

ÉVOLUTION SAISONNIÈRE ET INTER-ANNUELLE DE LA SIGNATURE SPECTRALE EN MILIEU
FORESTIER À PARTIR DE DOCUMENTS LANDSAT

^{égave} R. /Chaume¹ et ^{Mre} A. /Combeau¹

RÉSUMÉ

À partir des données numériques de 15 scènes LANDSAT sur un même secteur géographique, les auteurs définissent les signatures spectrales de deux milieux forestiers distincts: une futaie de chênes-hêtres et une futaie de pins sylvestres et ils étudient la variation saisonnière de ces signatures. Ils tentent d'interpréter cette variabilité en fonction de la date de saisie des données, donc de la hauteur du soleil et de l'état phénologique du couvert végétal.

L'amplitude des variations saisonnières des luminances est précisée, ainsi que les modalités particulières de l'évolution sur certains canaux ou entre les deux thèmes.

Les auteurs étudient également les rapports de luminance intercanaux (5 et 7 en particulier) et leur évolution dans le temps.

SEASONAL AND INTERANNUAL EVALUATION OF THE SPECTRAL SIGNATURE IN FOREST
ENVIRONMENTS USING LANDSAT

ABSTRACT

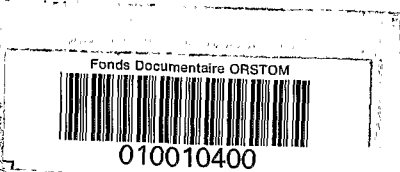
Using digital data from 15 LANDSAT scenes of the same geographic sector, the spectral signatures of two distinct forest environments: an oak-beech grove and a Scotch pine stand are defined. The seasonal variations of these signatures are also studied. An attempt to interpret these variations on the basis of the dates on which the data were collected, that is, on the basis of the varying heights of the sun and phenological state of the plant cover, is made.

The magnitude of the seasonal variations in luminance is determined, as are the time variations of conditions observed on certain channels and mixed themes.

The interchannel luminance ratios (for channels 5 and 7 in particular) and their variations in time were also studied.

Office de la Recherche Scientifique et Outre-Mer, 70 Route D'Aulnay, - 93140 -
BONDY, - France

631



Fonds Documentaire ORSTOM
Cote: Bx10 400 Ex: 1

L'interprétation des résultats fournis par la télédétection soulève, entre autres difficultés, celles imputables à la variation des valeurs de la luminance selon la date de saisie des données. La hauteur du soleil à l'instant précis de cette saisie varie tout au long de l'année, et cette cause de variabilité se superpose naturellement aux autres, au premier rang desquelles figurent les variations de la nature et de l'extension du couvert végétal, naturel ou non, et les perturbations subies par la surface du sol.

Il a semblé intéressant d'essayer de caractériser les modalités de l'évolution saisonnière de la signature spectrale de quelques milieux végétaux pérennes, en comparant les données recueillies sur ces milieux par le satellite LANDSAT à des dates différentes. Dans ce but, deux milieux forestiers différents de la région parisienne, une forêt feuillue à chênes et hêtres, et une forêt résineuse à pins sylvestres ont été sélectionnées pour servir de point d'appui à ces mesures.

Cette publication présente les résultats de la comparaison et tente d'interpréter les facteurs des variations enregistrées.

LES MILIEUX ETUDIES

Les secteurs sur lesquels s'appuie cette étude sont localisés dans la forêt d'Ermenonville, qui est située à une trentaine de kilomètres au NNE de Paris. L'objectif était de

bien définir dans chaque cas un périmètre de référence caractéristique, parfaitement repérable sur les images LANDSAT, aussi homogène que possible, et de superficie constante, afin que les résultats soient effectivement comparables. La forêt d'Ermenonville comporte, schématiquement, deux types de formations boisées: un taillis sous futaie feuillue à chênes et hêtres sur les sols les moins acides, une forêt résineuse à pins sylvestres sur des sables podzolisés.

Deux périmètres d'observation ont été définis dans des parcelles relativement homogènes et facilement repérables, l'un dans la futaie feuillue de Borest (17 colonnes x 9 lignes), l'autre dans un perchis résineux de la Butte des Gens d'Armes (12 colonnes x 13 lignes). Ces deux périmètres couvrent donc des superficies très voisines (156 et 153 pixels, soit environ 60 ha). Toutes les mesures ont été effectuées sur ces 2 périmètres.

LES METHODES UTILISEES

Pour exécuter ce travail, il fallait tout d'abord disposer d'un maximum de données recueillies aux diverses saisons. Compte-tenu des conditions climatiques de la région parisienne, le nombre des observations de bonne qualité pour la période 1975-1981 est relativement restreint: nous avons pu sélectionner 15 dates d'observation convenablement exploitables, mais plus ou moins régulièrement réparties au cours de l'année, ce qui entraîne

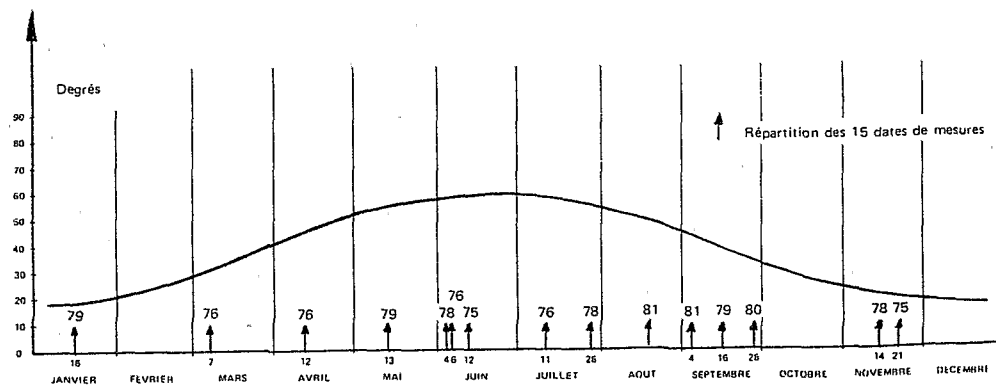


Figure 1 - Hauteur du soleil à 11,15 h locale (10h15 TU) à Paris.

des lacunes re
octobre, décem
niveau de loca
des données et
hauteur du soi

Le fait c
des sur plusi
nante à la foi
tages: il imp
per que les c
satellites c
act les capte
type, mais dou
tre pas rigo:
ant que cette
en rôle impor
ates voisine
rentes, seron
ditions météo
dans une cert
climat de la
tion des donn
fiabilité int
tante.

Ceci ét
difficultés, il
sées brutes t
le Centre de
afin de se pl
telles de tou

Les dor
des magnétiq
cran cathodic
les périmètre
rent à partir
que périmètre
marqueur mob:
'obtenir tr.
zone cernée
'est à part
éfinis les
valeurs de l
te, médiane,

Variations

Les r
étude peuv
sensiblemen
ou globalem
qui est ado
tes de plac

imètre de
nt rept-
homogène
ante, afin
nt compa-
porte, sché-
s boisées
ènes et
, une lon-
des sables

ont été
ent homo-
dans la
es x 9 li-
eux de la
x 13 li-
donc des
3 pixels,
sures ont

fallait tout
nées re-
pte-tenu
zion par-
le bonne
st relati-
ectionner
nt exploi-
ement ré-
entraîne

ESURES

ESURES

Des lacunes regrettables, particulièrement en octobre, décembre et février. La figure 1 permet de localiser les dates d'acquisition des données et de les situer par rapport à la hauteur du soleil au moment de l'observation.

Le fait de faire appel à des données étalonnées sur plusieurs années d'observation présente à la fois des inconvénients et des avantages : il importe en premier lieu de remarquer que les données ont été recueillies par des satellites différents, LANDSAT 1, 2 et 3, et que les capteurs sont en principe du même type, mais que les étalonnages ne sont peut-être pas rigoureusement identiques. En supposant que cette cause de variation ne joue pas un rôle important, les données acquises à des dates voisines, mais au cours d'années différentes, seront fonction non seulement des conditions météorologiques du moment, mais aussi, dans une certaine mesure, des caractères du climat de la période ayant précédé l'acquisition des données. L'interprétation de la variabilité inter-annuelle devra donc être prudente.

Ceci étant, et malgré ces sources de difficultés, il a été décidé de traiter les données brutes telles qu'elles sont fournies par le Centre de Réception des Images de Télésazio afin de se placer dans les conditions qui sont celles de tout utilisateur.

Les données obtenues sous forme de bandes magnétiques ont été visualisées sur un écran cathodique (Péricolor 1000 de Numélec) et les périmètres de mesure repérés, le plus souvent à partir du canal 5 ou du canal 7. Chaque périmètre était alors cerné au moyen d'un marqueur mobile, de sorte qu'il était possible d'obtenir très facilement l'histogramme de la zone cernée sur chacun des 4 canaux LANDSAT. C'est à partir de cet histogramme qu'ont été définis les paramètres de la distribution des valeurs de luminance : minimum, maximum, moyenne, médiane, déciles ...

RESULTATS

Variation saisonnières de la luminance -

Les résultats obtenus au cours de cette étude peuvent être présentés sous des angles sensiblement différents : par canal, par thème ou globalement. C'est cette dernière solution qui est adoptée ici pour rester dans les limites de place qui nous ont été fixées. Dans ce

but, on utilise les valeurs médianes des luminances, paramètre susceptible de représenter au mieux l'allure de l'évolution dans le temps des grandeurs mesurées. (L'étude de la distribution des luminances par date et par canal ne sera pas abordée ici). Les valeurs médianes de la luminance sur chacun des 4 canaux définissent le "polynôme médian" du thème à une date donnée.

La figure 2, représentant l'évolution saisonnière des polynômes médians des 2 thèmes, synthétise l'ensemble des observations. On peut la résumer ainsi :

Les variations de luminance ont en commun le passage, sur les 4 canaux, par un minimum d'hiver et un maximum d'été. Mais on observe certains caractères particuliers :

- sur le canal 4, les 2 thèmes ne sont pratiquement pas différenciés, et l'amplitude de variation est faible; le maximum d'été semble se situer fin juillet.
- sur le canal 5, l'amplitude de variation est encore plus faible; on observe que les feuillus présentent des valeurs de luminance très légèrement supérieures à celles des résineux de janvier à mai; en outre, le maximum d'été semble atteint plus tôt que pour le canal 4, vers début mai, et il est suivi d'un palier, voire même d'une diminution dès début juin.
- sur le canal 6, l'amplitude de la variation s'accroît, et les deux essences ont des comportements distincts: les feuillus prennent des valeurs nettement supérieures à celles des résineux à partir du 1^{er} mai environ et ce jusqu'en octobre; le maximum d'été est atteint plus tôt pour les feuillus (début juin) que pour les résineux (fin juillet).
- sur le canal 7, l'amplitude de variation est élevée; on observe les mêmes caractéristiques que celles signalées sur le canal 6, mais l'écart entre feuillus et résineux en été est plus marqué.

Si l'on envisage un regroupement de ces résultats par thèmes :

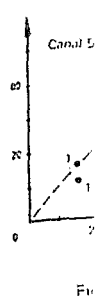
En ce qui concerne la forêt feuillue, on note le groupement des canaux deux à deux, 4 et 5 d'une part, 6 et 7 d'autre part, ces derniers étant l'objet d'une très forte variation saisonnière. Mais on observe aussi le décalage du maximum d'été du canal 5 par rapport au canal 4, et également la différence entre les canaux 6 et 7 : luminance de 7 légèrement inférieure à celle de 6 en hiver (décembre à avril) supérieure le reste de l'année : diminution du canal 6 se produisant plus tôt que celle du canal 7 en aout, avec un écart maximum d'aout à octobre.

En ce qui concerne la forêt résineuse, la ségrégation des canaux est nettement moins sensible, du fait d'une amplitude plus faible de la variation des canaux 6 et 7. La luminance de 6 est la plus souvent supérieure à celle de 7 plus particulièrement en été, mais la décroissance de 6 est également plus rapide que celle de 7, d'où une inversion des valeurs d'aout à octobre. En outre, le maximum d'été semble atteint plus tard que pour les feuillus sur les canaux 6 et 7.

En conclusion, s'il existe bien une variation saisonnière des valeurs de luminance avec minimum d'hiver et maximum d'été, et dont approximativement synchronisme de la hauteur solaire, cette variation présente des caractères spécifiques selon les canaux et selon le thème considéré. La fourchette des valeurs de luminance au minimum d'hiver est toujours relativement étroite, de sorte que la discrimination des thèmes doit, a priori, être plus aisée au voisinage du maximum d'été.

L'évolution des signatures spectrales à partir des corrélations inter-canaux -

Les remarques faites lors de l'étude d'évolution de la luminance par canal concernant des comportements spécifiques par thème et par gamme de longueur d'onde incitent à définir les diverses évolutions observées en associant les canaux deux à deux. Il a semblé logique d'étudier en premier lieu la corrélation des canaux 5 et 7 à laquelle se réfèrent de nombreux auteurs, mais d'autres associations de canaux sont également possibles.



1. Les co

Pour la signat les média fonction graphique cilliter l trice a é points fi respondar traduit l

- Les di droite de des vale res à ce

- L'évo le même partie i point or d'été la haute.

- Les j la premi mais il: qu'on su

- Les 1 ques de neux, est la tifs so lipse d 30 degr feuillu droite partir tation

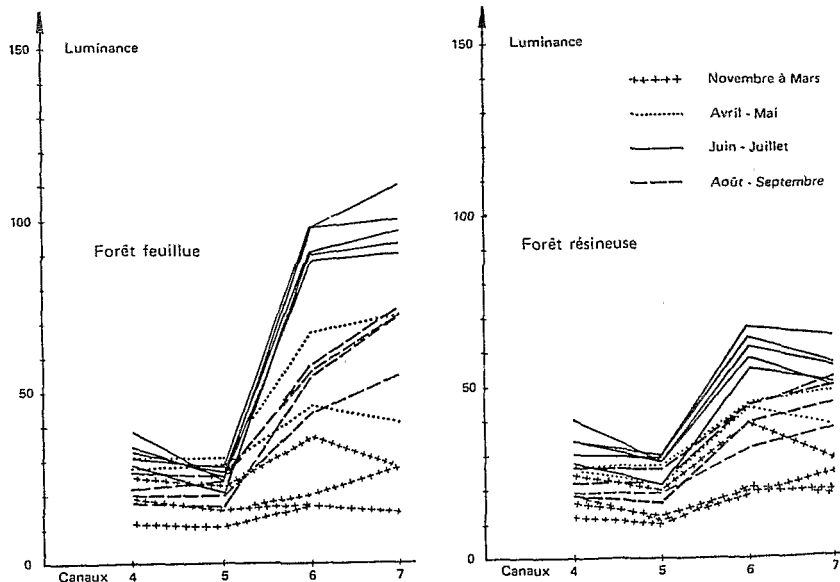


Figure 2 - Évolution comparée des signatures spectrales.

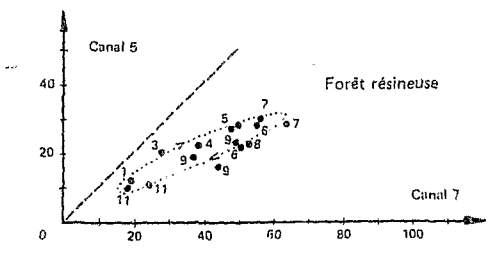
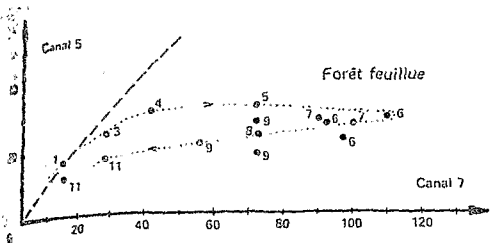


Figure 3 - Récapitulation des évolutions saisonnières -
Corrélation inter-canaux 5 et 7.

1. Les corrélations 5/7 -

Pour définir l'évolution saisonnière de la signature spectrale, on peut représenter les médianes des luminances du canal 5 en fonction de celles du canal 7 (Figure 3). Les graphiques sont à la même échelle et pour faciliter les comparaisons, la première bissectrice a été représentée. A côté de chacun des points figure le numéro d'ordre du mois correspondant. La ligne fermée sur les graphiques traduit le sens général de l'évolution.

- Les deux nuages de points sont disposés à droite de la première bissectrice, donc avec des valeurs de luminance du canal 7 supérieures à celles du canal 5.

- L'évolution annuelle se fait toujours dans le même sens, les valeurs d'hiver occupant la partie inférieure gauche du nuage, du côté du point origine des coordonnées, les valeurs d'été la partie droite du nuage, en position haute.

- Les points représentatifs sont proches de la première bissectrice en période hivernale, mais ils s'en écartent de plus en plus lorsqu'on se rapproche de l'été.

- Les modalités de l'évolution sont spécifiques des deux milieux: dans le cas des résineux, l'amplitude de la variation annuelle est la plus faible, et les points représentatifs sont localisés grossièrement sur une ellipse dont le grand axe fait un angle de 25 à 30 degrés avec l'horizontale. Dans le cas des feuillus, le nuage de points s'étire vers la droite et s'incurve, et ce très rapidement à partir du mois de mai, du fait d'une augmentation de la luminance du canal 7 sans augmentation correspondante sur le canal 5.

- Dans les deux cas, l'évolution décrit un cycle plus ou moins accusé, les valeurs de luminance enregistrées d'août à novembre sur le canal 5 étant plus faibles que celles du premier semestre, à luminance égale sur le canal 7.

- En période d'hiver, de novembre à mars, les deux milieux sont plus ou moins confondus dans la zone des faibles luminances des canaux 5 et 7. Toutefois, une évolution de type cyclique se dessine assez clairement de début novembre à début mars. On observe que, si feuillus et résineux sont apparemment confondus, leurs évolutions respectives sont parallèles, et que les feuillus révèlent, à époque identique, une valeur de luminance du canal 5 plus élevée, et du canal 7 le plus souvent plus faible, que les résineux. Cette remarque peut être interprétée en fonction de la persistance des tissus chlorophylliens des résineux, et de la transparence partielle du couvert à chêne-hêtre en hiver.

- En avril-mai, on note la rapidité de l'évolution et son sens: en oblique pour les résineux, pratiquement à l'horizontale pour les feuillus.

- En juin-juillet, les situations sont bien tranchées et la discrimination des thèmes semble aisée. On note un abaissement des luminances du canal 5 sur les feuillus.

- En septembre enfin, on assiste à une migration générale des points représentatifs en direction de l'origine des deux axes de coordonnées, conduisant au regroupement final de novembre.

Cette représentation exprime de façon claire les possibilités de discrimination des

thèmes . L'utilisation des canaux 5 et 7 doit conduire à des possibilités d'identification optima en juin-juillet de façon générale . On retiendra également que le classement relatif de deux thèmes dans le plan des canaux 5 et 7 peut s'inverser au cours de l'année, et c'est le cas pour les feuillus et les résineux .

2. Le rapport $\frac{7-5}{7+5}$.

C'est le rapport de luminances le plus souvent utilisé, soit sous cette forme, soit sous la forme équivalente 7/5 . Il est généralement considéré comme un indice de végétation .

- La forêt feuillue - Les valeurs du rapport, basses pendant la période hivernale, s'élèvent progressivement au printemps . Elles atteignent un maximum début juin, semblent décroître très légèrement de juin à septembre, puis chutent brutalement en novembre .

- La forêt résineuse - Elle révèle un comportement distinct du précédent : le rapport est initialement plus élevé en hiver (probablement de l'ordre de 0,20 à 0,25), mais son évolution saisonnière est donc à peine sensible dans le cas des résineux .

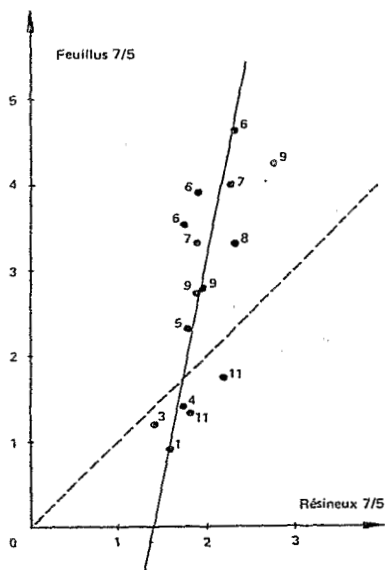


Figure 4 - Evolution comparée des rapports Canal 7 / Canal 5

Ces remarques sont parfaitement illustrées sur la figure 4, qui traduit la corrélation entre les valeurs des rapports 7/5 des points s'ordonne autour d'une droite d'équation approximative :

$$Y = 5x - 7$$

et montre bien l'inversion relative des valeurs du rapport vers début mai, puis en octobre .

L'ensemble de ces remarques est en faveur d'une utilisation des rapports 7-5/7+5 ou 7/5 comme indices de végétation : distinction entre couvert végétal à haute réflectance des feuillus et couvert à réflectance plus faible des résineux, le premier à forte évolution saisonnière, le second à effet plus constant, perception du couvert résineux en hiver .

3. Les autres corrélations de canaux -

- Corrélations 6/7 - Sur les deux thèmes étudiés, les points représentatifs sont toujours très proches de la 1^o bissectrice . Ils s'ordonnent grossièrement selon un cycle elliptique que ayant pour grand axe cette bissectrice . Mais on observe que cette symétrie peut disparaître : par exemple, les points obtenus pour l'été (mois de juin et juillet) se situent au dessus de cette bissectrice pour les résineux, au dessous pour les feuillus . La présence d'une chlorophylle "active" entrainerait par conséquent une élévation faible, mais apparemment significative du rapport canal 7/canal 6 .

La représentation graphique de l'évolution saisonnière des valeurs du rapport canal 7 / canal 6 illustre naturellement ce fait, mais elle met aussi en évidence le non synchronisme de l'évolution dans le temps des luminances sur les deux longueurs d'onde: la courbe représentative présente sans ambiguïté une forme particulière, avec 2 maxima et 2 minima : maxima en mai-juin d'une part, en septembre d'autre part, minima en février-mars et en juillet . On observe que le rapport 7/6 est plus élevé pour la forêt feuillue que pour les résineux .

- Corrélations 5/4 - L'évolution du rapport canal 5 / canal 4 présente la même allure que celle décrite précédemment pour le rapport canal 7 / canal 6, mais la position des maxima et minima n'est pas identique : le premier maximum se situe apparemment en avril-mai, soit un peu plus tôt que pour le rapport 7/6, alors que le minimum hivernal se manifesterait en décembre, au lieu de février-mars .

l'interprétation supplémentaire des données.

des rapports d

Il peut s'agir de rapports d'indices de végétation étant sur la distinction à Canal 7 et Canal 7 Re

On consta

que ces deux saisonnières pour valeur est inférieure à 1 de

que les valeurs exactes de la valeur de juin (discrimination entre 6 ou 7 .

que le rapport des valeurs du rapport sur le coefficient de distinction d'un s

Cette étude des données de 15 dates cartographiques de ces données pour faire une identification spatiale bien définies cherchis de p

En ce qui concerne, sur ce graphique une valeur par un minimum Cette évolution de la hauteur des données . To spécifiques

L'interprétation de ces résultats exigera des compléments d'observation sur des milieux différents, végétaux ou non, pérennes ou non.

Rapports de Luminances entre thèmes -

Il peut s'avérer utile d'étudier également les rapports de luminance entre thèmes différenciés sur une même longueur d'onde, les résultats étant susceptibles d'apporter des informations sur la discrimination des thèmes. Cette expérience a été tentée sur les deux rapports Canal 7 Feuillus et Canal 6 Feuillus et Canal 7 Résineux et Canal 6 Résineux.

On constate :

- que ces deux rapports subissent une évolution saisonnière, caractérisée par le fait que leur valeur est inférieure à 1 en hiver, supérieure à 1 de mars à novembre.
- que les valeurs maxima des deux rapports, ou, plus exactement, celles qui s'écartent le plus de la valeur 1, sont atteintes en juin. Le mois de juin constitue donc la date optimum de discrimination des deux thèmes à partir des canaux 6 ou 7.
- que le rapport 7 Feuillus / 7 Résineux atteint des valeurs sensiblement plus élevées que celles du rapport 6 Feuillus / 6 Résineux. C'est donc sur le canal 7, et en juin, que les possibilités de discrimination des deux thèmes (à partir d'un seul canal) sont les meilleures.

CONCLUSION

Cette étude a été conduite sur des données issues du satellite LANDSAT obtenues à partir de 15 dates d'observation sur un même secteur géographique du Bassin Parisien. La répartition de ces dates dans le temps a permis de se faire une idée de l'évolution saisonnière de la signature spectrale de deux milieux forestiers bien définis (une futaie à chênes-hêtres, et un peuplier de pins sylvestres).

En ce qui concerne les valeurs de la luminance, sur chacun des 4 canaux LANDSAT, on observe une variation saisonnière caractérisée par un minimum d'hiver et un maximum d'été. Cette évolution est donc comparable à celle de la hauteur du soleil au moment de la saisie des données. Toutefois, plusieurs comportements spécifiques d'un thème ou d'un canal au niveau

de l'amplitude de variation des luminances ou de ses modalités impliquent que la liaison entre luminance et hauteur du soleil est modifiée par certains paramètres. L'amplitude de cette variation diffère considérablement selon les thèmes et les canaux : elle est faible sur les canaux 4 et 5, plus élevée sur les canaux 6 et 7, mais, dans ce cas, elle est liée au type de couvert végétal, avec une augmentation marquée lorsqu'on passe des résineux aux feuillus. L'étroitesse de la gamme des valeurs de luminance au minimum d'hiver a pour corollaire que les discriminations entre thèmes devraient être plus aisées au voisinage du maximum d'été.

En ce qui concerne les combinaisons de canaux, la combinaison 5/7 fait apparaître des évolutions saisonnières bien différentes des deux thèmes étudiés et illustre les raisons pour lesquelles la discrimination des thèmes est facilitée en été. Il a également été montré que les signatures spectrales de deux thèmes différents pouvaient s'inverser en cours d'année. Certains traits spécifiques ont également été observés à partir des combinaisons 7/6 et 5/4.

L'étude des rapports de luminances entre canaux montre une variation saisonnière caractéristique du rapport 7-5/7+5 (ou 7/5) dans le cas des feuillus et une variation moins accusée chez les résineux. Plusieurs autres observations confirment la validité du choix des canaux 7 et 5 pour définir des "indices de végétation". Les rapports 5/4 et 7/6 montrent des évolutions saisonnières apparemment complexes qu'il conviendrait d'élucider.

En ce qui concerne les rapports de luminances entre thèmes, il est apparu que, dans la comparaison feuillus-résineux, la meilleure discrimination était obtenue sur le canal 7, et en juin, les performances du canal 6 étant moins satisfaisantes.

DOCUMENTATION
MAISON DE LA TELEDETECTION
500, rue J.F. Breton
34093 MONTPELLIER CEDEX 5

H2 CAN 1983

ACTES
DU

PROCEEDINGS
OF THE

**8^e
th** Symposium canadien de télédétection
Canadian Symposium on Remote Sensing

**4^e Congrès de
L'Association québécoise de télédétection**

Éditeurs / Editors
K.P.B. Thomson
Centre canadien de télédétection
Canada Centre for Remote Sensing
F. Bonn
Université de Sherbrooke