



RÉGIE RÉGIONALE
DE LA SANTÉ ET DES
SERVICES SOCIAUX
DE MONTRÉAL-CENTRE

Santé au travail et environnementale

RECONNAISSANCE DES POPULATIONS D'*AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* SUR L'ÎLE DE MONTRÉAL À L'AIDE D'UN CAPTEUR HYPERSPECTRAL

Étude des propriétés spectrales et de l'écologie végétale

Patrick Maupin
Marie-Claude Boivin

Novembre 1998

DIRECTION
DE LA SANTÉ
PUBLIQUE

*Garder notre
monde en santé*

RECONNAISSANCE DES POPULATIONS D'*AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA* SUR L'ÎLE DE MONTRÉAL À L'AIDE D'UN CAPTEUR HYPERSPECTRAL

Étude des propriétés spectrales et de l'écologie végétale

Patrick Maupin, M. Sc., D.E.S.S.

Marie-Claude Boivin, M. Sc.

Novembre 1998

Une réalisation de l'unité santé au travail et environnementale
Hôpital Maisonneuve-Rosemont, mandataire

© Direction de la santé publique
Régie régionale de la santé et des services sociaux de Montréal-Centre (2001)
Tous droits réservés

Dépôt légal : 2^e trimestre 2001
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

ISBN :2-89494-287-7

AUTEURS

Patrick Maupin, M.Sc., Direction de la santé publique de Montréal-Centre
Marie-Claude Boivin, M.Sc., Direction de la santé publique de Montréal-Centre

COLLABORATION À LA RÉDACTION

Serge Asselin, M.Sc., Direction de la santé publique de Montréal-Centre
Suzanne Bachand, B.A.P., D.T.H.O., Direction de la santé publique de Montréal-Centre

SECRÉTARIAT

Maryse Arpin, direction de la santé publique de Montréal-Centre

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	ii
LISTE DES FIGURES	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	iii
SOMMAIRE	iv
1. INTRODUCTION.....	1
2. MÉTHODOLOGIE.....	2
2.1 STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE	2
2.2 COMPOSITION FLORISTIQUE.....	3
2.3 BIBLIOTHÈQUES DE SIGNATURES SPECTRALES	4
2.4 MATÉRIEL INFORMATIQUE UTILISÉ	5
3. TRAITEMENT DE L'INFORMATION ET RÉSULTATS	7
3.1 MATRICES DE CONTINGENCE ESPÈCES PRÉSENTES.....	7
3.2 SIGNATURES SPECTRALES.....	10
3.3 IMAGES SPECTRALES ET ÉTUDE DE VALIDATION	13
3.4 ÉTUDE DU CHOIX DES BANDES SPECTRALES DES IMAGES HYPERSPECTRALES	15
4. CONCLUSION ANTICIPÉES ET RECOMMANDATIONS	18
4.1 RECONNAISSANCE DE <i>L'AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA</i>	18
4.2 PROJET PROPOSÉ : DÉVELOPPEMENT D'UN SYSTÈME EXPERT	19
BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE.....	21

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Vue partielle du site et du pâturage expérimental.....	3
Figure 2. Analyse factorielle (deux premiers axes) de la matrice de contingence des espèces présentes sur le pâturage expérimental et ayant une représentation supérieure à 1% du total (en rouge: les espèces; en bleu: les stations)	8
Figure 3. Dendrogramme de la classification hiérarchique ascendante des coordonnées factorielles des espèces dont la présence est supérieure à 1 % dans la matrice de contingence.....	9
Figure 4. Spectres d' <i>Ambrosia artemisiifolia</i> : tous les spectres sont issus de stations couvertes en presque totalité par de l' <i>Ambrosia</i> ; HAP004 est constituée d'un mélange d' <i>Ambrosia artemisiifolia</i> (minoritaire) et de sol nu (majoritaire)	10
Figure 5. Comparaison de signatures typiques.....	11
Figure 6. Différences de réflectance entre l' <i>Ambrosia artemisiifolia</i> et d'autres végétaux.....	12
Figure 7. Différence de réflectance pour l' <i>Ambrosia artemisiifolia</i> entre la fin juin et le début d'août 1998	12
Figure 8. Comparaison de deux images du même endroit prises à quelques minutes d'intervalle par la compagnie de télédétection à l'aide du capteur AISA. On remarque que la détection (en rouge) de l' <i>Ambrosia</i> varie beaucoup d'une image à l'autre et que la qualité géométrique des images est médiocre.....	14
Figure 9. Analyse factorielle (deux premiers axes) de la matrice de contingence croisant des stations homogènes et les 12 bandes spectrales utilisées lors de l'étude avec le système AISA (en rouge, les stations et en bleu, les bandes spectrales).....	16
Figure 10. Exemple de système informatisé utilisant la connaissance d'experts pour la gestion du problème de l' <i>Ambrosia artemisiifolia</i> ainsi que d'autres problèmes de contamination de l'environnement.....	20

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Matrices de confusion pour deux images (7 et 10) dont les classifications ont été vérifiées sur le terrain, images en main.....	15
--	----

SOMMAIRE

Ce rapport détaille les résultats obtenus lors d'une étude pilote, réalisée durant l'été 1998, dont le but est l'amélioration des connaissances concernant les propriétés spectrales de l'*Ambrosia artemisiifolia* et son écologie.

Ces connaissances sont importantes dans la mesure où elles permettent de mieux choisir l'échelle géographique et la résolution des images à utiliser pour mener à terme la reconnaissance des populations d'*Ambrosia artemisiifolia* par télédétection. Si la détection directe des plants d'*Ambrosia artemisiifolia* demande une résolution décimétrique, la reconnaissance de communautés végétales ne requière à la vue de nos premiers résultats qu'une précision décamétrique. C'est une question de grande importance lors du choix final de la plate-forme de reconnaissance, en termes de quantité de données à traiter mais aussi en termes de coûts d'acquisition du support d'information.

Un échantillonnage de données a été effectué à l'été 1998 sur un site expérimental au Parc Agricole du Bois-de-la-Roche à l'extrémité ouest de l'Île de Montréal (superficie de 7 hectares) et sur un site industriel situé à Ville d'Anjou. Les données recueillies concernent deux aspects : la caractérisation de la composition floristique et la constitution d'une bibliothèque de signatures spectrales de différents couverts végétaux ou minéraux à l'aide d'un spectroradiomètre.

L'analyse des données de cette campagne permet de constater que (1) à l'intérieur des populations d'*Ambrosia artemisiifolia*, les comportements spectraux ne sont pas homogènes, (2) il existe quelques mélanges d'espèces végétales qui peuvent être confondus avec l'*Ambrosia artemisiifolia*, (3) il semble exister une relation écologique entre l'*Ambrosia artemisiifolia* et certains types de plantes ou de milieux, (4) il est difficile de séparer la réflectance spectrale de l'*Ambrosia artemisiifolia* des plantes compagnes telles l'*Artemisia* et *Asclépias* et (5) les signatures spectrales les plus utiles pour la reconnaissance de l'*Ambrosia* se situent de 750 à 875 nanomètres.

Il ressort que la détection directe de l'*Ambrosia artemisiifolia* reste difficile mais certains types de couverts végétaux propices à l'installation de populations d'*Ambrosia artemisiifolia* sont reconnaissables à l'aide d'un capteur hyperspectral aéroporté. Ces constatations techniques ont permis d'élaborer un cadre conceptuel plus flexible.

Le cadre conceptuel privilégié favorise la réalisation d'une cartographie des communautés végétales et des populations d'*Ambrosia* (par ex. à l'aide de prises d'images hyperspectrales) et une fusion des informations de manière à calculer des probabilités de présence d'*Ambrosia artemisiifolia*. Il s'agit en fait de développer un système informatisé de suivi des populations d'*Ambrosia artemisiifolia* prenant en compte l'ensemble des connaissances acquises concernant cette plante allergène.

Ce cadre conceptuel est basé sur la formalisation des connaissances sur l'*Ambrosia artemisiifolia* acquises par l'unité de Santé environnementale de la Direction de la santé publique de Montréal-Centre depuis de nombreuses années : type de terrains affectés, politiques municipales et pratiques d'éradication pour n'en nommer que quelques-unes. Outre cette formalisation, une étude détaillée de la littérature concernant les communautés végétales devra permettre de dégager une nomenclature homogène

facilitant le partage des connaissances, mais aussi une taxonomie compatible avec les échelles de travail et les supports d'information utilisés. Les supports d'information principalement visés sont les cartes numériques que l'on retrouve habituellement dans un système d'information géographique urbain mais évidemment des images de télédétection de résolutions spatiale et spectrale adéquates.

La suite de notre étude verra donc la mise en commun de ces informations hétérogènes par le biais d'une architecture informatique particulière : le système expert. Cette approche globale doit permettre de suivre l'évolution spatiale et temporelle des populations d'*Ambrosia artemisiifolia* sur l'île de Montréal, de planifier des actions d'éradication, d'aménagement des couverts végétaux et des campagnes de prévention.

1. INTRODUCTION

La Direction de la santé publique de Montréal-Centre (DSP-MC) est impliquée depuis plusieurs années dans la recherche d'outils permettant une appréciation tant de l'étendue de la contamination de l'*Ambrosia artemisiifolia*, plante allergène, que de l'impact des méthodes de contrôle mises en œuvre par divers organismes. À l'été 1997, la DSP-MC a entrepris une étude afin de valider la technologie AISA (Airborne Imaging Spectrometer for Applications – capteur d'images numériques hyperspectrales) pour la reconnaissance de l'*Ambrosia artemisiifolia*. L'utilisation de la télédétection s'avérait intéressante car elle permettrait une automatisation de certaines tâches répétitives et dispendieuses comme l'échantillonnage sur le terrain et la confection cartographique.

Malheureusement, le bris d'un appareil a rendu inutilisables les données enregistrées lors de la prise d'images par la firme de télédétection, compromettant ainsi l'étude de validation (Asselin et al. 1998). Cet exercice a néanmoins permis d'identifier les lacunes majeures qui existent dans la connaissance des propriétés spectrales de l'*Ambrosia* et de son écologie, informations indispensables à la prise d'images par voie aérienne.

La DSP-MC a donc initié, à l'été 1998, une campagne d'échantillonnage sur deux sites expérimentaux situés sur l'Île de Montréal, dans le but d'acquérir de meilleures connaissances sur l'écologie de l'*Ambrosia artemisiifolia* (composition floristique) et de ses propriétés spectrales à l'aide d'un spectroradiomètre de terrain. Cette connaissance est essentielle afin d'obtenir de bons résultats lors de la prise d'images hyperspectrales subséquentes : choix de la résolution spatiale, identification des parties du spectre électromagnétique les plus utiles et choix de la meilleure période pour la prise d'images.

Le présent rapport présente les résultats obtenus lors de cette campagne d'échantillonnage et les conclusions qui s'en dégagent, à savoir les modes de télédétection envisageables, leurs limites ainsi que la forme générale du système d'information à mettre en place pour la reconnaissance, le suivi et la gestion des populations d'*Ambrosia artemisiifolia*. Un cadre conceptuel est proposé.

2. MÉTHODOLOGIE

Une campagne d'échantillonnage sur un site d'étude (quadrillé en 153 stations d'échantillonnage) est réalisée afin d'acquérir des connaissances sur la nature des radiations réfléchies par l'*Ambrosia* et de dégager des informations sur l'écologie de la plante et des couverts végétaux associés. À l'aide d'un spectroradiomètre, les longueurs d'onde (entre 400 et 1000 nanomètres) réfléchies par les surfaces visées (couvert végétal ou minéral) sont enregistrées. Les données prises sur le terrain concernent également les espèces présentes et leur superficie respective. Compte tenu de la difficulté d'obtenir des estimations précises de la composition floristique, des photographies de chaque station d'échantillonnage sont prises et en laboratoire, une équipe d'experts a pu poursuivre la reconnaissance des espèces et l'établissement des superficies occupées par celles-ci. Enfin, le traitement de l'information consiste en l'étude des relations de co-occurrence des espèces végétales associées à l'*Ambrosia artemisiifolia* (tableaux de contingence). Plus particulièrement, la relation qui existe entre l'*Ambrosia artemisiifolia* et la composition botanique des stations est étudiée à l'aide d'une technique de statistique multivariée : l'analyse factorielle des correspondances. L'analyse hiérarchique ascendante est par la suite utilisée.

La bibliothèque de signatures spectrales qui est constituée permettra de mieux cerner les propriétés spectrales de l'*Ambrosia artemisiifolia* tout au long de sa saison végétative et des espèces ou types de couverts associés. Cette bibliothèque, unique au monde à notre connaissance, doit éventuellement servir de référence pour de nombreuses études de télédétection de l'*Ambrosia artemisiifolia*. Le choix des meilleures bandes spectrales pour l'étude de l'*Ambrosia artemisiifolia* et donc le choix d'un type de plate-forme de prise de vues peut être estimé à partir de cette bibliothèque. De plus, les informations accumulées dans la bibliothèque de signatures spectrales forment une base de connaissances permettant l'entraînement de classifications d'images numériques multispectrales ou hyperspectrales. Ces résultats doivent permettre de réduire les coûts futurs en acquisition d'images numériques aéroportées.

De manière à raffiner les approches de cueillette de l'information, de vérification des résultats et du contrôle des variables expérimentales, la DSP-MC s'associe à l'Université McGill pour la mise en place de conditions optimales d'observation des variables d'étude sur un site expérimental très bien contrôlé et facile d'accès comprenant des environnements variés sur une surface de 55 hectares.

2.1 STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

L'échantillonnage des données sur l'écologie de l'*Ambrosia artemisiifolia* est effectué principalement sur un site expérimental au Parc Agricole du Bois-de-la-Roche à l'extrémité ouest de l'Île de Montréal. Le site présente une grande variété de types de couvertures végétales ainsi qu'une grande diversité d'aménagements agraires. Sur ce site, un pâturage est utilisé pour le parcage des bêtes en hiver et subit de ce fait un intense piétinement et un broutage assez intense pour le laisser quasiment sans végétation le printemps venu. Ces modifications font en sorte que le pâturage est

envahi littéralement par l'*Ambrosia artemisiifolia*¹. La figure 1 montre le site expérimental dans son ensemble ainsi que le pâturage étudié dans cette partie.

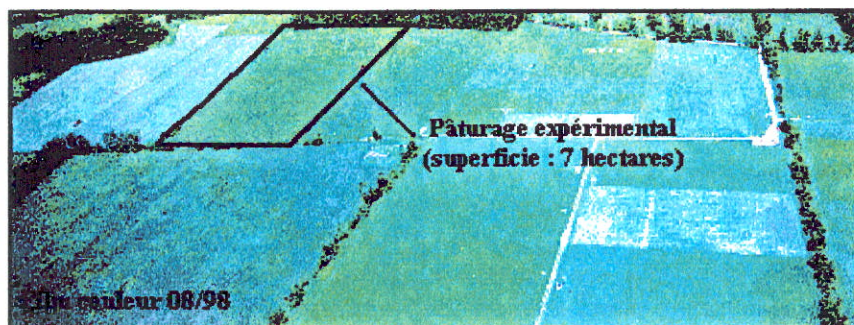


Figure 1. Vue partielle du site et du pâturage expérimental.

Dans le but d'obtenir des informations dans des milieux plus diversifiés, deux autres sites de dimensions plus réduites sont également échantillonnés. Dans un cas, il s'agit d'une portion de pelouse basse en bordure d'une route secondaire à proximité des parcelles expérimentales du Collège d'Agriculture de l'Université McGill à Sainte-Anne-de-Bellevue. Un autre site, industriel celui là, est échantillonné à Ville d'Anjou. Ce dernier a déjà fait l'objet d'une prise de vues par un capteur d'images numériques hyperspectrales au mois de septembre 1997. L'échantillonnage sur ces sites n'est pas systématique, mais s'effectue plutôt par promenade en tentant d'accumuler le plus de cas différents possibles de formes d'*Ambrosia* ainsi que de communautés végétales comprenant l'*Ambrosia* qui n'ont pas été rencontrées sur le pâturage expérimental.

2.2 COMPOSITION FLORISTIQUE

Le pâturage a été échantillonné systématiquement en utilisant un pas de 20 mètres. Ce pas a été déterminé en fonction de l'aspect visuel des communautés végétales observées sur le pâturage, mais aussi en fonction de limitations de temps liées entre autres aux cycles végétatifs et au budget alloué pour l'étude. Le quadrillage du pâturage en 153 stations d'échantillonnage a pu être complété en deux jours de travail par deux personnes et demi. Ce quadrillage est obtenu par une mesure effectuée à l'aide d'un ruban centimétrique et en se basant sur l'alignement des stations déjà marquées. Le marquage des stations est matérialisé à l'aide de piquets en acier galvanisé (90 cm) avec bouts en tire-bouchon conçus pour y attacher des rubans de balisage. Les rubans en vinyle utilisés ont permis de distinguer les stations du quadrillage d'échantillonnage (rouge fluorescent) des sites supplémentaires présentant un intérêt botanique ou environnemental (jaune fluorescent).

L'échantillonnage est réalisé à deux instants de la saison végétative : dans un premier temps, dans la dernière semaine du mois de juin et le début du mois de juillet 1998, en fin

¹ Outre son incidence en santé publique, l'*Ambrosia artemisiifolia* constitue une menace sérieuse pour l'agriculture québécoise.

de période de croissance végétative, juste avant l'apparition des boutons de fleurs d'*Ambrosia artemisiifolia* ; dans un second temps, un échantillonnage restreint mais significatif de 29 stations est recueilli au début du mois d'août 1998, en pleine période d'émission du pollen d'*Ambrosia artemisiifolia*.

Pour chacune des stations d'échantillonnage, sur une surface de 40 centimètres carrés, on effectue un comptage des espèces présentes ainsi qu'une estimation des superficies relatives couvertes par chacune des espèces. Une campagne de photographies² et un premier comptage des espèces présentes sont réalisés en près de deux jours/personne³. Compte tenu du temps requis pour obtenir des estimations précises sur le terrain des superficies occupées par chacune des espèces, des diapositives⁴ sont tirées des photographies de chacune des stations d'échantillonnage et sont projetées en laboratoire à un groupe de trois personnes formées à la reconnaissance des espèces prairiales. Deux personnes s'occupent principalement de la reconnaissance et de l'estimation des superficies occupées par les végétaux et la troisième de l'indexation et de l'entrée des données sur un support informatique. Lorsqu'il y a discordance d'estimation des superficies relatives, un vote est pris en invitant le troisième expert à donner son avis et soit la majorité, s'il y a concordance de deux mesures, ou bien la moyenne l'emporte. Ces estimations visuelles se sont déroulées sur deux journées et demi.

2.3 BIBLIOTHÈQUES DE SIGNATURES SPECTRALES

Le spectroradiomètre utilisé pour constituer la bibliothèque de signatures spectrales est le " Portable Data Analyser SPECTRON ENGINEERING CE500 ". Cet appareil a été modifié par Patrick Cliche de l'Université de Sherbrooke afin de permettre de saisir directement les signatures spectrales sur un ordinateur portable. À cause de l'éloignement des sources d'électricité, les équipements doivent fonctionner de façon autonome et nécessitent l'utilisation de batteries.

La tête de lecture du spectroradiomètre (Spectron CE 390 WB-P) est utilisée pour viser un objet et enregistre des longueurs d'ondes réfléchies de 400 à 1100 nanomètres. Les surfaces visées sont inscrites dans un rectangle imaginaire d'environ 40 cm de long sur 10 cm de large et la tête de lecture est tenue à 1,5 mètres au-dessus de la cible.

Une brouette a été utilisée pour le transport du matériel (spectron, ordinateur, batteries, etc.) d'une station d'échantillonnage à l'autre. Ce moyen de transport du matériel s'est avéré moyennement efficace compte tenu du micro-relief du terrain et de la hauteur de la végétation à certains endroits sur le pâturage. De plus, cette méthode de transport a le désavantage d'écraser la végétation en place et de l'arracher dans certains cas⁵. Pour la suite du projet, il serait nécessaire de trouver une solution efficace à ce problème.

² À l'aide d'un appareil photographie Pentax SuperProgram et d'une lentille SMC Pentax-A 1:1.4 de 50 mm

³ Il est important de noter qu'à cause des conditions météorologiques le temps utile requis pour effectuer les tâches d'échantillonnage est loin d'être compté en heures contiguës. En effet, le travail complet d'échantillonnage (installation du quadrillage d'échantillonnage, signatures radiométriques, photographies et comptages) s'est déroulé sur près de deux semaines

⁴ Pellicules Provia Fujichrome Professional (RDP II 135). Cartouches de 36 diapositives ISO 100

⁵ Si le matériel pouvait être moins lourd, l'idéal serait de le porter à dos d'homme

Pour chacune des 153 stations d'échantillonnage, quatre lectures sont saisies. La première lecture se fait sur un carton blanc réfléchissant dans le but de corriger les effets différentiels de luminosité et de retrancher le spectre solaire aux signatures. Trois autres lectures correspondent au couvert végétal ou minéral que l'on retrouve sur le site d'échantillonnage. En incluant les signatures de cartons blancs, un total de 612 lectures est saisi sur les 7 hectares que couvre le pâturage expérimental.

L'indexation des signatures dans la base de connaissance⁶ est établie de la façon suivante :

H001A

Où :

H	représente le pâturage d'hiver
001	le numéro du site sur le pâturage
A	la lecture A, B ou C. Le Z est utilisé pour le carton blanc.

Les signatures des sites d'échantillonnage du pâturage expérimental ont été enregistrées entre le 27 juin et le 2 juillet 1998. Celles-ci devaient être prises un peu plus tôt en saison (à la mi-juin) mais la mauvaise température a repoussé la saisie de données. L'enregistrement a été réparti sur cinq jours et le ciel a été partiellement couvert de nuages pour une journée et demie. Toutefois, la grande majorité des données a été saisie pour des temps d'ouverture variant de 1/60° à 16/60° de seconde. Lorsque la luminosité obligeait le capteur à fonctionner à 32/60° ou plus lentement, l'échantillonnage était interrompu (exemple, le 30 juin de 12h00 à 15h00).

Quelques lectures supplémentaires ont été enregistrées sur le pâturage (indexation différente⁷). Ces lectures représentent des sites particuliers comme par exemple des stations complètement ou partiellement couvertes d'*Ambrosia artemisiifolia*, (HAP001 à HAP009), des stations contenant des plantes dont les signatures sont suspectées être confondantes avec celles de l'*Ambrosia* (ARM001, ARM002, CHE001 et CHE002) ainsi que des stations (H095PAL1, H095BOZ1 et H095BOZ2) représentant des signatures de paille et de bouse de vache pure ou en mélange enregistrées au site H095.

2.4 MATÉRIEL INFORMATIQUE UTILISÉ

De nombreux logiciels sont déjà utilisés à la DSP-MC, ce qui laisse entendre qu'une partie importante des travaux d'analyse peut être réalisée *in situ*.

Toutefois, les partenaires universitaires partagent une partie de leurs équipements informatiques nécessaires à la réalisation des tâches de traitement.

⁶ C'est-à-dire la bibliothèque de signatures spectrales

⁷ ex. L'acronyme du début correspond au type de plante : HAP pour Herbe à poux ; ARM pour l'armoise ; CHE pour Chénopode.

3. TRAITEMENT DE L'INFORMATION ET RÉSULTATS

Dans cette partie, les principales tâches consistent à (1) vérifier l'hypothèse d'associations préférentielles de l'*Ambrosia artemisiifolia* avec d'autres espèces en fonction des stades climatiques spécifiques ; (2) évaluer les différences spectrales (de réflectances) de l'*Ambrosia artemisiifolia* intra espèce et avec d'autres espèces et (3) déterminer la résolution spatiale optimale ainsi que le meilleur choix de bandes spectrales pour la reconnaissance de l'*Ambrosia artemisiifolia*.

3.1 MATRICES DE CONTINGENCE ESPÈCES PRÉSENTES

Les estimations visuelles des superficies couvertes par type d'espèce ont permis de constituer deux matrices de contingence montrant dans un cas l'absence ou la présence d'une espèce végétale dans une station d'échantillonnage, et dans l'autre cas le pourcentage de couverture de chaque espèce par station.

La relation qui existe entre l'*Ambrosia artemisiifolia* et la composition botanique des stations est étudiée à l'aide d'une technique de statistique multivariée : l'analyse factorielle des correspondances (AFC). Cette étude permet de découvrir des relations entre les espèces végétales et plus particulièrement entre celles-ci et l'*Ambrosia artemisiifolia*. Ainsi, l'AFC permet d'analyser des tableaux de données mettant en rapport un caractère nominatif (le numéro des stations et donc la position géographique) et un caractère descriptif (la composition botanique de chacune des stations) et selon Benzécri et Benzécri (1984) : "[...] nous voulons voir apparaître aussi clairement que possible comment nos données diffèrent de H_0 (l'hypothèse nulle d'indépendance de deux caractères), dans quelle direction elle s'écarte de l'indépendance".

La projection orthogonale des deux premiers axes factoriels (Figure 2), expliquant près de 30 % de la variation totale de l'information botanique, montre qu'il existe une relation entre les différentes espèces (points rouges)⁸. On voit clairement sur cette projection que le chénopode et l'asclépiade se détachent des autres espèces. Le sol nu et les brindilles semblent liés d'une manière assez nette. Le labié et l'atriplex d'une part s'opposent au chiendent, au trèfle et à la phléole d'autre part.

⁸ Les points bleus sont les stations.

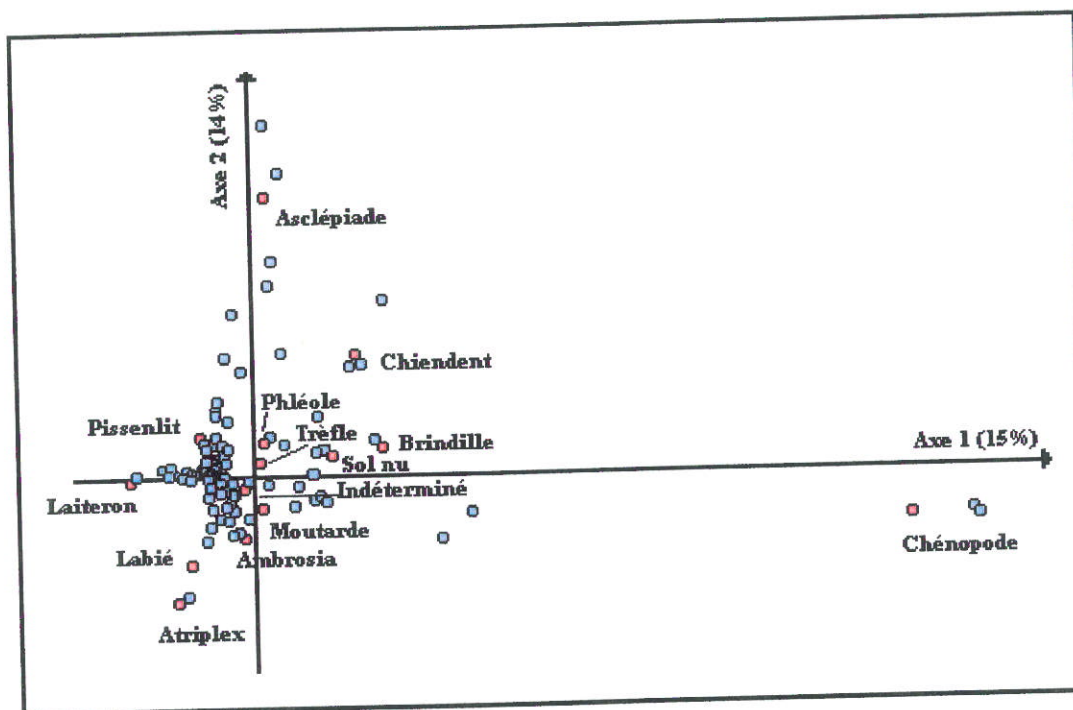


Figure 2. Analyse factorielle (deux premiers axes) de la matrice de contingence des espèces présentes sur le pâturage expérimental et ayant une représentation supérieure à 1% du total (en rouge: les espèces ; en bleu: les stations)

L'*Ambrosia artemisiifolia* semble liée sur cette projection biaxiale à la moutarde, à l'atriplex, au labié et au laiteron. Mais il serait intempestif de juger de la structure relationnelle de la matrice de contingence à partir de la simple projection de deux axes. Malheureusement il est très coûteux en temps de décortiquer les relations sur l'ensemble des axes factoriels, car le nombre n_{Cr} de combinaisons de projections de deux axes s'élève à $13!/2!(11)! = 78$. C'est la raison pour laquelle l'ensemble des données factorielles concernant les espèces doit être analysé, pour les besoins restreints de notre étude exploratoire, à l'aide d'une procédure automatique.

La seconde étape de traitement de l'information botanique consiste en l'analyse des similarités de l'information sur la composition botanique qui a été mesurée sur le terrain, par le biais d'une classification non supervisée. Ce passage d'une échelle de rapport à une échelle nominale est réalisé par le biais de l'analyse hiérarchique ascendante (AHA) des coordonnées factorielles des espèces sur tous les axes extraits lors de la première étape des traitements.

Le principe de base de l'analyse hiérarchique est de construire une suite de partitions emboîtées de façon à ce que le plus bas niveau de la hiérarchie soit une partition dans laquelle tous les individus sont isolés et que le plus haut niveau de la hiérarchie soit une partition regroupant tous les individus. Le critère de regroupement des classes retenu pour l'algorithme de classification est le critère d'inertie de Ward qui consiste à réunir les individus (ici, les stations d'échantillonnage) pour lesquels la perte d'inertie du système étudié est minimale.

Cette procédure se poursuit jusqu'à la constitution d'une super-classe réunissant tous les individus. Lors de la mise en classes des informations botaniques sur les plantes

couvrant les stations d'échantillonnage, il faut tenter d'obtenir des regroupements proches de la réalité observée sur le terrain, mais tout en recherchant l'homogénéité des classes formées.

Cette approche a permis d'établir une partition en trois grandes classes de végétation à l'échelle du pâturage expérimental (Figure 3).

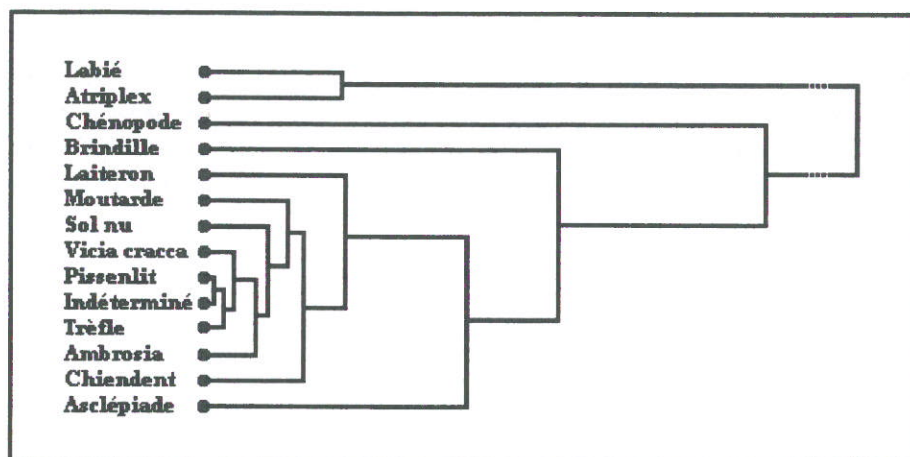


Figure 3. Dendrogramme de la classification hiérarchique ascendante des coordonnées factorielles des espèces dont la présence est supérieure à 1 % dans la matrice de contingence.

La première classe regroupe le labié et l'atriplex. Contrairement à l'impression dégagée par la projection des deux premiers axes factoriels, ces deux espèces n'entretiennent pas une relation de cooccurrence très forte avec l'*Ambrosia artemisiifolia*.

La seconde classe isole le chénopode des autres espèces. Cette constatation indique peut-être que cet événement (la présence de chénopode) est trop rare ou bien qu'il est distribué au hasard, à l'échelle géographique étudiée.

La troisième classe de végétation contient les brindilles sèches, le laiteron, la moutarde, le sol nu, la vicia cracca, le pissenlit, l'indéterminé, le trèfle, l'*Ambrosia artemisiifolia*, le chiendent et l'asclépiade. Il semble possible de la décomposer en sous-classes représentatives d'associations entre l'*Ambrosia artemisiifolia* et des espèces compagnes caractéristiques de stades climaciques spécifiques. **Ces constatations sont très importantes pour la suite du projet de recherche car elles impliquent la possibilité d'une reconnaissance de l'*Ambrosia artemisiifolia* à l'échelle des communautés végétales plutôt qu'à l'échelle de l'individu.**

Le défaut principal de l'analyse hiérarchique ascendante est toutefois d'évacuer la dimension spatiale (la relation avec les stations) et les significations de relation (opposition, indépendance, concordance). C'est la raison pour laquelle dans la suite du projet il sera nécessaire d'osciller sans cesse de l'AFC à l'AHA.

Il faut tout de même apprécier les gains acquis grâce à ces deux analyses et la vérification partielle de l'hypothèse postulant l'existence d'une relation entre l'*Ambrosia artemisiifolia* et d'autres espèces.

3.2 SIGNATURES SPECTRALES

Nous donnons ici quelques signatures spectrales acquises durant la campagne d'été 1998. Il faut bien comprendre que ces signatures sont issues de spectres radiométriques individuels et ne sauraient constituer des modèles absolus. Les signatures de deux individus de la même espèce peuvent être très différentes l'une de l'autre, même si visuellement il n'existe pas de différences remarquables.

La figure 4 montre clairement ce phénomène de variation inter individus. Entre 750 et 900 nanomètres, les spectres de HAP001 et HAP002 sont très différents des autres. Il s'agit peut-être de différences dues à des conditions de croissance qui influencent la teneur en chlorophylle ou encore de différences de structures physiques dues au hasard de la croissance.

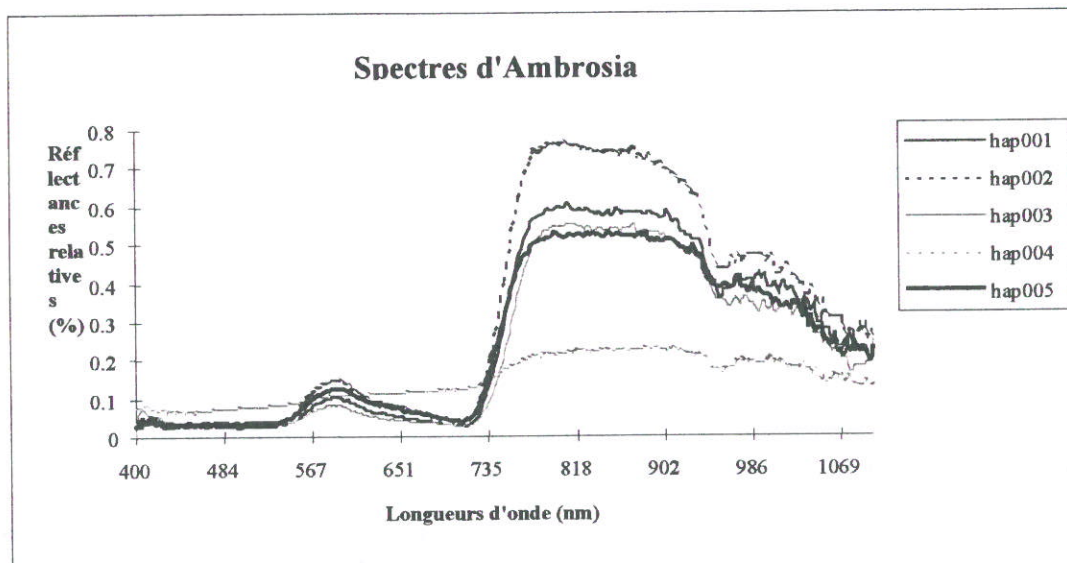


Figure 4. Spectres d'*Ambrosia artemisiifolia* : tous les spectres sont issus de stations couvertes en presque totalité par de l'*Ambrosia* ; HAP004 est constituée d'un mélange d'*Ambrosia artemisiifolia* (minoritaire) et de sol nu (majoritaire)

A la figure 5, on remarque que le spectre de sol nu se distingue très bien de la matière végétale (par exemple l'armoise et l'*Ambrosia artemisiifolia*). La connaissance de la forme de ce spectre est importante dans la mesure où l'*Ambrosia artemisiifolia* se retrouve souvent dans des terrains en friche où le sol est souvent apparent, à cause de perturbation récente ou de problèmes environnementaux typiques. Des spectres d'asphalte, de gravier et de béton ont été captés (mais non représentés) pour les mêmes raisons de contexte écologique, car l'*Ambrosia artemisiifolia* croît dans des milieux perturbés par l'homme comme les stationnements, les bordures de trottoirs et de routes, les sites industriels et commerciaux à l'abandon ou mal entretenus.

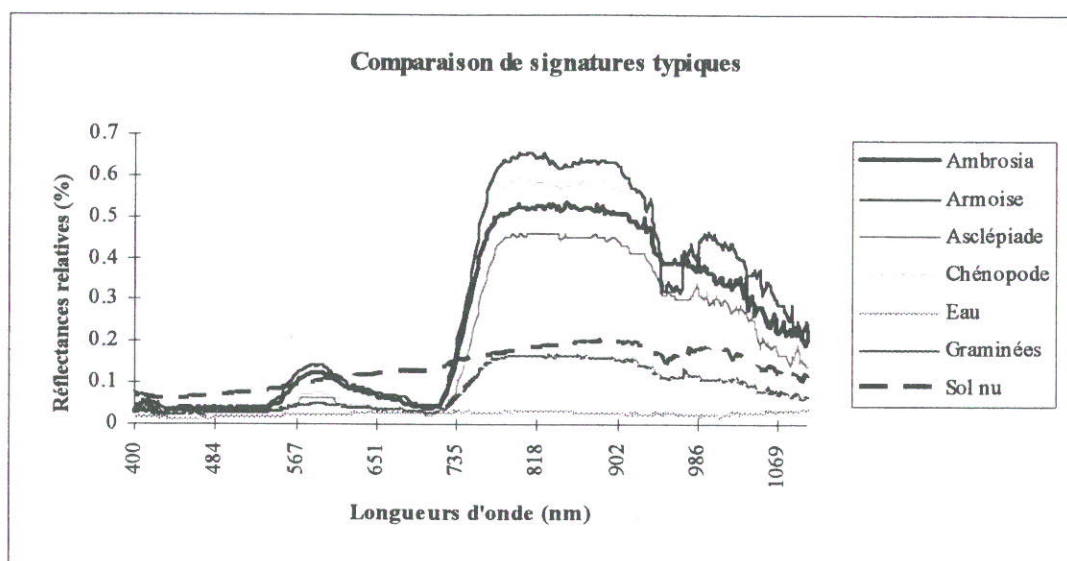


Figure 5. Comparaison de signatures typiques.

Au premier coup d'œil, rien ne permet vraiment de distinguer les spectres de l'armoise et de l'*Ambrosia artemisiifolia* entre 400 et 750 nanomètres. Cette constatation est vraie pour de nombreux végétaux car ceux-ci partagent plusieurs caractéristiques : teneur en eau, présence de chlorophylle. Les variations inter-espèces de ces caractéristiques permettent toutefois de distinguer très nettement les graminées, l'asclépiade et le chénopode de l'*Ambrosia artemisiifolia*. Les différences les plus marquantes entre l'*Ambrosia artemisiifolia* et les espèces qui l'accompagnent interviennent surtout au-delà de 950 nanomètres.

La figure 6 donne un aperçu des différences de réflectances entre l'*Ambrosia artemisiifolia* et l'armoise, l'asclépiade, le chénopode et les graminées. Il apparaît que les différences entre 400 et 750 nanomètres sont très faibles pour toutes les espèces. Le fait le plus remarquable est le profil très typique pour chacune des différences de spectres, sauf pour *Ambrosia*/asclépiade, *Ambrosia*/chénopode et *Ambrosia*/graminées entre 400 et 750 nanomètres. Ces deux remarques semblent indiquer que la partie la plus utile pour différencier ces espèces se trouve au-delà de 750 nanomètres.

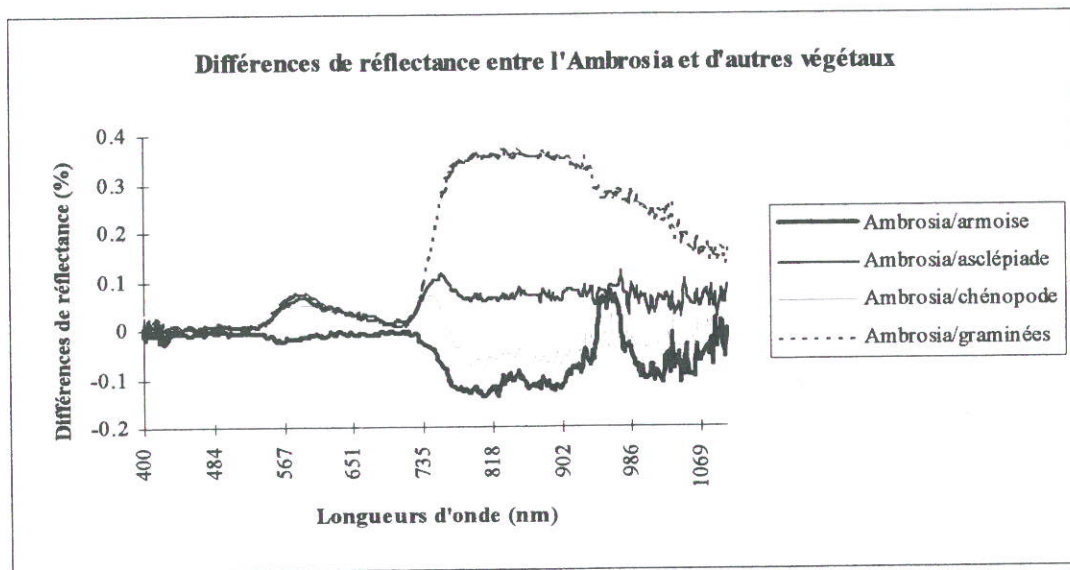


Figure 6. Différences de réflectance entre l'*Ambrosia artemisiifolia* et d'autres végétaux.

La figure 7 montre les différences spectrales pour 5 stations couvertes d'*Ambrosia artemisiifolia* dont les signatures ont été enregistrées à la fin du mois de juin puis au début du mois d'août 1998. La signature DHAP004 montre l'effet de l'augmentation de la proportion d'*Ambrosia artemisiifolia* de 10% à 90 % en superficie couverte. Les signatures DHAP001 et DHAP002 montrent clairement l'effet de l'apparition des fleurs sur les plants d'*Ambrosia*, et la diminution très nette du taux de chlorophylle mesuré par le spectroradiomètre. Ces constatations indiquent la possibilité de distinguer très clairement par télédétection l'état phénologique des populations d'*Ambrosia artemisiifolia*.

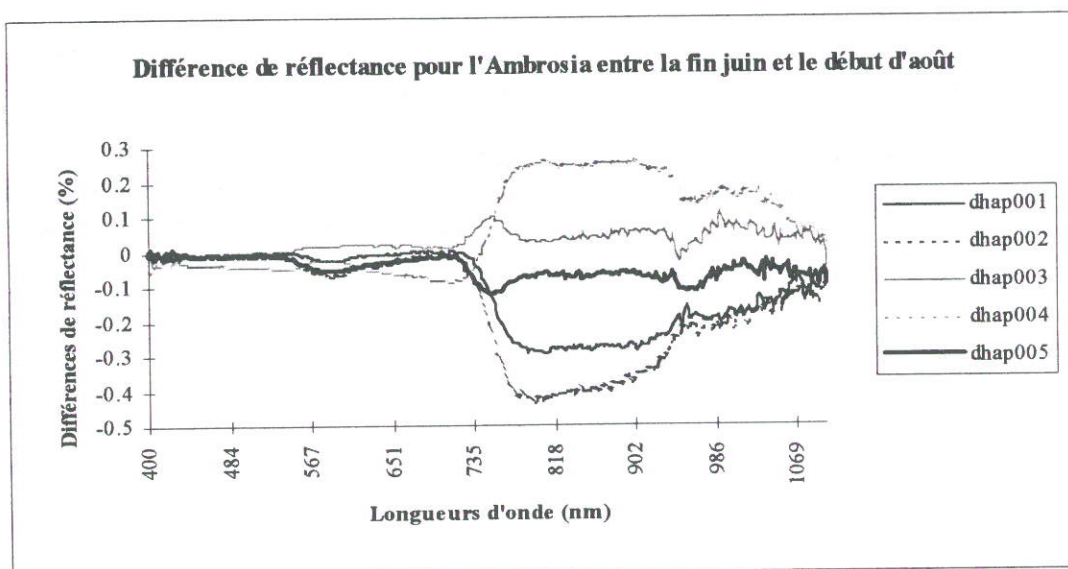


Figure 7. Différence de réflectance pour l'*Ambrosia artemisiifolia* entre la fin juin et le début d'août 1998

Les traitements statistiques, permettant d'évaluer la différence entre deux signatures spectrales, sont la plupart du temps assez simples, mais parfois les variations sont tellement subtiles que la discrimination est vaine même avec les traitements les plus sophistiqués. Il se peut aussi que l'intervalle radiométrique utilisé soit trop étroit pour l'analyse des différences inter espèces. C'est ce qui arrive dans la plupart de nos exemples dans les longueurs d'ondes inférieures à 750 nanomètres.

Pour éviter ce problème, où au moins faciliter les traitements, il faudra utiliser des appareils de mesure plus adéquats, ou bien améliorer la discrimination des espèces sur les images en utilisant des paramètres faisant appel à la forme, la taille, la texture et l'arrangement des couverts végétaux en plus de la teinte donnée par l'analyse spectrale. Naturellement, les traitements faisant intervenir ces paramètres géométriques sont plus coûteux en temps car l'exercice revient à essayer de mimer le fonctionnement de l'œil du photo-interprète. D'ailleurs, il n'est pas interdit de penser que l'œil humain pourrait faire un bon travail de traitement dans la reconnaissance de l'*Ambrosia artemisiifolia* et des communautés végétales qui l'accompagnent, mais le temps de traitement des images serait prohibitif à l'échelle géographique à laquelle nous travaillons.

3.3 IMAGES SPECTRALES ET ÉTUDE DE VALIDATION

En 1997, une compagnie spécialisée en télédétection a procédé à la reconnaissance de l'*Ambrosia*, par télédétection, sur deux sites expérimentaux, déterminés par la DSP, localisés dans l'ouest (île-Bizard et Pierrefonds) et l'est de l'île de Montréal (Montréal-Anjou). De manière à vérifier la qualité des images obtenues par cette compagnie, la DSP a entrepris d'échantillonner ces deux sites expérimentaux à l'aide d'un système de positionnement géographique de très haute précision : le DGPS (Differential Global Positioning System). Plusieurs dizaines de stations de formes et d'étendues diverses ont été échantillonnées et le taux d'infestation par l'*Ambrosia artemisiifolia* ainsi que certains caractères environnementaux (conditions de sol, pente, autres espèces présentes) ont été stockés dans une base de données informatisée (Asselin, S., et al., 1998).

Malheureusement, ce travail a été rendu inutilisable à cause de la très mauvaise qualité géométrique des images livrées. Les images n'ont pu être redressées ni géoréférencées à cause du mauvais fonctionnement apparent des appareils d'enregistrement des positions géographiques embarqués à bord de l'avion utilisé pour la prise des images hyperspectrales.

En conséquence, il a été impossible de superposer aux images ainsi acquises, la base de données de vérification. La figure 8 montre un exemple d'images acquises par la compagnie de télédétection.



Figure 8. Comparaison de deux images du même endroit prises à quelques minutes d'intervalle par la compagnie de télédétection à l'aide du capteur AISA. On remarque que la détection (en rouge) de l'*Ambrosia* varie beaucoup d'une image à l'autre et que la qualité géométrique des images est médiocre.

On remarque qu'en plus de la mauvaise qualité géométrique des images, la classification des zones affectées par la présence d'*Ambrosia artemisiifolia* a été très instable⁹. Cette constatation s'applique pratiquement à toutes les zones qui ont été accidentellement couvertes plus d'une fois par le système AISA et pose la question de la qualité des résultats pour l'ensemble des images captées (Asselin, S. et al., 1998).

Toutefois, la DSP-MC a effectué une vérification supplémentaire directement sur le terrain pour vérifier les résultats de la classification de deux images fournies par la firme de télédétection. Les résultats obtenus sont présentés au tableau 1. Cependant, comme on le mentionnait dans le rapport technique (Asselin, S. et al., 1998), il faut être prudent dans l'interprétation de ces résultats, car l'analyse n'a pu être faite qu'à partir de deux images (7 et 10) remises par la firme de télédétection où il a été possible de réaliser une localisation approximative de sites infestés.

⁹ L'algorithme utilisé est le Spectral Angle Mapper. Grosso modo, il s'agit de définir un angle maximum d'écart par rapport à une référence spectrale et d'attribuer l'appartenance stricte à une classe si l'angle n'est pas dépassé.

Tableau 1. Matrices de confusion pour deux images (7 et 10) dont les classifications ont été vérifiées sur le terrain, images en main

Observation sur l'image 7						
Vérité terrain	1 ^{ère} classification			2 ^{ème} classification		
	Absence	Présence	Total	Absence	Présence	Total
Absence	10,3%	10,3%	20,5%	8,8%	11,8%	20,6%
Présence	48,7%	30,8%	79,5%	32,6%	47,1%	79,4%
Total	59,0%	41,1%	100%	41,2%	58,8%	100%

Observation sur l'image 10						
Vérité terrain	1 ^{ère} classification			2 ^{ème} classification		
	Absence	Présence	Total	Absence	Présence	Total
Absence	10,0%	10,0%	20,0%	14,3%	0,0%	14,3%
Présence	60,0%	20%	80,0%	42,9%	42,9%	86,7%
Total	70,0%	30,0%	100%	57,1%	42,9%	100%

Pour chaque station vérifiée, une réponse binaire est donnée : réussite ou échec. La classification a été améliorée (2^{ème} classification) par la firme de télédétection après la divulgation par la DSP de certaines erreurs.

Cette vérification montre que les résultats peuvent encore être améliorés. Ainsi, à la suite d'une seule itération de correction des résultats de reconnaissance d'*Ambrosia*, le taux de réussite est passé de 20 % à près de 43 % pour l'image dix et de près de 31 % à environ 47 % pour l'image sept. Par contre, les taux globaux de réussite restent beaucoup trop bas avec seulement 57,2 % (14,3% + 42,9%) pour l'image 10 et 55,9 % (8,8% + 47,1%) pour l'image 7, après correction de la classification.

Ces indications ne mettent pas en cause l'efficacité du capteur AISA mais seulement le soin mis à la production des classifications. Ce travail est très délicat et requière toute l'attention nécessaire. Il faut parfois reprendre les premières classifications une dizaine de fois et faire de nombreux ajustements avant d'obtenir des résultats satisfaisants et reproductibles. Une fois la technique de classification bien maîtrisée, le temps requis pour produire une cartographie de reconnaissance ne dépend que de la vitesse de traitement des algorithmes utilisés et du matériel.

Une autre raison possible de la mauvaise qualité des résultats concerne peut-être le choix des bandes spectrales utilisées par le système AISA pour faire la reconnaissance.

3.4 ÉTUDE DU CHOIX DES BANDES SPECTRALES DES IMAGES HYPERSPECTRALES

La présente étude permet de vérifier, à l'aide des connaissances acquises sur les propriétés spectrales et l'écologie de l'*Ambrosia artemisiifolia* lors de la campagne

d'échantillonnage de 1998, les longueurs d'onde choisies par la firme de télédétection pour la reconnaissance de l'*Ambrosia* (prise d'images en 1997).

Pour étudier la relation qui existe entre les longueurs d'ondes et la composition botanique des stations, nous avons utilisé l'analyse factorielle des correspondances (AFC). L'AFC, qui regroupe près de 90 % de la variance sur les deux premiers axes extraits, permet d'avoir une bonne idée du comportement spectral de stations homogènes par rapport aux longueurs d'ondes choisies par la firme de télédétection pour l'étude. Cette analyse permet de mieux juger le pouvoir discriminant des longueurs d'onde utilisées en télédétection des couverts végétaux qui nous intéressent pour l'intervalle mesuré par le radiospectromètre de terrain (Figure 9).

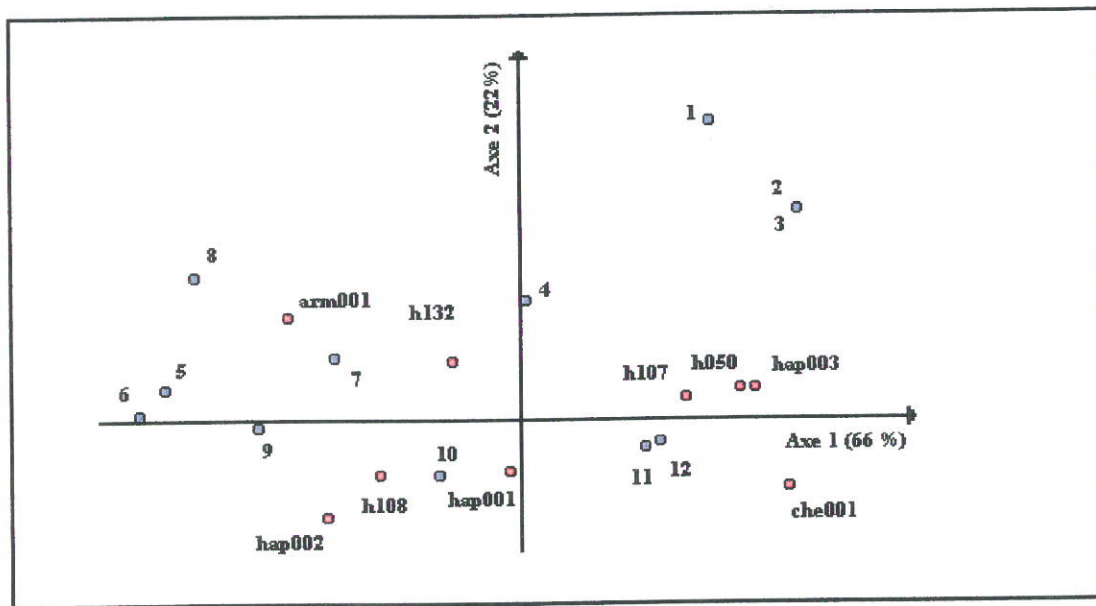


Figure 9. Analyse factorielle (deux premiers axes) de la matrice de contingence croisant des stations homogènes et les 12 bandes spectrales utilisées lors de l'étude avec le système AISA (en rouge, les stations et en bleu, les bandes spectrales)

Au premier coup d'œil, on s'aperçoit que les bandes 1 (458 nm), 2 (489 nm) et 3 (506 nm) n'ont pas un pouvoir explicatif très important. Si l'on considère que les bandes 4 (548 nm), 5 (581 nm), 6 (585 nm), 8 (679 nm) et 9 (740 nm) sont isolées, seules les bandes 10 (756 nm), 11 (812 nm) et 12 (876 nm) ont un pouvoir explicatif intéressant. La bande 7 (659 nm) est à proximité des stations arm001 et h132 et semble typique de la présence d'armoïse. Il serait même possible d'éliminer la bande 11 ou la bande 12 car leurs comportements semblent identiques.

Le fait le plus remarquable toutefois est la grande différence entre le comportement du contenu des stations hap001 et hap002 d'une part et hap003 d'autre part. Ces stations sont composées presque exclusivement d'*Ambrosia artemisiifolia*. Sur le graphique, à proximité de hap001 et hap002 on retrouve une station (h108) couverte à 90 % d'*Ambrosia*, par contre la station hap003 se retrouve à proximité d'une station (h107)

couverte à 90 % d'asclépiade et d'une autre (h050) où l'*Ambrosia artemisiifolia* ne couvre que 5 % de la superficie.

Ces observations rejoignent les mises en garde de la section 3.2 à propos de la partie utile du spectre radiométrique et de la variabilité intra espèce.

Une analyse factorielle discriminante (AFD), qui ne sera pas présentée ici, a permis de tester la stabilité de classifications basées sur le pourcentage de couverture de chacune des stations d'échantillonnage par l'*Ambrosia artemisiifolia*. L'AFD laisse entrevoir la possibilité d'une classification des images en fonction de la proportion d'*Ambrosia* contenue dans chaque pixel.

4. CONCLUSIONS ANTICIPÉES ET RECOMMANDATIONS

4.1 RECONNAISSANCE DE *L'AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA*

Les résultats préliminaires obtenus permettent d'affirmer que :

- ✓ à l'intérieur des populations d'*Ambrosia artemisiifolia*, les comportements spectraux ne sont pas homogènes, ce qui peut entraîner de nombreuses erreurs de reconnaissance si l'approche de classification n'est pas assez souple ;
- ✓ il existe quelques mélanges d'espèces végétales qui peuvent être confondus avec l'*Ambrosia artemisiifolia* ;
- ✓ le choix de 12 bandes retenues pour les premiers essais à l'aide du capteur hyperspectral n'était pas optimal ;
- ✓ l'algorithme de *Spectral Angle Mapper* utilisé par la firme de télédétection n'est peut-être pas assez robuste pour faire une reconnaissance aussi difficile que celle de l'*Ambrosia artemisiifolia* ;
- ✓ une classification des images de télédétection en *probabilité* de présence d'*Ambrosia artemisiifolia* serait plus utile qu'une classification en *absence / présence*.

Lors de la prise d'images hyperspectrales, les points suivants devraient être pris en compte :

- ✓ L'unité de traitement des images devrait être située à proximité du site expérimental. Il est en effet nécessaire de réaliser beaucoup de vérifications sur le terrain et il faut une grande cohésion au sein de l'équipe.
- ✓ Les technologies utilisées doivent être parfaitement maîtrisées par les différents partenaires. Une erreur de manipulation au début de la chaîne de traitement peut compromettre la suite des travaux. Ainsi la prise des images est l'étape la plus sensible et doit être confiée à une équipe ayant démontré depuis de nombreuses années ses capacités à fournir un produit de qualité.
- ✓ Le contrat de prise d'image devra être aussi clair que possible en ce qui concerne la qualité des résultats attendus. Le contrat devra aussi spécifier un calendrier à respecter pour la livraison des différents produits : images corrigées radiométriquement et prêtes à classifier, images géoréférencées et images classifiées.
- ✓ Le moment de la prise des images est peut-être la question la plus importante à résoudre dans le cadre de notre étude. D'après notre expérience, la mi-juin devrait être une période convenable. Il faudra le vérifier.
- ✓ Le délai requis pour la livraison d'une cartographie de l'*Ambrosia artemisiifolia* devra être établi clairement. Il faudrait pouvoir obtenir une classification suffisamment tôt dans la saison pour planifier le contrôle de la plante, et ce avant la période d'émission des pollens.

4.2 PROJET PROPOSÉ : DÉVELOPPEMENT D'UN SYSTÈME EXPERT

Les seules informations spectrales ne suffiront probablement pas à la reconnaissance et au contrôle des populations d'*Ambrosia artemisiifolia*. Certaines informations dépendent du contexte environnemental et ne sont pas visibles directement. Pour une meilleure précision, nous recommandons d'utiliser conjointement les images hyperspectrales et des données auxiliaires sur la composition des communautés végétales. Par exemple, les algorithmes de classification des images devraient être établis afin de reconnaître des mélanges typiques comme *Ambrosia* + sol nu ou bien *Ambrosia* + trèfle + moutarde. Ainsi, nous ne nous limiterons plus à la simple mesure spectrale mais nous tiendrons compte de l'écologie de la plante. L'utilisation conjointe d'images hyperspectrales et de données auxiliaires sur la composition des communautés végétales devrait permettre une identification des populations d'*Ambrosia artemisiifolia* avec une bonne précision.

De plus, les connaissances acquises dans le domaine par les différents experts en santé publique et autres organismes (ex. Communauté urbaine de Montréal, Ministère du transport du Québec...), peuvent être formalisables dans certains cas.

Pour une utilisation optimale de ces informations, nous recommandons le développement d'un système expert réunissant l'ensemble des données de manière à identifier et contrôler les populations d'*Ambrosia* sur le territoire de l'île de Montréal. La figure 10 présente de manière sommaire en quoi pourrait consister un tel système.

Ce système expert devrait utiliser comme support graphique les données que l'on retrouve habituellement dans un système d'information géographique et les résultats d'une reconnaissance des populations d'*Ambrosia artemisiifolia* et des communautés végétales susceptibles d'abriter de telles populations.

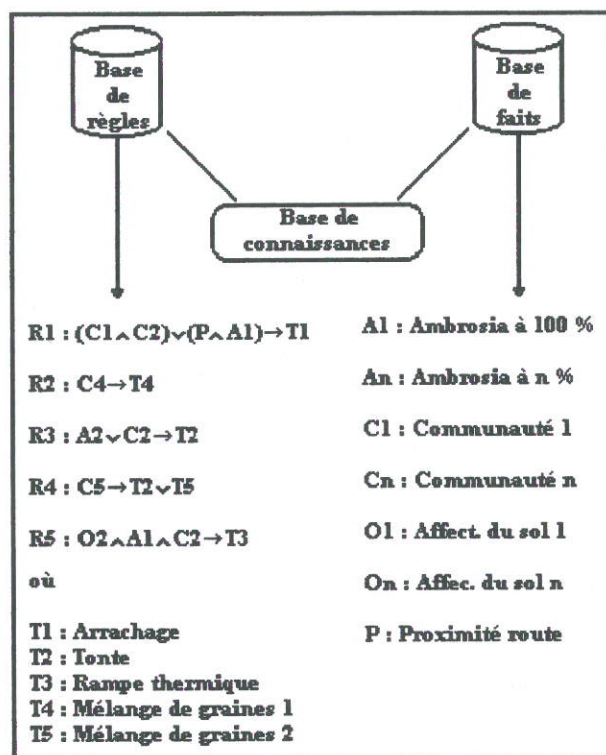


Figure 10. Exemple de système informatisé utilisant la connaissance d'experts pour la gestion du problème de l'*Ambrosia artemisiifolia* ainsi que d'autres problèmes de contamination de l'environnement.

Un tel système expert pourrait servir de base informatique pour la gestion de plusieurs autres problèmes environnementaux.

Un tel système de suivi des populations d'*Ambrosia artemisiifolia* sera efficace dans la mesure où les clients pourront avoir accès à une information géoréférencée avec une précision métrique. Cette précision permettrait une intervention directe auprès des propriétaires de terrains infectés par le biais de la mise en correspondance des classifications avec des bases de données sur le rôle d'évaluation.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- Asselin, S. et C. Christin, 1998. *Pollution atmosphérique et impacts sur la santé et l'environnement dans la grande région de Montréal*. Montréal : Regroupement montréalais pour la qualité de l'air. p. 142-145.
- Asselin, S., P. Maupin et M.C. Boivin, 1998. *Apport du capteur hyperspectral AISA à la cartographie des populations d'Ambrosia artemisiifolia de l'île de Montréal. Étude de validation*. Montréal, Direction de la santé publique de Montréal-Centre. 30 p.
- Bachand, S. (avec la collaboration de Claudine Christin). 1996. *Herbe à poux : guide de gestion et nouvelles méthodes de contrôle*. Montréal : Régie régionale de la santé et des services sociaux de Montréal-Centre, 202 p.
- Benzécri, J.-P. et F. Benzécri, 1984. *Pratique de l'Analyse de données*. Dunod (Paris), 456 pages.
- Collins, L. 1990. "La distribution de l'herbe à poux sur l'île de Montréal". *Bulletin de la Société d'animation du jardin et de l'Institut botanique de Montréal : Quatre-temps* : 14(3) : pp. 22-25.
- Collins, L. 1990. "La campagne d'éradication de l'herbe à poux en Gaspésie". *Bulletin de la Société d'animation du jardin et de l'Institut botanique de Montréal : Quatre-temps*, vol. 14, no 3, pp. 25-27.
- Comtois, P. et L. Gagnon, 1990. "La biologie du pollen de l'herbe à poux". *Bulletin de la Société d'animation du jardin et de l'Institut botanique de Montréal : Quatre-temps*, vol. 14(3) : pp. 10-14.
- CUM (Communauté Urbaine de Montréal). 1998. *Rapport annuel de la qualité de l'air*. Montréal : Service de l'environnement, assainissement de l'air et de l'eau, pp. 49-52.
- CUM (Communauté Urbaine de Montréal). 1997. *Rapport annuel de la qualité de l'air*. Montréal : Service de l'environnement, assainissement de l'air et de l'eau, pp. 49-53.
- CUM (Communauté Urbaine de Montréal). 1994. *Suggestions sur les différentes manières de contrôler et d'éliminer l'herbe à poux*. Montréal : CUM, Services de l'approvisionnement, 2 p.
- Maupin, P. 1997. *Apport des images satellitales à la détection et l'identification du changement spatial en régions urbaine et périurbaine : Élaboration d'une méthode*. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal, 96 p.
- Maupin, P. 1996. *Contribution of mathematical morphology and fuzzy logic to the detection of spatial change in an urbanised area : Towards a greater integration of image to Geographical Information Systems*. École Nationale Supérieure des Télécommunications de Bretagne (document non publié), 3 pages.

Vincent, G. 1990. "La petite herbe à poux : la conquête du territoire". Bulletin de la Société d'animation du jardin et de l'Institut botanique de Montréal, *Quatre-temps* : 14(3) : pp. 3-9.

Vincent, G., S. Deslauriers et D. Cloutier, 1992. "Problématique et répression d'*Ambrosia artemisiifolia* L. au Québec en milieux urbain et péri-urbain". *Allergie et Immunologie*, vol. 24(33) : pp. 84-89.



RÉGIE RÉGIONALE
DE LA SANTÉ ET DES
SERVICES SOCIAUX
DE MONTRÉAL-CENTRE

BON DE COMMANDE

QUANTITÉ	TITRE DE LA PUBLICATION	PRIX UNITAIRE (tous frais inclus)	TOTAL
	Reconnaissance des populations d'<i>Ambrosia Artemisiifolia</i> sur l'île de Montréal à l'aide d'un capteur hyperspectral	10\$	
	Étude des propriétés spectrales et de l'écologie végétale		
	NUMÉRO D'ISBN OU D'ISSN		
	2-89494-287-7		

DESTINATAIRE

Nom

Organisme

Adresse

No

Rue

App.

Ville

Code postal

Téléphone

Télécopieur

**Les commandes sont payables à l'avance par chèque ou mandat-poste à l'ordre de la
Direction de la santé publique de Montréal-Centre**

Pour information : (514) 528-2400, poste 3646.

Retourner à l'adresse suivante :

Centre de documentation
Direction de la santé publique de Montréal-Centre
1301, rue Sherbrooke Est
Montréal (Québec) H2L 1M3
http://www.santepub_mtl.qc.ca

**DIRECTION
DE LA SANTÉ
PUBLIQUE**

*Garder notre
monde en santé*

