverture du sol observée dans chacune des cellules de la matrice de points superposée à la zone d'étude. Il est probable que certaines couvertures du sol données dans le tableau 1 ne soient aucunement utilisées pour la zone d'étude en question si aucun polygone de ces types de couvertures du sol n'y est observé.

Les données existantes relatives aux flux standards pour les divers types de couvertures et d'utilisations du sol ont été regroupées dans un fichier d'entrée. Il est à noter que ces données proviennent de diverses sources, principalement des États-Unis. De plus, après une revue complète de la littérature récente et suite à diverses rencontres avec des experts dans le domaine, quelques données supplémentaires concernant certaines espèces forestières canadiennes y ont été ajoutées. Toutefois, ces dernières ne peuvent être utilisées dans le cadre de cette présente étude étant donné qu'aucune autre couche d'information plus détaillée, relativement aux espèces forestières, que celle de la carte de couverture des sols du Canada n'a été introduite dans ce projet. Il importe grandement d'être conscient que la variabilité de ces flux standards est considérable. Une mise à jour est constamment réalisée sur les facteurs, du fait que de nouvelles mesures d'émissions sont continuellement effectuées sur de nombreuses espèces végétales. Par ailleurs, pour chacune des couvertures du sol contenues dans ce fichier d'entrée, correspondent des paramètres de degrés-jours qui permettent un certain ajustement saisonnier de la biomasse des espèces végétales. Tout comme pour les flux standards, une recherche complète auprès d'experts du ministère de l'Agriculture du Canada a été effectuée afin d'obtenir des valeurs se rapprochant du comportement saisonnier des plantes au pays. Cependant, il est important d'être conscient de la variabilité de cette information surtout du fait que la

durée des saisons et leur localisation dans le temps peuvent grandement varier d'une région à l'autre.

Explication du tableau 1:

Colonne	Description
1	numéro d'identification de la couverture du sol
2	0-feuillus 1-conifères 2-non-forêt 3-urbain
3	total (g/km ² ou µg/m ²)
4	% isoprènes
5	% α-pinènes
6	% autres monoterpènes
7	% non-identifiés
8	GDDB => température de base
9	GDD1 => # degrés-jours accumulés avant la plantation
10	GDD2 => constante de maturité (index variétal)
11	GDD3 => production entière d'émissions jusqu'à GDD3 (niveau indiquant l'arrêt final de la production)
12	identification de la couverture du sol

Pour plus de détails concernant le modèle, veuillez vous référer au document de méthodologie intitulé: «Canadian Biogenic Emissions Inventory System (CANBEIS) - System Manual», Environnement Canada, Division des données de Pollution, 1994.

Tableau 1. Flux d'émissions standards

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	urbain
2	0	4258	73.12	2.59	2.77	21.52	0	60	700	-2	forêt de chênes
3	0	3353	62.71	5.25	5.85	26.19	0	60	600	-2	autres forêts de feuillus
4	1	3106	23.97	20.60	23.45	31.98	-10	0	0	0	forêt de conifères
5	2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	eau
6	2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	sols dénudés
7	2	189	20.00	25.00	25.00	30.00	0	80	2000	1800	arbustes
8	2	281	20.00	25.00	25.00	30.00	0	80	2000	1800	herbes/prairies
9	2	38	50.00	10.00	10.00	30.00	5	70	1100	0	luzerne
10	2	39	20.00	25.00	25.00	30.00	10	4	600	0	sorgho
11	2	189	20.00	25.00	25.00	30.00	5	60	1200	0	foin
12	2	22	100.00	0.00	0.00	0.00	10	4	600	0	fèves de soja
13	2	0.5	0.00	10.00	10.00	80.00	10	4	600	0	maïs
14	2	48	0.00	25.00	25.00	50.00	10	4	600	0	pommes de terre
15	2	294	0.00	10.00	10.00	80.00	10	4	600	0	tabac
16	2	30	50.00	10.00	10.00	30.00	10	4	600	0	blé
17	2	38	20.00	25.00	25.00	30.00	10	80	1100	0	coton
18	2	38	20.00	25.00	25.00	30.00	10	85	1000	0	seigle
19	2	510	20.00	25.00	25.00	30.00	10	30	300	0	riz
20	2	510	20.00	25.00	25.00	30.00	10	30	300	0	arachides
21	2	38	20.00	25.00	25.00	30.00	10	30	600	0	orge
22	2	38	20.00	25.00	25.00	30.00	10	30	600	0	avoine
23	2	38	20.00	25.00	25.00	30.00	5	55	1100	400	divers
24	2	281	20.00	25.00	25.00	30.00	5	55	1100	400	autres utilisation du sol
25	0	4100	90.00	1.50	1.00	7.50	0	50	600	-2	peuplier
26	0	264	80.00	1.00	9.00	10.00	0	50	600	-2	érable
27	0	265	80.00	1.00	9.00	10.00	0	50	600	-2	érable rouge
28	0	3800	77.00	9.00	4.00	10.00	0	50	600	-2	bouleau
29	1	3106	24.00	10.00	55.00	11.00	-10	0	0	0	pin
30	1	2900	23.97	20.60	23.45	31.98	-10	0	0	0	sapin

3.2.3 Données météorologiques

Les conditions climatiques est le facteur le plus important dans le calcul des estimations d'émissions. On reconnaît que des températures et niveaux d'ensoleillement considérables contribuent largement à des taux d'émissions élevés. De plus, le vent et l'humidité relative sont autant de facteurs non-négligeables dans les processus de formation d'émissions de type biogénique. Il est donc nécessaire de considérer l'utilisation de données météorologiques détaillées afin d'ajuster les émissions standards à la réalité des conditions climatiques. La pression atmosphérique à la surface joue aussi un rôle important dans ces ajustements car elle est utilisée dans le calcul de la radiation solaire visible et totale.

Des données météorologiques horaires pour toutes les stations météorologiques du Canada, ont donc été extraites de la base de données disponible auprès du Service de l'Environnement Atmosphérique (SEA) d'Environnement Canada. La liste des variables retenues est donnée dans le tableau 2.

Tableau 2. Variables météorologiques

VARIABLES MÉTÉOROLOGIQUES
température atmosphérique (0.1°C)
humidité relative (%)
vitesse du vent (km/hr)
pression à la station (0.1 Kilopascals)
opacité du couvert nuageux (en dixièmes)

Plusieurs données météorologiques étaient manquantes (plus de 25% au niveau national), la plupart du temps par «bloc périodique» pour certaines stations. Étant donné

l'inconsistance des données et le nombre limité de stations disponibles, il a donc été nécessaire dans un premier temps, d'interpoler ces données manquantes. C'est grâce à une méthode d'interpolation par polygones de Thiessen à partir des 6 stations avoisinantes les plus proches auxquelles correspondaient des données, qu'a été interpolée l'information manquante. La figure 5 montre la localisation des stations météorologiques et leur altitude correspondante avoisinant la zone d'étude.

3.2.4 Modèles numériques d'altitude

Le modèle actuel CANBEIS utilise une mosaïque de modèles numériques d'altitude afin d'ajuster les données météorologiques. L'information existante et appartenant à Environnement Canada a été extraite de la série des données numériques d'altitude produite par la «Defense Mapping Agency» des États-Unis et distribuée par Énergie, Mines et Ressources. Les caractéristiques des matrices de données originales étaient les suivantes:

dimension: 1 par 1 degré

résolution : 3 par 3 secondes d'arc ou environ 100m par 100m.

nombre d'enregistrements: 1200 rangées par 1200 colonnes.

Les matrices ont été importées dans le SIG et transformées en format «quadtree» à la résolution de la base de données globale (323 mètres) grâce à une méthode de ré-échantillonnage. Toutefois, ces données ne recouvrent pas entièrement toute la zone d'étude telle que définie précédemment. Il a donc été nécessaire d'y ajouter de nouvelles données afin de créer une nouvelle mosaïque. Des modèles complémentaires ont donc dû être intégrés aux données existantes à l'aide de fonctions de superpositions spatiales afin de créer une nouvelle mosaïque recouvrant entièrement la zone d'étude (figure 6).

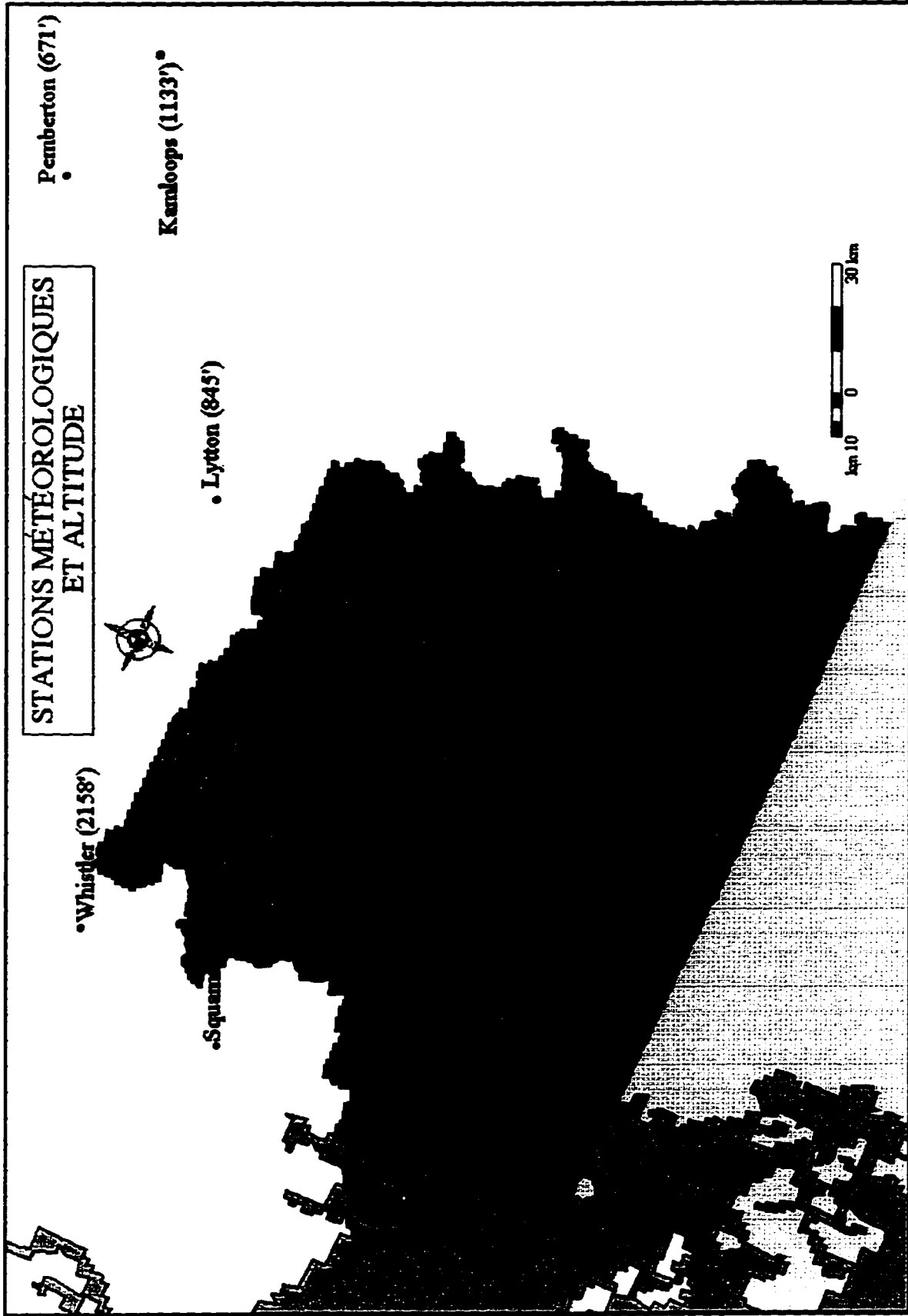


Figure 5: Localisation des stations météorologiques

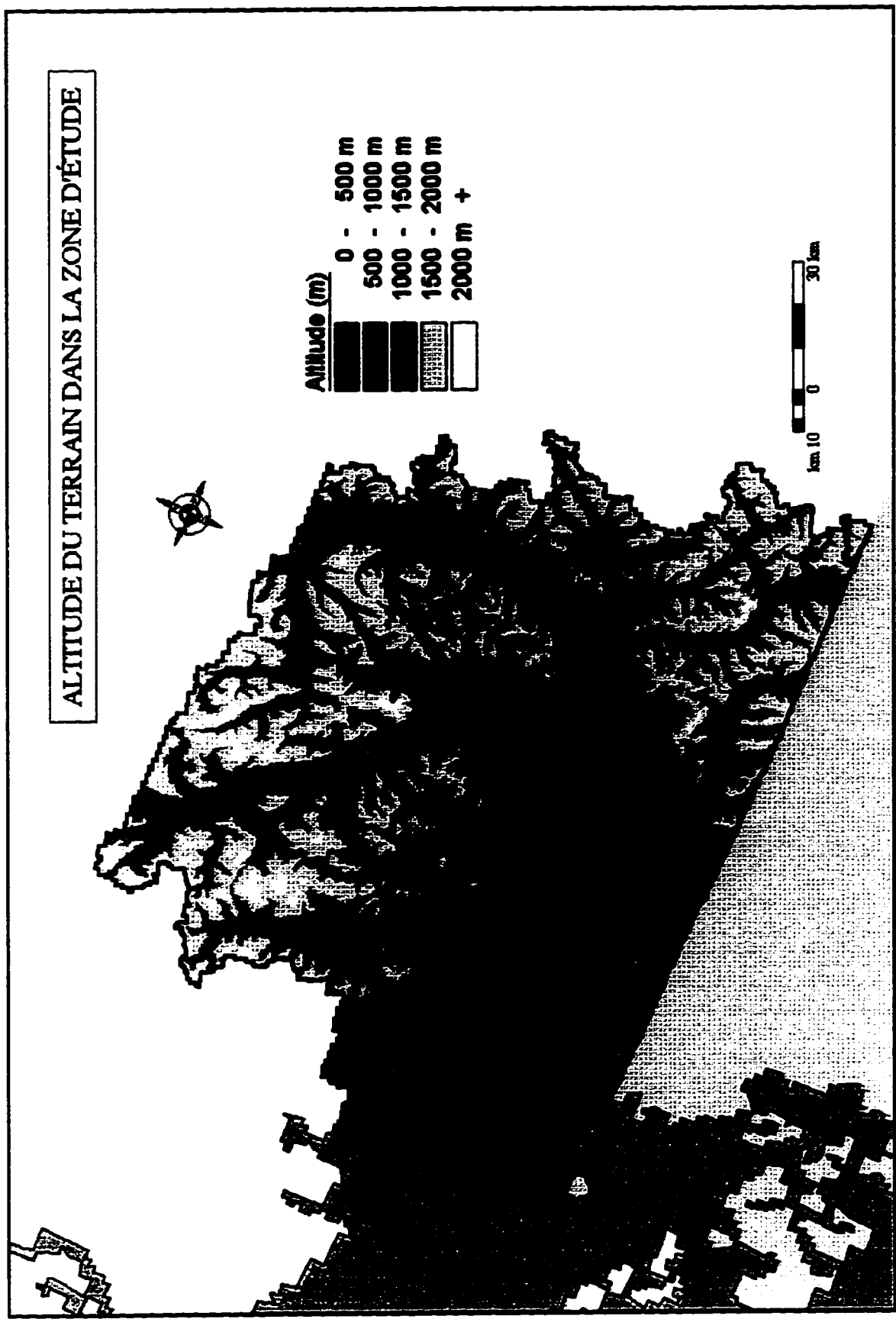


Figure 6. Modèle numérique d'altitude

3.3 Évaluation de la sensibilité des estimations en fonction des facteurs environnementaux relatifs aux conditions météorologiques

Par la méthode d'analyse de sensibilité, il est possible de déterminer si un paramètre ou une variable joue un rôle significatif dans l'issue d'une simulation. Tel que mentionné dans la revue de littérature, certains paramètres climatiques entrent en ligne de compte dans le calcul des estimations d'émissions biogéniques. En effet, il semblerait que la température et l'intensité de lumière soient les facteurs les plus influents dans l'estimation des taux d'émissions. Le premier objectif d'étude était donc le suivant:

Modifier certaines variables météorologiques-clés du modèle telles que la température près de la surface et l'intensité de lumière ainsi que l'humidité relative et la vitesse du vent dans le but d'évaluer si les tendances générales des estimations résultantes se rapprochent de celles mentionnées dans la littérature existante.

Ainsi, l'hypothèse voulant que les variables climatiques et entre autres la température atmosphérique et l'intensité de lumière soient des facteurs qui influencent *directement* les émissions biogéniques, a été retenue et vérifiée lors de l'analyse des résultats.

C'est à l'aide d'un programme indépendant de CANBEIS, qu'il a été possible de calculer les variations en pourcentages entre des émissions estimées à divers niveaux de température, d'humidité relative, de couvert nuageux et de vitesse du vent. Le programme calcule les variations pour une heure précise dans l'année (jour-mois-heure) et une série de points spécifiques dans l'espace (latitude/longitude) puis fournit les résultats en pourcentages (négatifs ou positifs) pour chacune des espèces de COV traitées dans CANBEIS et pour les trois types généraux de couverture du sol: conifères, feuillus

et autres. Les paramètres climatiques, l'heure et la localisation des points sont spécifiés par l'utilisateur. Le programme utilise les mêmes algorithmes de calcul que ceux de CANBEIS mais n'emploie aucune donnée météorologique normalement utilisée par le modèle; l'utilisateur doit les fournir au programme selon les besoins de l'analyse. Le modèle considère le terrain comme "plat" donc les variations entre les résultats de deux points sont créés par leur position spatiale et temporelle et l'angle d'incidence engendré, ce qui entraîne entre eux des variations plutôt faibles pour une zone d'étude relativement petite. Il faut noter par conséquent que le sous-modèle d'ajustement de la température et de la pression atmosphérique en fonction de l'altitude tel qu'utilisé par CANBEIS n'est nullement considéré par le programme. Voici les différentes étapes méthodologiques qui ont du être considérées:

- Définition de la matrice de points:

Pour cet exercice, étant donné le peu d'implications qu'engendre la "spatialité" de l'information du fait que la zone d'étude soit de petite dimension, un unique point quelque part dans la zone d'étude a été sélectionné pour toutes les simulations. De ce fait, aucun aspect géographique des variations n'a été considéré.

- Préparation des paramètres reliés aux simulations:

Un fichier contenant tous les paramètres d'entrée devait être considéré pour chacune des simulations sélectionnées (tableau 3). Le choix des échelles d'augmentation et de diminution des variables météorologiques qui ont été utilisées dans les nombreuses simulations a été grandement influencé par les résultats d'analyses répertoriés dans la revue de littérature; cela facilitera ainsi une certaine comparaison des résultats. La température initiale qui a servi de référence de base pour le calcul des variations était de 0°C. Pour les autres variables, une valeur correspondant à l'absence de valeur observée pour chacune

d'elles a été utilisée: 0% d'humidité relative, 0 km/hr de vent et 0/10 de couverture nuageuse.

Par ailleurs, les augmentations linéaires de 5% appliquées à toutes les variables météorologiques ont permis de faire ressortir l'aspect général des tendances des variations. Les trois dates précises (2 mai, 2 juillet et 2 septembre) ont été sélectionnées de façon arbitraire afin d'évaluer les variations des émissions non seulement en relation avec la couverture des sols et les espèces de COV biogéniques mais aussi en tenant compte du niveau de croissance saisonnière de la biomasse végétale. La treizième heure de la journée a été choisie quand à elle du fait que c'est l'heure où les températures et la radiation solaire sont plus importants. Les émissions atteignent ainsi une certaine apogée à cette période de la journée, ce qui rend les variations plus importantes, donc l'analyse plus aisée. Il faut comprendre que normalement, le modèle devrait servir dans la réalité à estimer les émissions lorsqu'un épisode considérable d'ozone au sol a été observé.

Il faut être conscient par ailleurs, que la variation de certains paramètres météorologiques pourraient entraîner à long terme des changements climatiques; ces derniers contribueraient sans aucun doute à modifier la physiologie végétale des espèces en cause et à en altérer leurs facteurs d'émissivité. Cependant, dans le cadre de cette étude, c'est à court terme qu'ont été évaluées les variations des taux d'émissions et aussi à l'aide de valeurs extrêmes sans considération au réalisme du climat canadien.

Tableau 3. Description des simulations

SIMULATION	VARIABLE	DESCRIPTION
1	température	Augmentation constante de 5°C
2	"	Augmentation et diminution de 5°F* puis diminution de 15°F*
3	couvert nuageux	Augmentation constante de 5% (jusqu'à 100%)
4	couvert nuageux	Augmentation par tranches de 20%
5	humidité relative	Augmentation constante de 5% (jusqu'à 100%)
6	humidité relative	Augmentation par tranches de 20%
7	vitesse du vent	Augmentation constante de 5%

* unité (degrés Fahrenheit) employée afin de faciliter les comparaisons ultérieures

- **Calcul des variations:**

Le programme fournit pour chacune des simulations, un rapport sous forme tabulaire contenant des valeurs de variations en pourcentages par espèce de COV et par type de couverture du sol (feuillus, conifères et autres).

- **Analyse des résultats:**

Les résultats obtenus correspondant aux variations ont d'une part été traités à l'aide d'un gestionnaire de données et d'un chiffrier électronique afin de les rendre manipulables. Ensuite, ils sont présentés sous forme de graphiques afin de visualiser l'ampleur ou le rôle de ces variations puis par la suite, subissent une certaine comparaison avec la littérature.

3.4 Évaluation du rôle de la topographie comme contrôle sur les émissions

Le modèle actuel CANBEIS permet de calculer des estimations d'émissions biogéniques pour une matrice de points superposée à n'importe quelle région au Canada. De plus, des ajustements de la température près du sol et de la pression atmosphérique sont réalisés pour chaque entité de la matrice de points employée et ce, en fonction de la valeur altitudinale correspondante observée. Le but du second objectif était d'évaluer l'impact de ces ajustements:

Estimer les émissions biogéniques sans et avec ajustements de la température près de la surface et de la pression atmosphérique en fonction de modèles numériques d'altitude (MNA) afin d'évaluer si les résultats obtenus sont comparables et si l'introduction de tels modèles a un effet majeur dans l'estimation d'émissions biogéniques.

Cet objectif découle du fait que selon la littérature, les taux d'émissions dépendent largement des niveaux de température et que ceux-ci sont grandement influencés par l'altitude du terrain par rapport au niveau de la mer. L'hypothèse d'une influence indirecte de la topographie sur les émissions biogéniques a donc été retenue et vérifiée lors de l'analyse des résultats.

Dans le cadre de ce projet, seules les valeurs d'altitude seront utilisées afin d'ajuster les observations météorologiques. Aucune considération ne sera retenue pour l'orientation et la pente du terrain ainsi que pour l'aspect de dynamique atmosphérique engendrée par la topographie.

Afin de répondre à cet objectif, il a donc été nécessaire de considérer deux simulations distinctes qui par la suite, ont pu être évaluées de façon comparative. Une première simulation a été effectuée *sans* ajustement des données météorologiques et une seconde simulation, *avec* ajustements. Les données d'entrée utilisées ont du être modifiées et mises à jour afin de réaliser cette section du projet. Voici les différentes étapes méthodologiques qui ont du être considérées:

- Préparation des modèles numériques d'altitude:

Tel que mentionnée dans la section 3.2.4, une mosaïque de modèles d'altitude a été constituée. Celle-ci a donc été utilisée dans le cadre de cet objectif.

- Définition de la matrice de points:

Le choix de la dimension de la matrice de points utilisée dépendait en grande partie de la résolution des données relatives aux modèles numériques d'altitude. Dans ce cas-ci, étant donné que la résolution maximum des modèles était de 323 mètres dans la base de données globale du SIG, il était normal d'utiliser une

matrice de points ayant des dimensions pouvant s'imbriquer dans ce multiple. L'idéal aurait été que la densité de la matrice de points soit la même que le nombre d'unités ou de pixels de résolution couvrant la région d'étude. Donc, la matrice aurait contenu autant d'entités ou de points qu'il y a de pixels correspondant à une valeur d'altitude distincte. Ainsi, cette matrice aurait été constituée d'environ 165,300 points correspondant à chacun des pixels de la mosaïque. Cette dimension de matrice a été rejetée dû au fait que la manipulation de celle-ci aurait été laborieuse et presque impossible lorsqu'on considère que de nombreux essais étaient nécessaires avant d'obtenir des résultats valables et que de plus, le calcul même des estimations requiert beaucoup de «temps-machine». Étant donné tous les arguments défavorables à cette dimension de matrice, une autre matrice de points a donc été définie. Chaque point de la matrice correspond au centre de l'agglomération de 100 pixels (10 pixels par 10 pixels) chacun d'eux ayant une résolution de 323 mètres. Donc, les points correspondent à un échantillonnage effectué à chaque 3.23 km. La matrice contient donc un total de 1635 points. La figure 7 illustre les dimensions de la matrice.

- Préparation des fichiers d'entrée:

La préparation de plusieurs fichiers contenant les paramètres requis devait ensuite être considérée afin que CANBEIS puisse générer l'information nécessaire pour le calcul des estimations. Ces fichiers d'entrée indiquent donc au modèle les différentes caractéristiques à tenir compte telles que l'identification de la zone

d'étude et la dimension de la matrice de points qui y sera appliquée. Il est à noter qu'une description exhaustive en relation avec l'aspect technique d'exécution du modèle n'a pas été jugée nécessaire dans le cadre de cet objectif.

- Création de la matrice de points contenant l'information requise pour l'exécution des deux simulations:

Un fichier binaire **SPANS** contenant la matrice de points auxquels sont rattachées diverses variables d'information a été créé à l'aide du modèle **CANBEIS**. Une description complète de l'information contenue dans ce fichier ainsi que les procédures techniques requises afin de générer chaque variable d'information est donnée au tableau 4.

- Estimation des émissions biogéniques sans et avec ajustements:

A. Simulation sans ajustement

Une première simulation a été effectuée pour la zone d'étude et la période s'étalant de mai à septembre, sans tenir compte des valeurs numériques d'altitude relatives à chaque entité de la matrice de points. Conséquemment, aucun ajustement des données de température près de la surface et de pression atmosphérique n'a été effectué. Le fichier binaire contenant toute l'information relative à chaque entité de la matrice de points (tableau 4) a été utilisé dans le calcul des estimations. Voici les procédures techniques générales visant à estimer les émissions biogéniques sans ajustement des données météorologiques:

- 1) Calcul des émissions biogéniques (sous des conditions d'ensoleillement total et pour une température atmosphérique de 30°C) pour chacune des entités de la matrice de points. Ces émissions dites "standards" réfèrent au tableau des flux

standards à la section 3.2.2. Ces calculs se sont effectués à l'aide d'une sous-routine de **CANBEIS**;

- 2) Association de valeurs climatiques pour chaque entité de la matrice de points à partir des fichiers de données météorologiques liées aux 6 stations avoisinantes;
- 3) Ajustement des émissions standards précédemment calculées selon les données météorologiques observées aux stations avoisinantes;

B. Simulation avec ajustements

La seconde simulation a été réalisée avec le même fichier binaire, mais cette fois-ci les émissions ont été estimées en tenant compte des valeurs numériques d'altitude et de leur impact sur les données météorologiques. Voici les procédures techniques générales relatives à la réalisation de cette seconde simulation:

- 1) voir étape 1) de la première simulation
- 2) voir étape 2) de la première simulation
- 3) Ajustement de la température près de la surface et de la pression atmosphérique grâce à une méthode d'interpolation inspirée par Barry (1992) et à partir des valeurs d'altitude assignées à la matrice de points. Ainsi, la température atmosphérique a été ajustée en fonction du gradient environnemental qui lui, est variable. Toutefois, il est à noter que la dynamique atmosphérique en milieu montagneux n'est pas considérée dans le cadre de cet objectif.

Figure 7. Dimension de la matrice de points

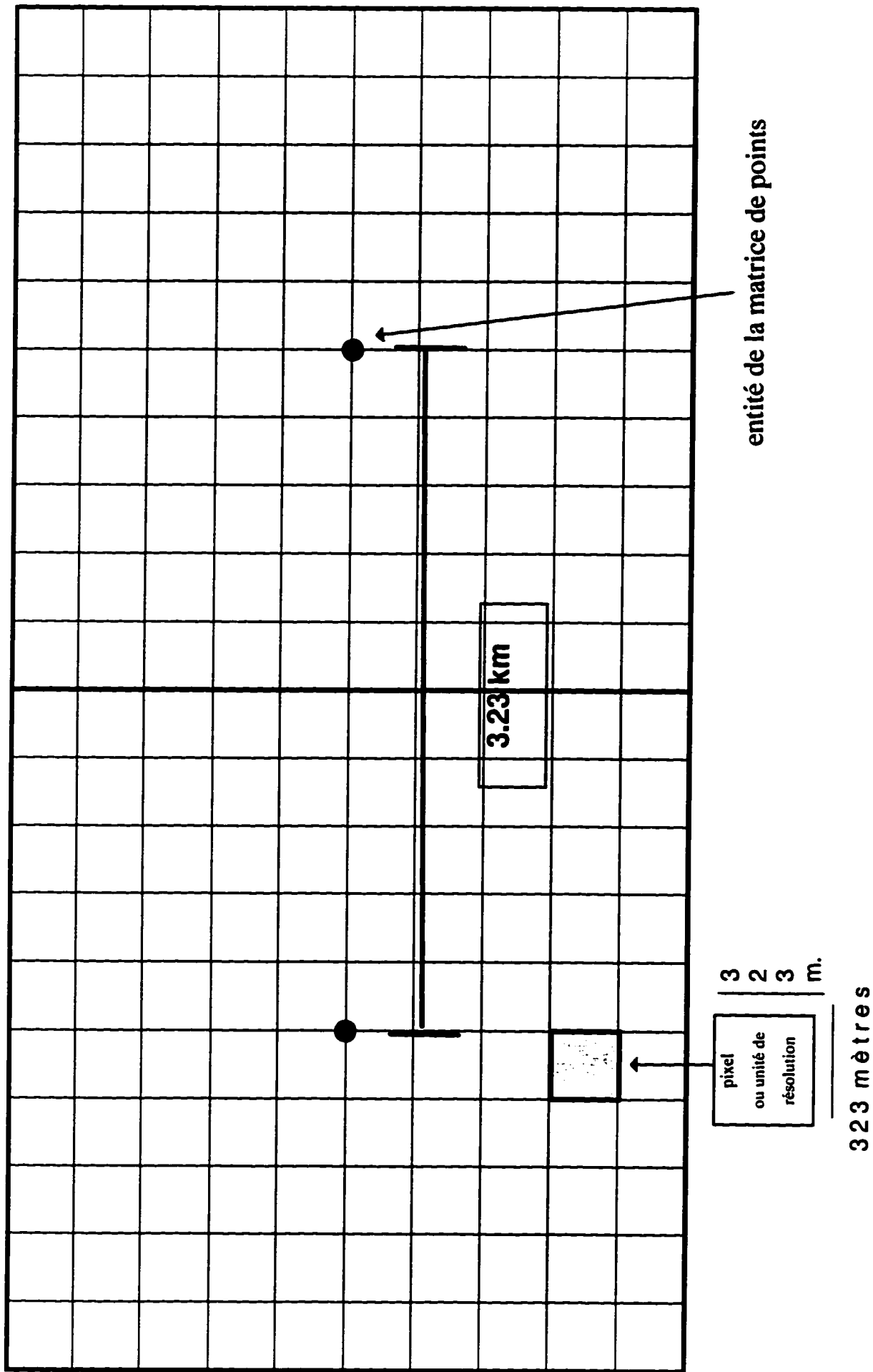


Tableau 4. Matrice de points et information relative

VARIABLE	DESCRIPTION
Morton	Localisation géographique interne au SIG
Latitude	Latitude en degrés et décimales
Longitude	Longitude en degrés et décimales
# de point	Identification de chaque point correspondant à une cellule de 10 par 10 pixels
altitude	Valeur d'altitude du terrain en mètres (moyenne de toutes les valeurs dans la cellule selon les modèles d'altitude de terrain)
surface de la cellule	Superficie en km ²
stations météorologiques avoisinantes	Les six (6) plus proches stations météorologiques avoisinantes selon un calcul impliquant des polygones de Thiessen pour chaque station possédant une valeur d'altitude
B01	Distribution en pourcentage de chaque espèce végétales correspondant à des valeurs de flux standards d'émissions. La superficie totale de chaque classe de couverture et d'utilisation du sol est mise en relation avec ces espèces végétales
...	...
B30	id
Somme	Total des distributions (vérification interne) = 1.0

Il faut comprendre dans un premier temps qu'il existe une relation entre la température et la pression atmosphérique selon l'altitude du terrain. Considérons P_1, K_1 comme étant la pression et la température au niveau d'altitude z_1 ; P_2, K_2 comme étant la pression et la température au niveau d'altitude z_2 . Leur propre taux de gradient environnemental décrit bien leur relation:

$$K_2 = K_1 - 6.5(z_2 - z_1)$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{K_2}{K_1} \right)^B$$

$$B = \frac{g}{6.5R} = \frac{9.80665}{6.5(0.2875)} \cong 5.25$$

L'altitude est mesurée en kilomètres, la température en °Kelvin (273.16+°Celsius) et la pression en kilopascals. Pour $z = 0$ (niveau de la mer), la pression standard (moyenne) est de 1013.25 et la température moyenne est de 15°Celsius or 288.16°Kelvin; ainsi la pression standard à l'altitude z est:

$$P(z) = 1013.25 \left(\frac{288.16 - 6.5z}{288.16} \right)^B$$

Considérant la figure 8 et un nombre n de stations météorologiques avec localisations, altitudes, températures près de la surface et pression atmosphériques connues:

$$x_i, z_i, K_s(x_i), P_s(x_i), i = 1, \dots, n.$$

Les n stations sont assumées comme étant les "voisins" Voronoi d'un point de la matrice à une certaine localisation x et altitude z . La température $K_s(x)$ et la pression $P_s(x)$ au point de la matrice sont interpolées à partir des n stations comme ceci:

- Transformation de la température et de la pression pour chacune des stations en valeurs au niveau de la mer:

$$K_0(x_i) = K_s(x_i) + 6.5z_i, \quad i = 1 \dots n;$$

$$P_0(x_i) = P_s(x_i) \left(\frac{K_0(x_i)}{K_s(x_i)} \right)^{\theta}, \quad i = 1 \dots n.$$

- Interpolation des données au niveau de la mer pour chaque point de la matrice à partir des données au niveau de la mer aux stations en utilisant une méthode de “distances inverses” comme poids. Les résultats correspondent à des estimations au niveau de la mer pour chaque point:

$$K_0(x) = \text{Poids moyen de la distance}(K_0(x_i), i = 1 \dots n);$$

$$P_0(x) = \text{Poids moyen de la distance}(P_0(x_i), i = 1 \dots n).$$

- Transformation de la température et de la pression au niveau de la mer de chaque point selon la valeur d’altitude observée:

$$K_s(x) = K_0(x) - 6.5z;$$

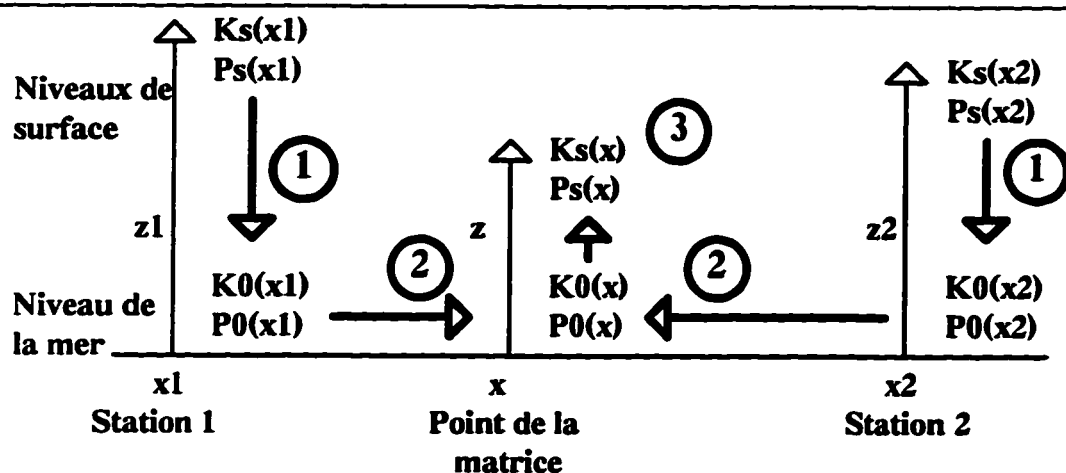
$$P_s(x) = P_0(x) \left(\frac{K_s(x)}{K_0(x)} \right)^{\theta}.$$



4) Ajustement des flux standards tel que décrit à l’étape 3) de la première simulation sans ajustements à partir de la «nouvelle» information météorologique modifiée selon l’altitude du terrain (étape précédente).

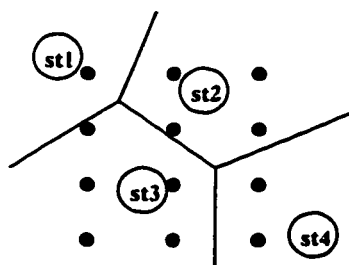
- Analyse des résultats:

Les résultats obtenus sous forme tabulaire ont d’une part été traités à l’aide d’un gestionnaire de données et d’un chiffrier électronique afin d’en calculer les variations. Ces dernières sont ensuite présentées à l’aide de graphiques et d’autre part, cartographiées pour la région d’étude afin de visualiser l’ampleur ou le rôle des ajustements appliqués sur les estimations.

Figure 8. Calcul d'ajustement des variables météorologiques



 Gradient environnemental
 Poids moyen de la distance inverse



- ① Les données de température près du sol et de pression atmosphérique pour chacune des stations correspondant à une valeur d'altitude propre, sont transformées en valeurs au niveau de la mer;
- ② Les données au niveau de la mer pour chaque point de la matrice sont calculées à partir de celles des stations qui sont aussi au niveau de la mer et d'une méthode utilisant les distances inverses comme poids;
- ③ Ajustement des valeurs de température près du sol et de pression atmosphérique calculées au niveau de la mer de chaque point de la matrice selon la valeur d'altitude correspondante.

CHAPITRE 4: ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Une présentation et une analyse des résultats obtenus ainsi qu'une interprétation et/ou comparaison de ceux-ci seront réalisées pour chacun des objectifs à l'étude.

4.1 Évaluation de la sensibilité des estimations aux facteurs environnementaux

4.1.1 Présentation et analyse des résultats

Dans cette section de l'étude, les résultats obtenus sont d'une part présentés puis analysés pour le premier objectif. Étant donné la diversité des simulations réalisées pour cet objectif, les résultats sont présentés et analysés individuellement selon le paramètre météorologique.

4.1.1.1 Température ambiante près de la surface

Lorsque les estimations sont mises en relation avec la température près de la surface, on note clairement l'influence de cette dernière sur les niveaux de variations engendrés. De façon générale, plus la température augmente, plus les taux d'émissions sont croissants.

La série de figures 9 à 17 montre clairement certaines tendances lorsque la température est haussée de 5°C de façon constante. D'une part, on remarque que les feuillus et les conifères présentent un comportement semblable et que les autres types de couvertures et d'utilisation du sol agissent de façon différente. Ce comportement se reflétera d'ailleurs dans toute l'analyse du présent objectif peu importe le paramètre météorologique étudié. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les espèces végétales autres que les essences forestières ont des émissions de façon moins considérable si on se réfère aux valeurs de flux standards dans le tableau 1.

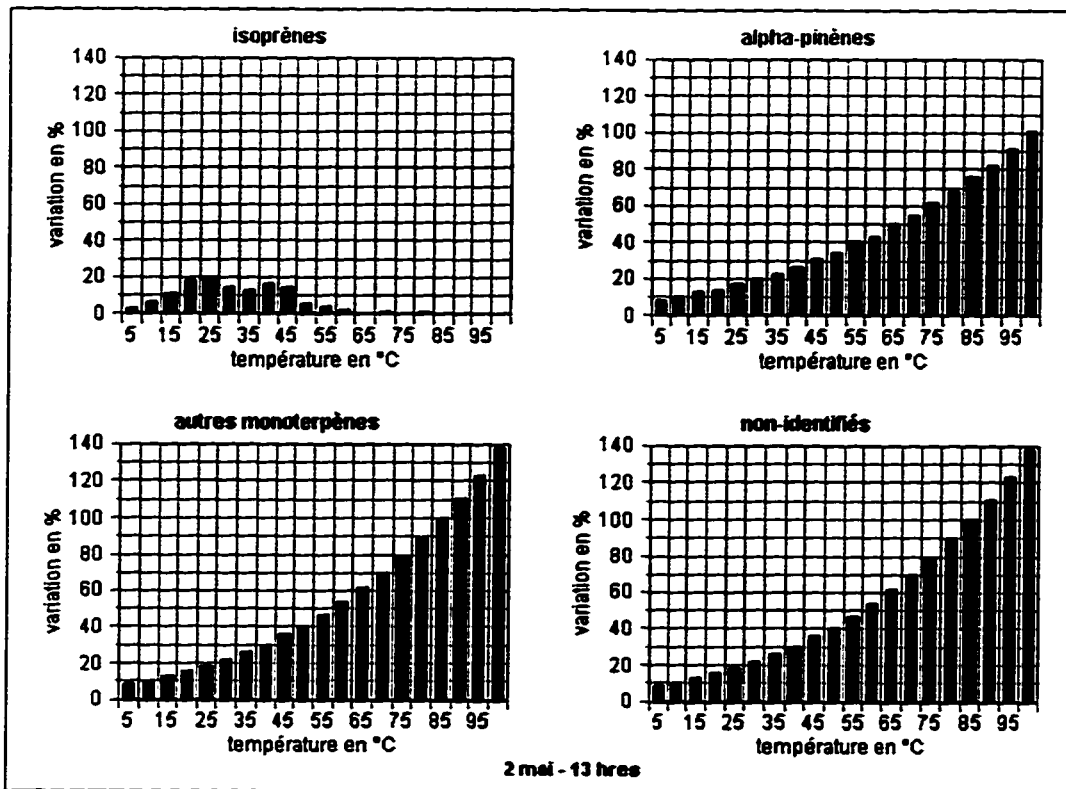


Figure 9. Variation des émissions selon la température - feuillus - 2 mai

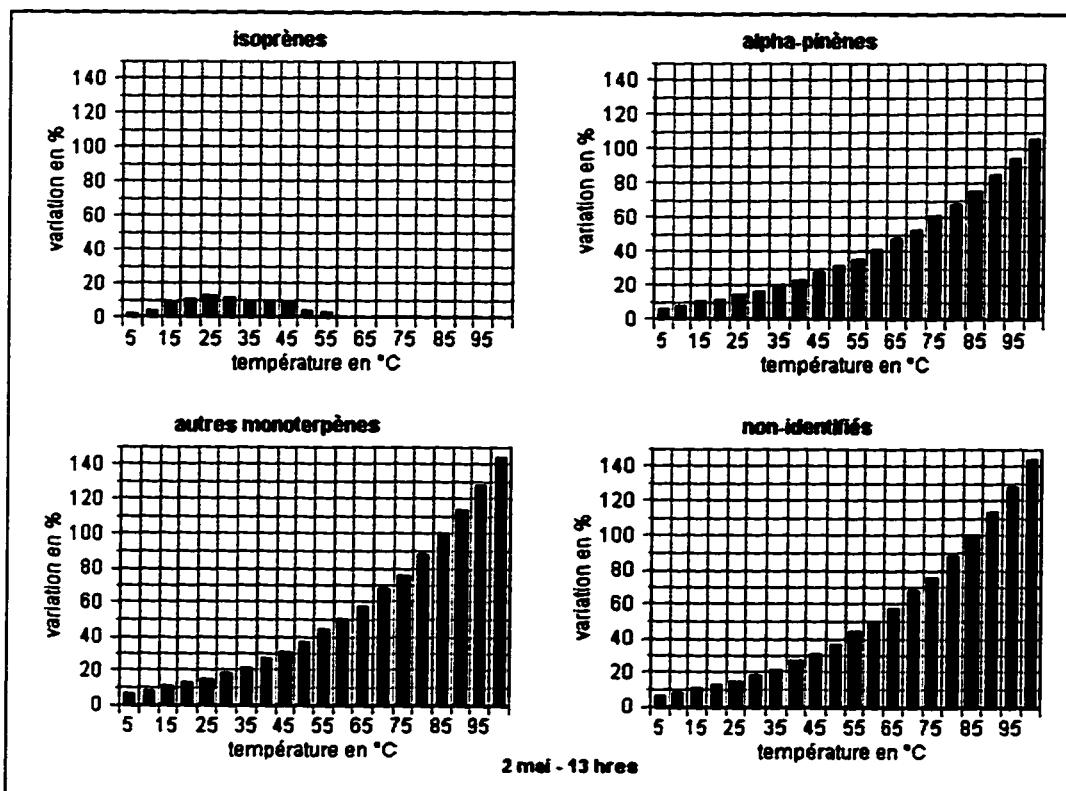


Figure 10: Variation des émissions selon la température - conifères - 2 mai

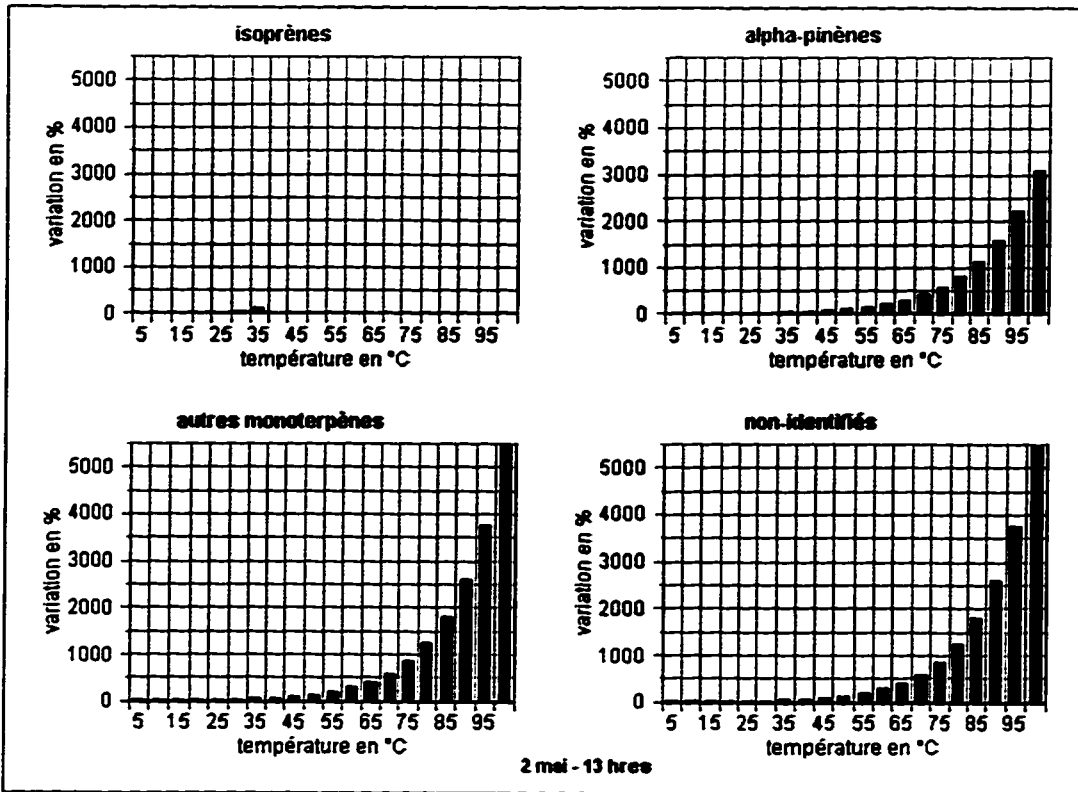


Figure 11: Variation des émissions selon la température - autres types de couvertures du sol - 2 mai

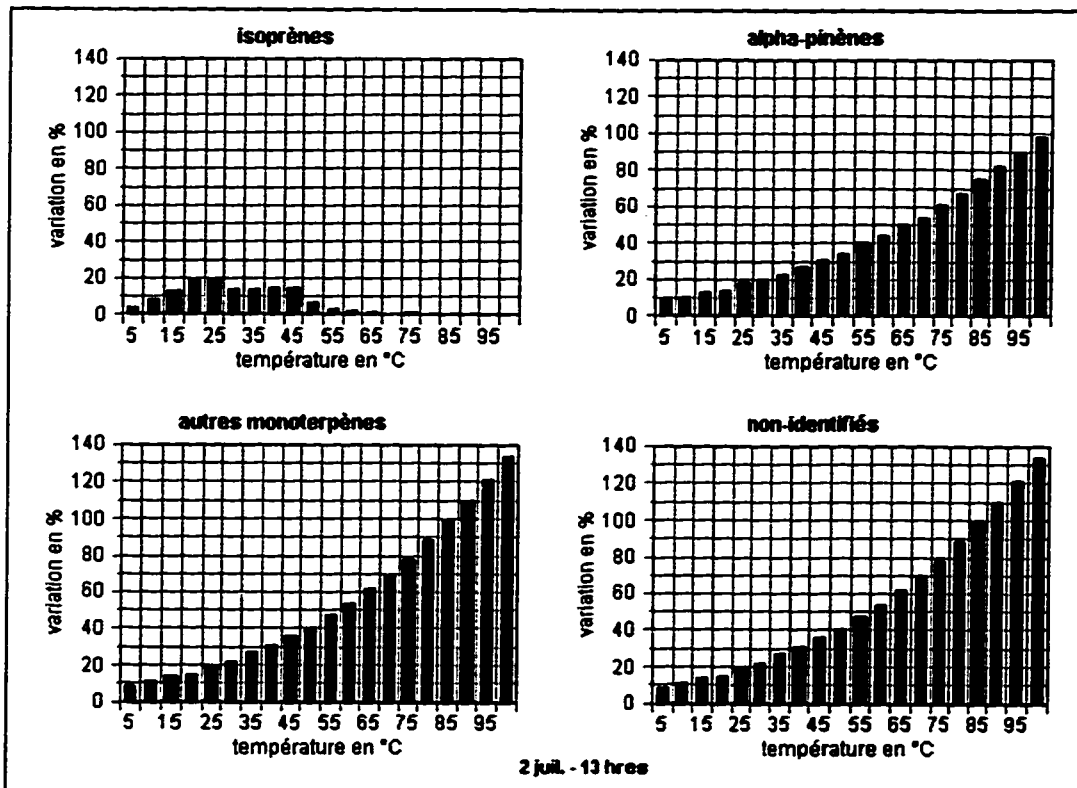


Figure 12: Variation des émissions selon la température - feuillus - 2 juillet

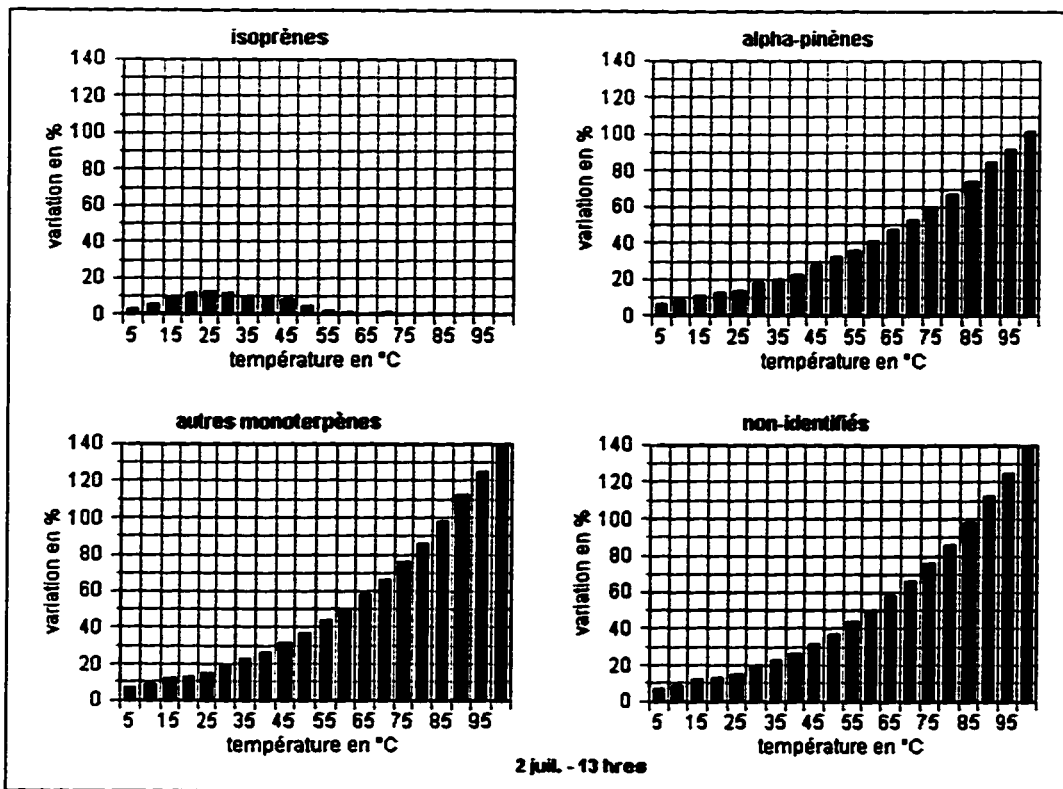


Figure 13: Variation des émissions selon la température - conifères - 2 juillet

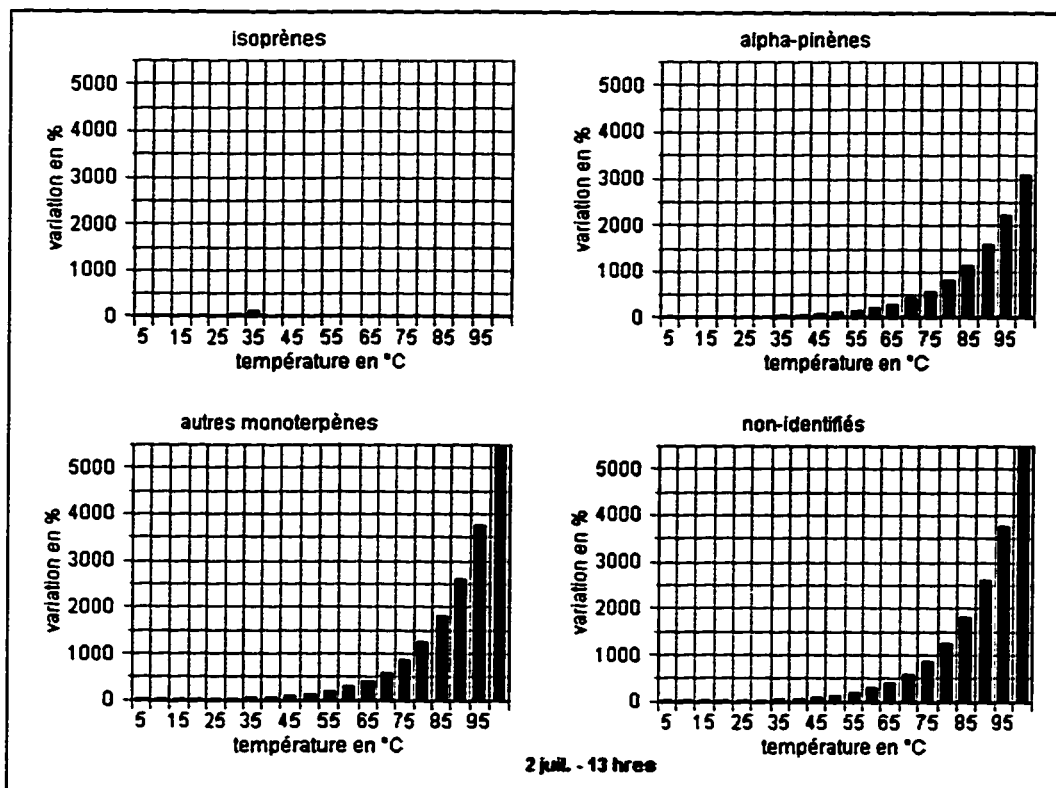


Figure 14: Variation des émissions selon la température - autres types de couvertures du sol - 2 juillet

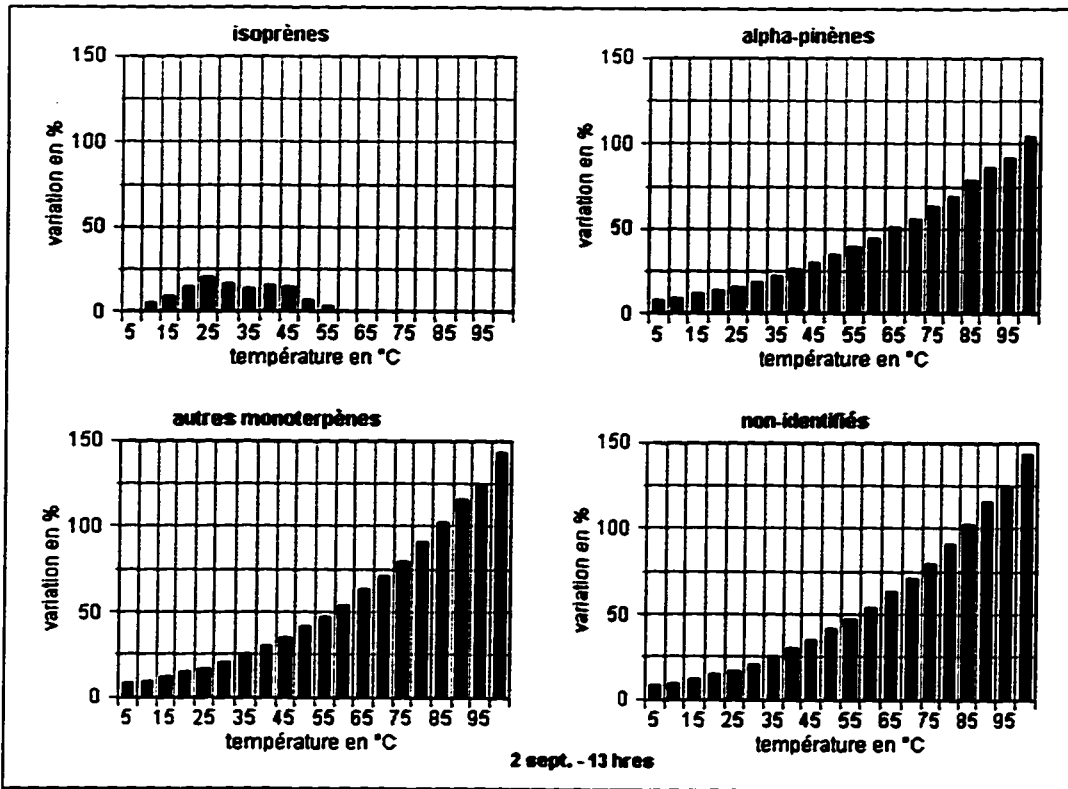


Figure 15: Variation des émissions selon la température - feuillus - 2 septembre

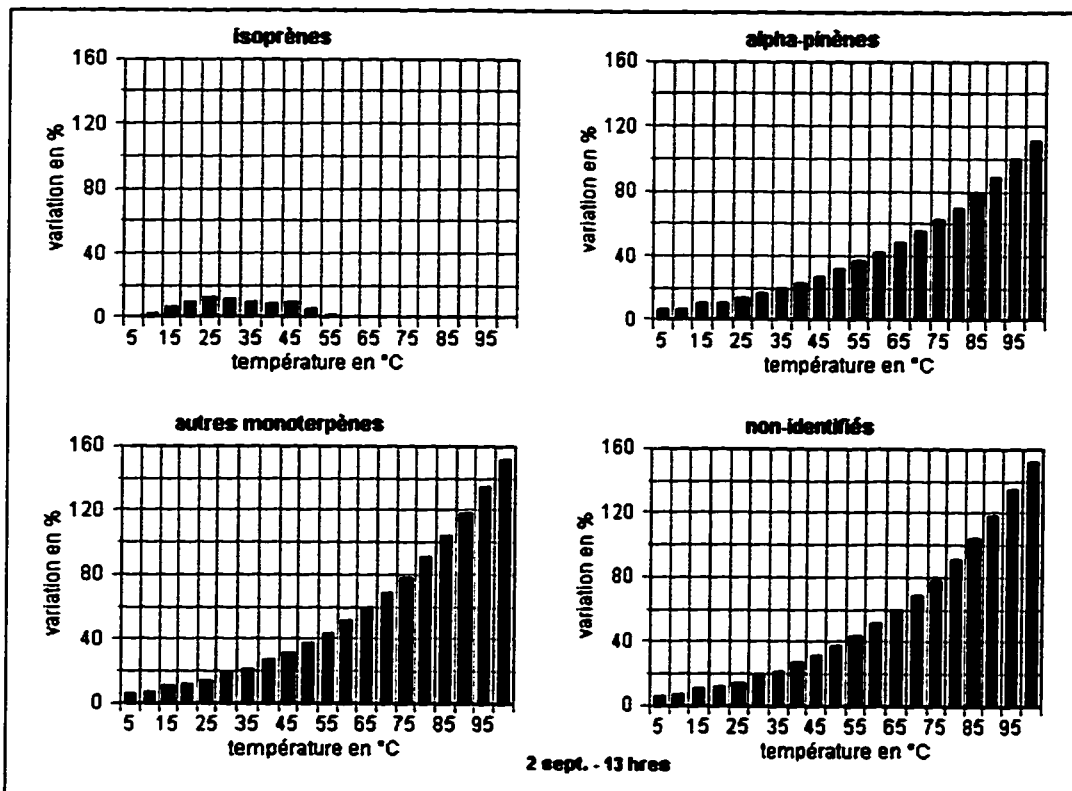


Figure 16: Variation des émissions selon la température - conifères - 2 septembre

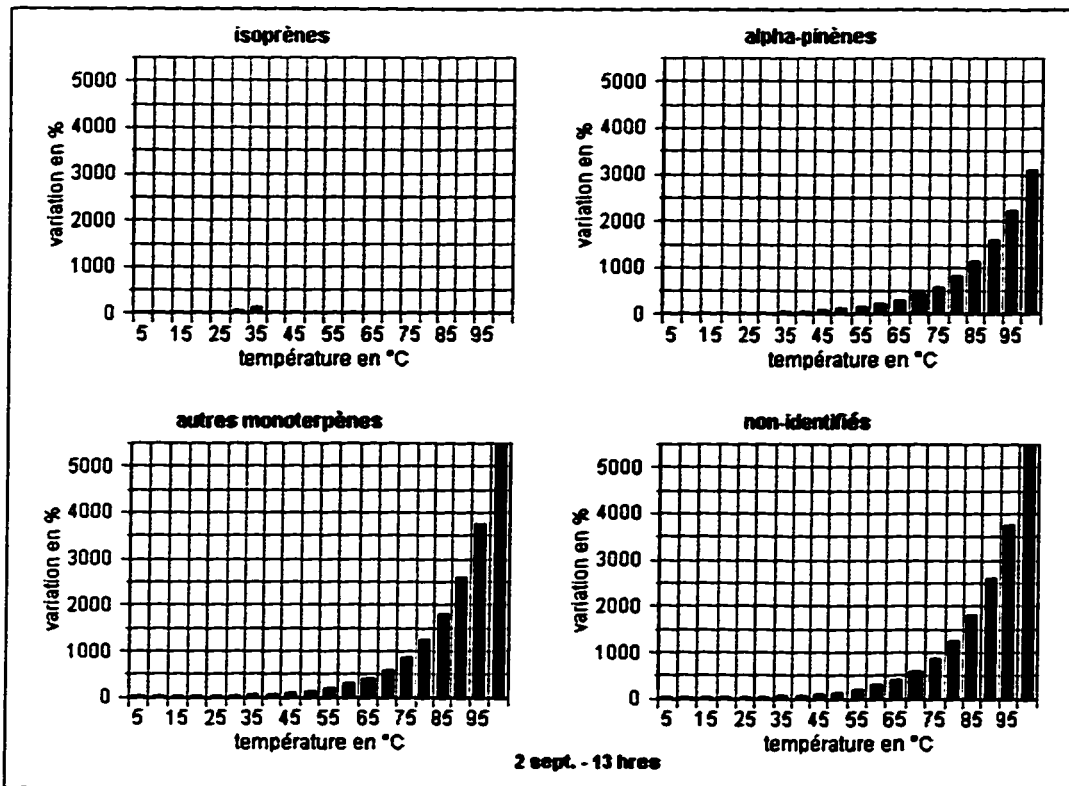


Figure 17: Variation des émissions selon la température - autres types de couvertures du sol - 2 septembre

D'autre part, on note que les taux d'isoprènes agissent de façon entièrement distincte des autres espèces de COV. Pour des températures allant jusqu'à 25°C, autant pour les feuillus que pour les conifères, les variations des taux d'isoprènes tendent à augmenter de 0 à 20% dans le cas des feuillus et de 0 à 12% pour les conifères. Par la suite, les variations semblent diminuer quelque peu pour se maintenir à un quasi-plateau jusqu'à 45°C. Puis finalement, elles décroissent rapidement jusqu'à 60°C où à ce niveau, elles présentent des variations très peu prononcées. Ces fluctuations peuvent brièvement s'expliquer par le fait que les isoprènes réagissent de façon particulière aux températures élevées. Il semblerait que deux processus biochimiques opposés entreraient en ligne de compte: 1) une certaine enzyme chez les isoprènes serait activée avec des températures croissantes entraînant ainsi une augmentation des émissions, et 2) à des températures élevées (> 40°C) l'enzyme se dénaturerait faisant ainsi décroître les taux d'émissions (Monson et al, 1992). Pour les autres types de couvertures et d'utilisations du sol, les isoprènes semblent suivre les mêmes tendances mais à une échelle beaucoup plus importante, c'est-à-dire atteignant des sommets de 200%.

Toutes les autres espèces de COV agissent de façon semblable entre elles au niveau des feuillus et des conifères, indiquant des augmentations de variations suivant une courbe plus ou moins exponentielle sans toutefois atteindre ni de niveau de saturation, ni de niveau de décroissance. Pour ce qui est des autres types de couverture et d'utilisation du sol, les variations sont de beaucoup plus élevées et la tendance plus prononcée. Ainsi le même comportement que pour les espèces forestières est observé, mais à des niveaux moindres.

Les figures 18 à 20 présentent les variations observées pour des intervalles de 5°F d'augmentation et de réduction de la température ambiante. On remarque que certaines tendances peuvent être dégagées. Les feuillus et les conifères agissent de façon similaire

et dans tous les cas, les isoprènes démontrent un comportement distinct des autres espèces de COV. La tendance relative à ce comportement demeure similaire à celle observée pour des augmentations constantes de 5°C. En effet, pour des variations par intervalles de 5°F, les isoprènes présentent des niveaux de variations oscillant entre 0 et 13% pour les espèces forestières et entre 0 et 80% dans le cas des autres couvertures et utilisations du sol. Les autres espèces de COV ne démontrent pas de niveaux de variations constants mais plutôt croissants: 0 à 25% pour les feuillus et les conifères et 0 à 80% pour les autres types de couvertures et utilisations du sol. Cela démontre ainsi que l'influence de la température sur toutes les espèces de COV autres que les isoprènes est constante et qu'aucun niveau de saturation n'est rencontré.

À des intervalles de 15°F (figures 21 à 23), les tendances sont les mêmes que pour des intervalles de 5°F dans le cas des isoprènes avec toutefois des niveaux de variations oscillant entre 0 et 32% dans le cas des feuillus et des conifères et entre 0 et 160% pour les autres types de couvertures et utilisations du sol. Les autres espèces de COV présentent des niveaux de variations entre 0 et 70% pour les feuillus et les conifères et entre 0 et 200% pour les autres types de couvertures et utilisations du sol.

Donc les émissions biogéniques semblent être grandement affectées par la température ambiante ce qui classerait ce paramètre météorologique comme étant un facteur significatif dans l'issue des estimations. De plus, les taux d'isoprènes semblent être beaucoup plus sensibles aux variations de la température que les autres espèces de COV et présentent d'ailleurs des fluctuations plus importantes dans leurs variations. Il est à noter que toutes les tendances précédemment décrites s'appliquent aux trois périodes à l'étude.

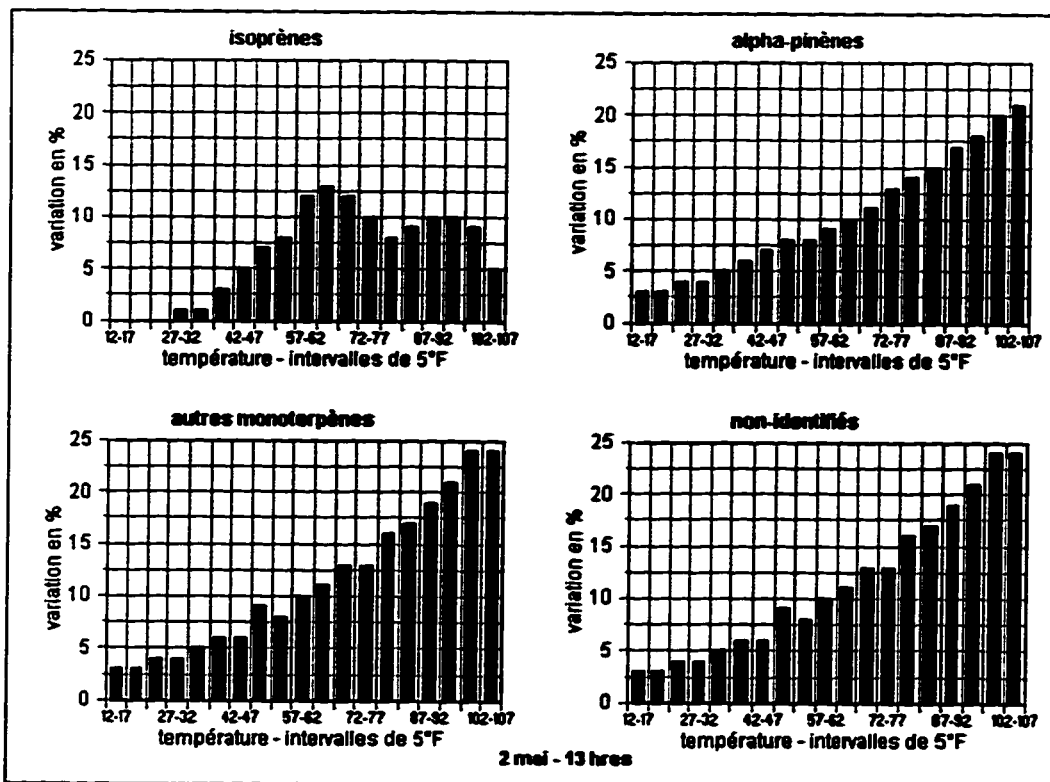


Figure 18: Variation des émissions - intervalles de température de 5°F - feuillus - 2 mai

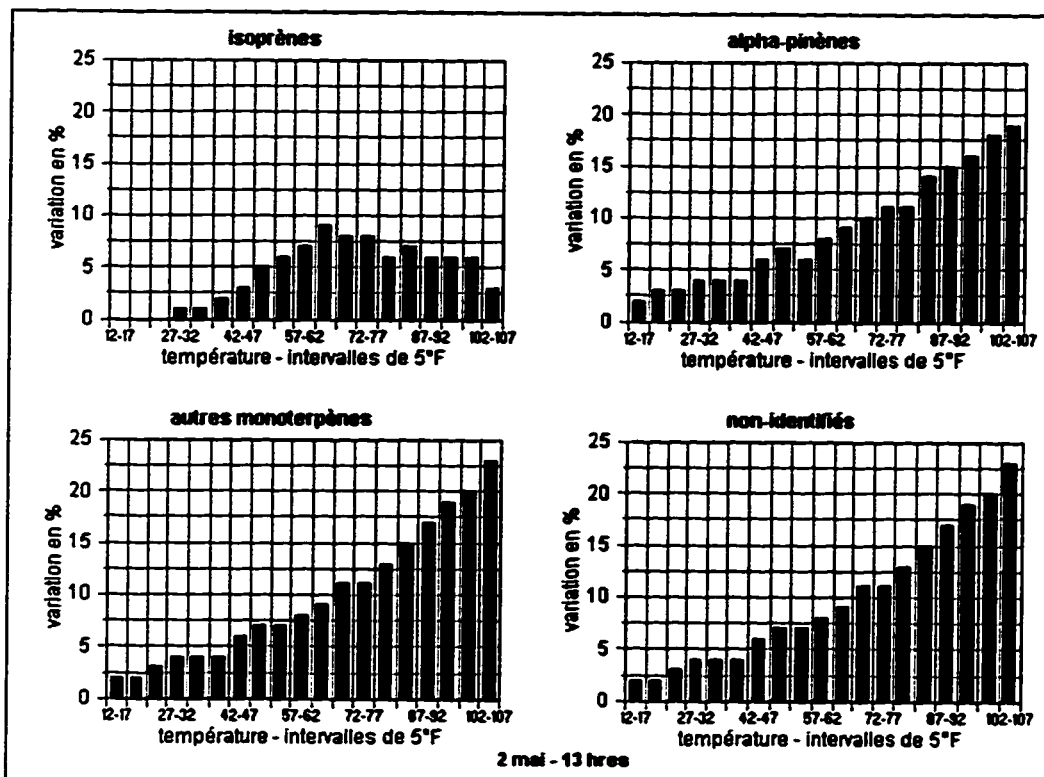


Figure 19: Variation des émissions - intervalles de température de 5°F - conifères - 2 mai

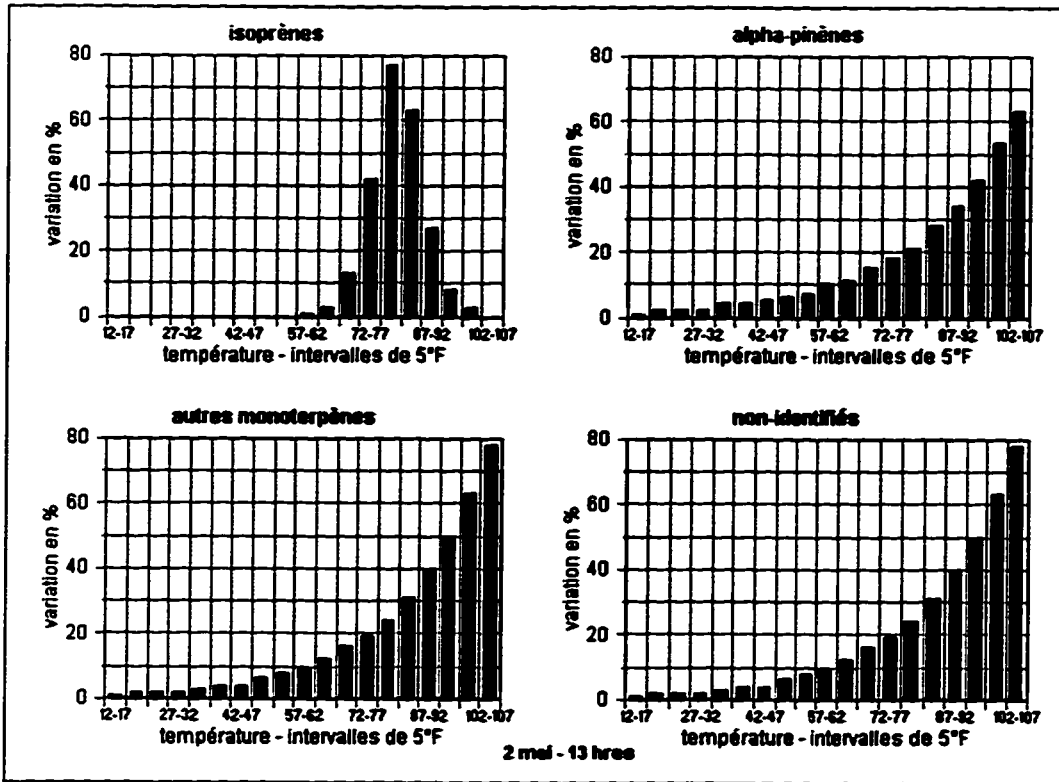


Figure 20: Variation des émissions - intervalles de température de 5°F - autres types de couvertures du sol - 2 mai

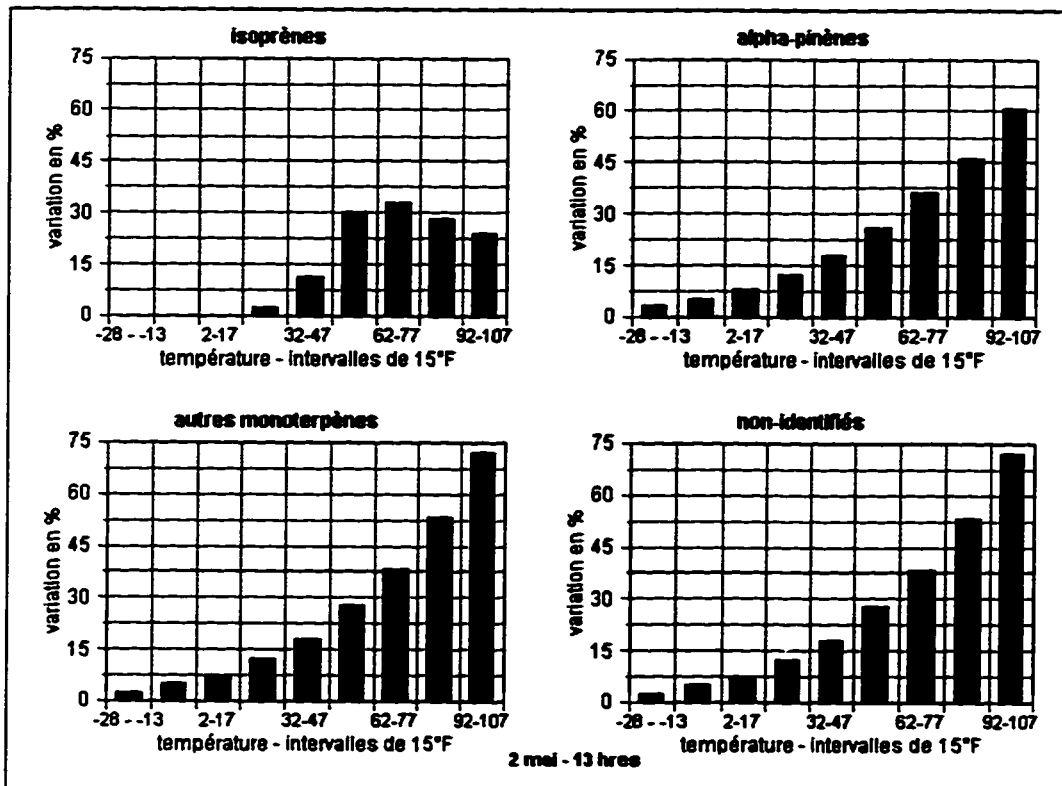


Figure 21: Variation des émissions - intervalles de température de 15°F - feuillus - 2 mai

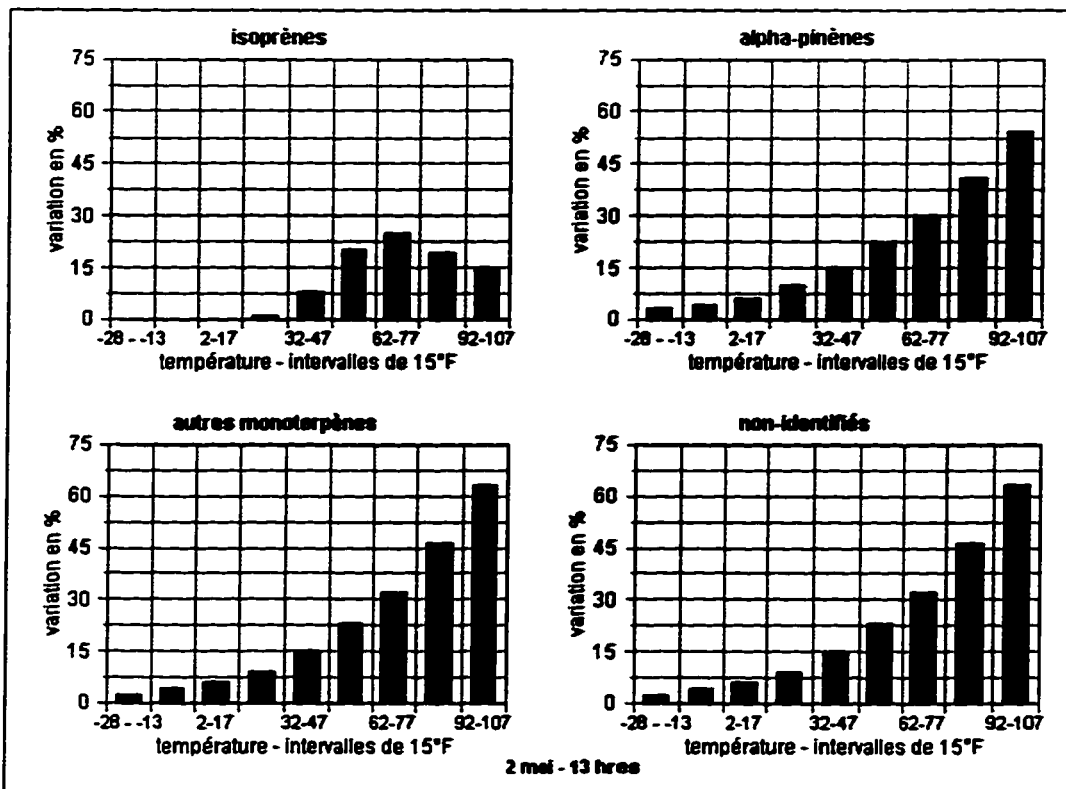


Figure 22: Variation des émissions - intervalles de température de 15°F - conifères - 2 mai

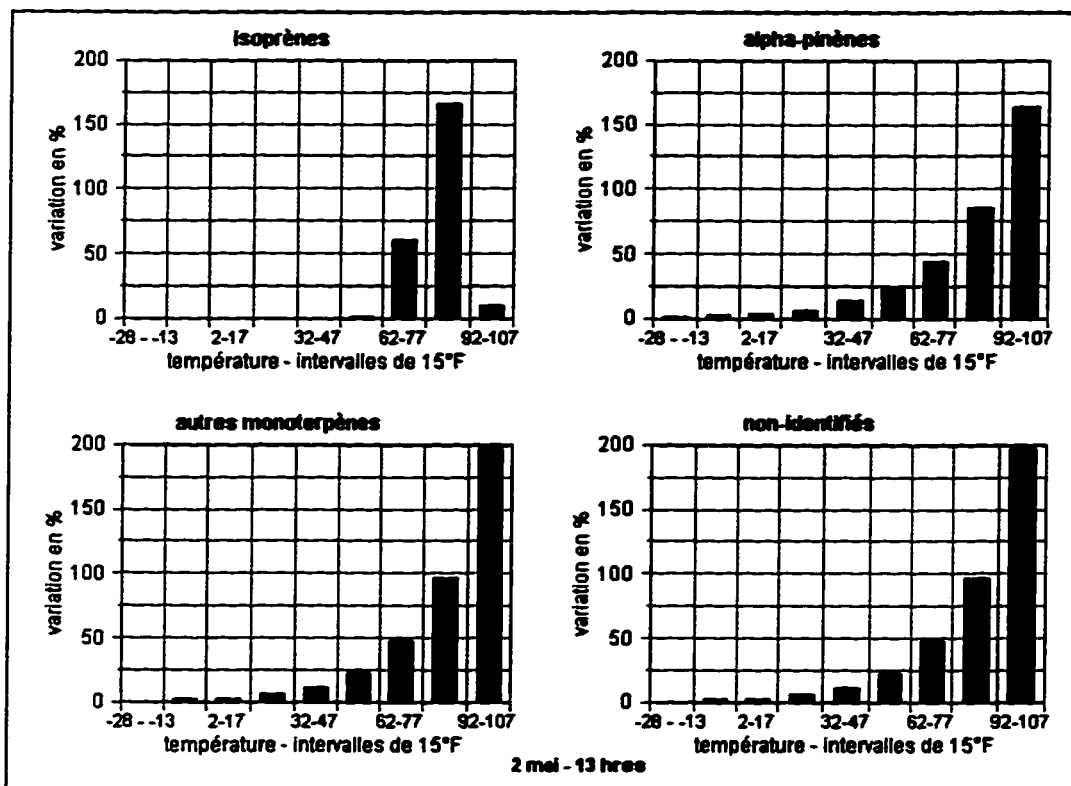


Figure 23: Variation des émissions - intervalles de température de 15°F - autres types de couvertures du sol - 2 mai

4.1.1.2 Couverture nuageuse

La tendance générale des estimations lorsque misent en relation avec la couverture nuageuse, démontre que les émissions sont inversement proportionnelles à l'augmentation de ce paramètre climatique. On remarque par ailleurs, que les diminutions suivent une courbe exponentielle. Ce comportement aussi peut facilement s'expliquer par le fait qu'il a été démontré dans plusieurs études récentes que la luminosité, donc le niveau d'ensoleillement ou de couverture nuageuse pouvait jouer un rôle significatif sur les taux d'émissions en général.

La série de figures 24 à 29 fait d'ailleurs ressortir cette tendance. Des variations en pourcentages ont été calculés à tous les 0.5/10 d'ajout de couverture nuageuse. On remarque que jusqu'à 3/10 de couverture nuageuse, les variations sont très faibles et ce, surtout pour les taux d'isoprènes. Par la suite, les variations tendent à augmenter de façon exponentielle pour atteindre des valeurs de 80% lorsque le ciel est totalement couvert; donc aucun niveau de saturation n'est atteint. Cette tendance exponentielle est particulièrement prononcée pour les isoprènes. Cela est dû en grande partie au fait que les taux d'isoprènes seraient très dépendants de l'intensité de lumière (Rasmussen et Jones, 1973; Sanadze et Kalandadze, 1966).

On note aussi que de façon générale, les feuillus semblent plus affectés par l'augmentation de la couverture nuageuse que ne le sont les conifères. Cette tendance pourrait s'expliquer d'une part par le fait que les valeurs de surfaces foliaires sont assumées de façon différente pour les feuillus et les conifères dans les algorithmes de calcul du modèle et d'autre part, des différences distinguent la manière dont la luminosité est répartie dans les deux types de canopées forestières.

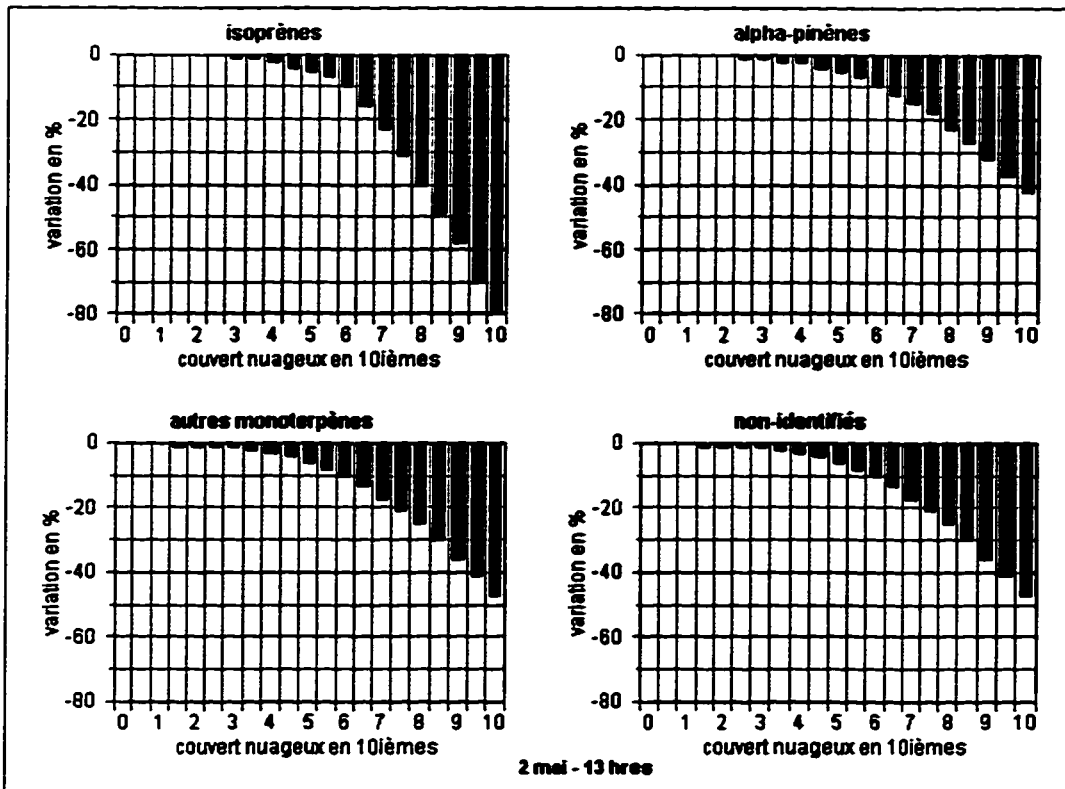


Figure 24: Variation des émissions selon la couverture nuageuse - feuillus - 2 mai

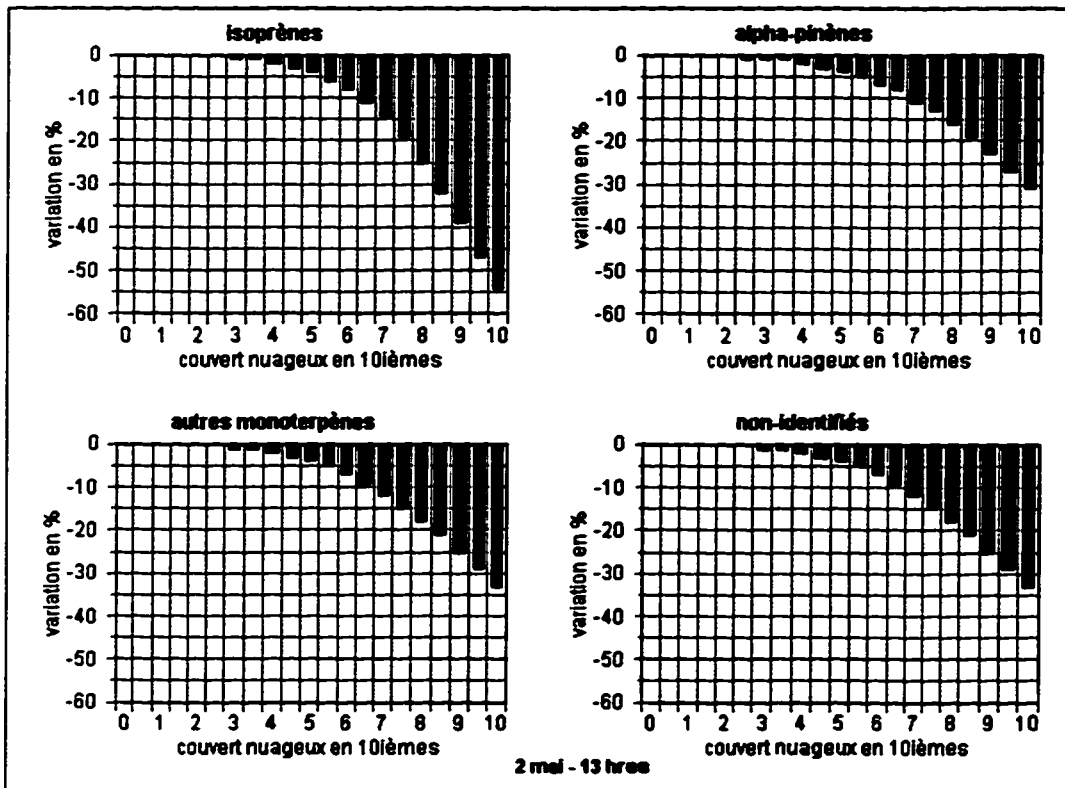


Figure 25: Variation des émissions selon la couverture nuageuse - conifères - 2 mai

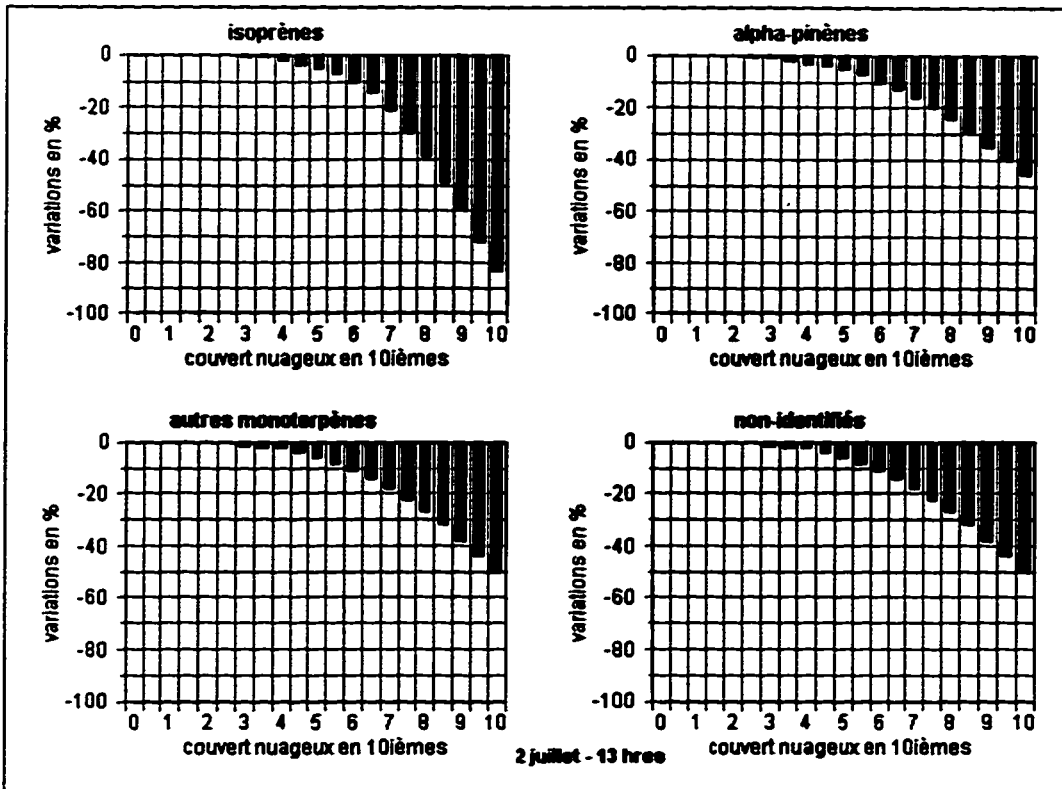


Figure 26: Variation des émissions selon la couverture nuageuse
- feuillus - 2 juillet

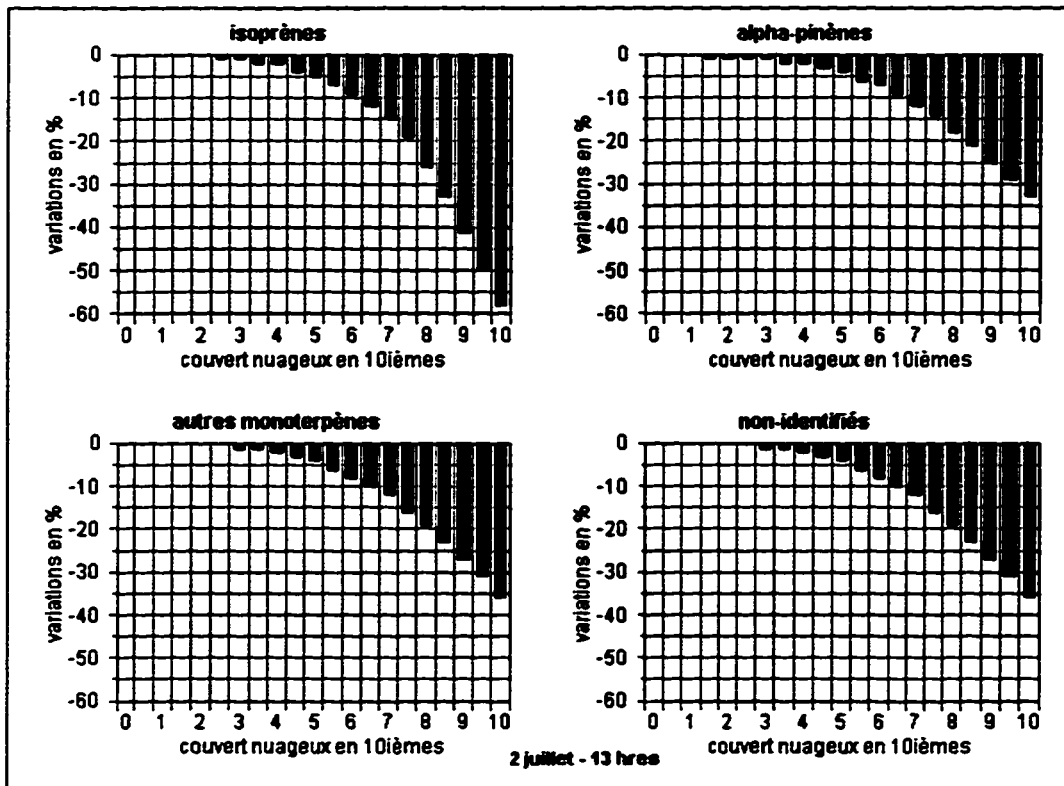


Figure 27: Variation des émissions selon la couverture nuageuse
- conifères - 2 juillet

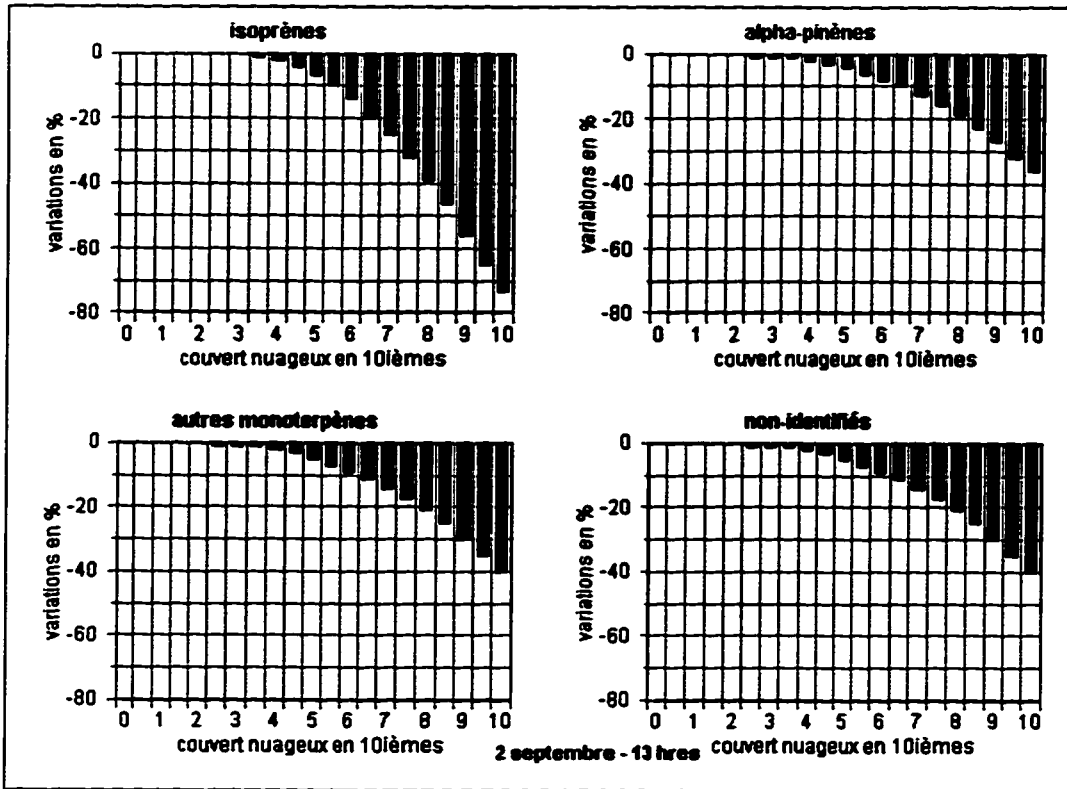


Figure 28: Variation des émissions selon la couverture nuageuse
- feuillus - 2 septembre

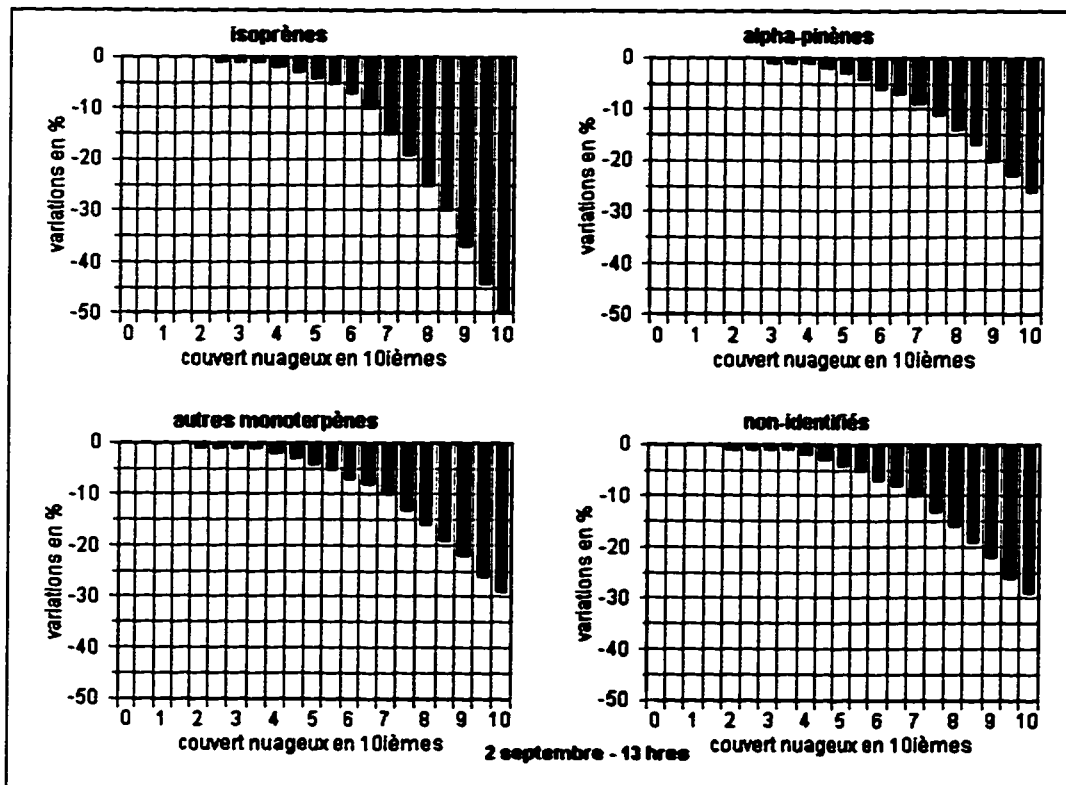


Figure 29: Variation des émissions selon la couverture nuageuse
- conifères - 2 septembre

Les graphiques 30 à 35 montrent les variations des émissions pour des intervalles de 2/10 d'ajout de couverture nuageuse. On remarque que les variations ne sont pas constantes, c'est-à-dire qu'elles sont plutôt croissantes à mesure que les intervalles augmentent. Ainsi, les variations observées pour l'intervalle de 0 à 2/10 est moindre que celle pour l'intervalle de 5/10 à 7/10 et ainsi de suite. Ce comportement démontre le fait que l'influence de la couverture nuageuse dépend grandement de la condition initiale du ciel.

Il est à noter qu'aucune variation n'ait été observée pour les autres types de couvertures et d'utilisations du sol. D'ailleurs, aucun graphique n'a été généré étant donné l'absence de variations. Toutes les tendances précédemment décrites s'appliquent aux trois périodes à l'étude.

À la lumière de ces constatations, on remarque que les taux d'émissions biogéniques sont substantiellement affectées par le niveau de luminosité. Ce dernier serait donc un facteur très important jouant un rôle direct sur ce type d'émissions. De plus, ce sont les isoprènes qui semblent être parmi toutes les espèces de COV, les plus sensibles à ce paramètre climatique.

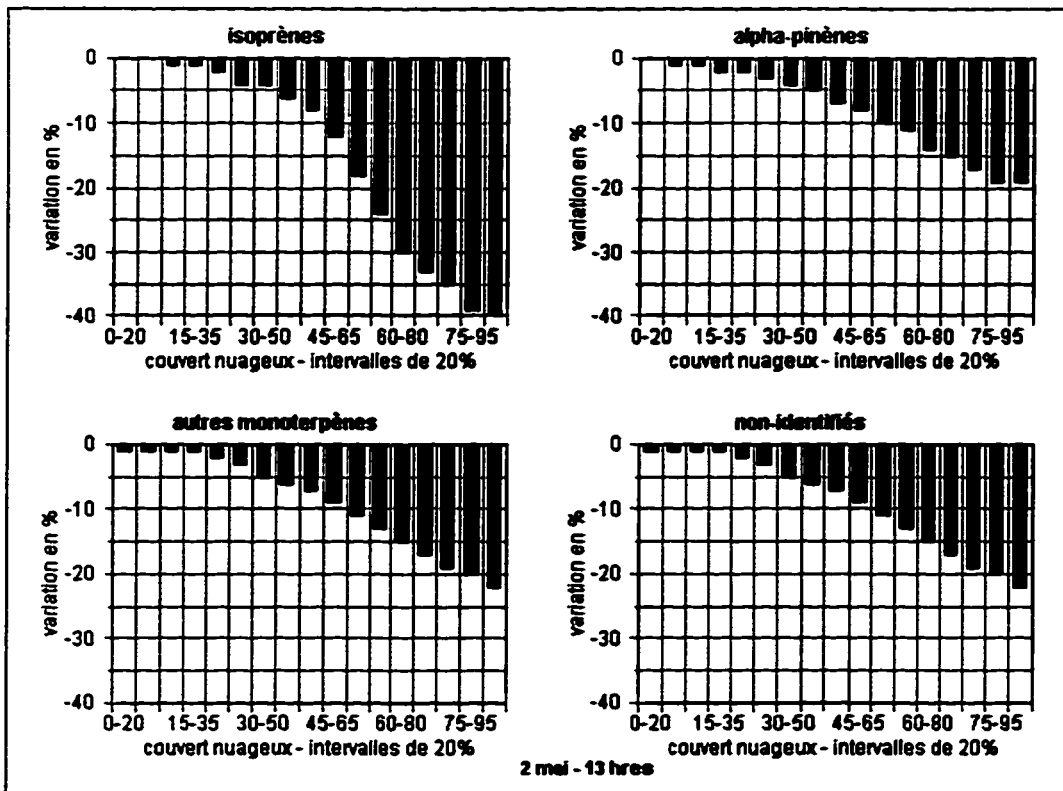


Figure 30: Variation des émissions - intervalles de 20% de couvert nuageux
- feuillus - 2 mai

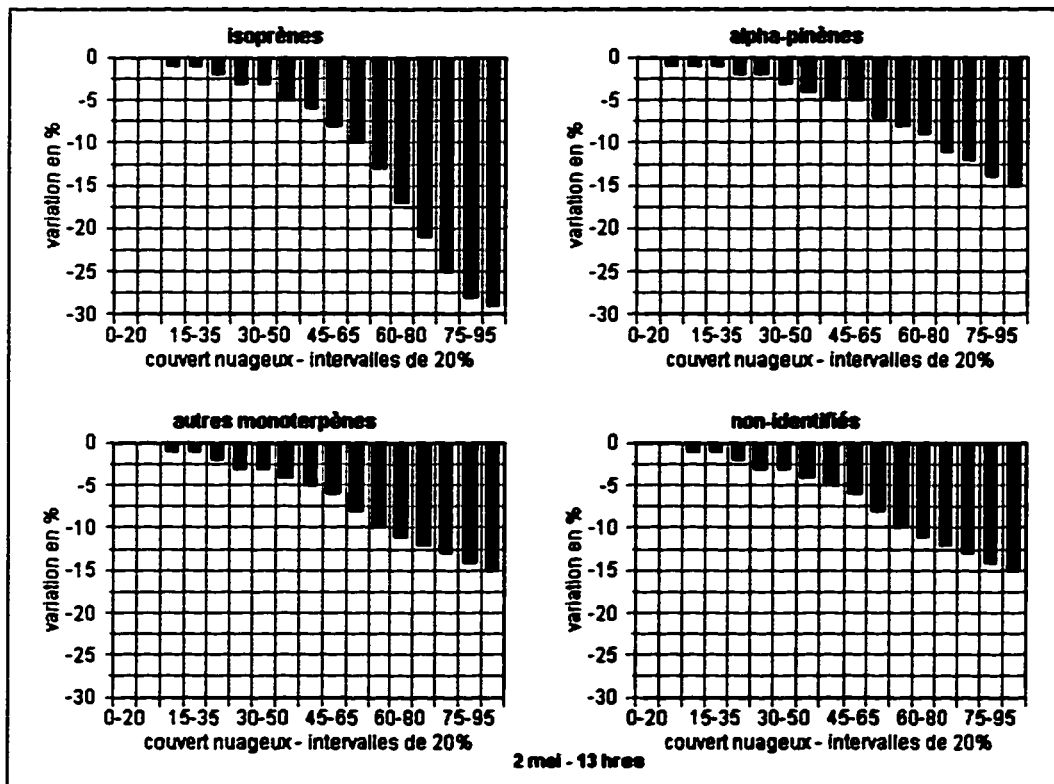


Figure 31: Variation des émissions - intervalles de 20% de couvert nuageux
- conifères - 2 mai

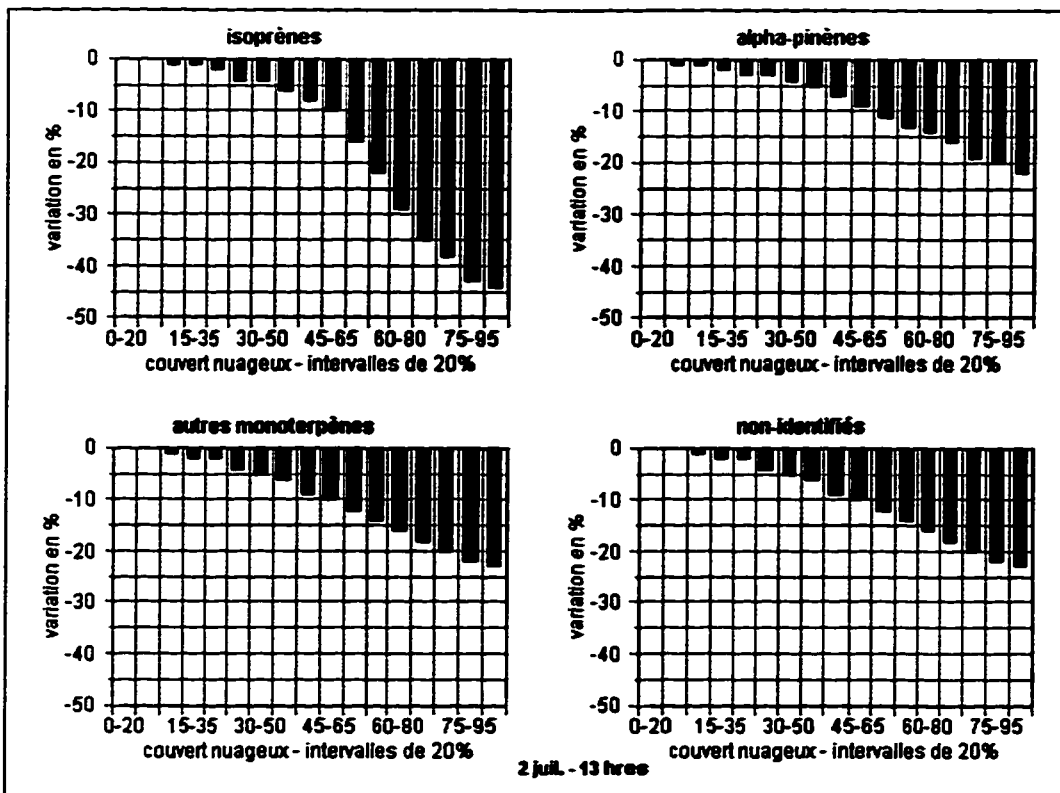


Figure 32: Variation des émissions - intervalles de 20% de couvert nuageux - feuillus - 2 juillet

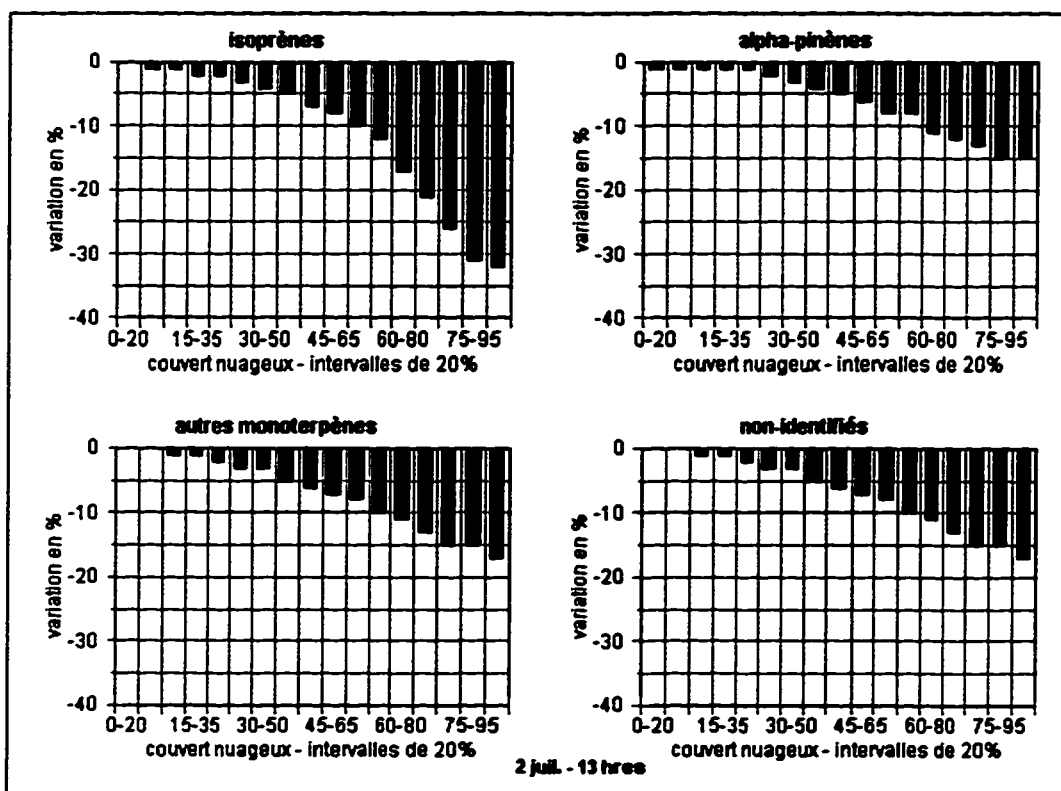


Figure 33: Variation des émissions - intervalles de 20% de couvert nuageux - conifères - 2 juillet

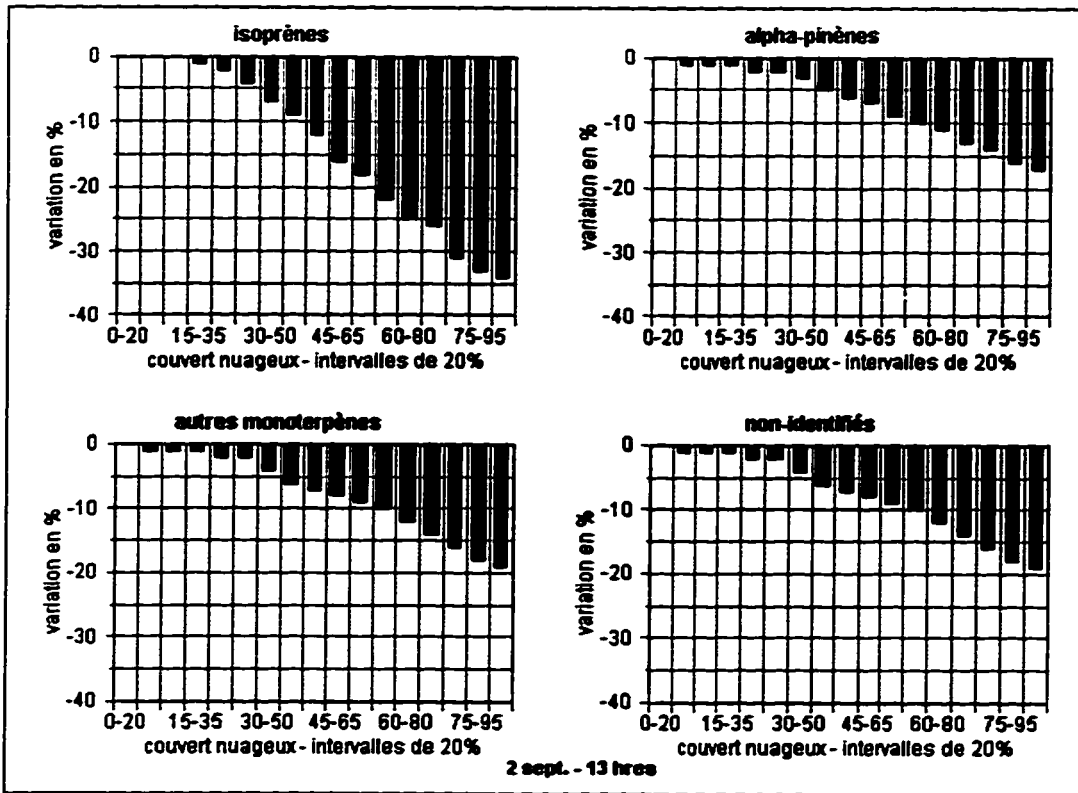


Figure 34: Variation des émissions - intervalles de 20% de couvert nuageux
- feuillus - 2 septembre

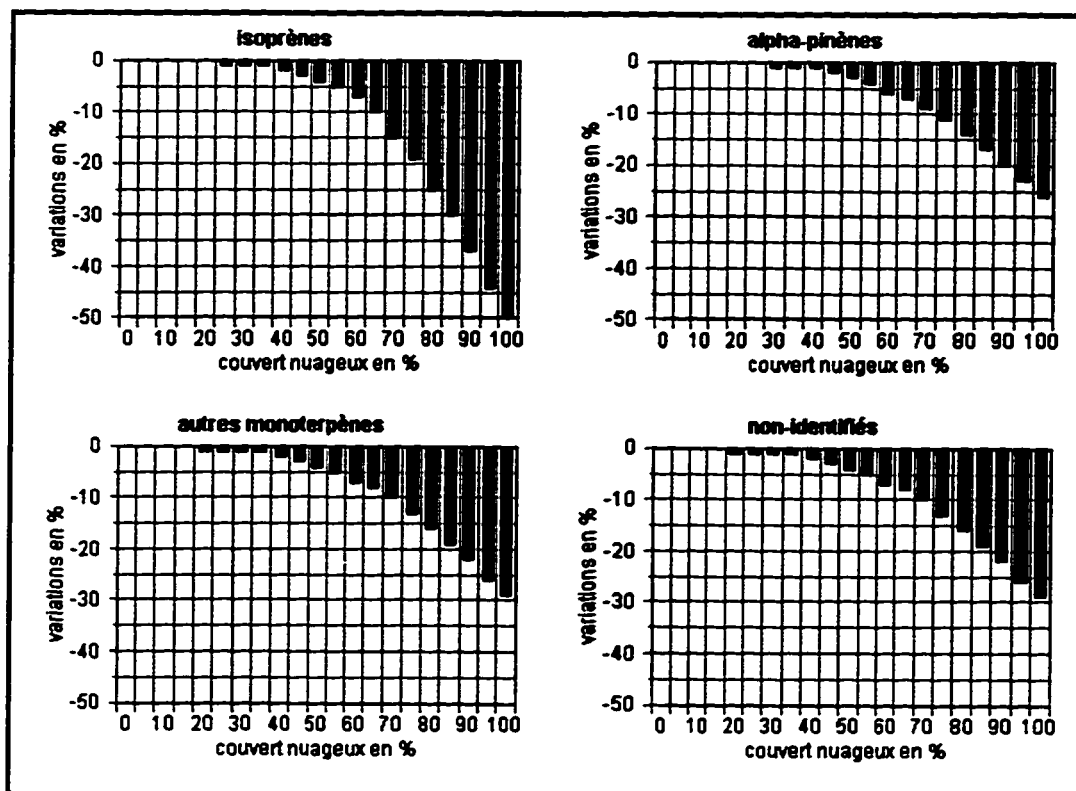


Figure 35: Variation des émissions - intervalles de 20% de couvert nuageux
- conifères - 2 juillet

4.1.1.3 Humidité relative

Les résultats obtenus démontrent certaines tendances des estimations en relation avec le niveau d'humidité relative ambiante. Les estimations tendent à augmenter de façon générale lorsque ce paramètre climatique est lui-même haussé.

Selon la série de figures 36 à 41 reliées aux observations, il est possible de faire ressortir certaines tendances aux niveau des estimations d'émissions. Des variations en pourcentages ont été calculées à tous les 5% d'ajout d'humidité relative sans toutefois qu'elles atteignent de niveau de saturation. On remarque que les variations croissent de façon linéaire de 2 à 26% dans le cas des isoprènes et de 2 à 61% pour les autres espèces de COV. Il semblerait donc que l'amplitude des variations d'isoprènes soit moins considérable que celle observée pour les autres espèces de COV.

On note aussi que de façon générale, les feuillus semblent plus affectés que les conifères par l'augmentation de l'humidité relative. Cela pourrait s'expliquer par les caractéristiques distinctes de leur structure végétale et par la façon dont celles-ci réagissent à ce paramètre climatique.

Selon les figures 42 à 47, les variations observées pour des intervalles de 20% d'ajout d'humidité relative démontrent des augmentations assez constantes peu importe le niveau de base initial. Ces variations se situent entre 3 et 6% pour les isoprènes et entre 9 et 13% pour les autres espèces de COV. Les taux d'isoprènes semblent donc varier moins que les autres espèces de COV lorsque l'humidité relative est accrue de 20%.

Par ailleurs, aucune variation n'a été observée dans le cas des autres types de couvertures et d'utilisation du sol. D'ailleurs, aucun graphique n'a été généré étant donné l'absence de variations.

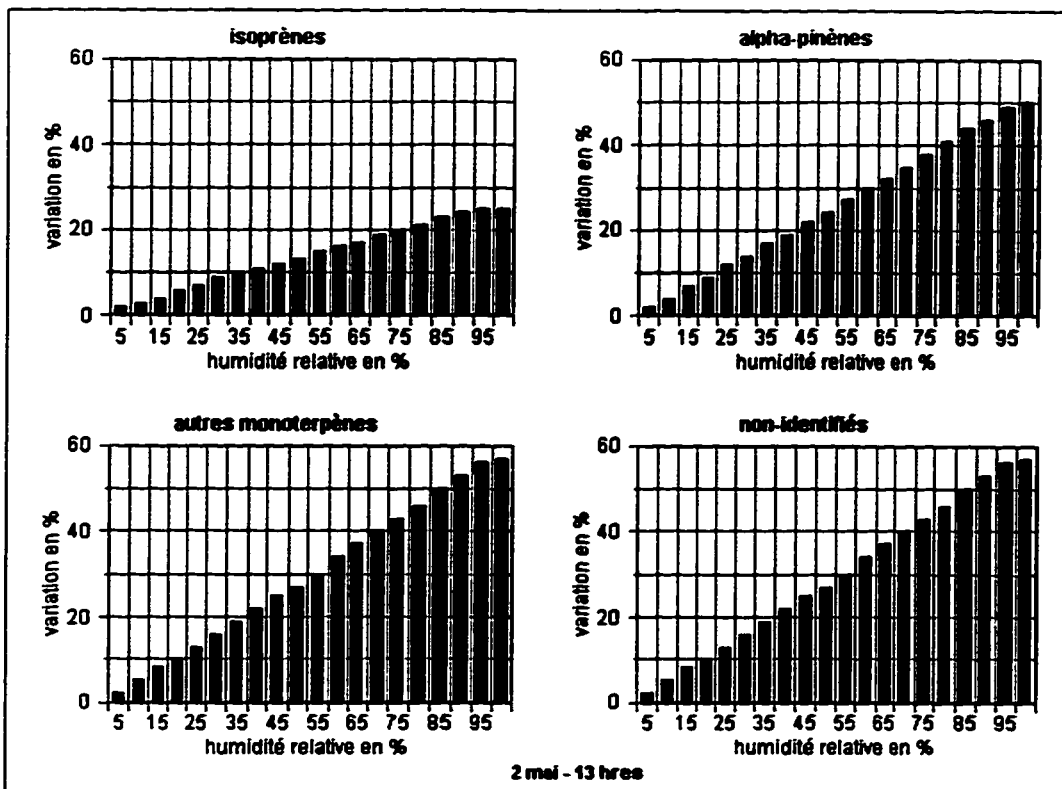


Figure 36: Variation des émissions selon l'humidité relative -
feuillus - 2 mai

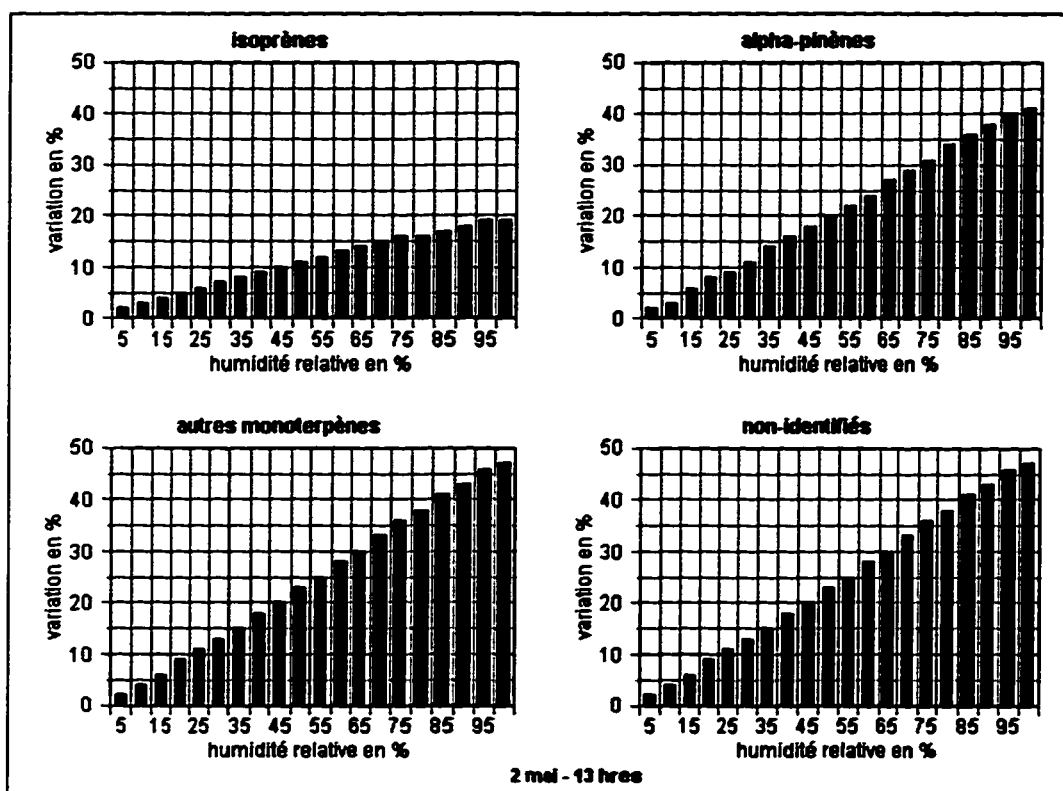


Figure 37: Variation des émissions selon l'humidité relative
- conifères - 2 mai

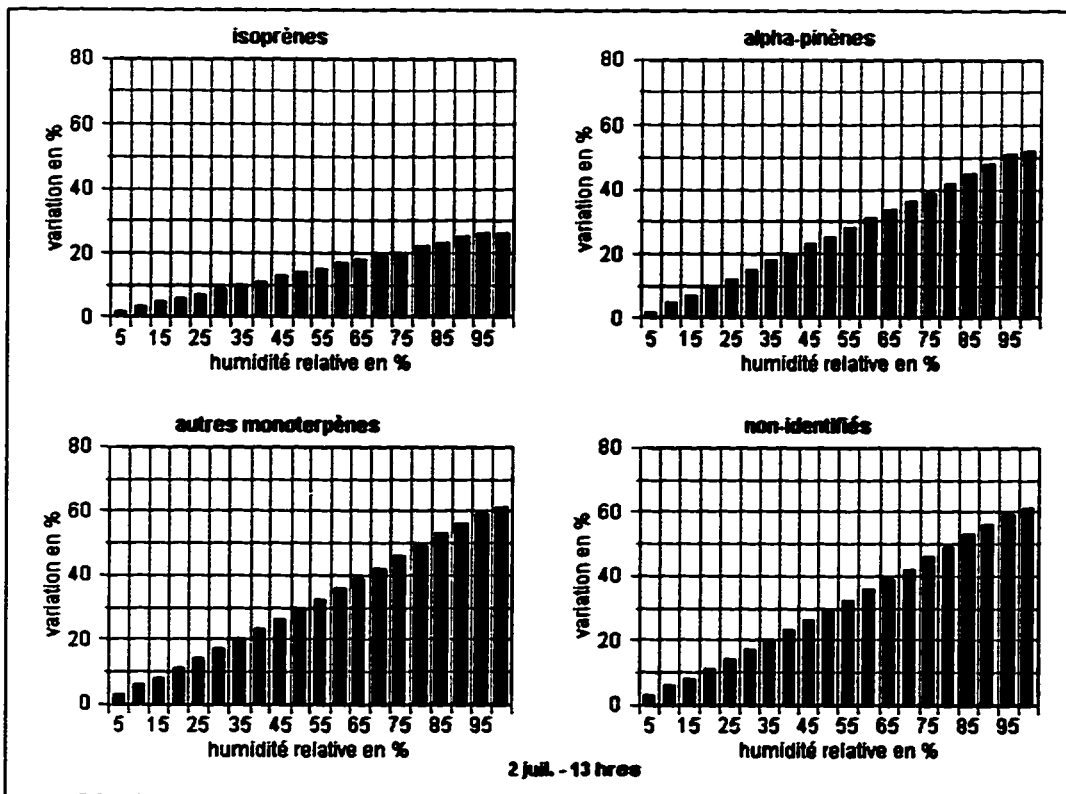


Figure 38: Variation des émissions selon l'humidité relative
- feuillus - 2 juillet

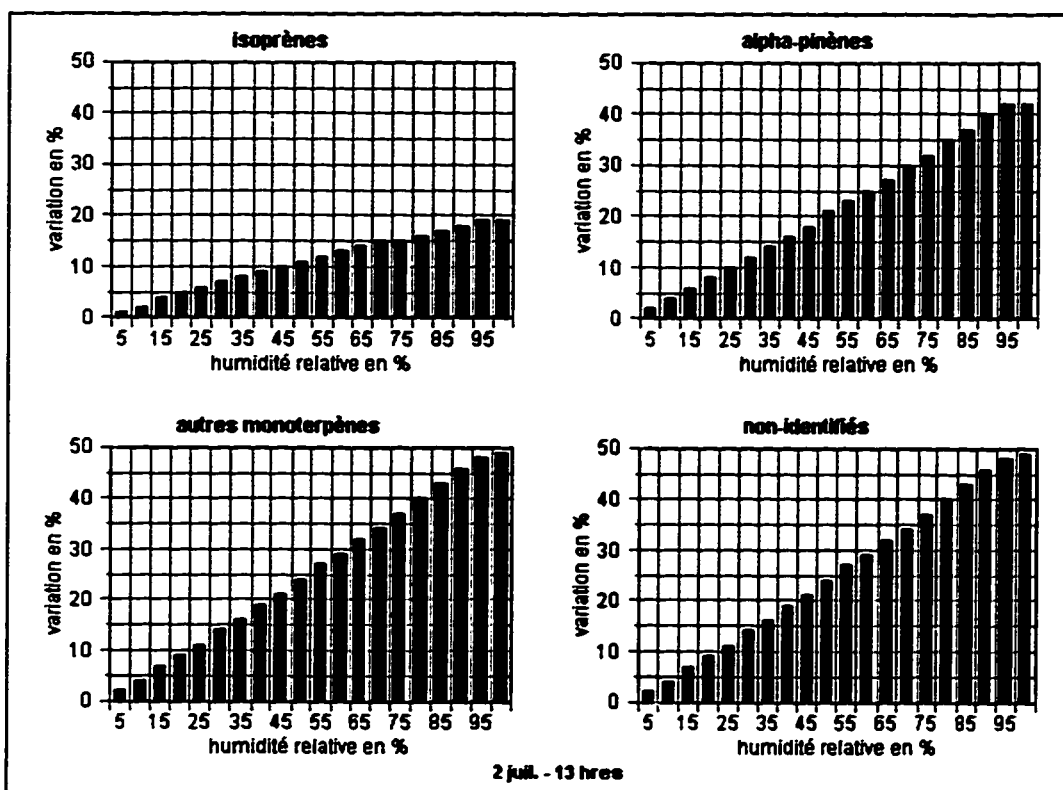


Figure 39: Variation des émissions selon l'humidité relative
- conifères - 2 juillet

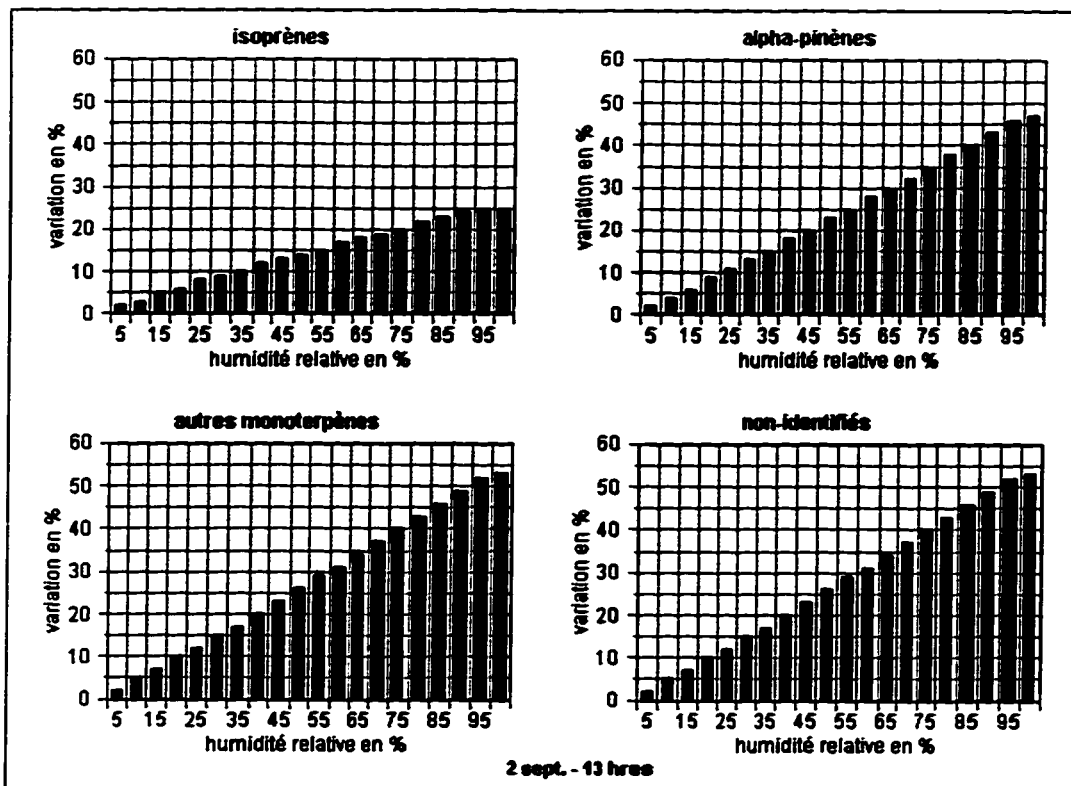


Figure 40: Variation des émissions selon l'humidité relative
- feuillus - 2 septembre

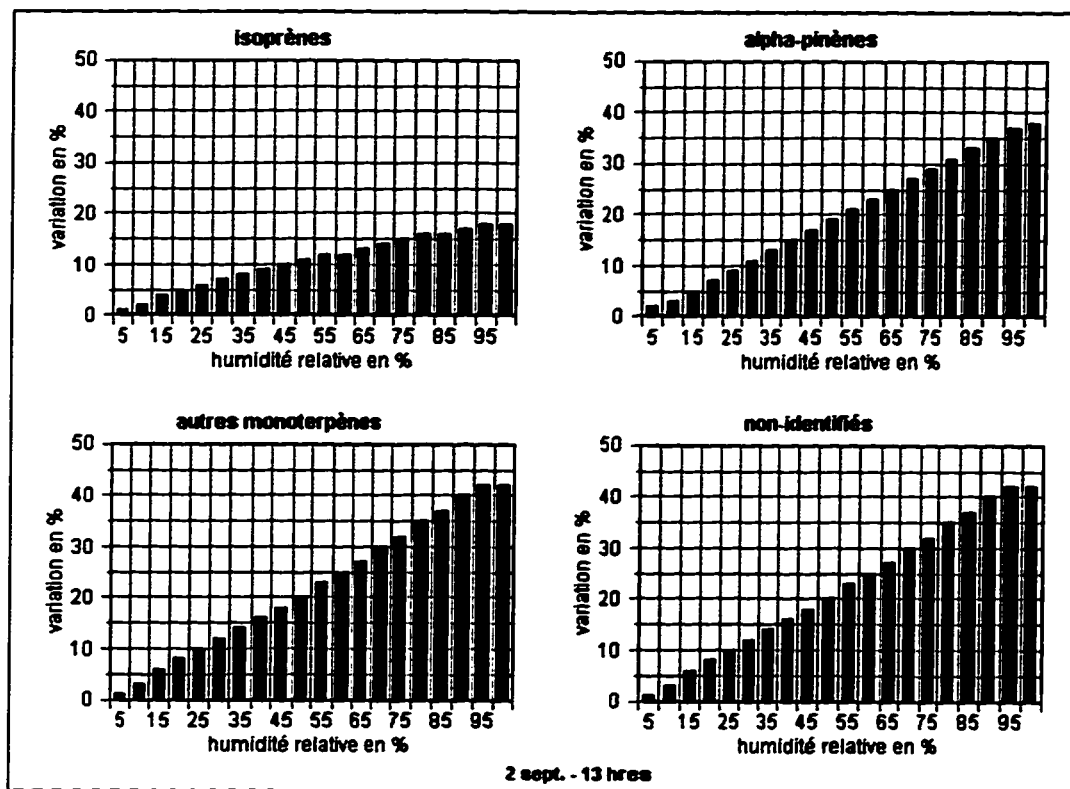


Figure 41: Variation des émissions selon l'humidité relative
- conifères- 2 septembre

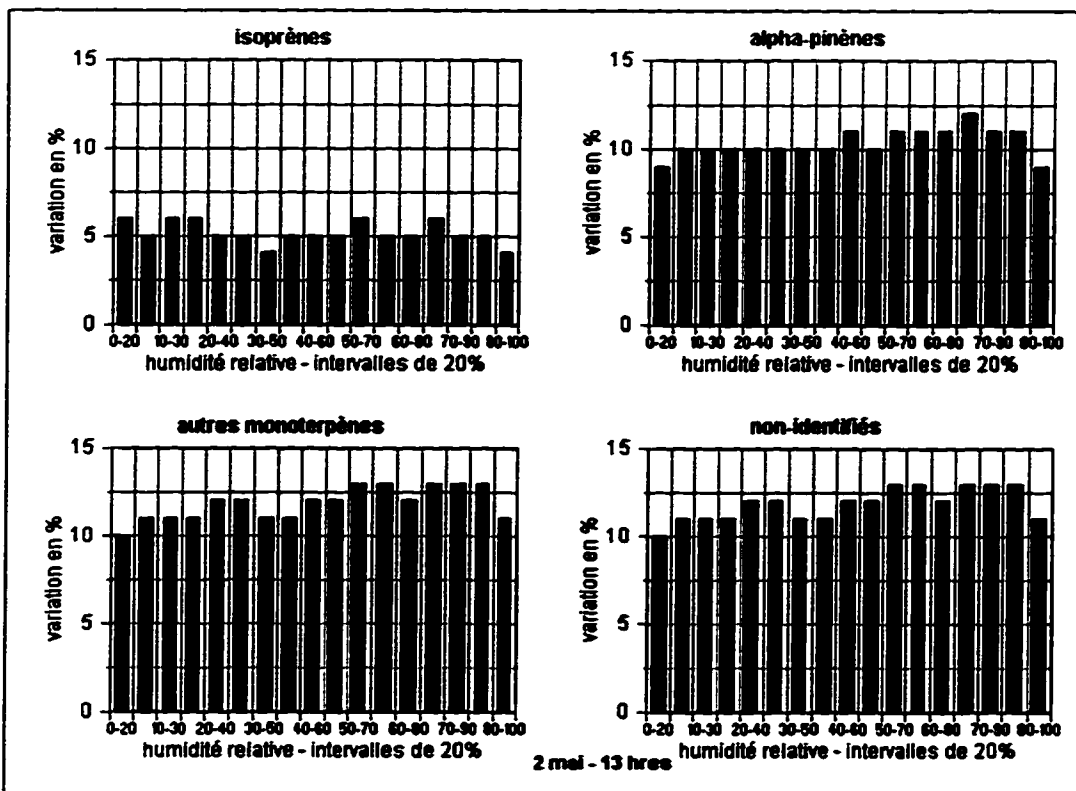


Figure 42: Variation des émissions - intervalles de 20% d'humidité relative
- feuillus - 2 mai

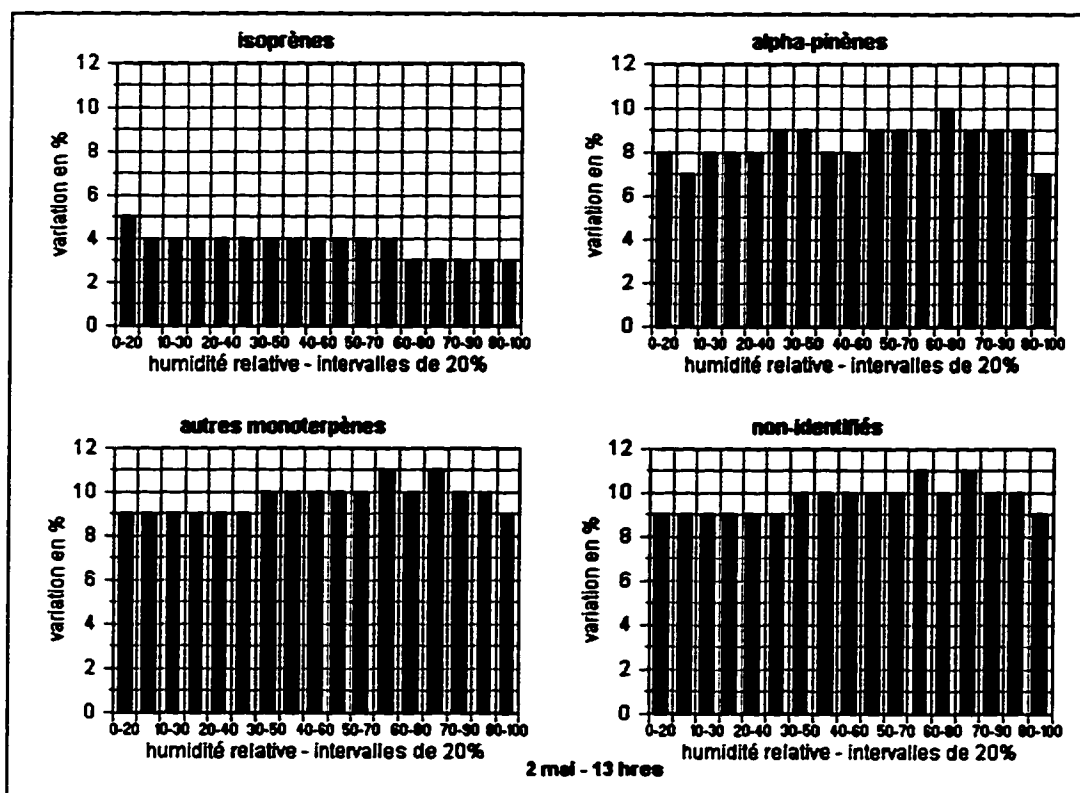


Figure 43: Variation des émissions - intervalles de 20% d'humidité relative
- conifères - 2 mai

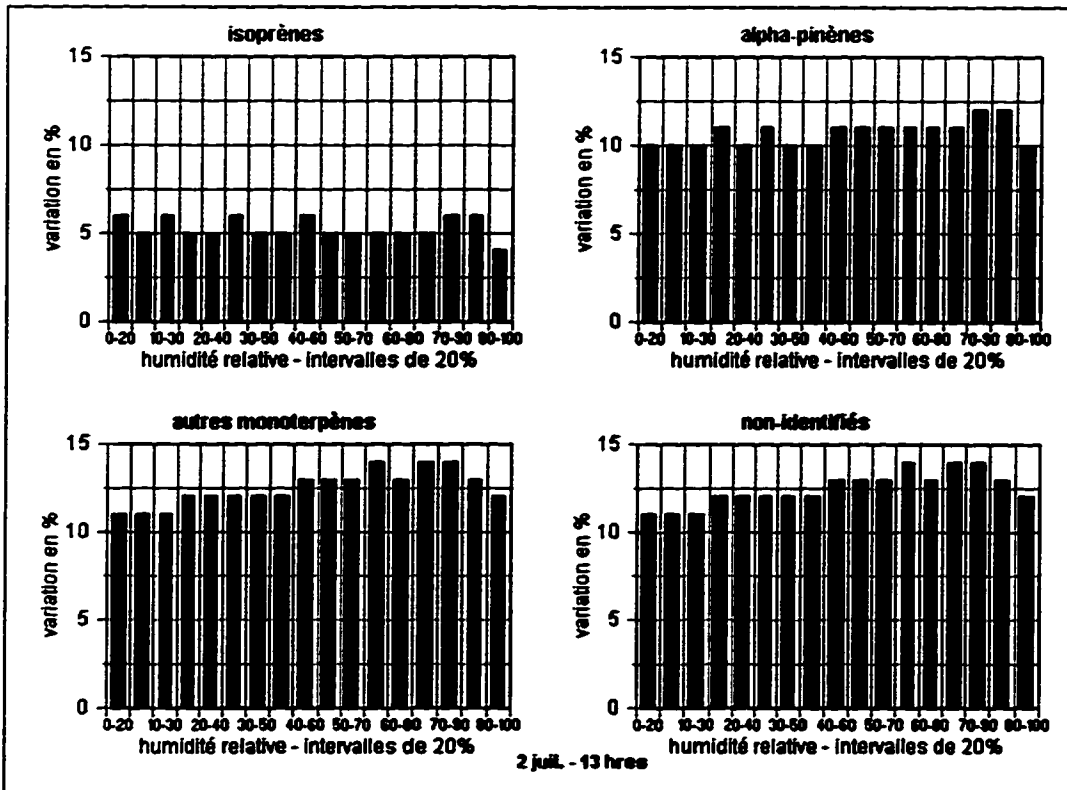


Figure 44: Variation des émissions - intervalles de 20% d'humidité relative
- feuillus - 2 juillet

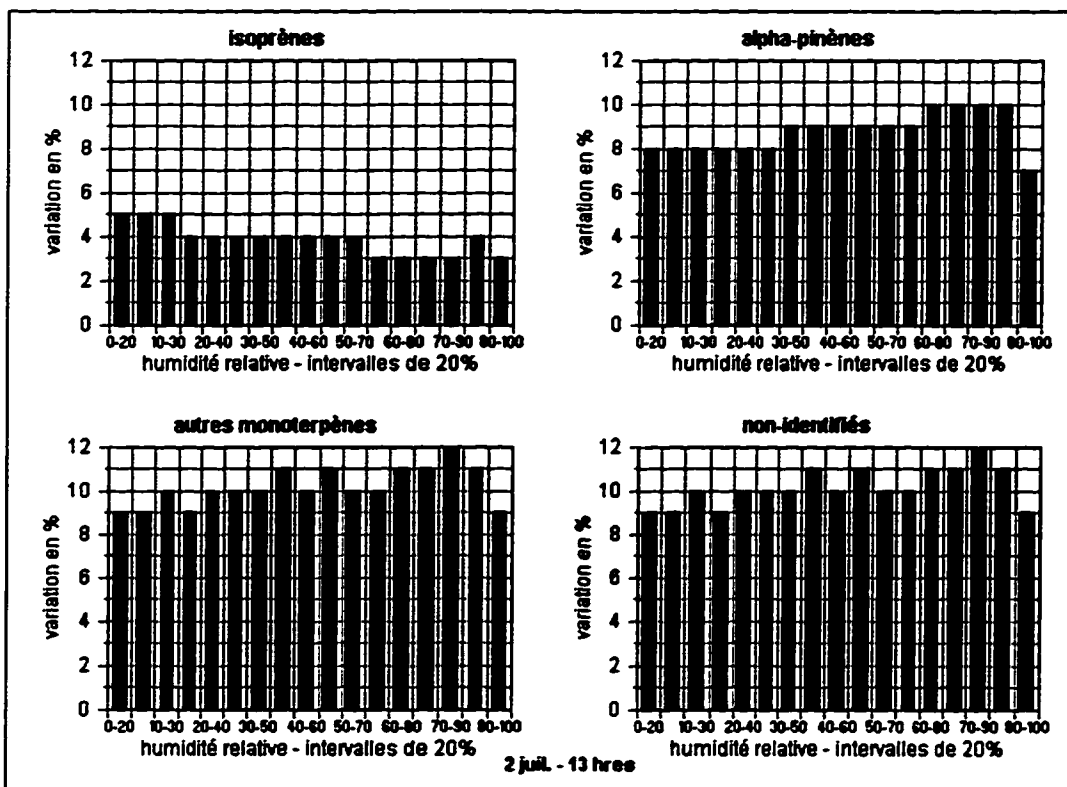


Figure 45: Variation des émissions - intervalles de 20% d'humidité relative
- conifères - 2 juillet

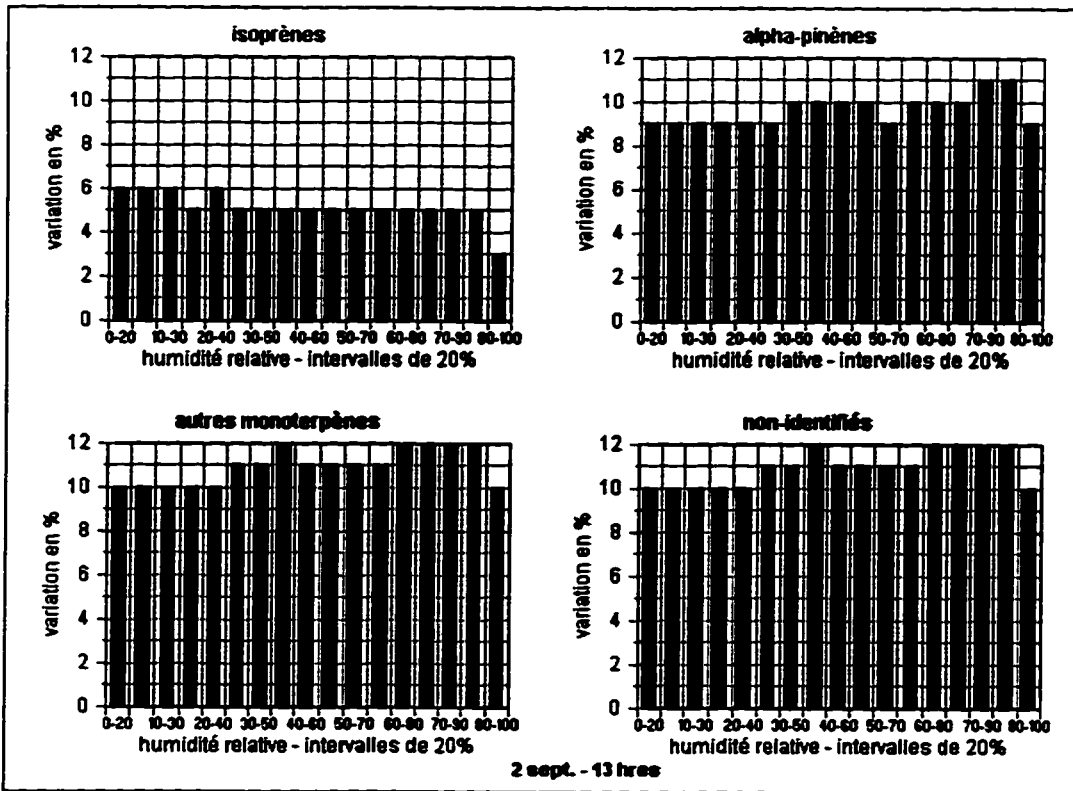


Figure 46: Variation des émissions - intervalles de 20% d'humidité relative
- feuillus - 2 septembre

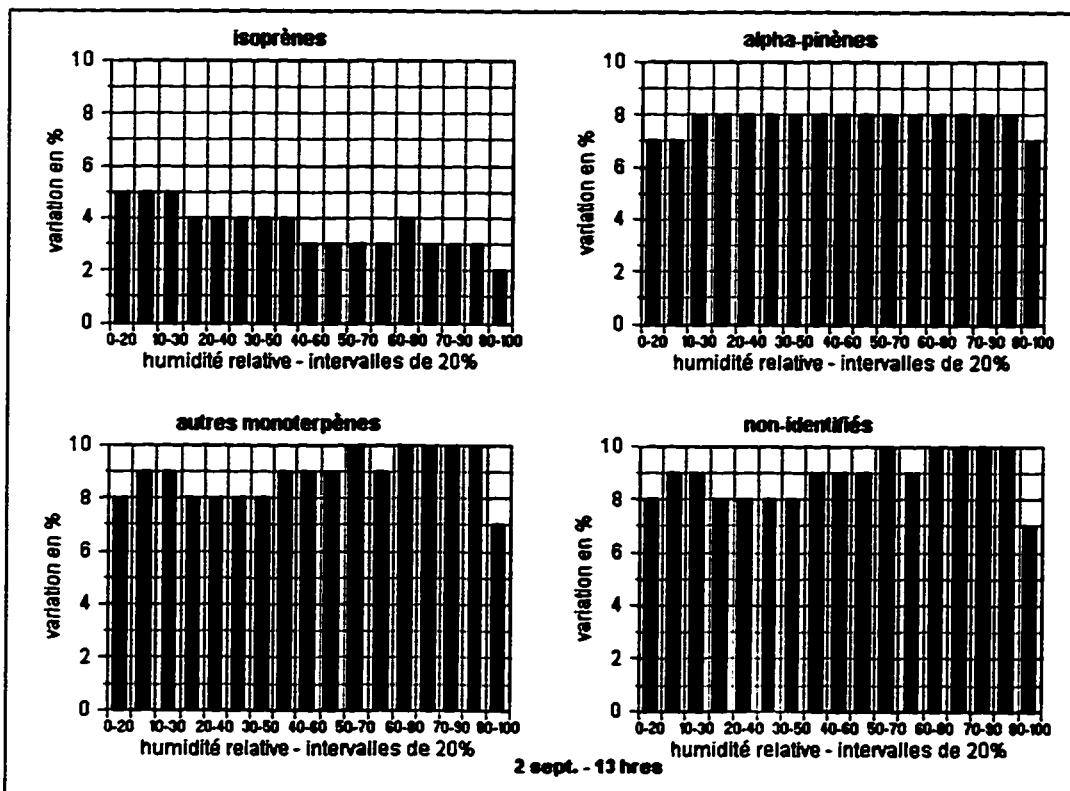


Figure 47: Variation des émissions - intervalles de 20% d'humidité relative
- conifères - 2 septembre

À la lumière de toutes ces observations, il semble y avoir une relation perceptible entre les émissions biogéniques et l'humidité relative ambiante. Par ailleurs, les isoprènes semblent être les moins affectées de toutes les espèces de COV par ce paramètre climatique. Il est à noter que toutes les tendances précédemment décrites s'appliquent aux trois périodes à l'étude.

4.1.1.4 Vitesse du vent

La tendance générale des estimations lorsque mises en relation avec la vitesse du vent, démontre que les émissions sont plus ou moins affectées par ce paramètre climatique. Cependant, comme on peut le constater aux figures 48 à 53, les variations significatives (entre 9 et 31%) sont observées lorsque la vitesse du vent passe de nulle à > 0 km/hr. Puis à partir de 5 km/hre et ce jusqu'à 20 km/hre, les niveaux de variations fléchissent considérablement pour atteindre des niveaux se situant entre 0 et 2%. Par la suite, quelque soit la vitesse du vent, les variations observées se situent entre 0 et 1%, donc peu significatives. Le fait de passer de 0 km/hre à > 0 km/hre semble apporter un impact sur les taux d'émissions générant ainsi des variations importantes. Cependant, par la suite les émissions ne paraissent peu ou pas affectées par des augmentations de ce paramètre.

La sensibilité des feuillus à la vitesse du vent se démarque de celle des conifères par un niveau plus significatif de variations. Ce comportement est semblable à celui observé pour les effets de la couverture nuageuse sur les émissions. La même tentative d'explication pourrait s'appliquer dans ce cas-ci. Les caractéristiques distinctes de leur structure végétale et la façon dont celles-ci réagissent à ce paramètre climatique, pourraient expliquer ce comportement.

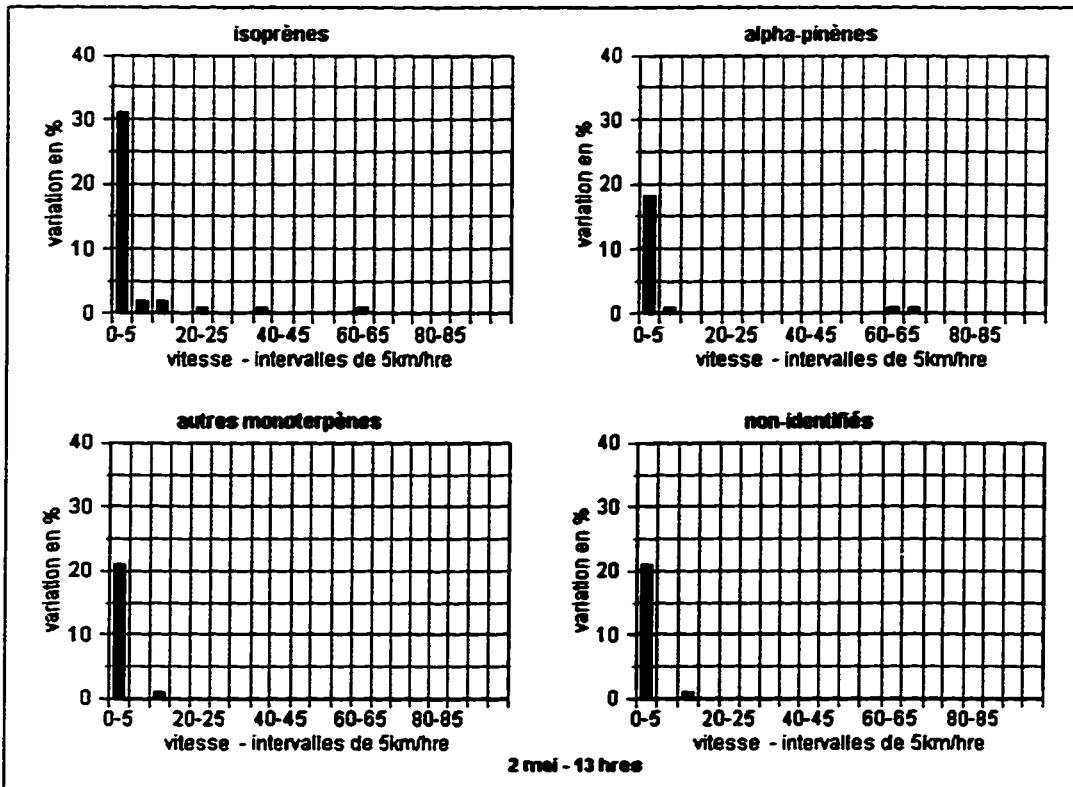


Figure 48: Variations des émissions - intervalles de vitesse du vent de 5km/hre
- feuillus - 2 mai

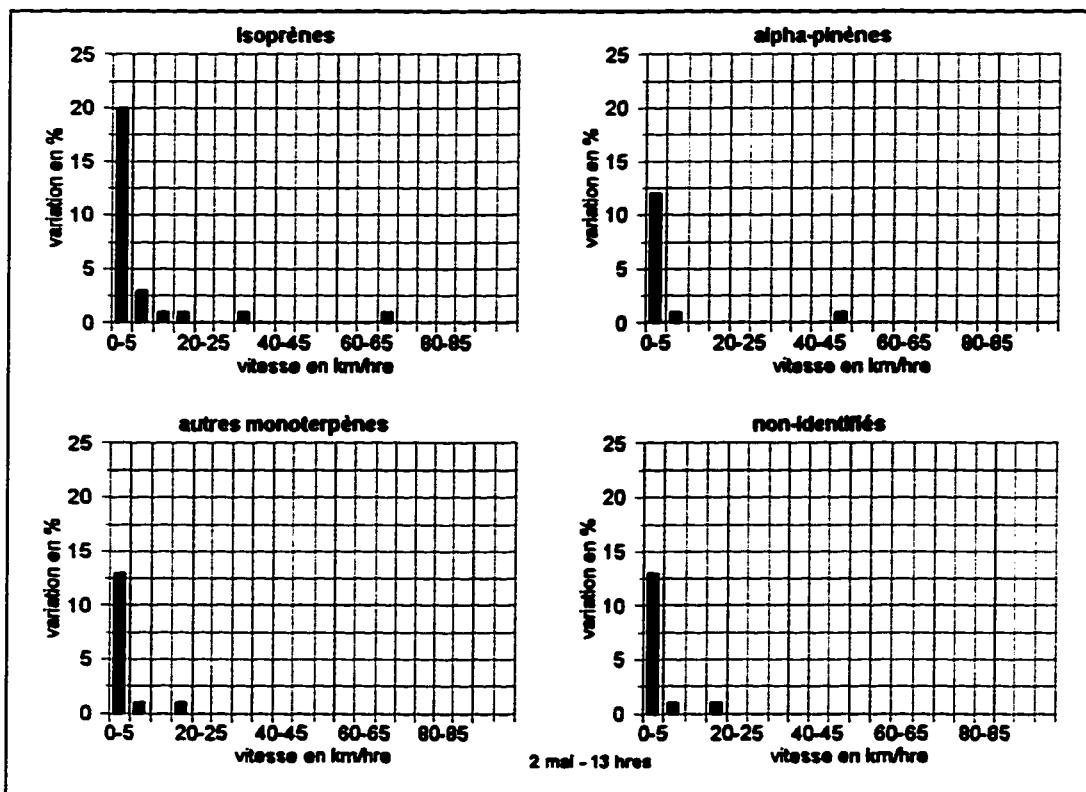


Figure 49: Variations des émissions - intervalles de vitesse du vent de 5km/hre
- conifères - 2 mai

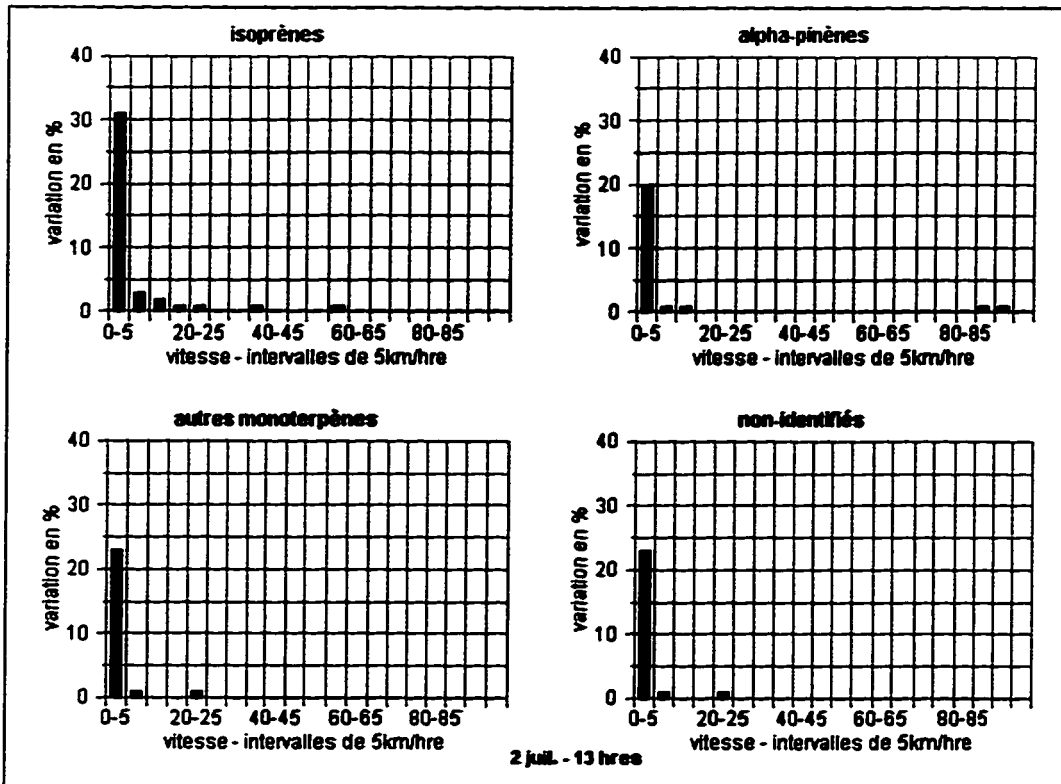


Figure 50: Variations des émissions - intervalles de vitesse du vent de 5km/hre
- feuillus - 2 juillet

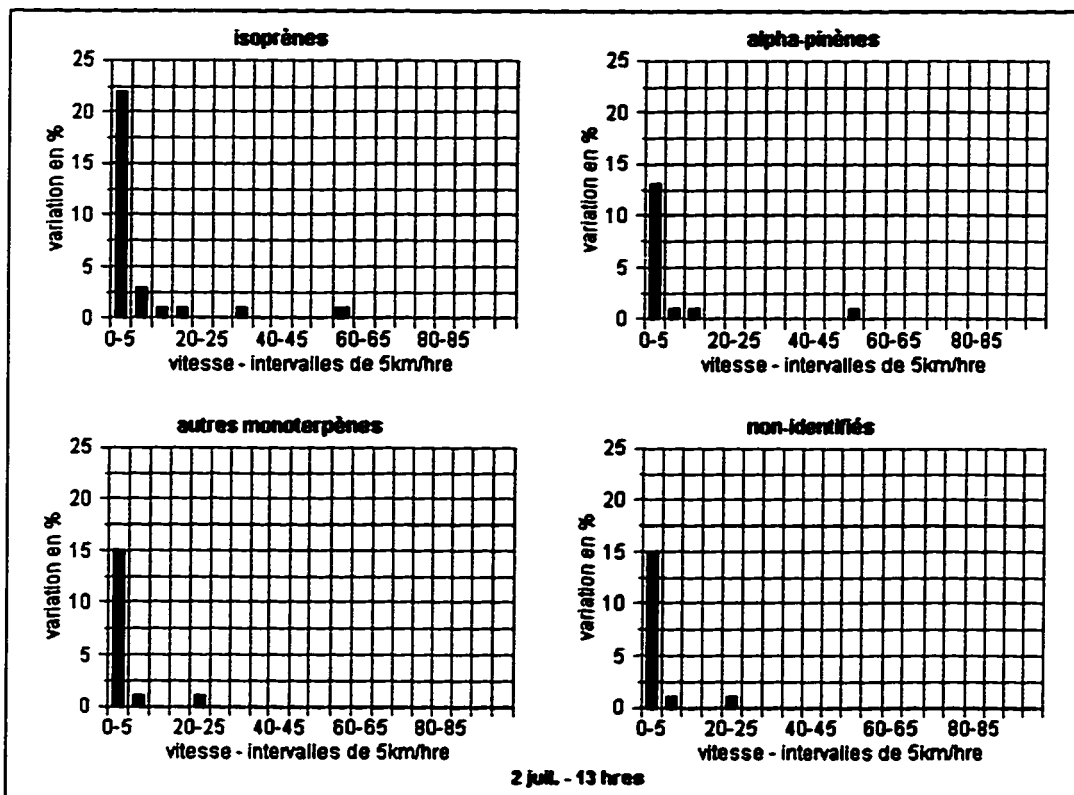


Figure 51: Variations des émissions - intervalles de vitesse du vent de 5km/hre
- conifères - 2 juillet

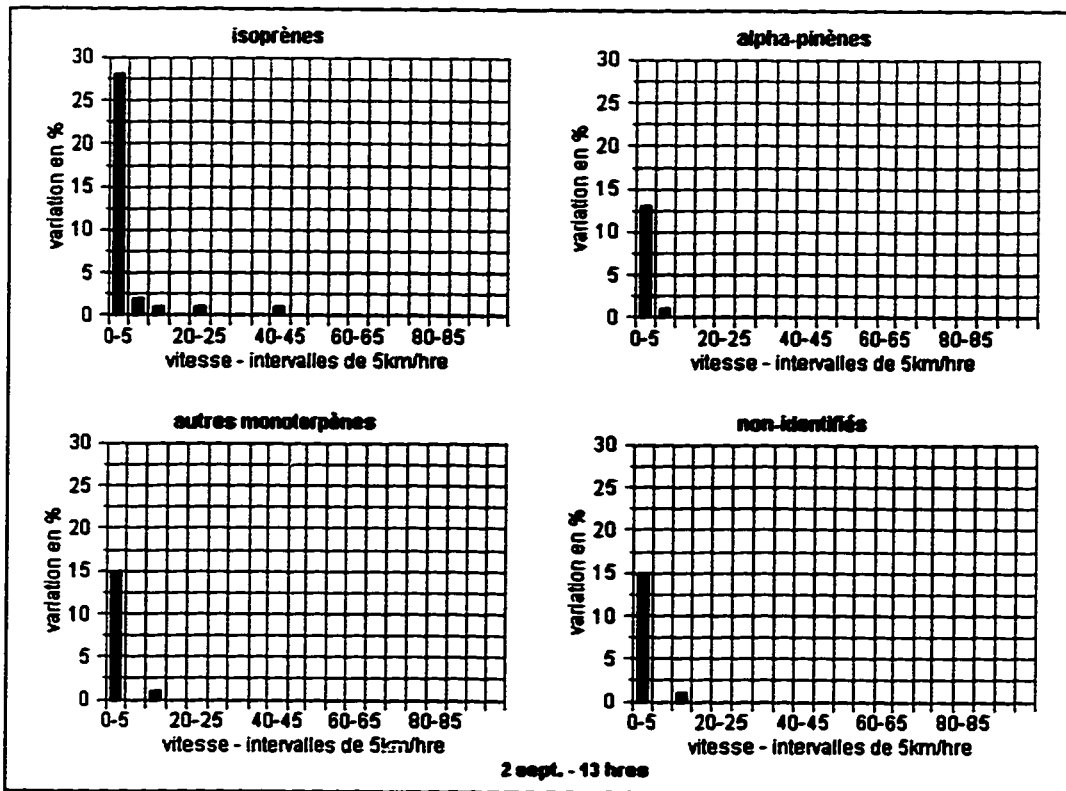


Figure 52: Variations des émissions - intervalles de vitesse du vent de 5km/hre
- feuillus - 2 septembre

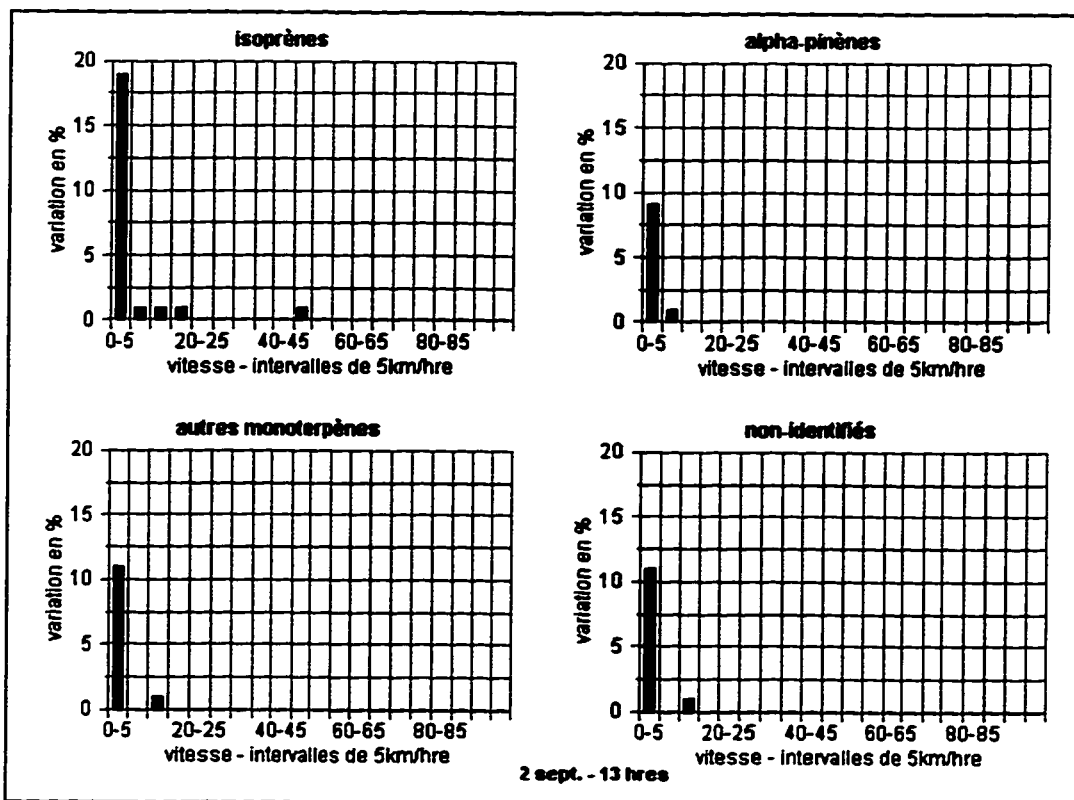


Figure 53: Variations des émissions - intervalles de vitesse du vent de 5km/hre
- conifères - 2 septembre

Par ailleurs, les autres types de couvertures et d'utilisation du sol ne subissent aucune variation liée à l'augmentation de ce paramètre climatique. D'ailleurs, aucun graphique n'a été généré étant donné l'absence de variations. Il est à noter que les tendances observées s'appliquent aux trois périodes à l'étude.

A la lumière de ces constatations, il semblerait logique de penser que le vent ne soit pas un facteur important pouvant contribuer à l'accroissement des taux d'émissions biogéniques. Seule la comparaison avec la littérature pourra corroborer cette affirmation.

4.1.2 Comparaison et interprétation des résultats

A partir des résultats qui ont été présentés et analysés à la section précédente, une comparaison et une interprétation de ceux-ci seront présentées dans cette section. Étant donné la diversité des simulations réalisées pour cet objectif, les résultats seront comparés et interprétés individuellement selon le paramètre météorologique.

4.1.2.1 Température ambiante près de la surface

De façon générale, les résultats obtenus et présentés à la section précédente se comparent en partie aux constats provenant des autres études réalisées antérieurement. Ainsi, lorsque la température est augmentée de 5°C de façon constante, une croissance exponentielle et plus ou moins fluctuante des variations au niveau des isoprènes est observée et bien démontrée lors de l'analyse des résultats: croissance exponentielle des variations jusqu'à un niveau de saturation atteint vers 35°C, puis plateau maintenu jusqu'à environ 50°C et finalement diminution des variations jusqu'à des températures près de 60°C. Ce comportement corrobore les constats dégagés de la littérature qui démontrent le même type de réponse de la part des taux d'isoprènes. Par ailleurs, la dépendance des autres espèces de COV avec la température ambiante reflète bien aussi

les tendances de la littérature qui montrent que les émissions de terpènes (alpha-pinènes et autres monoterpènes) sont dépendantes de la température mais n'atteignent jamais de niveau de saturation (Lamb et al., 1987).

Par contre, lors de l'analyse par intervalles de 5°F, toutes les espèces de COV présentaient des amplitudes de variations (0 à 13% pour les feuillus et conifères et 0 à 80% pour les autres types) difficilement comparables à celles observées dans la littérature (16 à 22%). Dans le cas de diminutions de 15°F, on obtenaient aussi des amplitudes de variations (0 à 30% pour les feuillus et conifères et 0 à 160% pour les autres types) plus ou moins comparables à celles de la littérature (33 à 54%). Toutefois, lorsqu'on parle d'une augmentation ou diminution de 5°F et de 15°F, il faut se demander quelles sont les températures de base initiales auxquelles sont ajoutées ou soustraites ces valeurs. D'ailleurs, selon les résultats obtenus et présentés à la section précédente, la température de base joue un rôle déterminant dans la variation des émissions. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle les variations n'oscillent pas autour des mêmes valeurs mais sont plutôt croissantes.

4.1.2.2 Couverture nuageuse

À certains niveaux de couverture nuageuse, les observations reliées aux variations des estimations se comparent à celles mentionnées dans la littérature. Dans cette dernière, on présente de façon générale, des variations d'émissions se situant entre 1 et 2% pour une augmentation de 2/10 du couvert nuageux et de moins de 1% pour une réduction de 2/10. Ce que l'on a pu observer lors de l'analyse des données dans cette présente étude se compare aisément à ces constatations; toutefois, ce n'est seulement que dans les premières intervalles de 2/10 d'ajout de couverture nuageuse que les résultats sont similaires. Donc lorsque le ciel est totalement dégagé ou très peu couvert et que 2/10 de couverture nuageuse y est ajoutée, les variations sont très peu significatives, donc

comparables. Par contre, lorsque le ciel est déjà couvert à 4/10 et que 2/10 de couverture nuageuse y est ajouté, les variations sont beaucoup plus considérables, donc moins bien comparables. Ce comportement s'explique bien par le fait que chaque ajout de 2/10 devient cumulatif et par conséquent, il est logique que les variations des émissions augmentent. Cette tendance d'ailleurs, s'accroît considérablement jusqu'à un ciel totalement couvert. Lorsque dans la littérature il est dit qu'avec une augmentation de 2/10 de la couverture nuageuse, correspondent des variations entre 0 et 2%, il serait intéressant de se demander encore une fois, quelle condition initiale de couverture nuageuse est à la base de cet ajout de 2/10. Si la condition initiale est un ciel totalement clair, la tendance se compare très bien à celle qui a été dégagée de la présente étude.

4.1.2.3 Humidité relative

La tendance des variations reliées à l'humidité relative se compare plus ou moins à celle observée dans la littérature. Il existe une tendance constante au niveau des variations des estimations pour des augmentations et diminutions de 20% de l'humidité relative. Selon Bouley et Baugues (1992), les niveaux de variations se situeraient entre 2 et 5% ce qui est effectivement observé en particulier dans le cas des isoprènes (entre 3 et 6%). Cependant, les autres espèces de COV présentent des variations plus importantes de l'ordre de 9 à 13%. Cette situation pourrait d'une part, indiquer que les isoprènes seraient donc moins sensibles à ce facteur environnemental et d'autre part démontrer que les émissions d'alpha-pinènes qui font partie des autres espèces de COV aient une corrélation importante avec l'humidité relative et ce, pour plusieurs espèces végétales (Tingey, 1981).

Les études reliées à ce paramètre météorologique n'abondent pas dans la littérature. En effet, le peu d'analyses menées sur le rôle de l'humidité relative ne permet pas d'effectuer d'analyses plus détaillées que celle avec l'étude de Bouley et Baugues (1992).

4.1.2.4 Vitesse du vent

Sans tenir compte du fait que la vitesse du vent fait grandement varier les estimations (entre 9 et 31%) lorsqu'elle passe de nulle à > 0 km/hr, la tendance générale des variations se situe par la suite entre 0 et 1%. Cette observation se compare très bien avec les constats provenant de l'étude de Bouley et Baugues (1992) qui démontrent que les variations des émissions se situent généralement entre 0 et 1% pour des augmentations du double ou des réductions de la moitié de la vitesse du vent. C'est d'ailleurs ce que les tendances ont démontré dans le peu d'études qui ont analysé les effets de ce paramètre météorologique sur les émissions biogéniques.

Les résultats de cette analyse ainsi que les constats provenant de la littérature, démontrent ainsi que la vitesse du vent semblerait avoir peu ou pas d'impact sur les taux d'émission en général. Cependant, il serait nécessaire de mieux comprendre le comportement des variations lorsque la vitesse du vent passe de nulle à > 0 km/hr dans le contexte global car les variations semblent être assez considérables à ce moment.

4.2 Évaluation du rôle de la topographie

4.2.1 Présentation et analyse des résultats

Les résultats obtenus sont ici présentés et analysés séparément selon que la simulation ait été effectuée sans ou avec ajustements de la température près de la surface et de la pression atmosphérique.

4.2.1.1 Estimations sans ajustement

Des émissions ont été estimées pour chaque entité de la matrice de points pour la zone d'étude et la période de mai à septembre sans tenir compte de la topographie du terrain et de son rôle sur la température et sur la pression atmosphérique. Ainsi, aucun ajustement de ces derniers n'a été effectué en relation avec l'altitude du terrain. Des émissions standards ont donc été calculées dans un premier temps et par la suite, simplement ajustées en fonction des paramètres météorologiques observés, par le biais d'interpolations entre les données des stations avoisinantes.

Selon la figure 54, on remarque que les densités totales des émissions qui sont cartographiées pour chaque cellule correspondant aux entités de la matrice de points, varient beaucoup et une assez forte proportion (47%) représentent des valeurs assez élevées de 500 kg/km² et plus. Le total des émissions pour la zone d'étude a été estimé à 10,348 tonnes métriques ce qui représente environ 5% du total provincial pour la période à l'étude. On remarque par ailleurs en se référant à la figure 2, que les concentrations importantes d'émissions sont localisées dans les zones à forte densité forestière.

4.2.1.2 Estimations avec ajustements

Pour cette seconde partie de l'objectif, des émissions standards ont aussi été estimées pour chaque entité de la matrice de points puis ajustées en fonction des observations climatiques environnantes. Cependant, la température près de la surface et la pression atmosphérique interpolées à partir des valeurs météorologiques observées aux stations avoisinantes, ont aussi été ré-ajustées en fonction des valeurs d'altitude du terrain observées pour chaque entité de la matrice de points.

On remarque à la figure 55 que les densités totales par entité de la matrice varient beaucoup et qu'une proportion moyenne (33%) représentent des valeurs plus ou moins élevées de 500 kg/km². Le total des émissions a été estimé à 7,371 tonnes métriques, soit environ 3% du total provincial pour la période d'étude. Tout comme pour les émissions estimées sans ajustement, les concentrations significatives se situent plutôt dans les zones à forte densité forestière.

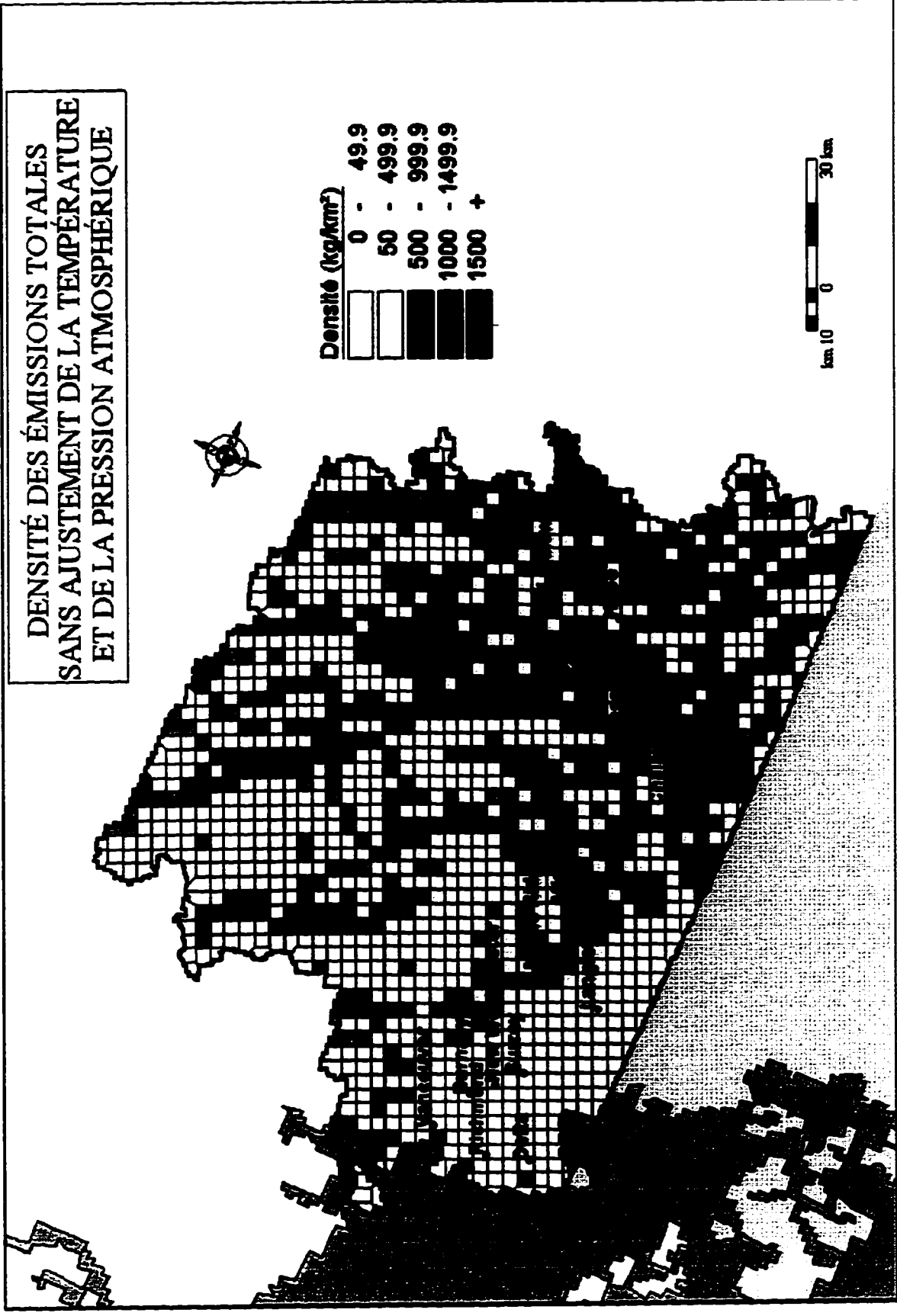


Figure 54: Densité des émissions totales sans ajustement

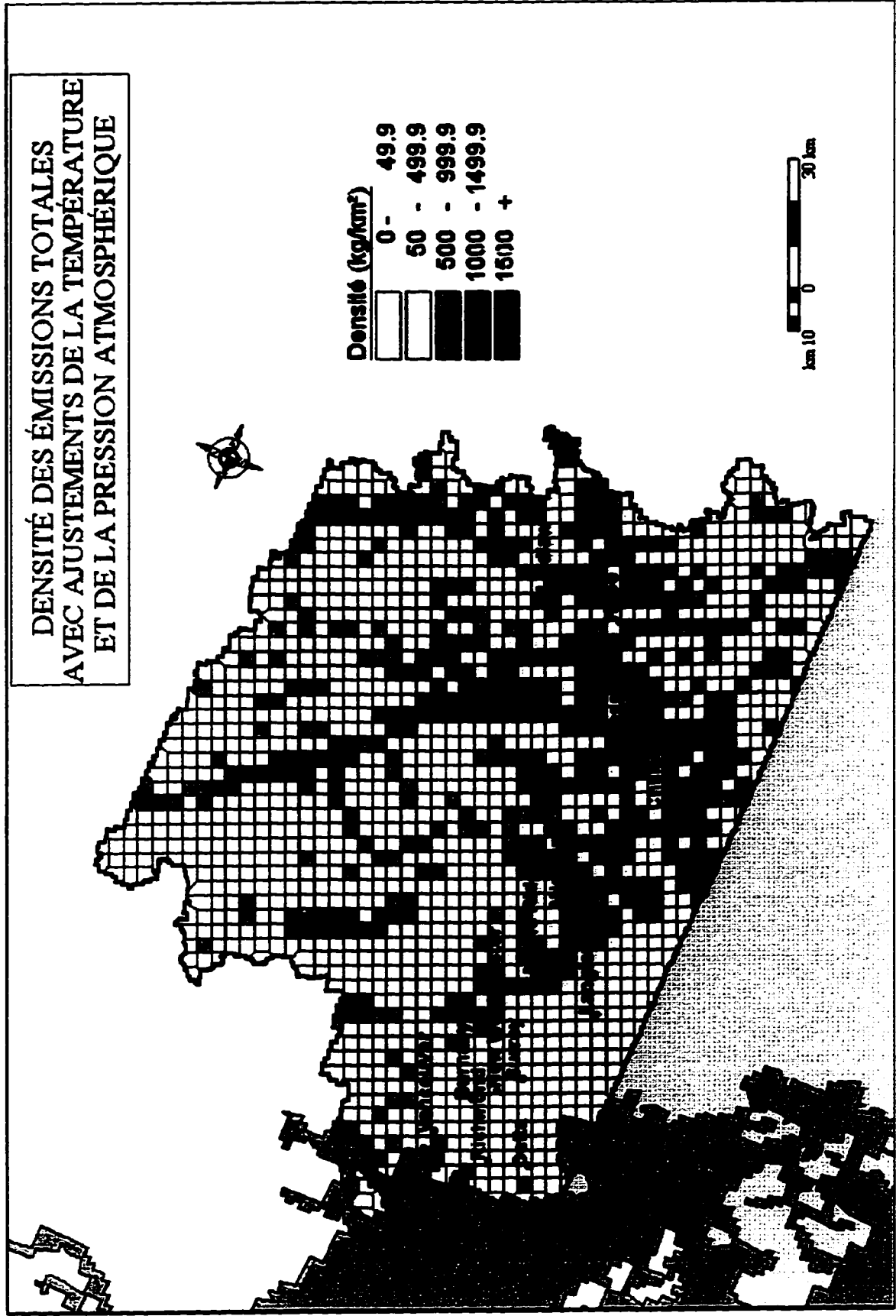


Figure 55: Densité des émissions totales avec ajustements

4.2.2 Comparaison et interprétation des résultats

A partir des résultats des deux simulations présentés et analysés à la section précédente, une interprétation ainsi qu'une comparaison de ceux-ci sont réalisées dans la présente section.

Afin d'évaluer l'impact des ajustements de la température près de la surface et de la pression atmosphérique dans le calcul des estimations d'émissions, les variations en pourcentages entre les deux ensembles de données présentés aux points 4.2.1.1 et 4.2.1.2 ont été calculées.

Les figures 56 à 60 montrent les variations spatiales en pourcentage entre les densités d'émissions estimées sans et avec ajustements pour chaque entité de la matrice de points superposée à la zone d'étude. Plusieurs faits intéressants ressortent de ces figures. De façon générale, les émissions diminuent considérablement lorsque la température et la pression atmosphérique sont ajustées; elles décroissent jusqu'à parfois 100%. On remarque à la figure 56 que les variations des densités d'émissions totales les plus importantes (+75%) sont localisées dans les milieux où la topographie est élevée et la couverture du sol, plutôt inexistante. Donc là où la topographie est faible, les ajustements n'ont que peu d'effet sur les émissions. Ainsi, lorsque les entités de la matrice de points correspondent à des valeurs d'altitude élevées, les ajustements risquent d'avoir une grande influence sur les estimations d'émissions. C'est logique car en principe, plus l'altitude est élevée, plus les températures sont basses. Par conséquent, les niveaux d'émission sont plus faibles lorsque les températures sont ajustées. Cela entraîne donc des variations plus importantes entre les estimations sans et avec ajustements.

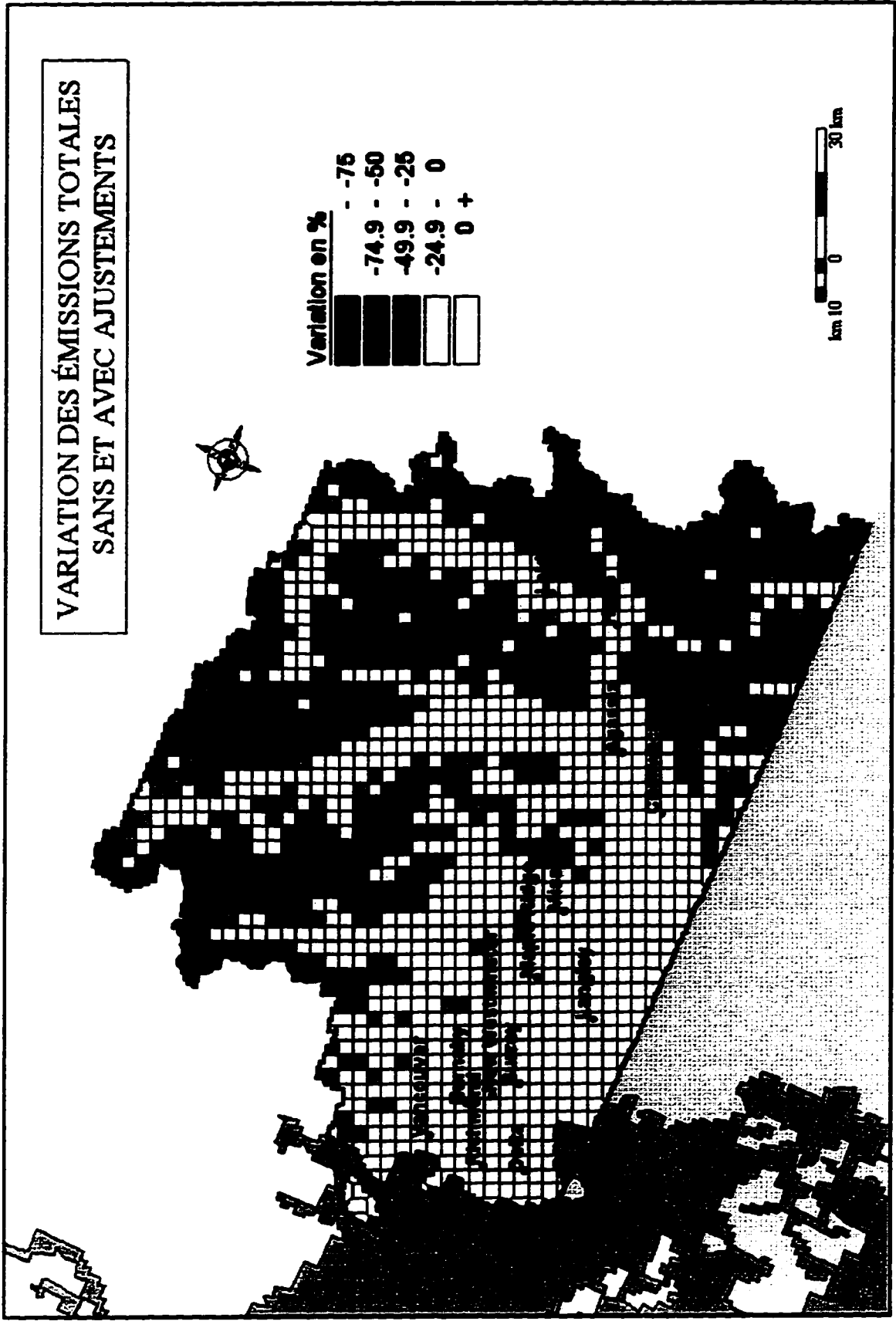


Figure 56: Variation des émissions totales

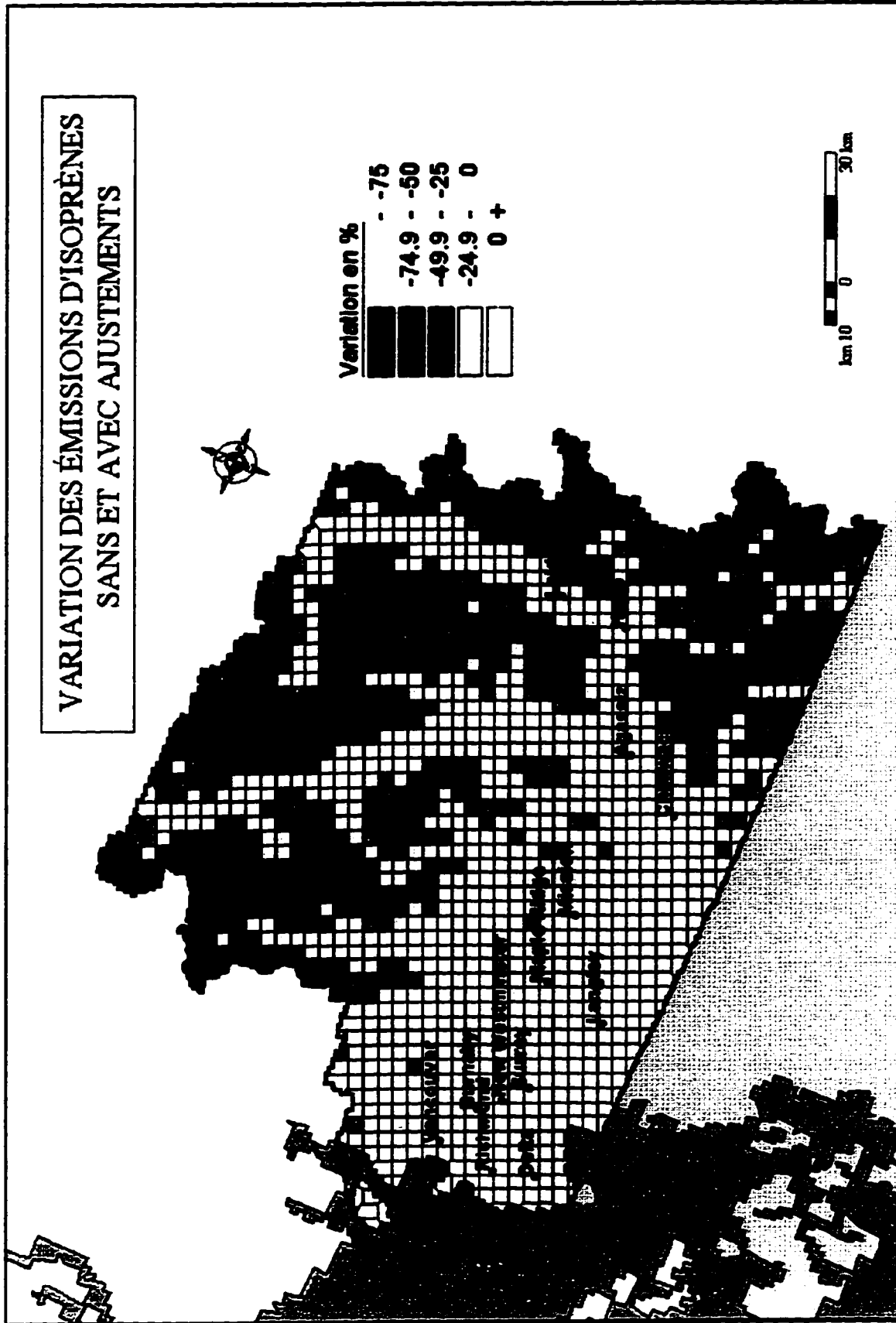


Figure 57: Variation des émissions d'isoprènes

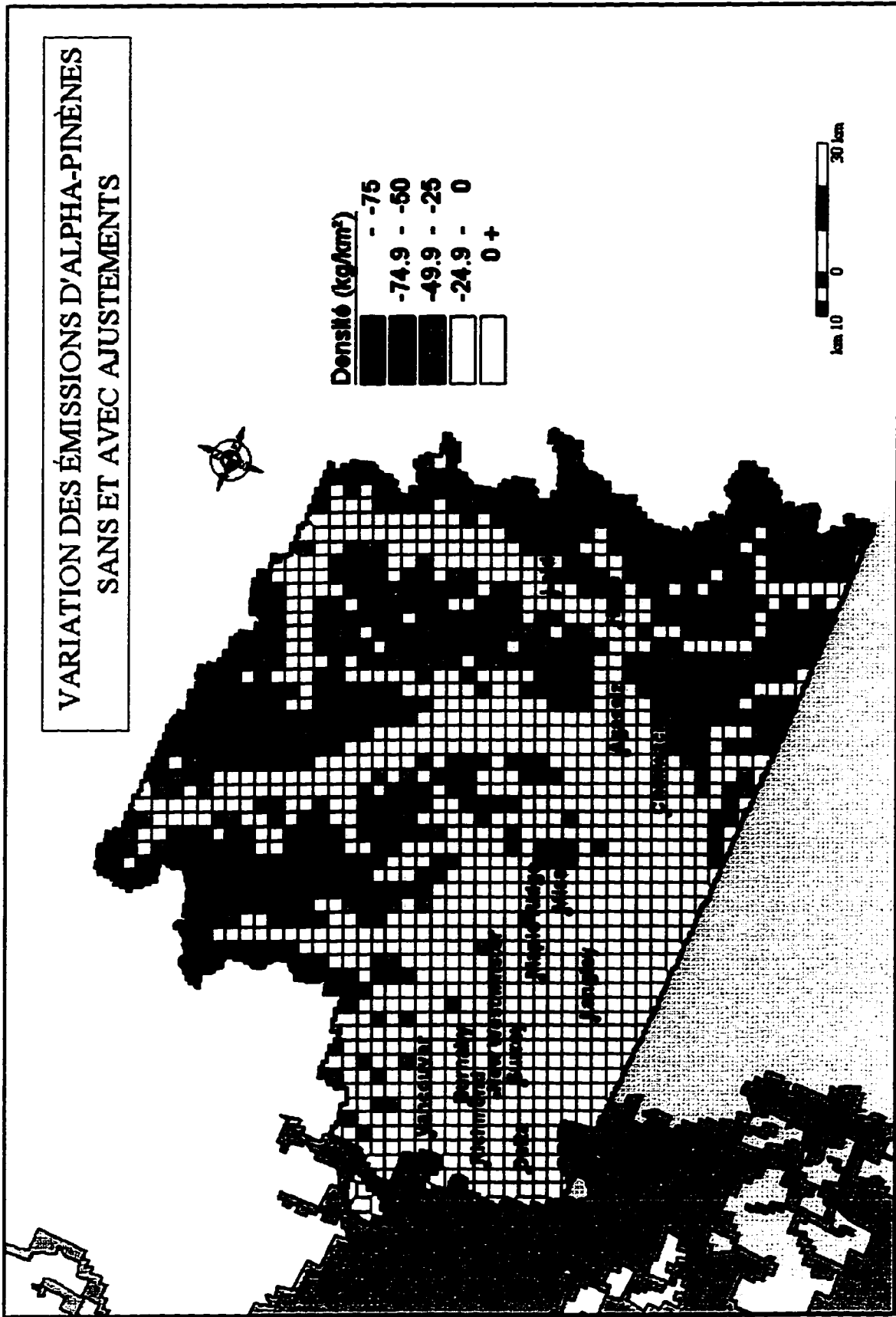


Figure 58: Variation des émissions d'alpha-pinènes

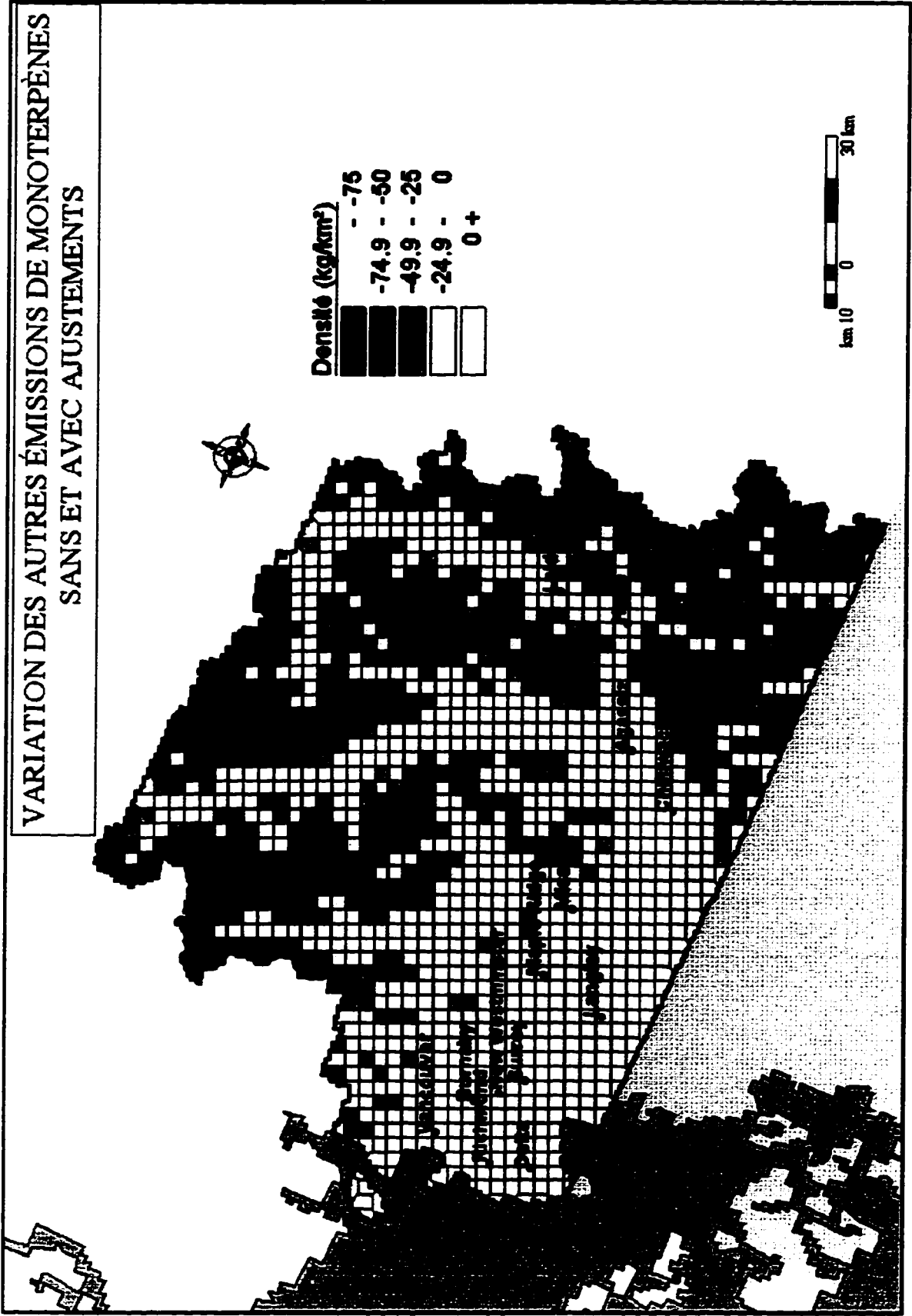


Figure 59: Variation des émissions des autres monoterpènes

VARIATION DES AUTRES ÉMISSIONS NON-IDENTIFIÉES
SANS ET AVEC AJUSTEMENTS

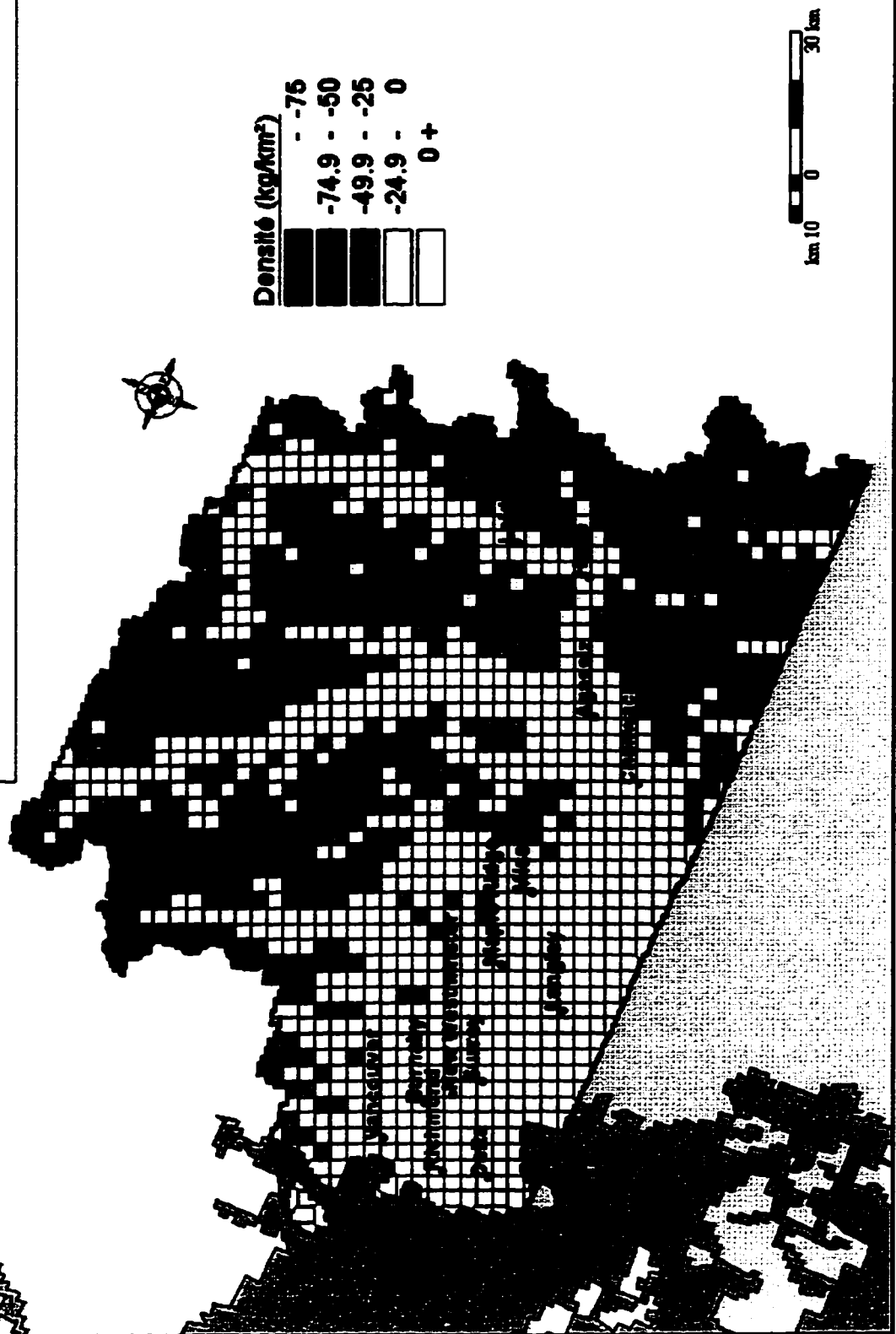


Figure 60: Variation des émissions des espèces non-identifiées

Lorsqu'on observe les variations des densités par espèce individuelle de COV, on remarque à la figure 57 que les émissions d'isoprènes suivent les mêmes tendances que celles observées pour le total des espèces. Toutefois, on note que les variations sont un peu plus faibles sur l'ensemble de la zone d'étude. Quand aux autres espèces de COV, (figures 58 à 60), les variations suivent de façon générale celles des émissions totales. Ces comportements pourraient être expliqués par le fait que les isoprènes réagissent différemment des autres espèces de COV en relation avec la température ambiante.

Les figures 61 à 64 présentent les variations des densités moyennes totales et par espèce individuelle de COV à toutes les heures de la journée du 2 mai, 2 juillet et 2 septembre et ce, pour l'ensemble de la zone d'étude. On remarque de façon générale que les variations entre les estimations sans et avec ajustements sont constamment négatives et plus prononcées au 2 mai qu'au 2 juillet. Cela peut s'expliquer par le fait que les écarts de températures durant la journée sont plus distincts au printemps (mai) qu'à la période estivale (juillet).

Par ailleurs, on remarque qu'au 2 septembre, le comportement des variations des densités est totalement différent des autres périodes dans le cas des isoprènes et des alpha-pinènes. En effet, on remarque que des variations positives sont observées pour cette période, et ce, la plupart du temps entre 18:00 et 9:00. De plus, on peut noter que les autres monoterpènes présentent pour cette période des variations non pas négatives mais plus ou moins faibles et comparables aux variations d'isoprènes pour les autres périodes. Tous ces comportements sont plutôt difficiles à expliquer. Il faudrait se référer au fait que durant cette période particulière du 2 septembre, les conditions climatiques peuvent faire en sorte d'avoir une influence importante sur les densités d'émissions de certaines espèces de COV. Par conséquent, cela peut possiblement engendrer des variations de

densités qui sont distinctes de celles des autres périodes. Il serait donc nécessaire de poursuivre cette analyse plus en profondeur afin d'expliquer ce phénomène particulier.

De façon générale, on note que peu importe la période de l'année, les variations au niveau des densités moyennes d'isoprènes sont plus faibles que pour les autres espèces de COV et aussi presque inexistantes durant la nuit. Cela peut s'expliquer par le fait que ce type d'émissions est grandement influencé par la température et la luminosité et que durant la nuit, les températures sont plus basses que durant le jour et la luminosité est totalement nulle; par conséquent, les émissions sont nulles et les variations aussi.

Les résultats obtenus sans ajustement et avec ajustements environnementaux en fonction de la topographie devaient en théorie montrer des variations significatives du fait que la température est un paramètre de contrôle majeur sur les émissions biogéniques et qu'étant ajustée selon des valeurs d'altitude, elle peut considérablement varier. C'est en effet ce que les résultats obtenus ont démontré lors de l'analyse. On peut alors conclure que la topographie du terrain a une influence indirecte mais non négligeable sur les émissions de type biogénique.

Cependant, certains comportements difficiles à expliquer ont permis de faire ressortir la complexité de tels ajustements et le besoin d'évaluer plus en profondeur cet aspect du modèle.

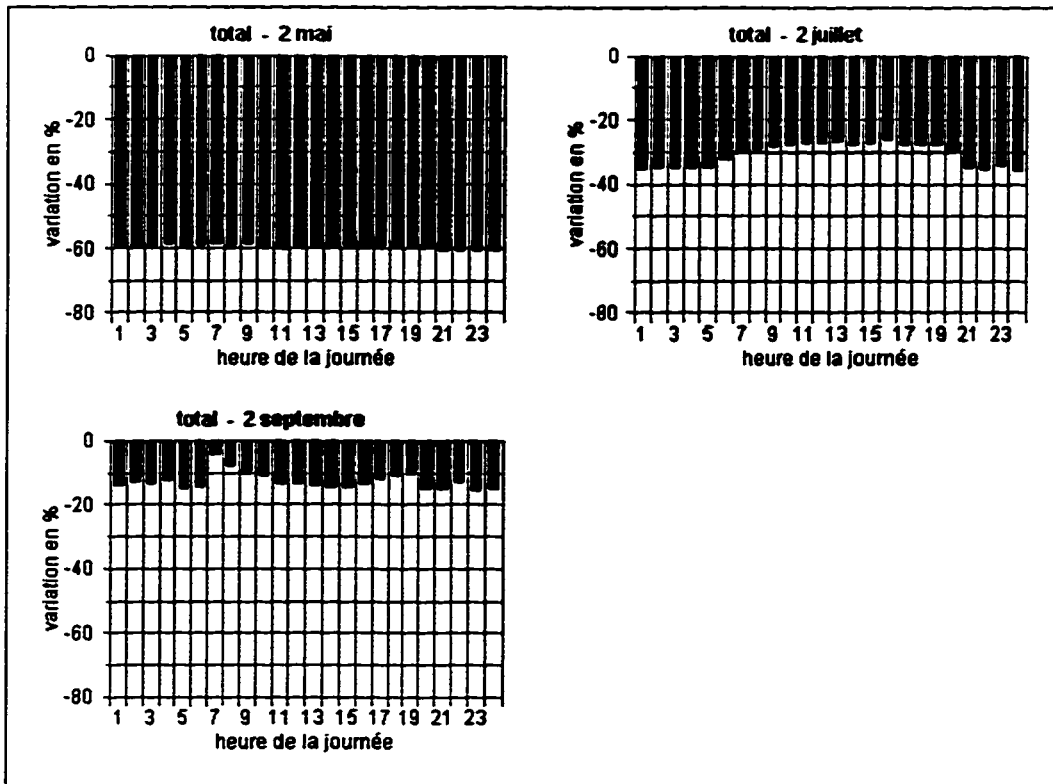


Figure 61: Variation des densités moyennes sans et avec ajustements
- 3 dates

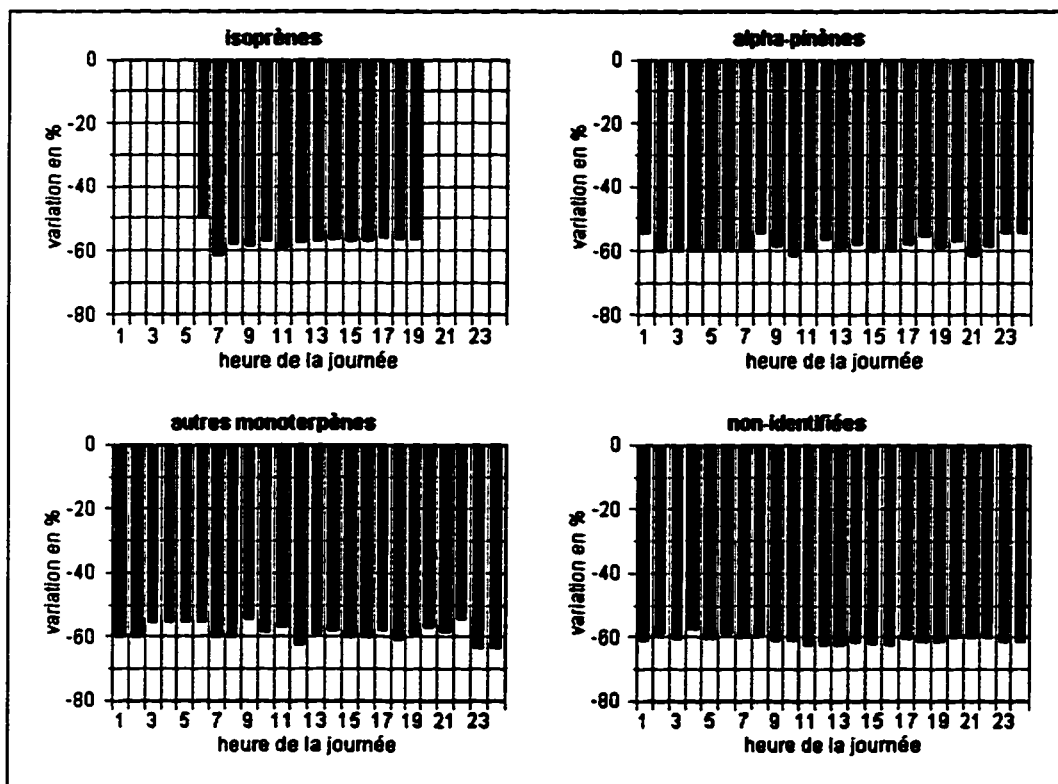


Figure 62: Variation des densités moyennes sans et avec ajustements
- 2 mai

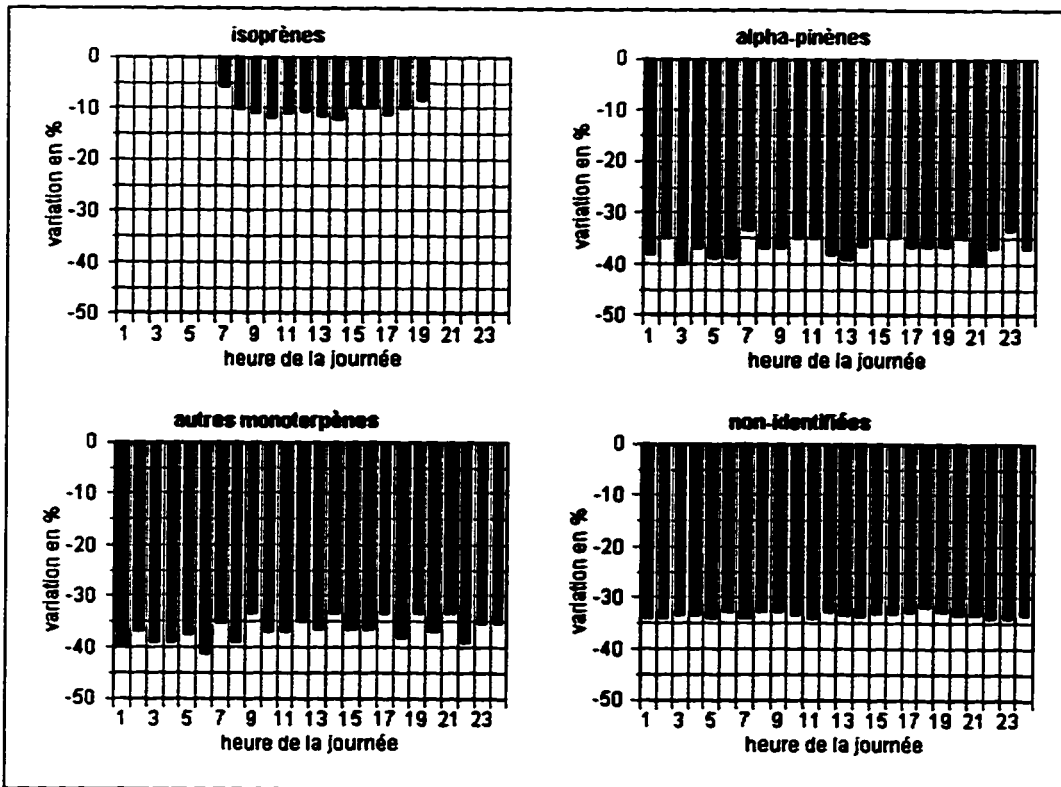


Figure 63: Variation des densités moyennes sans et avec ajustements
- 2 juillet

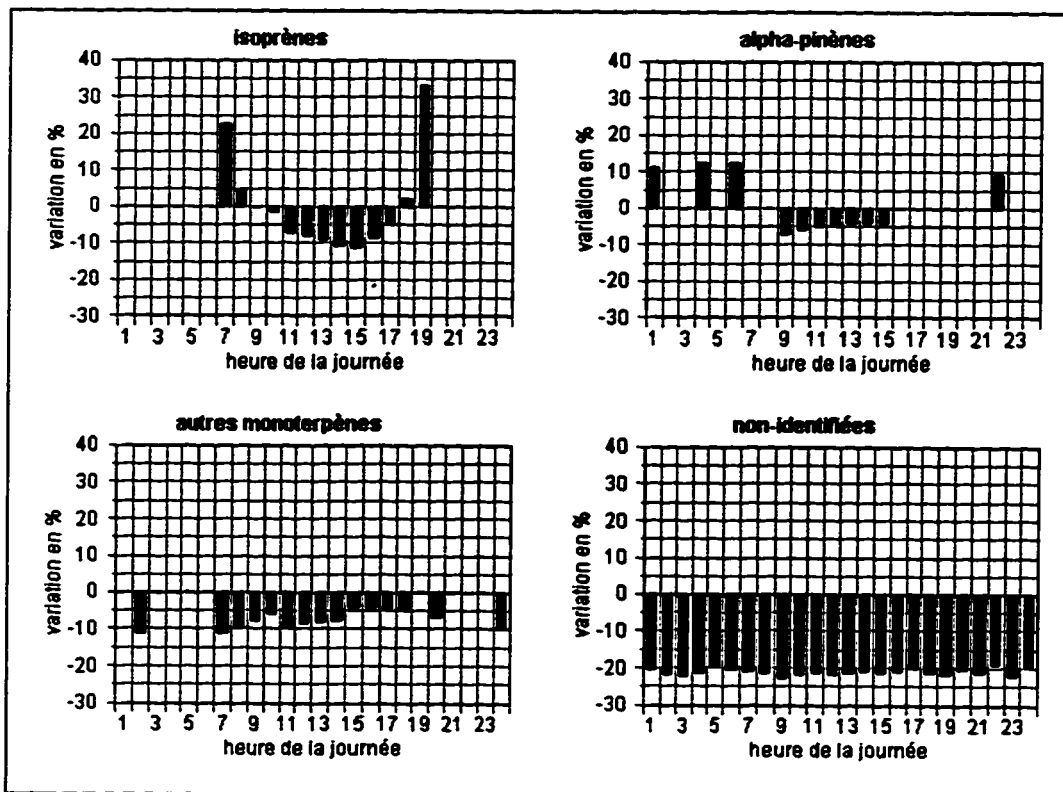


Figure 64: Variation des densités moyennes sans et avec ajustements
- 2 septembre

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Une analyse de sensibilité visant à évaluer l'influence directe et indirecte des facteurs environnementaux sur les émissions de type biogénique a été menée. Deux hypothèses spécifiques ont été vérifiées lors de cette étude grâce à deux objectifs précis.

D'une part, une évaluation de la sensibilité aux différents paramètres climatiques des estimations d'émissions générées par le modèle CANBEIS a été réalisée; par la suite, les résultats ont été comparés à la littérature. L'analyse des résultats a démontré une influence considérable de certains paramètres climatiques sur les émissions. Par contre, les comparaisons effectuées entre les résultats et la littérature n'ont en partie fait ressortir que certaines similitudes. Il a donc été démontré qu'il pouvait être difficile de faire des comparaisons et ce, en raison de plusieurs facteurs. La méthodologie de calcul des estimations ainsi que les caractéristiques propres aux données utilisées par le modèle peuvent en effet être des facteurs jouant un rôle important dans les processus de comparaisons.

Par ailleurs, il est important de comprendre que certaines valeurs utilisées dans les nombreuses simulations reflétaient difficilement le réalisme climatique canadien. Ainsi, des températures de 40°C et des vents de plus de 80 km/hr sont des mesures rarement observées au Canada. Toutefois, il faut saisir le fait que le but de cette analyse n'était pas d'étudier le comportement des émissions biogéniques face aux conditions réelles du terrain, mais plutôt de faire réagir le modèle à des variations pouvant passer d'un extrême à l'autre. Par ailleurs, il est aussi important de réaliser que les composantes d'entrée et en particulier les taux standards d'émissions et les facteurs de croissance saisonnière peuvent largement contribuer à tout l'ensemble des incertitudes rattachées au modèle. Ainsi, la variabilité de ces intrants, qui est due en grande partie au manque de données spécifiques

aux conditions canadiennes, peut être significativement plus importante que la variabilité des estimations d'émissions observées lors des simulations. Ainsi, si les simulations étaient demeurées dans un contexte réaliste des conditions climatiques, c'est-à-dire effectuées à l'aide de températures ne dépassant pas les 35°C par exemple, on aurait constaté que les variations encourues auraient probablement été moindres que la variabilité même des intrants. Il est donc difficile d'en arriver à des conclusions immuables relativement à cette première analyse, mais malgré tout, cette première approche visant à tester le modèle, pourra servir de base à d'éventuelles études.

D'autre part, l'évaluation de l'influence de la topographie du terrain sur les estimations d'émissions a aussi été réalisée. Une première simulation a été effectuée sans ajustement de la température et de la pression atmosphérique en fonction de l'altitude du terrain. Puis une seconde simulation a été menée avec ajustements des ces paramètres météorologiques. Les résultats obtenus ont été par la suite comparés entre eux afin d'évaluer l'impact de ces ajustements. L'analyse comparative a démontré des variations significatives entre les deux ensembles de résultats. L'hypothèse de départ voulant que la topographie du terrain ait une influence indirecte sur les estimations d'émissions a été démontrée au second objectif. On peut alors conclure que le modèle d'ajustement de la température et de la pression atmosphérique tel qu'utilisé par CANBEIS, joue un rôle significatif dans le calcul des estimations. Cependant, l'introduction de ce sous-modèle d'ajustement ne correspond pas nécessairement à une amélioration apportée au modèle. Par conséquent on ne peut parler d'atout majeur permettant au modèle de générer des estimations plus réalistes, donc se rapprochant plus de la réalité sur le terrain. Seules les variables météorologiques ajustées peuvent se rapprocher de la réalité si bien entendu, on considère que la méthodologie d'ajustement est valable.

Cette analyse de sensibilité a permis dans un premier temps d'évaluer de façon générale le modèle **CANBEIS** et les estimations d'émissions qu'il fournit. Les résultats obtenus ainsi que leur interprétation a permis ainsi une certaine contribution canadienne dans le domaine des biogéniques. Ces résultats pourront aussi servir de base à de futures études relatives au développement et à l'amélioration des méthodes d'estimations et plus particulièrement à l'aide de **CANBEIS**. C'est d'ailleurs surtout au niveau des données d'entrée que les efforts doivent converger afin de rendre le modèle plus fiable. D'ailleurs, l'intérêt toujours grandissant pour ce type d'émissions se reflète bien depuis quelques années au niveau des divers organismes gouvernementaux. Cet intérêt découle du fait qu'il a été démontré, surtout aux États-Unis, que le contrôle global des émissions atmosphériques qui contribuent à l'ozone au sol ne pouvait se faire sans considérer l'apport des émissions provenant d'autres sources qu'anthropogéniques. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle de nombreux modèles ont été créés afin d'estimer non seulement les émissions de COV de type biogéniques mais aussi les émissions de NOx provenant des sols ainsi que les émissions de sources naturelles comme les NO (oxydes nitriques) venant de la foudre et les COV qui sont estimés à partir des fuites de gaz et d'huile.

Par ailleurs, il faut comprendre aussi que toutes ces estimations d'émissions biogéniques et naturelles ne sont calculées qu'au sol. Donc aucun mécanisme de transport et de dispersion n'est considéré dans ces estimations. Le rôle de ces mécanismes doit donc être évalué dans la poursuite du développement et de l'amélioration des méthodes d'estimations ainsi que dans le domaine de la modélisation des émissions naturelles dans le contexte d'un contrôle des émissions atmosphériques globales.

BIBLIOGRAPHIE

Altshuller, A.P. (1983), "Review: Natural volatile organic substances et their effect on air quality in the United States". *Atmospheric Environment*, 17, pp. 2131-2165.

Berry, R. J., (1992), *Mountain Weather & Climate*, London and New York, Routledge, 2nd edition.

Bouley, Michelle D. et K.A. Baugues, (1992), "PC-BEIS: A Tool for Estimating Biogenic Emissions", Proceedings de *Emission Inventory Issues in the 90's*, Air & Waste Management, Pittsburgh, PA, pp. 779-788.

Cheung, Ivan, B. Lamb et H. Westberg, (1990), "Uncertainties in a Biogenic Emissions Model: Use of Satellite Data to Derive Land Use and Biomass Density Data", Proceedings de *Emission Inventory Issues in the 90's*, Air & Waste Management, Pittsburgh, PA, pp. 723-735.

Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement, (CCME), novembre 1990, *Plan de gestion pour les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV)*, Phase I. Publication no. CCME-EPC/TRE31E. Winnipeg, 241 p.

Dilts, Stephen B., E. Allwine, H. Westberg et B. Lamb, (1990), "Measurement and Modeling of Diurnal and Seasonal Emissions of Biogenic Hydrocarbons", Proceedings de *Emission Inventory Issues in the 90's*, Air & Waste Management, Pittsburgh, PA, pp. 712-722.

Environnement Canada, Ministry of Environment, Lands and Parks, Province of British Columbia, (1992), "L'État de l'environnement dans le bassin inférieur du fleuve Fraser", *Rapport sur l'État de l'Environnement*, EDE no 92-1, 88 p.

Guenther, Alex, P.R. Zimmerman, M. Wildermuth et C. Ennis, (1990), "Biogenic Non-Methane Hydrocarbon Emission Rate Modeling", Proceedings de *Emission Inventory Issues in the 90's*, Pittsburgh, PA, pp. 699-711.

Guenther, Alex, P.R. Zimmerman et P.C. Harley, (1993), "Isoprene and Monoterpene Emission Rate Variability: Model Evaluations and Sensitivity Analyses", Accepté pour publication dans *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 31 p.

Guenther, Alex, P.R. Zimmerman et M. Wildermuth, (1993), "Natural Volatile Organic Compound Emission Rate Estimates for U.S. Woodland Landscapes", Soumis à *Atmospheric Environment*, 39 p.

Lamb, B., H. Westberg et G. Allwine, (1985), "Biogenic Hydrocarbon Emissions From Deciduous and Coniferous Trees in the United States", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 90, pp. 2380-2390.

Lamb, B., A. Guenther, D. Gay, et H. Westberg, (1987), "A national inventory of biogenic hydrocarbon emissions", *Atmospheric Environment*, Vol. 21, no. 8, pp. 1695-1705.

Lamb, R.G., (1987), "Le développement et les applications du modèle régional sur les oxidants", *Symposium nord-américain sur les oxidants*, Actes de la conférence, Environnement Québec, Environnement Canada, Northeast States for Coordinated Air Use management, pp. 153-189.

Lopez, A., M.O. Barhomeuf et M.L. Huertas, (1989), "Simulation of processes occurring in an atmospheric boundary layer. Influence of light et biogenic hydrocarbons on the formation of oxidants.", *Atmospheric Environment*, 23, pp. 1465-1478.

Mackenzie, A. Robert, R.M. Harrison, I. Colbeck, C. N. Hewitt, (1991), "The role of biogenic hydrocarbons in the production of ozone urban plumes in southeast England", *Atmospheric Environment*, Vol. 25a, no. 2, pp. 351-359.

Mayenkar, Kiefer, K., R.J. Dickson, P.K. Brooks et S.J. Strasser, (1992), "Development of a New Model for Estimating the Release of Biogenic Hydrocarbons", *Proceedings de Emissions Inventory Issues*, Air & Waste Management, Pittsburgh, PA, pp. 403-421.

Mayenkar, Kiefer, K., R.J. Dickson, R.L. Tanner et M.R. Rose, (1990), "Modeling Biogenic Hydrocarbon Emissions: Current Status and Recent Advances", *Proceedings de Emission Inventory Issues in the 90's*, Air & Waste Management, Pittsburgh, PA, pp. 736-753.

Modica, Lysa G. et C. D. Geron, (1990), "Seasonal and Annual Biogenic Emission Inventories for the U.S. and Canada", *Proceedings de Emission Inventory Issues in the 90's*, Pittsburgh, PA, pp. 687-698.

Monson, R. C., Jaeger, W. A., Driggers, E., Silver G. and R. Fall, (1992), "Relationships among isoprene emission rates, photosynthesis, and isoprene synthase activity as influenced by temperature", *Plant Physiology*, 92, pp. 1175-1180.

Pierce, Thomas E. et K. A. Baugues, (1991), *User's Guide to the Personal Computer Version of the Biogenic Emissions Inventory System (PC-BEIS)*. Office of Air Quality Planning et Standards, Offices of Air Radiation, U.S. Environmental Protection Agency, Report no. EPA-450/4-91-017, July 1991, Research Triangle Park, NC 27711, 27 p.

Pitman, A.J., (1991), "Sensitivity of the land surface to sub-grid scale processes: implications for climate simulations", *Vegetatio*, Vol. 91, pp. 121-134.

Rasmussen R. A., (1972), "What do the hydrocarbons from trees contribute to air pollution?", *J. Air Pollution Control Ass.*, Vol. 22, pp. 537-543.

Salop J., N.T.Wakely, G.F. Lecy, E.M. Middleton et J.C. Gervin, (1983), "The application of forest classification from Landsat data as a basis for natural hydrocarbon emission estimation et photochemical oxidant model simulations in southeastern Virginia", *J. Air Pollution Control Ass.*, 33, pp. 17-22.

Schiff, H., "Measurements of Ozone et Related Species", *Symposium nord-américain sur les oxidants*, Actes de la conférence, Environnement Québec, Environnement Canada, Northeast States for Coordinated Air Use management, pp. 472-477.

Steinbrecher, Rainer, (1993), "Uncertainties of Biogenic VOC - Emission Data-Bases", EURASAP workshop on the reliability of VOC emission databases, pp. 89-97.

Thomson, Jessica, (1992), *L'ozone au niveau du sol au Canada*, Feuillelet d'information sur l'état de l'environnement no. 92-1, Conservation et Protection, Environnement Canada, EDE no. 92-1, 12 p.

Tingey, D.T., R. Evans et M. Gumpertz, (1981), "Effects of Environmental Conditions on Isoprene Emissions From Live Oak", *Planta*, 152, pp. 565-570.

Van Meter, Allan R., K.A. Baugues et M.D. Bouley, (1992), "Estimation of Biogenic Emissions for the Atlanta Area: Comparison of UAM BEIS, ROM BEIS and PC-BEIS", Proceedings du *Emission Inventory Issues*, Air & Waste Management Association, Pittsburgh, PA, pp. 422-428.

Wilson, M.F., A. Henderson-Sellers, R.E. Dickinson et P.J. Kennedy, (1986), "Sensitivity of the Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) to the Inclusion of Variable Soil Characteristics", *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Vol. 26, pp.341-362.