

# FACTEURS ET MÉTHODES DE TÉLÉDÉTECTION DANS L'AMÉNAGEMENT FORESTIER

par  
GYULA GÁBRIS

Chaire de Géographie Physique, Université Roland Eötvös, Budapest, Hongrie

*Arrivée: 31. 12. 1979.*

L'aménagement est l'ensemble des opérations qui ont pour but de réglementer l'exploitation d'une forêt, quelque soit l'objectif visé, dans la mesure du possible. L'aménagement proprement dit est constitué des opérations préliminaires et des opérations essentielles.

1. Les opérations préliminaires consistent à définir le milieu écologique et économique dans lequel la forêt évolue et écoule ses produits.

## 1.1. Informations générales de la forêt.

### 1.1.1. Renseignements physiques:

- a) topographie, limites;
- b) climat général et local;
- c) sol (géologie et pédologie);
- d) peuplements actuels selon le type et l'âge;
- e) associations phytosociologiques.

### 1.1.2. Renseignements économiques:

- a) propriété, histoire et renseignements administratifs;
- b) revenu net de la forêt depuis une dizaine d'années;
- c) produits, débouchés, conditions d'exploitation;
- d) infrastructure (maisons, pépinières, chemins d'exploitation, piste de débardage);
- e) divers: chasse, récréation et tourisme, etc.

## 1.2. Parcellaire.

C'est une division de la forêt en portions homogènes quant aux facteurs de production: sol, climat, essences avec une fixation de leurs limites sûres et stables par des chemins, coupe-feu, ruisseau etc.

2. Les opérations essentielles consistent à déterminer la nature l'emplacement et la quotité des coupes annuelles c'est-à-dire fixer le mode de traitement et le règlement de la forêt.

De ces opérations pour la géographie ne peut avoir d'autre devoir que de servir la plupart des solutions signalées sous les points 1.1. et 1.2.; par conséquent élaborer la mise en valeur géographique, établir des tableaux statistiques et dessiner des cartes thématiques. En vue de ces dernières la télédétection, comme méthode moderne, peut servir pour une meilleure solution des inventaires, notamment pour la définition cartographique plus précise de la condition de forêt et pour la base de l'amélioration de la forêt.

Les expériences de télédétection ci-après ont pour but d'envisager des possibilités théoriques puis pratiques de l'utilisation des différents filtres types Kodak Wrattens en vue de l'amélioration de l'interprétation des photo-aériennes prises par l'appareil simple non métrique, à partir de l'altitude basse (environ 300 – 500 m) sur l'émulsion infrarouge fausse-couleur.

*Des facteurs intervenant dans l'enregistrement des photographies aériennes d'un objet végétal*

La planche schématisée n°1 permet d'intégrer des facteurs principaux du mécanisme de l'enregistrement d'une photographie aérienne sur la végétation. Étant donné à l'occasion des expérimentations de photographie une certain type de caméra (Nikommat), de l'émulsion (Kodak EK-IR) et du processus de développement, on doit concentrer l'attention sur les changements du rayonnement électromagnétique depuis l'émission du soleil jusqu'à la captation par l'appareil photographique ou bien de l'émulsion. D'innombrables publications traitent cet itinéraire que nous n'aborderons que de manière récapitulative et un peu plus en visant le but principal, notamment l'utilisation et le choix des différents filtres Kodak Wrattens, considérant comme un des meilleurs outils pour l'aide de l'interprétation des espèces de la couverture végétale. Les divers facteurs seront envisagés très brièvement et surtout au point de vue de leurs influences, quelles soient qualitatives ou bien quantitatives aux variations de l'intensité du spectre.

La modification qualitative provoque les variations interzonales de la répartition des bandes spectrales, c'est-à-dire c'est le caractère général de la courbe de réflectance (ou de transmittance ou d'absorption) qui varie. Tandis que la modification quantitative se manifeste soit globalement dans toutes les bandes, soit se concernant sur une ou quelques bandes mais selon le trend symptomatique de la courbe donc ni le caractère général, ni — par exemple — les positions spectrales des maxima ou minima ne se changent.

A. Le rayonnement solaire.

Le soleil émet un rayonnement que l'on peut considérer comme stable dans le temps ( $1, 94 \pm 0,06 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$ ).

A.1. La composition spectrale du rayonnement solaire comporte des radiations dans l'ultra-violet, dans le visible et dans l'infra-rouge, mais dans une intensité inégale d'onde par d'onde selon des bandes distinctes (fig. 1.).

A.2. L'atmosphère terrestre modifie ce rayonnement selon différentes mesures dans les bandes spectrales données surtout deux facons: par diffusion et par absorption.

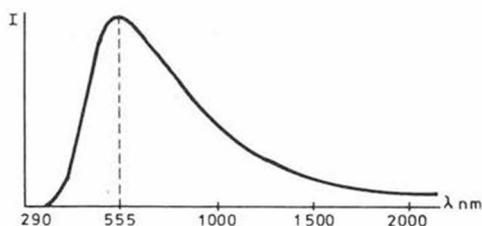


Fig. 1. Courbe spectrale de la distribution énergétique du rayonnement constitué par la lumière solaire avant traversée de l'atmosphère (d'après Ch. Fabry).

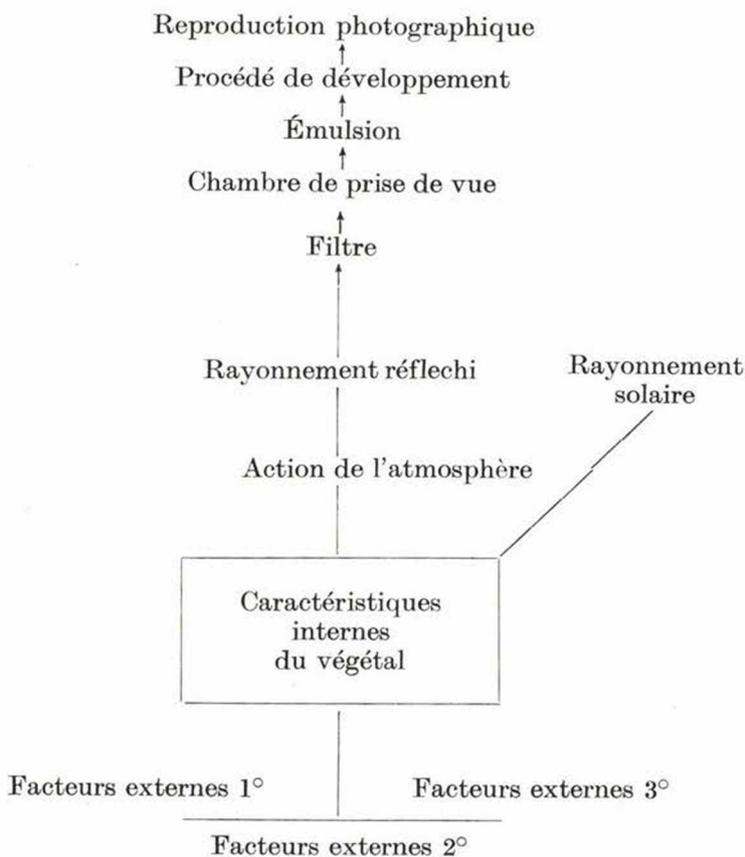


Tableau n°I.

Schéma des facteurs intervenant dans l'enregistrement des photographies aériennes d'un objet végétal.

La distribution spectrale de l'énergie de la radiation sur la surface de la Terre (au niveau de la mer) indiquée sur la figure n°2 est conséquence qualitative des points A.1. et A.2. Ainsi la réflectance spectrale d'un objet, dans ce cas d'une plante, est arrêtée en premier ressort par la qualité de la radiation joignante.

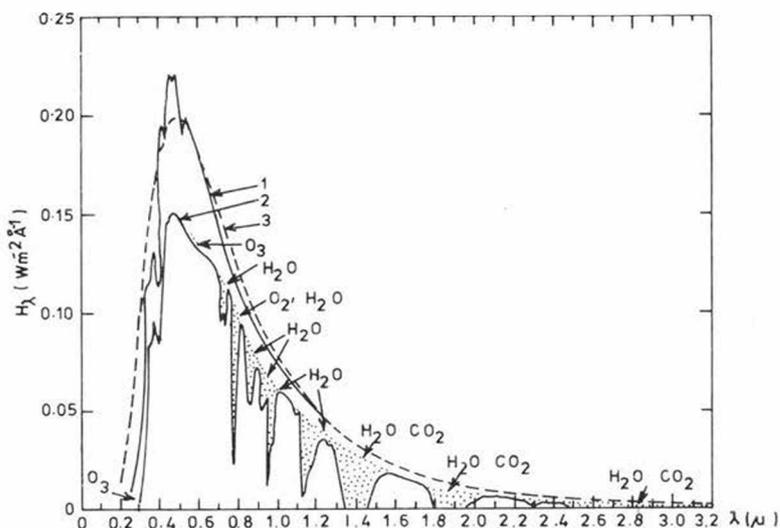


Fig. 2. Rayonnement spectral de la lumière directe du soleil avant et après la transition de l'atmosphère de la Terre. Les bandes pointillées indiquent l'absorption de l'atmosphère. Le soleil au zénith

1 — courbe de l'irradiation solaire en dehors de l'atmosphère; 2 — courbe de l'irradiation solaire au niveau de la mer; 3 — courbe du corps noir (5900°K) (d'après S. L. Valley 1965).

A.3. La variation saisonnière et diurne de l'angle des rayons solaires influe l'intensité de la réflectance aussi — combinée avec les données météorologiques, phénologique etc. — mais une manière plus complexe. D'une part quantitativement selon l'éclairement total reçu par le sol (fig. 3.) d'autre part qualitativement selon la répartition spectrale (fig. 4.). Son importance se manifeste lors de la définition de vol convenable d'effectuer une couverture exploitable. Si on définit les paramètres de prise de vue plus rigoureusement on peut plus ou moins éliminer ces variations.

#### B. Caractéristiques internes du végétal.

L'objet, dans ce cas le végétal, peut être considéré comme un récepteur-émetteur dans le visible et dans le proche-infrarouge. Les propriétés spectrales de la réflectance-émittance de la plante dépendent d'une variété large des caractéristiques internes du végétal. Les plus importantes de celles sont les suivantes:

B.1. Les particularités de la feuilles examinées ci-dessous sont considérées comme les responsables les plus importantes pour les caractéristiques de la courbe de réflectance.

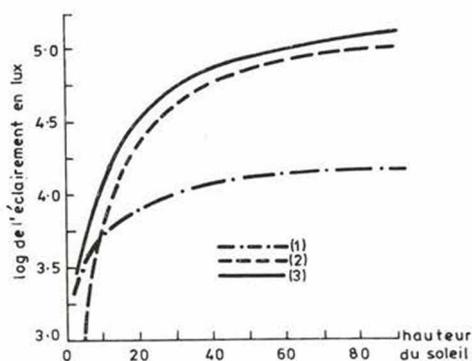


Fig. 3. Variation de l'éclairement reçu par le sol, exprimé en lux, sous forme logarithmique, en fonction de la hauteur du soleil au dessus de l'horizon, exprimée en degrés

1 — la lumière diffusée par l'atmosphère; 2 — la lumière venue directement du soleil; 3 — la totalité de ces deux lumières (d'après G. C. Brock)

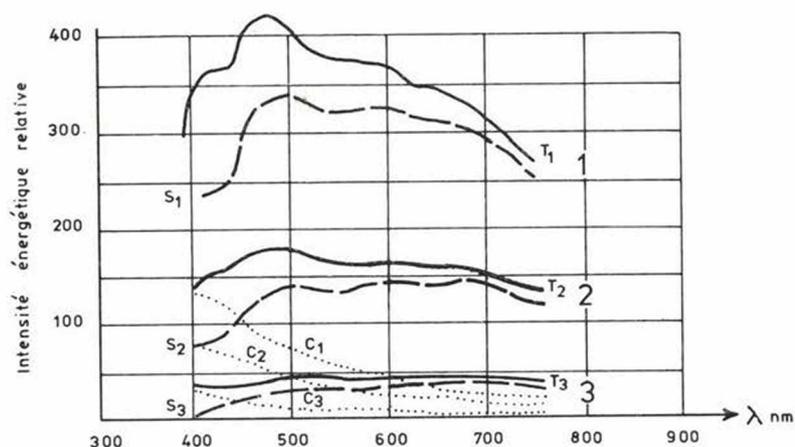


Fig. 4. Répartition spectrale de la lumière au sol en fonction de la hauteur du soleil (d'après Ch. Maurain)

1 — hauteur du soleil = 65°; 2 — hauteur du soleil = 30°; 3 — hauteur du soleil = 20°. T — rayonnement total; S — rayonnement solaire; C — rayonnement de ciel.

B.1.1. La morphologie et la structure de la feuille sont les principaux facteurs dans la formation de la courbe de réflectance au point de vue des généralités mais des spécialités aussi. La figure n°5 montre la structure généralisée d'une feuille de dicotylée, et la réflexion, l'absorption et la transmission respectivement des diverses couches. La partie la plus importante de la feuille au point de vue de l'allure à l'égard de rayonnement solaire est le parenchyme.

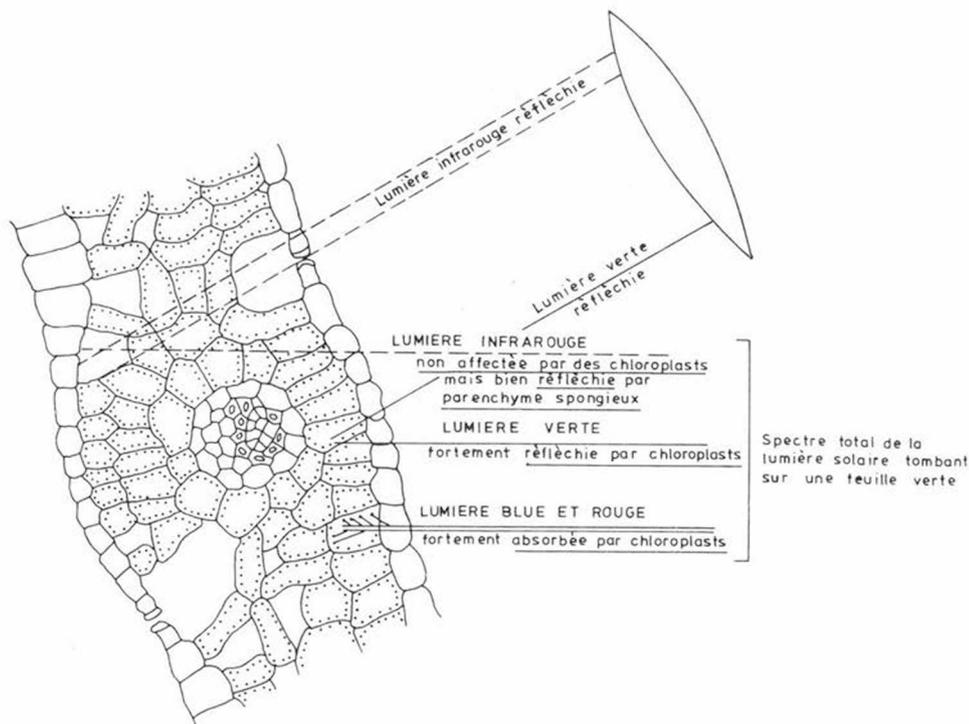


Fig. 5. La structure d'une feuille et ses caractéristiques optiques (R. N. Colwell, 1969)

B.1.1.a. Le parenchyme palissadique contient la majorité des pigments, qui sont responsables pour les caractéristiques spectrales dans le visible. Les différentes sortes des pigments absorbent et réfléchissent la radiation à la manière différente selon des bandes électromagnétiques (fig. 6. et 7). L'absorption est généralement forte dans le bleu (440 nm) et dans le rouge (660 nm), tandis que dans le vert (550 nm) l'absorption diminue, ainsi la réflectance atteint 10–20%.

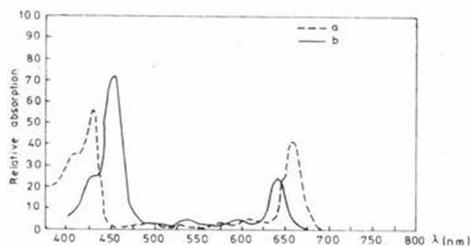


Fig. 6. Courbes d'absorption de chlorophylle a et chlorophylle b en fonction de la longueur d'onde (R. N. Colwell, 1969)

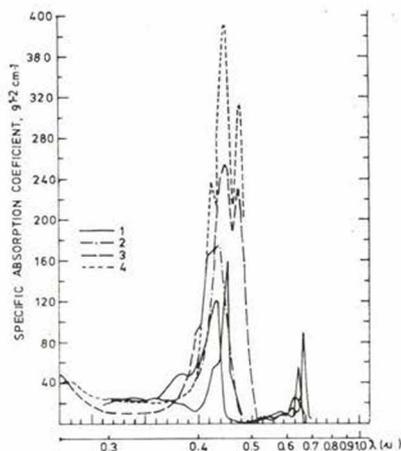


Fig. 7. Absorption spectrale de quelques pigments végétales (D. M. Gates, 1970)  
1 - chlorophylle; 2 - protochlorophylle; 3 - carotène; 4 - lutein (xanthophylle)

L'intervention des pigments provoque un changement spectral qualitatif, résultant de la modification fondamentale dans la nature de rayonnement réfléchi. Étant donné l'adaptation semblable à l'égard la distribution spectrale du rayonnement solaire pour toutes les plantes qui utilisent cette radiation, on peut parler de courbe généralisée de réflectance, qui n'exclue pas de sensibles différences selon les végétaux. Cependant la répartition de contenu globale et celle de pourcentage des pigments varie sinon d'espèce par d'espèce mais du moins d'unité systématique par d'unité systématique. C'est-à-dire les caractères spécifiques ou unitaires des courbes de réflectance peuvent déterminer dans le visible du spectre.

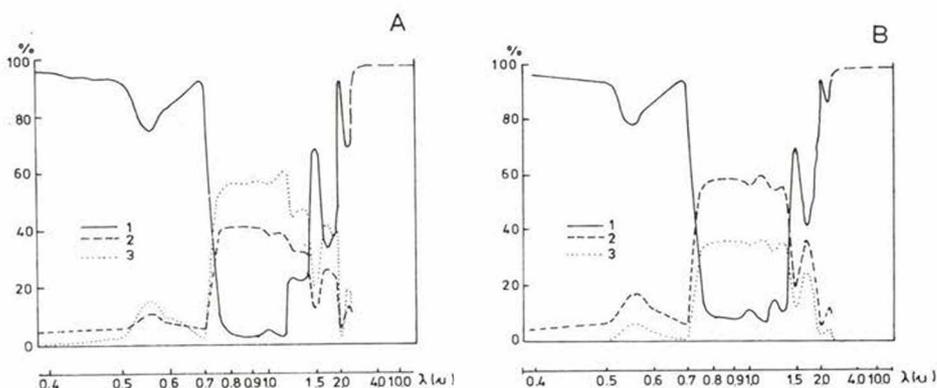


Fig. 8. Réflectance, transmittance et absorptance spectrales (D. M. Gates, 1970). A - *Populus deltoides*; B - *Nerium oleander*  
1 - absorption; 2 - réflexion (la face supérieure); 3 - transmission.

B.1.1.b. La structure des tissus et en particulier le rôle des membranes cellulaires et du parenchyme spongieux ont comme effet surtout un changement de la réflectance dans le proche-infrarouge, causant une augmentation très élevée dans la bande de 750–1300 nm. De même que la structure des tissus a des caractères généraux et aussi des caractères individuels, les modifications qualitatives de la courbe de réflectance sont à la fois générales et spécifiques dans cette bande également (fig. 8.)

B.1.1.c. Une partie de la radiation se réfléchit directement sur la surface de la feuille sans y pénétrer. Cette réflectance dépend de la nature superficielle de la feuille qui est

- soit couverte par une couche p.e. cireuse;
- soit pubescente ou bien lisse (fig. 9.);

et aboutit aux variations spectrales quantitatives.

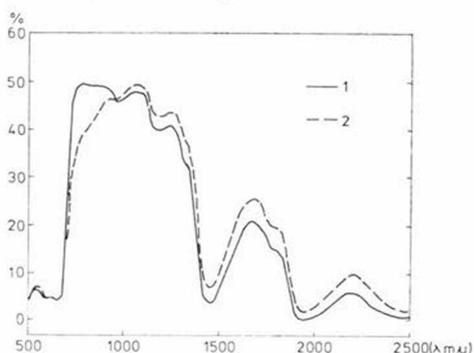


Fig. 9. Changement de la réflectance totale d'une feuille pubescente (1) après avoir supprimé les poils (2) d'après H. W. Gausman et Cardenas, 1968

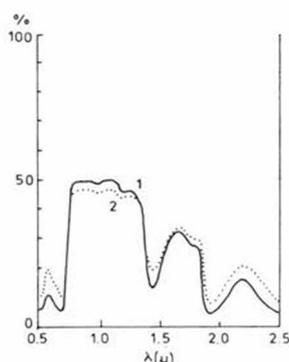


Fig. 10. Réflectance totale de la face supérieure (1) et la face inférieure (2) d'une feuille de

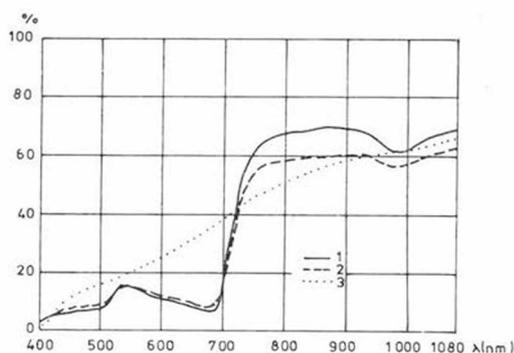


Fig. 11. Evolution de la réflectance de *Pinus ponderosa* en fonction de l'ancienneté de l'attaque par le coléoptère *Dendroctonus* (F. P. Weber et F. C. Polcyn, 1971)

1 – sain; 2 – attaque récente; 3 – arbre mort

B.1.1.d. Étant donné une structure dissymétrique des feuilles de la majorité des angiospermes, la réflectance de la face supérieure et celle d'inférieure d'une feuille est diverse quantitativement (fig. 10.).

En examinant les effets de chacune des propriétés d'une feuille mentionnées ci-devant on peut constater au point de vue de photointerprétation deux caractères bien séparés. Il y a certaine similitude et différence aussi selon les caractéristiques de la courbe spectrale de réflectance, qui correspond aux caractères généraux et spéciaux des végétaux, en autorisant à déterminer les propriétés des espèces (ou des unités systématiques). En outre ces variations qualitatives existent des variations quantitatives selon les caractères tout à fait individuels du végétal.

B.1.2. L'état physiologique de la plante joue un rôle primordial dans la réflectance et l'absorption du rayonnement. Selon le type de la maladie on peut constater des symptômes différentes:

- décoloration des feuilles à cause de disparition ou altération des pigments;
- modification de la teneur en eau entraînant des changements de structure ou variation de température par blocage de l'évaporation par les stomates;
- changements des propriétés optiques des feuilles par la présence
  - en surface – d'un mycélium;
- vieillissement précoces d'organes chlorophylliens;
- défoliation dans le cas d'attaques d'insectes phytophages,

qui peuvent se transformer dans la modification de la composition spectrale du rayonnement réfléchi sur la plante malade. C'est la base physique la détection d'une population souffrante. Selon plusieurs courbes de réflectance on peut distinguer une phase initiale de maladie avec des légers changements quantitatifs et une phase terminale avec les forts changements qualitatifs (surtout dans le visible) à cause du vieillissement prématuré des feuilles (fig. 11, 12 et 13).

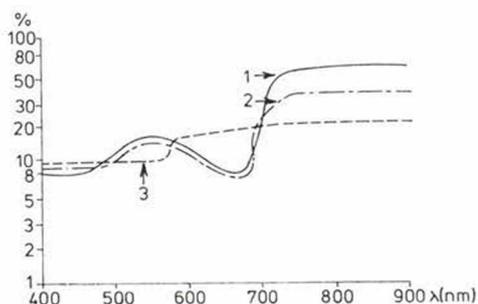


Fig. 12. Caractéristiques de réflectance d'une feuille saine et malade en fonction de progression de l'affection (R. N. Colwell, 1979)

1 – avant de l'affection; 2 – affection récente; 3 – affection depuis longtemps

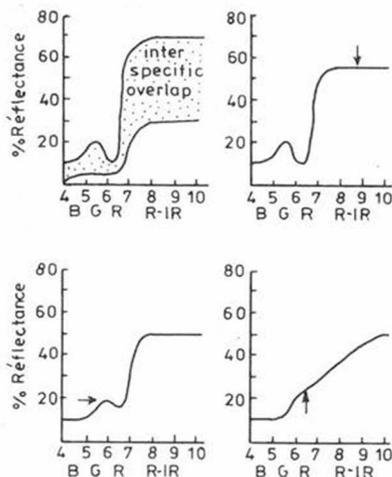


Fig. 13. Courbes de réflectance généralisées

D'une feuille verte normale (1) d'une feuille affectée avec un changement dans la bande infrarouge (2); d'une feuille jaune, après une période de maladie chronique (3); et enfin une feuille morte brunâtre (D. M. Gates, 1970, H. W. Gausman 1977, Z. Kalensky et D. A. Wilson 1975, G. Hildebrandt 1976, R. V. Colwell 1956).

Par contre l'interprétation de la défoliation des arbres est extrêmement difficile dans certain cas, parce que la réponse spectrale enregistrée par l'émulsion est supprimée par celle du sol nu ou plutôt herbacé.

B.1.3. La réflectance spectrale d'une feuille change selon son stade de développement. Ce changement est bien exprimé surtout au début et à la fin de la période végétative quand les feuilles ne sont pas encore ou déjà bien développées; ainsi l'effet spectral des pigments manque de la courbe (fig. 14 et 15). Mais pendant la longue époque de maturité il n'y a pas de variation significative. Tandis que p.e. la modification de couleur des plantes économiques à l'époque de murissement sert la base de l'interprétation pour le but agraire.

B.2. Une contradiction profonde a été constatée entre les résultats des spectro-radiométriques mesurés en laboratoire et ceux mesurés sur terrain. Plusieurs faits causent cette différence.

B.2.1. L'intensité de réfléchissement d'une seule feuille — exclusivement dans la bande de l'infra-rouge — diffère celle de plusieurs comme c'était déjà constaté par les mesures en laboratoire (fig. 16 et 17). Ces différences ont un caractère quantitatif.

B.2.2. La composition spectrale de réflectance constatée en laboratoire n'est pas conforme avec celle de terrain parce que n'importe quelle légère modification du port des feuilles peut provoquer — sans aucune variation de leurs propriétés optiques — une modification quantitative dans le spectre selon les points B.1.1. et B.1.1.d.

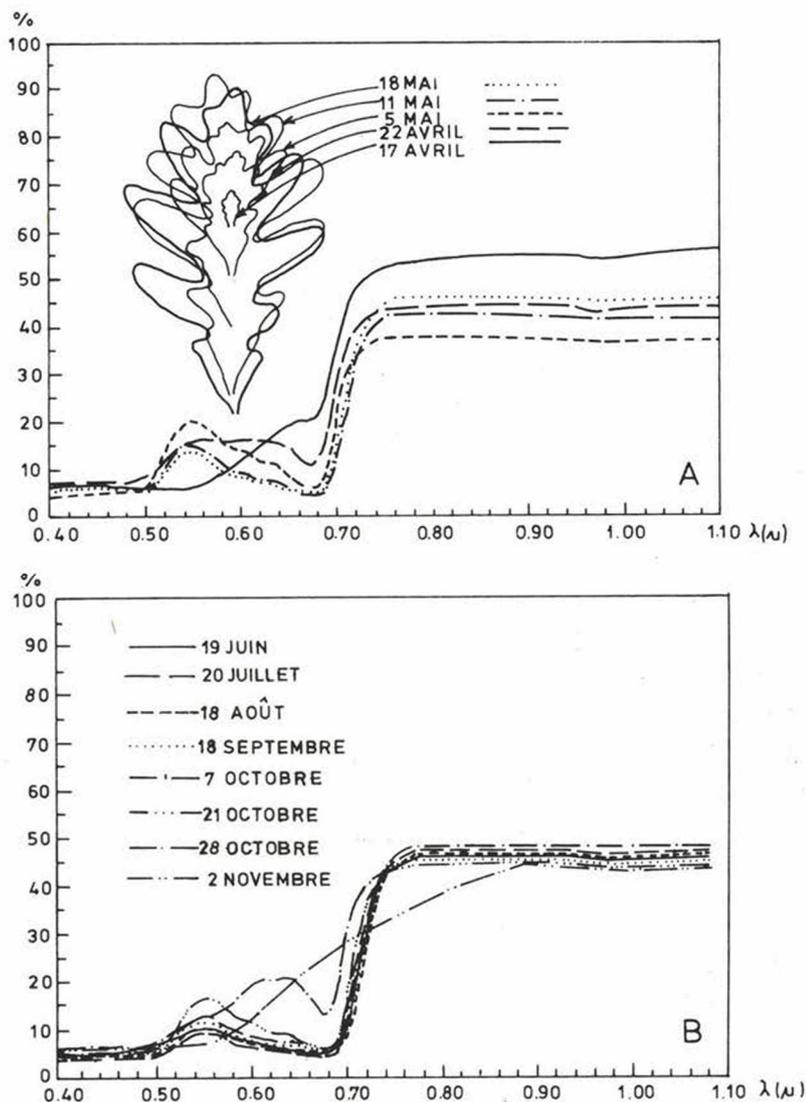


Fig. 14. Changements saisonnier de la réflectance spectrale selon le stade de développement d'une feuille de *Quercus alba*. A - avril-mai; B - Juin-novembre (D. M. Gates 1970)

B.2.3. La troisième source des écarts est que dans le laboratoire des mesures ont été effectuées par une lumière artificielle monochromatique, c'est-à-dire les résultats étaient aussi distincts dans le spectre réfléchi que celui diffère de la lumière solaire (fig. 18).

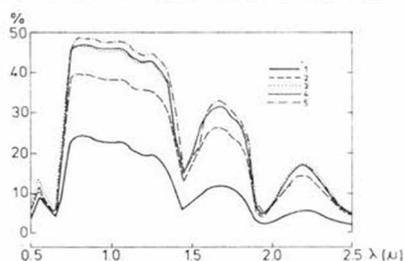


Fig. 15. Réflectance de la face supérieure des feuilles de coton en fonction de l'âge (H. W. Gausman et al. 1969)

1 - 2 jours; 2 - 5 jours; 3 - 7 jours; 4 - 9 jours; 5 - 12 jours

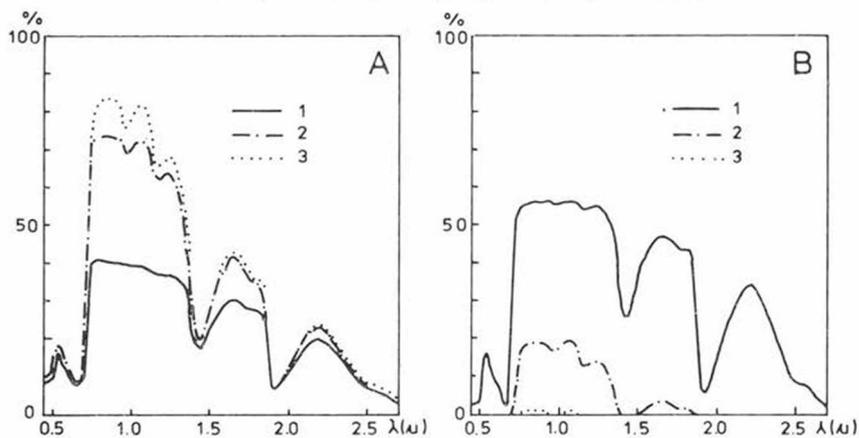


Fig. 16. Réflexion (A) et transmission (B) des feuilles de soya superposées (J. T. Woolley 1971)

1 - une feuille; 2 - 4 feuilles; 3 - 16 feuilles

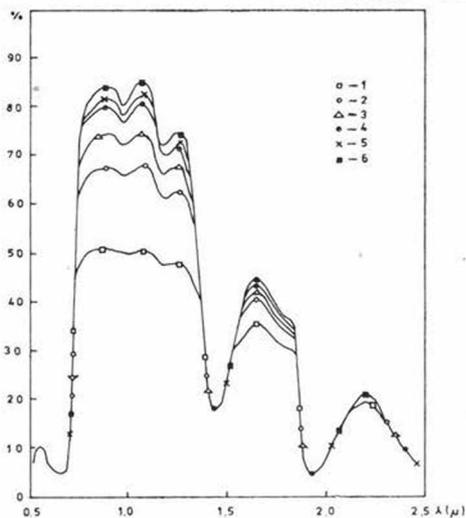


Fig. 17. Réflexion diffuse des feuilles de coton superposées d'une à six (V. M. Myres 1970)

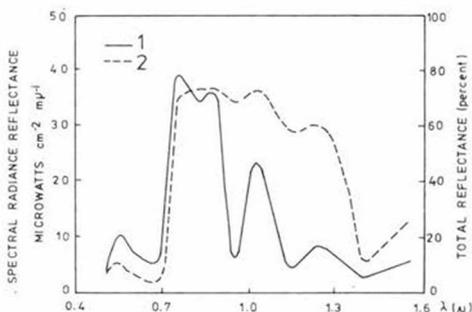


Fig. 18. Comparaison entre l'énergie de réflectance d'une feuille de coton, mesurée sur le terrain par un spectroradiomètre (1) et la réflectance totale, mesurée en laboratoire par un spectrophotomètre de type DK - 2A (2) d'après V. I. Myres 1970

B.3. Le phénomène de défoliation déjà signalé dans le point B.1.2. nous montre plus généralement que la plante à étudier doit couvrir au moins 40-60% du sol afin que la réponse spectrale enregistrée soit significative. En-dessous de ces valeurs le réfléchissement du sol est prépondérant, ou bien cause une «bruit» dont le signal devient ininterprétable. Ainsi la densité et la continuité de la couverture végétale jouent un rôle intéressant dans la télédétection forestière.

#### C. Facteurs externes.

On va examiner quelques parmi des facteurs nombreux qui causent des changements dans le spectre réfléchi par la feuille.

##### C.1. Les condition climatiques jouent un rôle important surtout dans

- la fréquence des situation météorologiques représentatives qui influence de prise de vue (voir encore A.1.);
- la modification exprimée par l'effet de l'humidité (voir C.3.);
- la manifestation transformée sur les caractéristiques internes du végétal en raison de l'adaptation.

C.2. Les condition pédologiques produisent de l'effet sur la végétation qui se révèle dans les processus physiologiques.

C.2.1. L'insuffisance des matériaux nutritifs peut provoquer des symptômes aussi nombreux que celui des maladies mais les modifications sont plus légères, en indiquant toujours un écart de la norme. On peut constater les différentes modifications de la courbe de réflectance selon l'insuffisance du calcium, du fer, du magnésium, du zinc, du phosphore, du potassium etc. L'un des plus important des matériaux nutritifs est de l'azote. La diminution de la concentration de l'azote dans la solution nutritive occasionne une décroissance du contenu de chlorophylle et un accroissement du contenu d'eau dans les feuilles à cause de modification de la structure de mésophylle affectant la transpiration et aussi la température. On peut détecter les changements de la réflectance spectrale dans le visible et dans le

proche infra-rouge aussi et ces changements sont quantitatifs selon la figure 19. La détection de déficience des matériaux nutritifs a grand intérêt surtout dans l'agronomie.

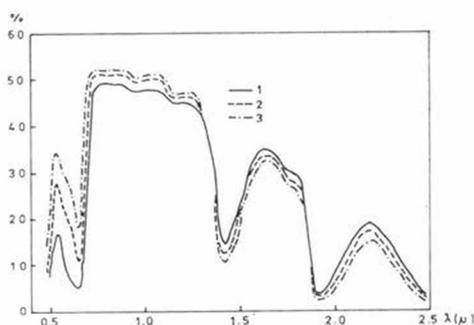


Fig. 19. L'effet de la déficience de l'azote sur la réflectance diffuse des feuilles du piment doux (V. I. Myres 1970)

1 - faible; 2 - moyen; 3 - sévère

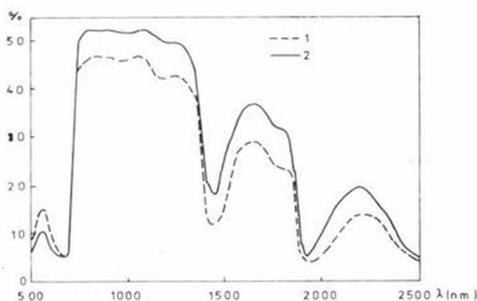


Fig. 20. La réflectance spectrale des feuilles de coton en fonction du contenu de chlorure de la solution nutritive (J. R. Thomas et al. 1966)

1 - 1325 ppm Cl; 2 - 3775 ppm Cl.

C.2.2. La forte salinité du sol produit de l'effet destructif sur les plantes, qui montrent une tolérance variable à l'égard. La chlorure — l'anion le plus important et le plus fréquent — règle l'absorption de l'eau, ainsi l'influence de salinité montre des caractères semblable avec celle de l'humidité. Selon la figure n°20 l'accroissement du contenu de chlorure du sol provoque des variations quantitatives sur la courbe de réflectance. L'intérêt de la détection de la salinité du sol est intéressant en premier lieu sur les territoires desséchés et irrigués.

C.2.3. Les effets de minéralisation ont été examinés par l'addition d'énorme quantité des minéraux provoquant quelque fois des variations dramatiques dans la vitalité et le développement des plantes. Les modifications constatées dans la réflectance de la bande spectrale verte étaient en relation

avec la chlorose et dans la bande infra-rouge avec frondaison, c'est-à-dire la densité des feuilles (mal développées à cause d'un déclin de vitalité). Mais le caractère des courbes, autrement dit la particularité globale de la réflectance spectrale ne se change pas. La modification selon le contenu minéral du sol et celui du végétal est plutôt quantitative que qualitative (fig. 21 et 22).

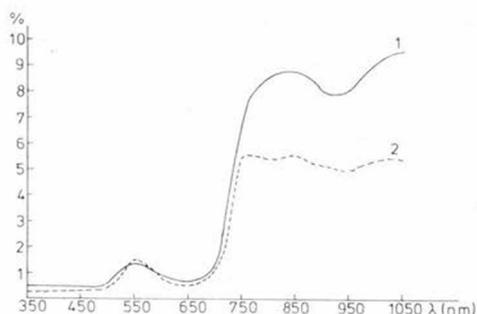


Fig. 21. La courbe de réflectance anormale (2) du sapin rouge (*Pinus silvestris*) est la conséquence du sol minéralisé (cuivre et molybdène) d'après E. Yost et S. Wenderoth 1971

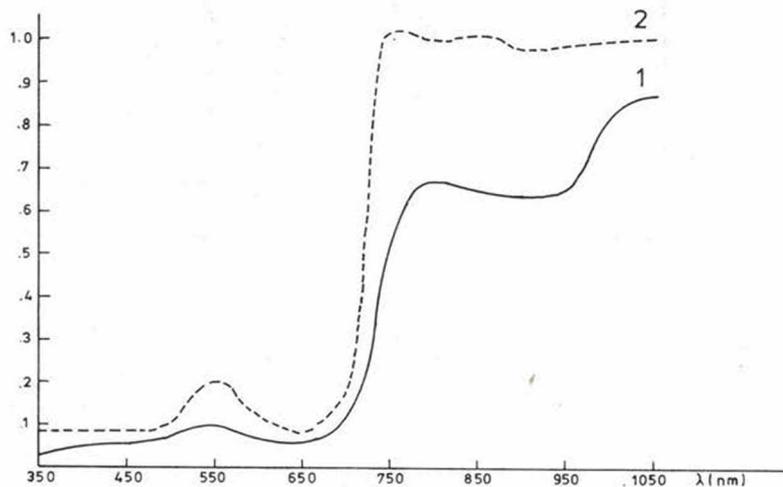


Fig. 22. La courbe de réflectance anormale (2) de baumier (*Abies balsamea*) est la conséquence du sol minéralisé (cuivre et molybdène), d'après E. Yost et S. Wenderoth 1971.

Cependant la proportion des différents éléments minéraux des plantes se rattachent d'abord à la structure géologique de l'écorce terrestre — à la roche-mère — et ensuite à la mobilisation de ces éléments ou bien à l'exploitabilité par les plantes. Cette dernière est en connexion surtout avec le climat et toutes les deux nous conduisent à la biogéochimie, à la nouvelle branche de géographie physique dont la télédétection est aussi largement utilisable.

C.3. L'absorption et le contenu de l'eau de la plante sont influencés par plusieurs facteurs indépendants — par exemple l'humidité du sol, la température de l'air, la radiation du soleil, les maladies etc. — mais tous peuvent se manifester à la même manière quantitative sur la courbe de réflectance (fig. 23). Les écarts de l'étalon sont constatés dans le visible et dans l'infra-rouge aussi, mais l'anomalie la plus caractéristique se trouve dans la bande rouge du spectre visible.

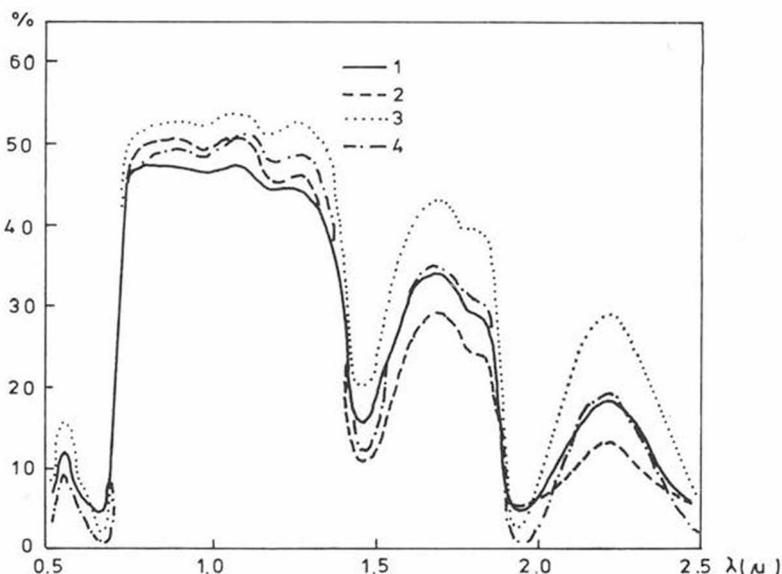


Fig. 23. Reflexion et transmission diffuse des feuilles de coton selon l'humidité du sol (V. I. Myres 1970)

D. Le rayonnement réfléchi traverse l'atmosphère de nouveau avant d'être capté par l'appareil photographique et l'émulsion. L'interaction de l'atmosphère se manifeste p.e. dans la diffusion de la lumière (fig. 24), ainsi dans la diminution des contrastes. En comparant des clichés pris sur terre et ceux de l'avion, on doit constater que les teintes de photographies à terre sont assez différentes de celles des clichés aériennes surtout pour l'émulsion infra-rouge couleur. Par cette cause il semble désirable d'introduire la notion de la réflectance de la couronne (ou toit végétal) proposée par les chercheurs russes (fig. 25) et déterminer la composition spectrale des espèces à partir de l'avion.

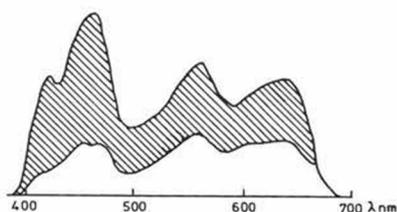


Fig. 24. Influence de l'altitude de l'avion sur la diffusion atmosphérique. La courbe inférieure représente la répartition spectrale de la luminance du terrain pour un avion volant au dessus d'une zone forestière, à une altitude de 100 mètres. La courbe supérieure représente le même terrain, vue de 2000 m. La partie hachurée est l'apport parasite de lumière diffusée quand l'altitude passe de 100 m à 2000 m

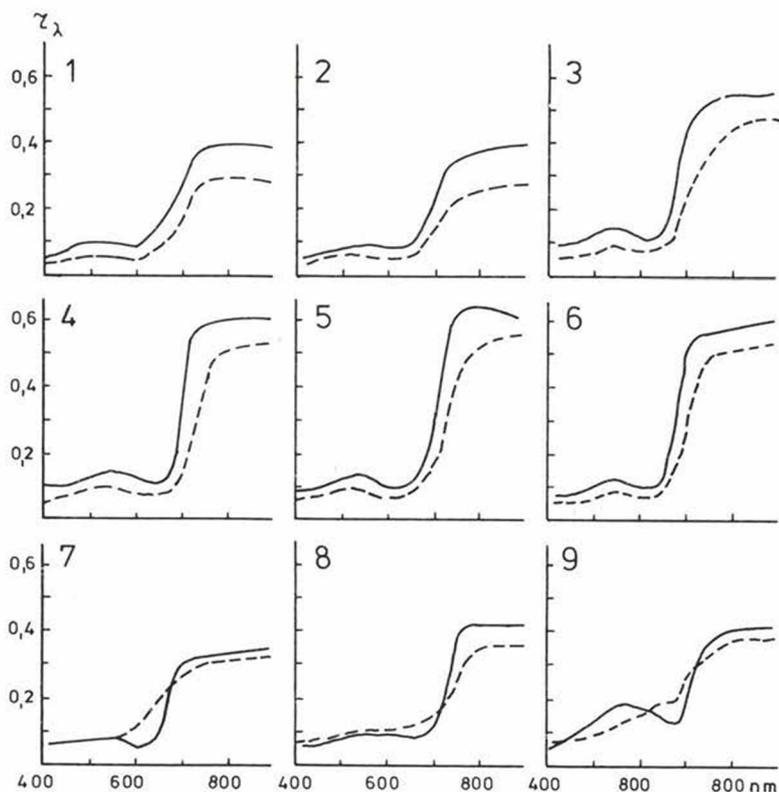


Fig. 25. Les courbes de réflectance spectrale des arbres caractéristiques dans les forêts boréales et sur les zones arides. La ligne continue marque la réflectance de la couronne, la ligne tiretée marque la réflectance de la feuille (N. G. Kharin 1973)

- 1 - *Pinus silvestris*; 2 - *Picea excelsa*; 3 - *Larix sibirica*; 4 - *Betula alba*; 5 - *Populus tremula*;  
6 - *Populus balsamifera*; 7 - *Haloxylon ammodendron*; 8 - *Haloxylon persicum*; 9 - *Ephedra strobilacea*.

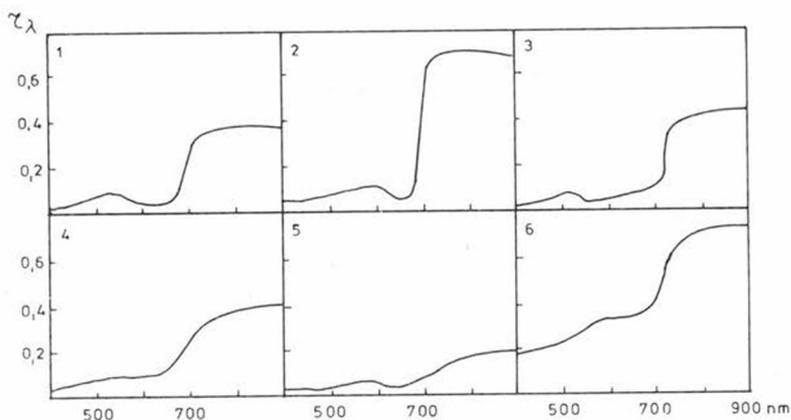


Fig. 26. Les courbes typiques de la réflectance spectrale des plantes

1 — conifères (*Picea excelsa*); 2 — feuillus (*Populus tremula*); 3 — halophytes (*Gypsophylla sericea*);  
4 — psammophytes (*Haloxylon persicum*); 5 — plantes de coussin (*Nanophyton erinaceum*)  
d'après N. G. Kharin 1973; 6 — succulents (*Opuntia gaseliana*) d'après D. M. Gates 1965.

### Conclusions et propositions

Les recherches américaines visées de trouver une clef mathématique absolue utilisant le maximum de paramètres déjà mentionnés semblent être éloigner de la solution réelle. Surtout que les variations intraspécifiques paraissent fortes par rapport aux variations interspécifiques. «Il n'existe pas de relation directe simple entre les caractéristiques spectrophotométriques de l'objet photographié et celles des colorants formés lors du développement des couches sensibles» (Tarkington 1959). Mais «dans le domaine de la détection aérienne ceci n'est guère gênant, parce que ce que l'on cherche surtout c'est la mise en évidence de différences de densité» (Ch. Rosetti 1969) et la couleur. Qu'est ce qui reste comme solution ?

#### 1. L'utilisation des méthodes classiques de la photointerprétation

- la forme et l'ombre, la teinte ou la couleur, la taille des éléments, l'aspect de l'image, les condition édaphiques etc.
- avec les matériaux plus nouveau (l'émulsion couleur, infra-rouge couleur).

2. L'exploitation plus poussée des différences dans la réponse caractéristique sur l'émulsion et en même temps l'élimination des effets accessoires et troublants. Ayant à notre disposition des données

- de la sensibilité des couches de l'émulsion;
- de la pourcentage de transmittance des filtres Wratten;
- des courbes de réflectance spectrale des plantes, il est possible
  - avec les méthodes graphiques ou numériques — de déterminer le filtre qui concentre sur la bande spectrale où les différences entre des espèces examinées se manifestent spécialement.

Les variations qualitatives des courbes de réflectance des diverses plantes (fig. 26) servent de la base de choix des filtres, tandis que dans les cas des variations quantitatives la bande déterminés par le précurseur reste intéressante au cours de l'étude. La population normale apparaît comme le fondements de la spécification des filtres. Ainsi les changements quantitatifs qui indiquent l'écart de n'importe quelle cause de la norme, servent de la détermination des anomalies. L'étude des anomalies nous conduit à l'exploitation des prise de vues dans les différents domaines de géographie (l'étude des conditions pédologiques, hydriques, microclimatiques, écologiques, de morphologie dynamique et de géographie de paysage). Naturellement le choix de filtre varie selon des espèces visées de séparer des autres sur la territoire examinée. Il est évident aussi, que les circonstances rigoureusement déterminées de prise de vue mentionnées sur les points A; B.1.3; C.1.a. sont indispensables en vue de la valeur plus générale des expériences.

La méthode proposée par J. Riom (1978) pour but de la télédétection phytosanitaire notamment la sélection chromatique des trois couches sensibles de l'image déjà prise est semblable selon l'objectif. En utilisant des filtres déterminés (p.e. WR. 47B, WR. 61 et WR. 29), chacun des trois images reproduites de cliché original contient l'information d'une couche du film infra-rouge couleur. «Si la 'signature spectrale' de la maladie est enregistrée sur une seule couche, l'image par cette méthode est 'déparasité' des informations inutiles contenues dans les deux autres» (Riom). Il est facile d'apercevoir que l'utilisation des filtres à l'occasion de prise de vue pour concentrer la réponse de l'émulsion sur la bande jugée le plus caractéristique au point de vue des différences des plantes étudiées apporte meilleurs résultats.

Cette nouvelle approche de détermination doit être naturellement liée les méthodes classiques ci-mentionnées de la photo-interprétation de la végétation.

#### *La méthode utilisée pour le choix des filtres*

Pour la séparation plus poussée par l'émulsion des différentes plantes il faut une fois comparer leurs courbes de réflectance en déterminant les zones spectrales ou celles-ci montrent les écarts les plus grands. Ensuite il faut concentrer la sensibilité des couches de l'émulsion à l'aide des filtres sur cette bande en éliminant — s'il est possible — ou en réduisant l'effet des autres bandes du spectre réfléchi. On peut joindre les résultats approximatifs en superposant les données de la transmission des filtres, des sensibilités des émulsions et des propriétés de réflectance des plantes dessinées sur les calques quadrillés semilogarithmiques en même échelle. Pour un meilleur aboutissement on doit calculer d'onde par d'onde les données numériques de la sensibilité des couches des émulsion selon la transmittance des divers filtres types Kodak Wratten. En comparant ces résultats avec les éléments de réflectance des plantes le choix du filtre le plus convenable est résolu. La solution plus démonstrative consiste à tracer des courbes selon les tableaux calculés, puis à les comparer en superposant.

Il est bien évident que cette méthode est utilisable non seulement dans le cas de la détection de la végétation mais une manière plus large dans le cas des autres objets également si on possède les courbes de réflectance de ceux-la.

## BIBLIOGRAPHIE

*Ouvrages généraux*

- Bariou, R.* 1978: Manuel de télédétection, Paris, Sodipe
- Bary-Langer, A. - Evrand, R. - Gathy, P.* 1974: La Forêt, Liège, p. 588.
- Barrett, E. C. - Curtis, L. F.* 1976: Introduction to environmental remote sensing, London, Chapman and Hall, p. 323.
- Cazabat, Ch.* 1969: L'interprétation des photographies aériennes, Bull. d'inform. I.G.N. n°8 p. 11 - 31.
- Chevallier, R.* 1971: La photographie aérienne, Paris, A. Colin, Coll. U2, p. 100.
- Cruset, J.* 1970: Les surfaces sensibles utilisées pour la Photo-interprétation aérienne, Bull. d'inform. I.G.N. n°12 p. 27 - 46.
- Gagnon, H.* 1974: La photo aérienne - son interprétation dans les études de l'environnement et de l'aménagement du territoire, Canada, Éd. HRW. p. 278.
- Girard, C. M. et Girard, M. C.* 1975: Applications de la Télédétection à l'étude de la biosphère, Paris, Masson et Cie, p. 185.
- Husson, A.* 1974: Étude des photographies aériennes Infra-rouge. Leurs apports à la connaissance du milieu naturel, Thèse 3<sup>ème</sup> Cycle, Stasbourg p. 225.
- Pouquet, J.* 1976: Techniques d'utilisation des enregistrements de télédétection «à la portée des débutants» - Apports de la télédétection à l'étude des régions arides et subarides, Strasbourg, p. 21 - 53.
- Tricart, J. - Rimbart, S. - Lutz, G.* 1970: Introduction à l'utilisation des photographies aériennes en géographie, géologie, écologie, aménagement du territoire, Paris, SEDES, Tome I. p. 247;
- Tricart, J - Husson, A.* 1972: Quelques apports des enregistrements infra-rouge à la connaissance du milieu physico-géographique, Ann. de Géogr. n°446 p. 385 - 421.
- X... 1968: Manual of color aerial photography - ed. I, Amer. Soc. of Photogrametry, p. 550.
- X... 1975: Manual of remote sensing - II vol. Amer. Soc. of Phot. p. 2144.
- Ouvrages spéciaux*
- Colwell, R. N.* 1966: Aerial photographic of the Earth's surface; its procurement and use, Appl. Optics. vol 5° p. 883 - 892.
- Coulson, K. L.* 1966: Effects of reflectance properties of natural surfaces in aerial reconnaissance, Appl. Optics, vol. 5° p. 905 - 917.
- Fitzgerald, E.* 1974: Multispectral scanning systems and their potential application to Earth Resources Surveys, ESRO CR 232, p. 231.
- Fitz, N. L.* 1976: Available Color Aerial Photographic Materials - 1975, Phot. Eng. and Remote Sensing, n°4 p. 525. 527.
- Fitz, N. L.* 1977: Filters: an aid in color-infrared photography, Phot. Eng. and Remote Sensing, n°1 p. 61 - 72.
- Galibert, G.* 1976: La mise en oeuvre de la télédétection bichromatique en montagne, Rev. de Géogr. Alp. p. 155 - 165.
- Galibert, G.* 1976: La prise de vue aériennes à très basse hauteur (bleu, UV, IR) appliquée à la géotechnique et à l'écologie littorale, Bull. Soc. Fr. Phot. n°61. p. 5.12.
- Gates, D. M. et al.* 1964: Radiation and convection in Conifers, Amer. Journal of Botany, vol. 51 n°5 p. 529 - 538.
- Gates, D. M. et al.* 1965: Spectral properties of plants, Appl. Optics, vol. 4. n°1 p. 11 - 20.
- Gates, D. M.* 1970: Physical and physiological properties of plantes, in: Remote Sensing, with special reference to agriculture and forestry, Nat. Acad. of Sci. p. 224 - 252.
- Gausman, H. W.* 1973: Optical parameters of leaves of 30 plant species, Plant Physiol. n°52. p. 57 - 62.

- Hildebrandt, G. 1976: Die spectrales Reflexionseigenschaften des Vegetation, Proc. 16 th. IUFRO World Congress, Oslo, div. VI. p. 214—227.
- Howard, J. A. 1971: The reflective foliaceous properties of tree species, in: Application of Remote Sensing sensors in Forestry (ed. by G. Hildebrandt) IUFRO publ. p. 125. 146.
- Kharin, N. G. 1973: Spectral reflectance characteristics of the USSR main tree species, Proc. Sympo. IUFRO S 6.05 Freiburg, p. 12—19.
- Murtha, P. A. 1978: Remote Sensing and Vegetation Damage. A theory for detection and assesment, Phot. Eng. and Remote Sensing, n°9. p. 1147—1158.
- Myers, V. I. 1970: Soil, water and plant relations, in: Remote Sensing, with special reference to agriculture and forestry, Nat. Acad. of Sci. p. 253—297.
- Riom, J. 1978: Aperçu des méthodes de la télédétection phytosanitaire, Bull. Soc. Fr. de Phot. n°69. p. 21—33.
- Rosetti, Ch. — Kowaliski, . — Have, . 1966: Relations entre les caractéristiques de réflexion spectrale de quelques espèces végétales et leurs images sur des photographies en couleur terrestres et aériennes, Acte du 2<sup>ème</sup> Symposium de Photo-Interprétation II. p. 21—51.
- Stephens, P. R. 1976: Comparison of color, color infrared and panchromatic aerial photography, Phot. Eng. and Remote Sensing, n°10. p. 1273—1277.
- Wolley, J. T. 1970: Reflectance and transmittance of light by leaves, Plant Physiol. vol. 47. p. 656—662.
- X... 1976: Kodak Data for Aerial Photography, Publ. M—29. New York.
- X... 1976: Kodak Filters for Scientific and Technical Uses, Publ. B—3. New York.
- X... 1976: Kodak Infrared Films, Publ. N—17. New York.
- X... 1972: Physical Properties of Kodak Aerial Films, Publ. M—62. New York.

## РЕЗЮМЕ

## ФАКТОРЫ И МЕТОДЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ АЭРОФОТОСНИМКОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Автор узвал изменения характера электромагнитных волн от источника излучения до камеры в интересах того, чтобы стало возможным установить те теоретические, а затем и практические возможности, которые могут улучшить дешифрирование аэрофотоснимков, отснятых с небольшой высоты простых неметрических камер и фильтров Кодак Враттен на инфракрасные фальшивоцветные пленки. Исследую влияние важнейших факторов, а также их причину автор различает количественные и качественные изменения. Качественные изменения означают сдвиги между зонами полосы спектра, другими словами происходит изменение общего характера отражаемой кривой. В то же время количественные изменения не изменяют оригинальный ход кривой независимо от того проявляются ли эти изменения глобально или же концентрируются только на одну или несколько полос спектра. Таким образом не изменяется ни общий характер кривой, ни спектральное место максимумов или минимумов.

Вместо использования общепринятого шифра на математической основе автор предлагает: 1) Использование классических методов (форма, тень, оттенок лил цвет и т. п.) с помощью новых материалов, 2) В интересах дальнейшего использования различий в характере отражения и в то же время для лучшего устранения сопряженных и мешающих влияний с помощью графических или численных методов в зависимости от территории и изучаемого объекта необходимо применение таких цветофильтров, которые обеспечивают концентрацию на ту полосу спектра, где изучаемые различия особенно велики.

Свойства средней популяции определяют выбор фильтров и количественные отклонения от нормы по любой причине служат для установления аномалий и их причин. Изучение аномалий приводит к дешифрированию снимков с различных точек зрения (почвенные, гидрологические, микроклиматологические, экологические, геоморфологические и т.п. условия)

Естественно этот метод пригоден не только для интерпретации растительности, но и в более широких масштабах и в случае любых других объектов, если мы знаем кривую их отражения.