

La végétation et la couverture terrestre du Canada: un jeu de données rastrées et vectorielles pour les applications de SIG – Utilisations dans le domaine de l'agriculture

Stefan Palko et Louiselle St-Laurent
Division des SIG
Géomatique Canada
Ressources naturelles Canada
615 rue Booth, Ottawa, K1A 0E9, Canada
Tél. : 613-996-2812
Fax : 613-952-0916

Courriel : palko@cc2smtp.emr.ca, Louiselle.St-Laurent@geocan.nrcan.gc.ca

Ted Huffman et Eric Unrau
Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada
Ferme expérimentale centrale, Ottawa, Ontario
Tél. : 613-957-4347, x7837
Fax : 613-996-0646
Courriel : huffmant@ncccot.agr.ca

Résumé

Cet article se veut le suivi d'une présentation intitulée «*Canada's New, Seamless Forest Cover Data Base*» lors de cette conférence en 1993. On y décrit les étapes finales de la préparation du jeu de données complet sur la végétation et la couverture terrestre pour le Canada, la transformation du produit rastré au format vectoriel, l'intégration du jeu de données dans les systèmes d'information géographiques (SIG) ainsi que les limites des applications des SIG.

On a obtenu le jeu de données au moyen du radiomètre perfectionné à très haut pouvoir de résolution (AVHRR) exploité à bord des satellites de la United States National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) et qui offre une résolution de 1,1 km. Le jeu de données sur la végétation et la couverture terrestre comprend douze catégories, toutes interprétées à partir de l'imagerie de l'AVHRR. Dans cet article on aborde la classification de la végétation et de la couverture terrestre, la conversion des données du format rastré au format vectoriel, qui les rend plus facilement intégrables par les SIG, la généralisation de la présentation cartographique en plus de fournir un exemple d'utilisation lors d'un nouveau traitement des données du Recensement de l'agriculture dans un cadre biophysique (Pédopaysages du Canada) pour l'évaluation de la qualité des sols.

1.0 Introduction

Alors que les systèmes d'information géographiques sont de plus en plus utilisés, la disponibilité en temps opportun de données spatiales à jour en format numérique est de plus en plus nécessaire pour en couronner de succès l'utilisation. L'utilisateur s'attend à ce que ce besoin soit facilement satisfait. Les images satellites, combinées avec l'augmentation de la capacité de traitement des systèmes d'analyse d'images actuels ont rendu possible la création de jeux de données cohérents révélant des connaissances nouvelles que ne permettaient pas d'acquérir la technologie antérieure. On a utilisé les données de l'AVHRR de la NOAA à une résolution de 1,1 km pour produire un tel jeu de données : La végétation et la couverture terrestre du Canada.

Les travaux initiaux dans le cadre de ce projet ont été décrits lors de la conférence sur les SIG de 1993 (Palko et coll., 1993). Depuis, on a complété le jeu de données qui a été publié sous forme de la Carte de la couverture végétale dans la 5^e édition de l'Atlas national du Canada (EMR Canada, 1993). Le jeu de données rastrées a été converti en données vectorielles compatibles avec les SIG et a été utilisé dans plusieurs applications surtout avec des SIG. En se basant sur ces applications récentes, il a été possible d'évaluer le jeu de données, d'identifier ses avantages et ses limites ainsi que des caractéristiques souhaitables dans des versions ultérieures. L'évaluation décrite dans cet article est basée sur des applications du jeu de données dans un nouveau traitement des données du Recensement de l'agriculture dans un cadre biophysique pour l'évaluation de la qualité des sols (Pédo-paysages du Canada). On a choisi cette évaluation parce qu'elle illustre un exemple typique d'utilisation de produits dérivés d'images-satellites dans des applications de SIG.

2.0 Création du jeu de données sur la végétation et la couverture terrestre

Le jeu de données sur la végétation et la couverture terrestre a été créé à partir d'images de l'AVHRR de la NOAA (Palko et coll., 1993). On a choisi environ 45 images prises pendant un intervalle de plusieurs années (couvertures estivales de 1988 à 1991) pour produire une image composite sans nuage de la totalité du pays qui conviendrait à des fins de classification et d'interprétation. Plus précisément, l'image composite a été créée en combinant les canaux du rouge et du proche infrarouge. On a classifié l'image avec une combinaison de modes de classification (dirigée, automatisée, «maximum de vraisemblance» et manuelle).

On a ensuite filtré les images classifiées afin de réduire le bruit visuel. Généralement, on a conservé des surfaces minimums de 4 pixels contigus (les exceptions consistaient en cas où des îlots isolés d'une classe ont été retenus s'ils étaient situés à une distance de plus de 7 pixels à l'intérieur de la limite d'un polygone plus étendu de classe différente). On a fait une mise en forme manuelle afin de compléter les méthodes automatisées et d'incorporer des changements issus du processus de révision et de vérification. On a assemblé numériquement le jeu de données final en fusionnant les données d'images interprétées, en format rastré, avec des composantes choisies de la carte de base de l'Atlas national, en format vectoriel.

2.1 Classes de végétation et de couverture terrestre

Les classes de couverture que comprend ce jeu de données ont été retenues après avoir soigneusement tenu compte des défis d'analyse et de classification d'images inhérents à la cartographie d'une région aussi étendue et diversifiée. Il n'a pas été possible de différencier les terres humides. En outre, la zonation de la végétation arctique est mal représentée ce qui fait en sorte que les régions dominées par la végétation arborescente basse, par les arbustes nains rampants et par les herbages apparaissent dans la même classe (Edlund, 1990). De plus, les valeurs de la réflectance n'étaient pas assez distinctes pour permettre de différencier les étendues sans végétation aucune (terres stériles) de celles occupées par un couvert végétal ligneux épars ou d'herbes et de plantes non vasculaires (lichens et mousses). Même certaines étendues couvertes par une végétation presque continue dominée par des communautés de lichens ont été classées dans ce même groupe. Bien que l'approche retenue ait permis de délimiter les principales régions agricoles, un grand nombre de régions dispersées n'ont pu être identifiées. On s'attend à ce que le perfectionnement des méthodes de classification permette une amélioration de l'exactitude de l'interprétation. L'exactitude suivant l'horizontale de la position des données numériques est de l'ordre de 1 à 4 km. La répartition

des catégories de végétation et de couverture terrestre pour la masse continentale du Canada est illustrée à la figure 1.

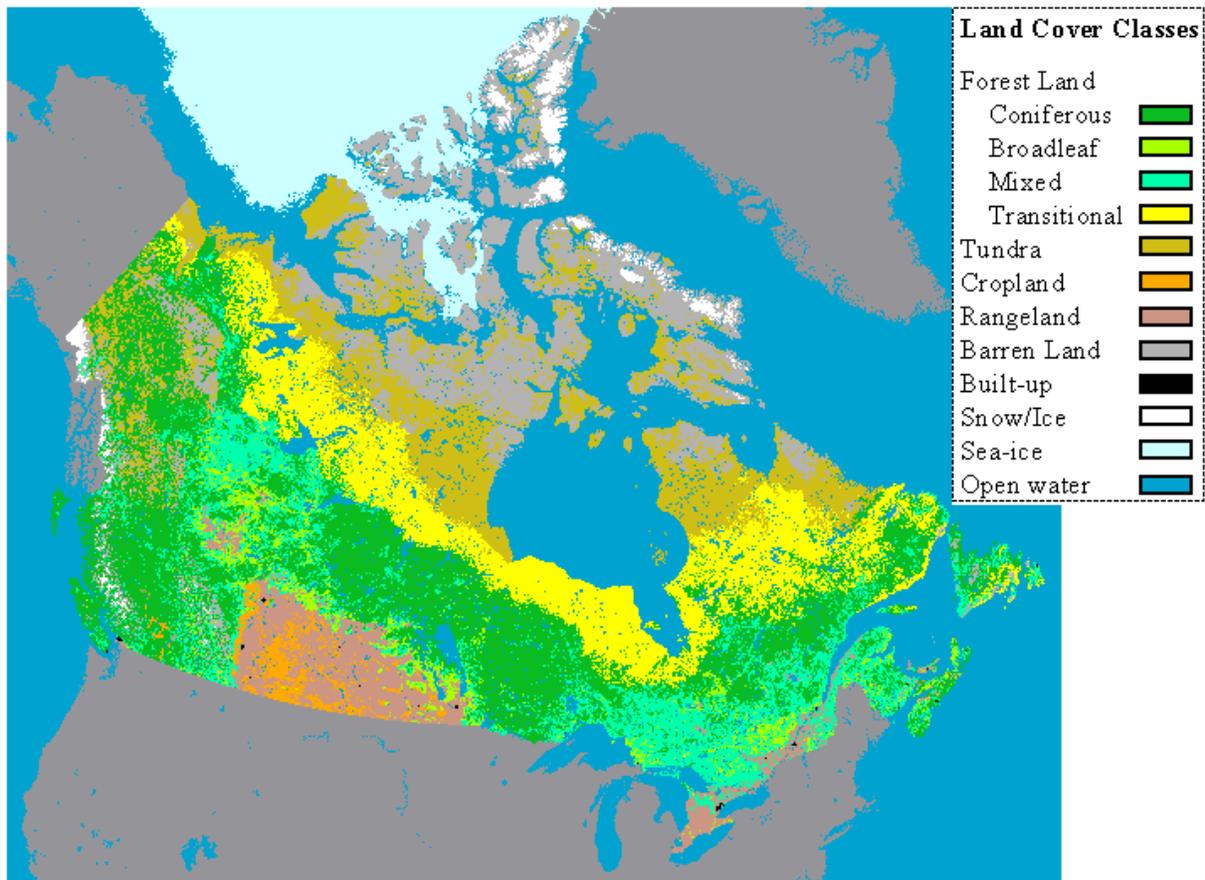


Figure 1. Distribution of vegetation and land cover categories over Canada.

Figure 1. Répartition des catégories de végétation et de couverture terrestre au Canada

Classes de couverture terrestre

Forêts

de conifères

de feuillus

mixtes

de transition

Toundra

Terres agricoles

Pâturages libres

Terres stériles

Agglomérations

Neige/glace

Glace de mer

Eau libre

On présente une courte description, la classification et une définition pour chacune des catégories dans la liste suivante (tableau 1).

Couvert végétal dominant	Classe	Définition
	Forêts	Étendue sur laquelle le couvert végétal dominant se compose d'arbres dont les cimes occupent 10 % de la superficie ou plus. Englobe les étendues dans lesquelles les arbres sont rabougris en raison des conditions de croissance à l'emplacement ou de perturbations non détectables et celles où les arbres sont temporairement absents.
	Forêt continue	Type de couverture terrestre dans lequel la forêt occupe plus de 50% de la superficie.
Arbres	• Forêt de conifères	Forêt continue dans laquelle de 76 à 100% de la voûte de verdure se compose de conifères.
	• Forêt de feuillus	Forêt continue dans laquelle de 76 à 100% de la voûte de verdure se compose de feuillus.
	• Forêt mixte	Forêt continue dans laquelle de 26 à 75% de la voûte de verdure se compose de conifères ou de feuillus.
Arbres/arbustes/ herbes/ non vasculaires*	• Forêt de transition	Regroupement de classes de couverture terrestre dans laquelle un couvert arboré est perceptible, mais où la forêt occupe moins de 50 % de la superficie.
Arbustes/herbes/ non vasculaires*	• Toundra	Végétation arctique ou alpine basse constituant un couvert perceptible. Bien que généralement au-delà de la limite de la végétation arborescente, on peut trouver dans la toundra des plantes ligneuses basses (arbustes de la famille des éricacées, saules, etc.) et des bouquets d'arbres rabougris.
	Terres agricoles	
Cultivées	• Cultures	Terres labourables en culture ou en jachère, parcs à fourrage, vergers, vignobles, pépinières, plantations abris et cultures en couloir.
Non cultivées (Arbustes/herbes)	• Pâturages libres et pâturages	Terres portant une végétation indigène, des arbustes, des herbes et autres couverts herbacés comportant moins de 10 % de couvert arboré. Comprend les terres défrichées consacrées à la production de fourrage ainsi que les prairies dans les hautes terres et les basses terres.
	Terrain sans végétation	
	• Glace ou neige permanentes	Champs de neige pérenne et glaciers.
	• Terres stériles	Terres dépourvues de couverture végétale perceptible. Peuvent englober le sable, la roche, le sol dénudé et les exploitations minières à ciel ouvert.
Aucune végétation	• Agglomérations	Cités et villes d'une taille suffisante pour être représentables à l'échelle de cartographie.
	Eau/Glace de mer	
	• Eau libre	
	• Couverture minimale de glace de mer	

*Plantes n'ayant pas de système vasculaire interne (p. ex. mousses, lichens)

Tableau 1. Description des classes de végétation et de couverture de terrestre.

3.0 Conversion des données du format rastré au format vectoriel et généralisation

La conversion de la couverture végétale du Canada en produit vectoriel était nécessaire pour une intégration complète de la télédétection aux SIG. Les possibilités d'utilisation des produits de télédétection dans les logiciels de SIG se sont améliorées ces dernières années, passant du simple affichage en arrière plan d'une image acquise par télédétection à l'exécution de calculs entre le produit de télédétection et l'information de la base de données de SIG. Les calculs entre les images et la base de données du SIG sont basés sur les capacités des logiciels de SIG à traiter les données tant du domaine rastré que du domaine vectoriel. Actuellement, les logiciels existants de SIG ne permettent pas de calculs directs entre les structures rastrée et matricielle, la majorité des logiciels acquis par les utilisateurs se limitant aux analyses dans l'un des domaines seulement. Les SIG basé sur le matriciel (raster) sont couramment préférés dans les applications pour lesquelles la télédétection est la principale source de données pour des variables. Cependant, pour les logiciels basés sur le vectoriel, une intégration complète n'est possible que lorsque les produits de télédétection sont vectorisés. Pour mettre le jeu de données sur la couverture végétale à la disposition des utilisateurs de systèmes basés sur le vectoriel, le jeu de données rastrées a été converti en un produit vectoriel.

3.1 Conversion de données rastrées en données vectorielles

La conversion de rastrées à vectorielles pose un problème classique en technologies graphiques. Un grand nombre de programmes pour ce faire ont été mis au point, incluant des progiciels de vectorisation semi-automatisée. Pour les cartes d'éléments aéroliers ou les images thématiques, la conversion s'effectue habituellement en générant un trait entre des pixels adjacents de valeurs différentes représentant la limite entre deux surfaces rastrées. Les coordonnées de ce trait peuvent être générées en relevant la position de l'angle de chaque pixel limite (figure 2a), ce qui produit un trait constitué de segments horizontaux et verticaux (le problème de la figure en escalier), ou bien elles peuvent être approximées en une position représentant la tendance que prend la limite entre les pixels limites avoisinants. Cette dernière approche fournit une représentation avec courbes plus adoucies (figure 2b).

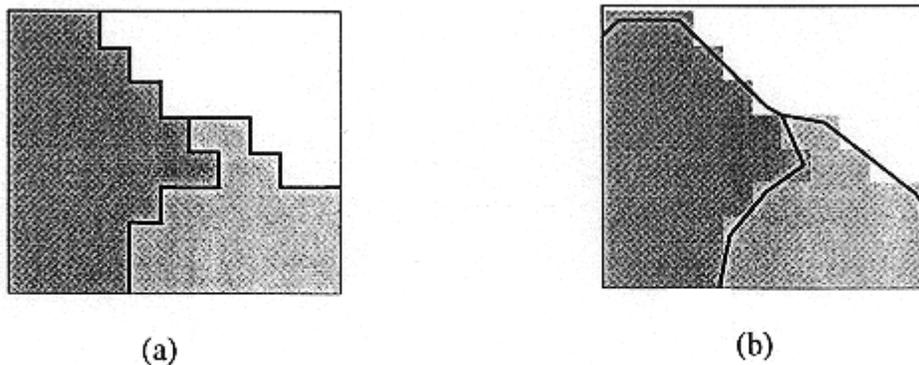


Figure 2. Conversion rastrée à vectorielle

- a) Effet de figure en escalier
- b) Lissage avec vectorisation par recherche prospective sur deux pixels

Les polygones générées sont ensuite structurées en une topologie de polygones et codées suivant les valeurs thématiques rastrées. La conversion de données rastrées en données

vectérielles peut accroître la taille du jeu de données en raison d'une complexité accrue des données thématiques. L'algorithme a été mis en œuvre dans certains logiciels commerciaux de SIG, mais ces logiciels comportent des limites quant à la possibilité de traitement de grands jeux de données. La méthodologie appliquée pour transformer le jeu de données rastrées sur la végétation fait intervenir un algorithme à recherche prospective sur deux pixels faisant passer la polyligne résultante du «bon» côté du centre du pixel (EPS Technologies Inc.). Pour la conversion du jeu de données rastrées sur la végétation, toute la puissance du logiciel haut de gamme disponible a été exploitée. La conversion visait à reproduire un jeu de données vectorielles dans lequel serait intégralement maintenue la répartition spatiale des classes originales de données rastrées. La procédure comportait les étapes ci-après.

- A. Transformation automatique des données rastrées en vecteurs lissés.
- B. Mise en forme interactive pour la correction des polygones étroits allongés.
- C. Élaboration de la topologie en polygones avec création de points dans les polygones.
- D. Superposition des polygones vectoriels sur la couverture rastrée originale pour l'attribution aux polygones des codes correspondant aux classes de valeurs de la végétation..
- E. Vérification des codes des polygones par retransformation du jeu de données vectorielles en représentation rastrée, suivie d'un calcul de différences entre les codes de classes de végétation des versions rastrées générée et d'origine.

Lors de la transformation automatique de l'étape A, les entités représentées par des étendues d'une largeur d'un pixel produiraient des polygones discontinus aux endroits où ces pixels seraient disposés diagonalement pour ne se toucher que par les angles. Dans le cas d'entités comme les cours d'eau ou les indentations côtières, ces polygones ont été reliés et validés par comparaison avec des données hydrographiques numériques existantes. Le processus de vérification (étape E) a permis de démontrer l'intégrité du produit vectoriel en ce qui a trait à la représentation de la couverture rastrée d'origine.

Le résultat de la conversion rastrées à vectorielles est un jeu de données dont la taille a été multipliée par un facteur de quatre et atteint approximativement 100 mégaoctets, ce qui est généralement trop gros pour pouvoir être traité par la plupart des utilisateurs. Cependant, pendant le processus, le jeu de données a été séparé en parties d'après sur un schéma de pavage faisant intervenir les limites politiques du pays. Les données numériques du SIAN (limites politiques et hydrographie) à l'échelle de 1/2 000 000 ont été utilisées pour la séparation. Les bords de chaque partie du jeu de données ont été mis en correspondance afin de permettre de régénérer une couverture sans joint.

Dans le cadre du processus de transformation il a été possible de dériver une évaluation du produit sur le couvert végétal basée sur l'hydrographie et le trait de côte existants à l'échelle de 1/2 000 000. La comparaison des deux jeux révèle une exactitude relative de l'ordre de 1 km. Cependant, à la bordure du jeu de données, sur les littoraux oriental et occidental, des différences pouvant atteindre jusqu'à 4 km sont observées, les bords éloignés se situant à la limite de la portée sur l'imagerie initiale de la NOAA.

3.2 Généralisation

La taille imposante du produit vectoriel généré ne permet que d'en utiliser des parties seulement dans les applications analytiques de SIG à l'échelle continentale. Pour les représentations cartographiques à très petite échelle (1/7 500 000), la quantité de données est trop grande pour que les logiciels existants puissent les traiter comme un tout. La généralisation devient nécessaire. Au moyen des fonctionnalités des logiciels de SIG existants, le produit vectoriel a été généralisé à une plus petite échelle par simple élimination de polygones en fonction de leur superficie. À une échelle de 1/7 500 000, l'élimination de toutes les étendues de moins de 50 kilomètres carrés réduit par un facteur de 10 la taille du jeu de données ainsi que le nombre de polygones. Cette méthode simple permet néanmoins de respecter la distribution relative des catégories thématiques pour la représentation cartographique et produit un jeu de données pouvant être traité sous forme d'une couverture unique pour l'ensemble du pays.

4.0 Applications nationales en agriculture

Le produit vectoriel sur la végétation du Canada s'est avéré utile pour la démonstration de l'intégration de la télédétection aux SIG ainsi que pour étendre le domaine d'application de la couverture. Dans le cadre d'une application en particulier, la carte vectorielle a été utilisée par le Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques (CRTRB) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada comme «filtre» lors de l'intégration des données du «Recensement de l'agriculture» de Statistique Canada (Statistique Canada, 1992) aux polygones de Pédopaysages du Canada (PPC) (Shields et coll., 1991).

Le CRTRB travaille actuellement à l'élaboration et à la documentation d'«indicateurs agro-environnementaux» visant spécifiquement la qualité de la ressource (sols) (McRae et coll., 1994). Pour plusieurs de ces indicateurs, comme la couverture du sol et la gestion des terres, on trouve des données considérablement utiles dans le recensement, mais la plus petite unité pour laquelle on recueille les données est le secteur de dénombrement (SD). Un SD comprend de manière caractéristique entre 20 et 100 fermes et, en raison de dispositions reliées à la confidentialité des données, celles-ci ne sont généralement pas davantage ventilées. En outre, les limites des SD correspondent généralement à celles d'entités culturelles comme les municipalités et ne sont aucunement reliées aux types de sols ou de végétation.

Afin de «réorganiser» la stratification spatiale des PPC, nous avons effectué un recouplement des polygones de SD avec ceux des PPC et réparti les données en fonction de la superficie. Cependant, une répartition des données d'après la superficie totale sans égard à la distribution spatiale des terres agricoles à l'intérieur des PPC, et d'un PPC à un autre, était jugée inadéquate. La carte vectorisée de la Végétation et de la couverture terrestre a été utilisée pour déterminer quelles parties des SD recoupaient quelles parties agricoles des PPC.

5.0 Limites de la carte de la couverture végétale

La carte vectorisée de la couverture végétale s'est avérée particulièrement utile pour répartir les données des SD le long de la limite entre les parties «agricoles» et les parties «boisées» du pays (c.-à-d. à la «périphérie» de l'étendue cultivée). Dans ces régions, les PPC tendent à refléter l'effet de «périphérie» puisqu'ils présentent une nette séparation en parties agricoles et non agricoles. Les données sur les fermes d'un SD chevauchant cette région ont été réparties adéquatement dans le SD en fonction de sa superficie cultivée. Bien que cette situation ait été celle de toutes les régions périphériques, elle était particulièrement importante dans des régions comme celle de la Rivière-à-la Paix en Alberta et en Colombie-Britannique, celle des lacs au Manitoba et celle de la vallée de la rivière Saint-Jean au Nouveau-Brunswick.

Des limites d'utilisation de la carte de la couverture végétale sont cependant devenues apparentes à l'intérieur des grandes régions désignées «forêts» ou «terres agricoles». Dans le cas de la région forestière, notre base de données sur les SD indiquait l'existence d'un nombre considérable de fermes et de terres agricoles dans des régions où la carte des couverts végétaux n'indiquait aucun couvert agricole. Cela est particulièrement perceptible dans la partie septentrionale de l'intérieur de la Colombie-Britannique, dans la région de la zone argileuse en Ontario et au Québec, dans les Cantons de l'Est et la vallée du Saint-Laurent au Québec ainsi que dans la région de Fredericton au Nouveau-Brunswick (figure 3).

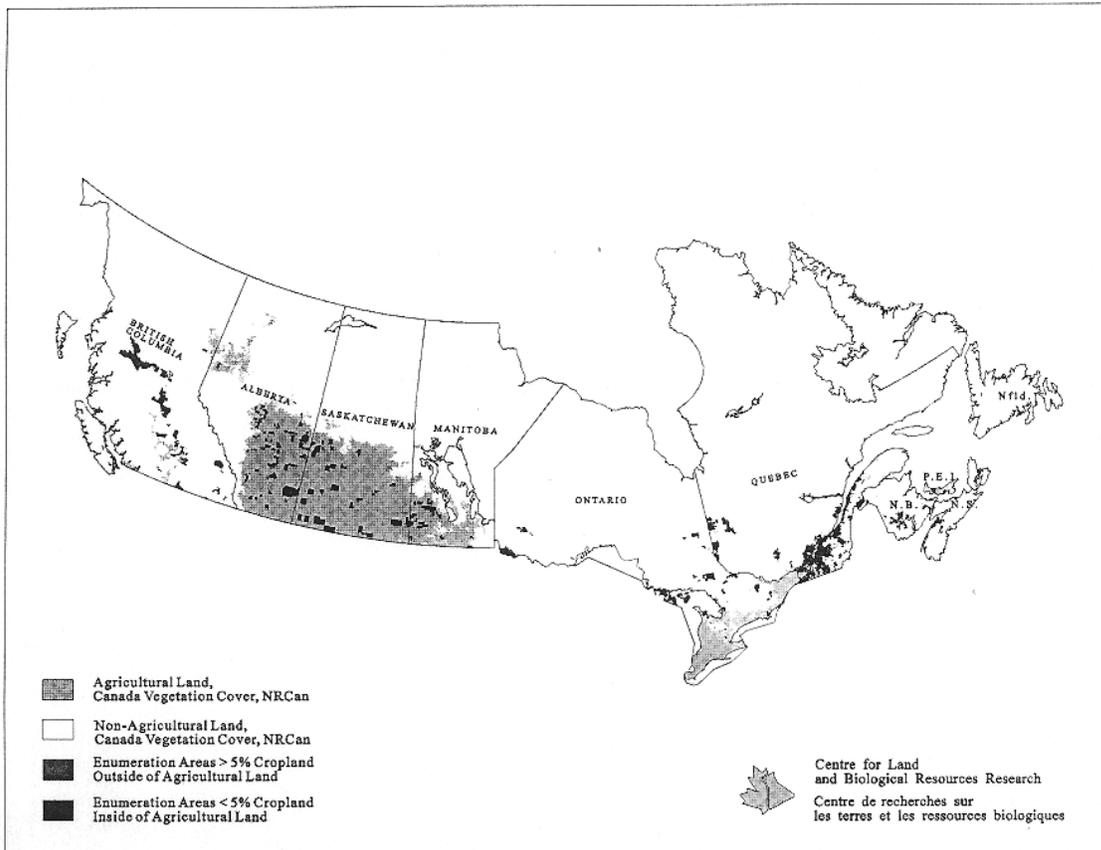


Fig. 3 Distribution of Agricultural Lands in Canada

Figure 3 Répartition des terres agricoles au Canada

Terres agricoles,
Canada - Couverture végétale, RNCan

Terres non agricoles,
Canada - Couverture végétale, RNCan

Secteur de dénombrement où > 5 % des cultures se situent à l'extérieur des terres agricoles

Secteur de dénombrement où < 5 % des cultures se situent à l'intérieur des terres agricoles

Semblablement, un certain nombre de SD présentant une faible proportion de terres agricoles ont été identifiés à l'intérieur de grandes étendues présentant un couvert végétal agricole homogène (figure 3), principalement près de Milk River et de Brooks en Alberta ainsi que dans les «Badlands» du sud de la Saskatchewan.

Ces limites pourraient avoir deux causes; ou bien nous avons tenté d'utiliser la carte des couverts végétaux à une échelle que ne permet pas sa résolution, ou bien la carte comporte des incompatibilités au niveau de la classification. Nous suggérons que les deux facteurs interviennent; les erreurs par omission (du point de vue de l'agriculture) résultent principalement du fait qu'il existe de petites étendues cultivées dans un paysage par ailleurs principalement forestier et les erreurs commises résultent du fait que la prairie à graminées courtes qui ne consiste pas en terres agricoles a été classée comme «pâturages libres». Alors que le premier de ces facteurs constitue un problème technique pour la solution duquel nous présentons des recommandations dans la section ci-après, le deuxième est lié à un problème de sémantique puisque l'expression «pâturages libres et pâturages» est présentée comme une expression désignant un type de couverture terrestre alors qu'elle désigne davantage une utilisation des terres.

6.0 Considérations liées à l'utilisation du jeu de données et aux futures mises à jour

Plusieurs recommandations peuvent être formulées quant aux limites observées du jeu de données. La première est à l'effet que la carte soit (surtout en version électronique) accompagnée d'une note explicite concernant la résolution spatiale plutôt que de s'en remettre à un exposé général sur les sources et la méthodologie pour transmettre cette information. Semblablement, les incompatibilités au niveau de la nomenclature des prairies devraient être soulignées.

Notre deuxième commentaire porte sur les futures mises à jour; il est à cet égard suggéré d'examiner une catégorie «pixels mixtes» afin de déterminer s'il est possible d'identifier des régions où il existe des mélanges complexes de terres cultivées et de forêts.

Troisièmement, en ce qui a trait à une carte «nationale de la couverture végétale», nous suggérons que notre utilisation et notre analyse puissent servir à identifier des régions où une source différente d'imagerie pourrait être utilisée. En identifiant des régions «cibles» de mélanges spatiaux, il devient réaliste d'un point de vue économique d'envisager l'utilisation d'imageries comme celles de l'ACT du Landsat ou du SPOT pour mettre à jour le produit dérivé de l'AVHRR.

Enfin, l'utilisation d'une couverture pluriannuelle (imageries estivales de 1988 à 1991) découlait de la disponibilité des données au moment de la production du jeu de données. À l'époque du lancement de ce projet en 1988, l'imagerie de l'AVHRR de la NOAA ne couvrait qu'une partie du Canada; une bonne partie du Yukon et les Territoires du Nord-Ouest n'étaient pas couverts. En conséquence, bien que des dispositions aient été prises pour obtenir la partie septentrionale manquante de la couverture pendant les étés de 1990 et de 1991, le projet allait de l'avant pour la cartographie du reste du Canada d'après la couverture existante antérieure à 1990. L'expérience acquise pendant le projet indique qu'il est tout à fait possible de générer des jeux de données similaires à partir d'une seule période estivale. En outre, les capacités de traitement se sont améliorées au point où il devient réaliste d'envisager un cycle de courte durée pour la production d'un nouveau jeu de données.

7.0 Résumé et conclusion

Le projet de cartographie de la végétation et de la couverture terrestre du Canada a fourni une bonne occasion d'expérimenter l'application des technologies de pointe en télédétection et en SIG. Pour la cartographie de catégories de végétation et de couverture terrestre l'imagerie de l'AVHRR de la NOAA a permis d'obtenir une nouvelle génération de données à l'échelle sub-continentale directement à partir des images acquises depuis des plates-formes spatiales. Celles-ci se sont avérées une viable solution de remplacement de sources de données antérieures comme les photographies aériennes à grande échelle et l'imagerie LANDSAT ou de sources de données secondaires basées sur des observations au sol. Par la fusion du produit obtenu à partir de l'AVHRR de la NOAA avec un SIG, le projet a permis de faire la démonstration de solutions pratiques pour la conversion de données de télédétection rastrées en données vectorielles à introduire dans les SIG.

Bien que l'intégration de la télédétection aux SIG s'effectue en général tout autant avec des imageries à petites et à grandes échelles (c.-à-d. AVHRR de la NOAA et LANDSAT), les méthodologies appliquées à la délimitation de catégories de couvert sont spécifiques à l'imagerie de l'AVHRR de la NOAA.

Les avantages que présentent les méthodologies de création d'images composites ainsi que d'analyse et de classification d'images sont l'obtention d'un jeu de données cohérent pour une grande étendue et pour une courte durée, une procédure d'analyse uniforme et l'intervalle relativement court qui est nécessaire pour la génération du jeu de données. Les applications existantes, comme celle décrite dans le présent article, ont clairement démontré l'utilité des

données et ont aidé à identifier des régions sur lesquelles doivent porter les améliorations de futures mises à jour. Des applications possibles sont manifestes en surveillance de l'environnement à l'échelle planétaire, en gestion des ressources et en création de diverses perspectives continentales et sub-continentales. Les limites de cette approche ont trait au niveau d'exactitude des données (résolution cellulaire maximale de 1 km) et au nombre restreint de catégories de couverture identifiées.

8.0 Bibliographie

Canada, Énergie, mines et ressources Canada. 1993. Canada – Couverture végétale. L'Atlas national du Canada, 5^e édition. Échelle de la carte 1/7 500 000. Ottawa.

Canada, Environnement Canada. 1990. Le système canadien de classification de la végétation : première approximation. Groupe de travail national écologique du territoire. Édité par W. L. Strong, E. T. Oswald et D. J. Downing. Série de la classification écologique du territoire n^o 25. Ottawa.

EPS Technologies Inc, 1992, Conversion of Surface to Vector, PAMAP GIS Software Manual, Victoria.

McRae, T., T. Huffman, J. Culley, D. Trant, J. Dumanski, B. Harron, C. de Kimpe. 1994. Using indicators to assess the health of Canadian agroecosystems. Affiche, First International Conference on Agroecosystem Health, Ottawa, Canada.

Palko, S., Lowe, J. J., Pokrant, H. T. 1993. Canada's New Seamless Forest Cover Data Base. Proceedings, GIS'93 Symposium, Vancouver, February 1993.

Pokrant, H. T., Palko, S. et Lowe, J. J. 1991. The Use of Remote Sensing in Producing the National Atlas of Canada. Actes du Séminaire sur les SIG du ministère des Richesses naturelles et Association canadienne des sciences géomatiques Proceedings, Toronto, novembre, 1991.

Shields, J.A., C.Tarnocai, K.W.G.Valentine et K.B.MacDonald. 1991. Pédopaysages du Canada : guide de l'utilisateur. Contribution n^o 88-29 du CRL. Agriculture Canada. Ottawa.

Statistique Canada. 1992. Recensement de l'agriculture de 1991, Catalogue des produits et services 92-303. Division de l'agriculture, Statistique Canada. Ottawa.