

# SIGNATURES SPECTRALES DES OBJETS DU LITTORAL

M Viollier\*, T Belscher & L Loubersac\*\*

\*CNRS, \*\*IFREMER, Roscoff & Brest, France

## RESUME

Des signatures spectrales ont été mesurées sur le littoral au moyen d'un spectroradiomètre "haute résolution" et d'un radiomètre de simulation SPOT. Ces données permettent de définir des indices optiques utiles à la caractérisation des algues et des faciès de l'estran.

## ABSTRACT

Spectral signatures have been measured in coastal areas by using a high resolution spectroradiometer and a SPOT simulation radiometer. Optical indexes for characterization of seaweeds and strand facies are derived from these data.

Mots-clés : Radiométrie de terrain, Littoral, Algues, Estran, Télédétection, Spot.

## 1. INTRODUCTION

Les méthodes statistiques de classification opérées sur les données des simulations SPOT permettent la cartographie des principaux faciès du littoral tout en apportant une contribution efficace à l'obtention de données quantitatives, notamment sur le couvert végétal (Réf. 1-3). Afin d'améliorer la précision de ces méthodes, il est cependant nécessaire de tenir compte des lois physiques qui régissent les interactions entre le rayonnement et la matière. Dans ce domaine, d'importants progrès sont attendus de l'analyse des signatures spectrales mesurées *in-situ*.

## 2. INSTRUMENTS

Trois instruments qui s'avèrent complémentaires ont été employés.

- Le spectroradiomètre de terrain HRS (Réf. 4) mesure les réflectances comprises entre 450 et 900 nm avec une très haute résolution spectrale (< 1 nm).

- Le radiomètre de simulation SPOT Cimel (Réf. 5) : d'un emploi très simple, il permet de recueillir rapidement de très nombreuses mesures correspondant aux trois canaux "large bande" de l'instrument HRV/SPOT.

- Le radiomètre immergeable EOS (Electro Optics Suarez, Hamburg) : il mesure la réflectance et le coefficient d'atténuation de la mer aux quatre longueurs d'onde de l'instrument CZCS/Nimbus 7. Ses applications ne concernent pas seulement l'océan (Réf. 6), mais également le littoral.

## 3. LE CAS DES CIBLES "PURES"

Un peuplement algal dense, un faciès sédimentaire bien défini, peuvent présenter aux radiomètres qui les visent, des surfaces homogènes (400 m<sup>2</sup> pour HRV/SPOT). Pour ces cibles, que nous qualifierons de "pures", nous pouvons définir un certain nombre d'indices caractéristiques.

### 3.1 Les algues

L'une des originalités des algues par rapport aux végétaux supérieurs est leur diversité pigmentaire adaptée à la grande variabilité de leur environnement lumineux (Réf. 7). La présence du pigment

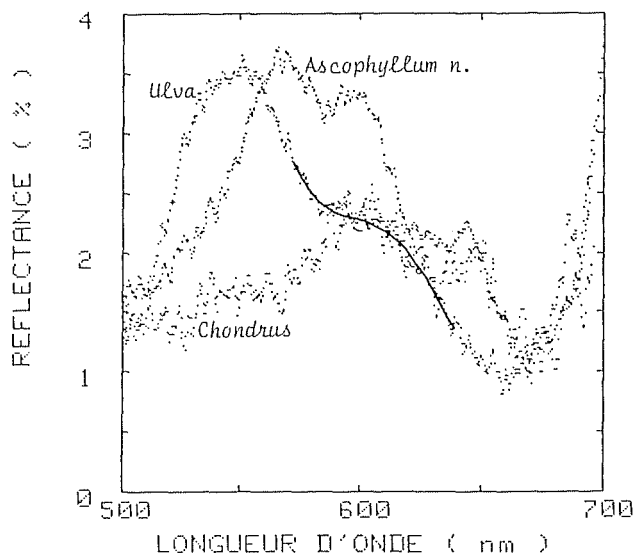


Figure 1. Entre 400 et 700 nm, la réflectance des algues traduit la variété de leur équipement pigmentaire

photosynthétique principal, la chlorophylle, conduit à des réflectances uniformément proches de zéro entre 400 et 500 nm. En revanche, dans la région 500-700 nm, la diversité des pigments accessoires est traduite par celle des réflectances (Figure 1), illustration parfaite de la notion de "signature spectrale".

Dans cette région spectrale, bien que la gamme de variations des réflectances soit faible (de 0 à 0,05), elle est susceptible d'être perçue par SPOT. Après intégration des données sur la largeur des bandes HRV1 et HRV2 de SPOT, le rapport de ces canaux fournit un indice de l'importance relative des pigments accessoires (Figure 2). Ce rapport pourrait donc constituer un moyen de caractériser les principales populations végétales. Cependant, les écarts types calculés d'après des mesures du "Cimel", et schématisés par des barres verticales fixent les limites de la méthode, et montrent qu'au maximum quatre ou cinq catégories pourront être isolées.

Dans le proche infrarouge, au-delà de 700 nm, les réflectances sont environ dix fois plus élevées et dépendent principalement des structures anatomiques. Les valeurs absolues des réflectances étant extrêmement dépendantes des conditions d'éclairage (orientation des surfaces, zones d'ombre, etc), il n'est pas immédiat d'utiliser un seul canal dans le proche infrarouge, même si des variations importantes sont observées suivant les groupes d'algues : typiquement 30 % pour les chlorophycées (ulves), 50 % pour les phéophycées (*Fucus serratus*, *Ascophyllum*, ...).

### 3.2 Les sols nus

Les signatures spectrales des sédiments d'estran sont également très variées (Réf. 8), car dépendantes de nombreux paramètres : nature des sédiments, granulométrie, humidité, teneur en substances organiques, flore microscopique, etc. Sur ces cibles, nous avons enregistré des signatures très contrastées (Figure 3). On remarquera que la chlorophylle des sédiments est très bien perçue par sa bande d'absorption vers 680 nm.

## 4. LE CAS DES CIBLES "COMPLEXES"

Une faible partie du littoral correspond à la définition des cibles "pures". La plus grande partie constitue au contraire une véritable "mosaïque" où des communautés biologiques différentes se développent côte à côte, s'imbriquent, se chevauchent, obligeant le naturaliste à utiliser des outils mathématiques complexes (géostatistique, stratégie d'échantillonnage, etc). Dans ces conditions, les cas de description quantitative de l'environnement littoral restent extrêmement rares. La résolution géométrique des satellites d'observation de la terre, relativement large de l'ordre de 20 m x 20 mètres, que l'on pourrait considérer mal adaptée à ce type de description fine, présente alors un avantage immense : celui de conduire à des données "naturellement" moyennées, qu'il serait presque impossible d'établir *in-situ*, et qu'il devient possible d'intégrer dans le temps et l'espace, puisqu'elles seront établies avec le même instrument en suivant des méthodes identiques.

Enfin, dans les mers à marée, la difficulté de la recherche de l'information est accrue de manière considérable par la variété des conditions créées : exondation plus ou moins prolongée, rétention d'eau plus ou moins importante suivant les peuplements, la nature du substrat, sa pente, sa morphologie,...

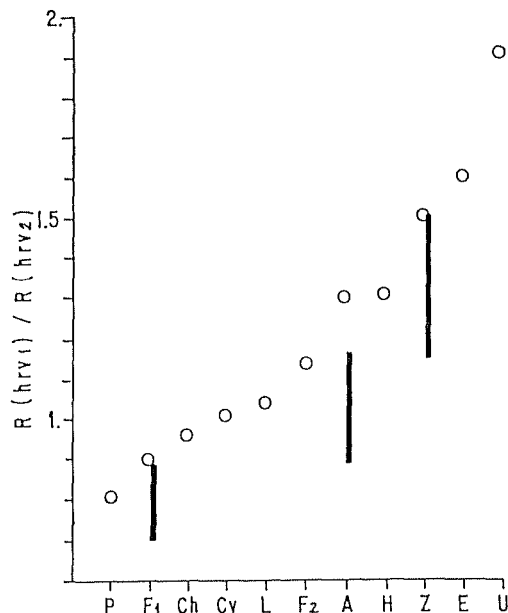


Figure 2. Le rapport des réflectances des canaux SPOT HRV1 et HRV2 constitue un indice de la composition pigmentaire des algues. Dans l'ordre :

- P *Palmaria palmata*
- F1 *Fucus serratus*
- Ch *Chondrus crispus*
- Cy *Cystoseira*
- L *Laminaria digitata*
- F2 *Fucus serratus*, en dégénérescence
- A *Ascophyllum nodosum*
- H *Himantalia elongata*
- Z *Zostera marina* (phanérogame)
- E *Enteromorpha* sp
- U *Ulva* sp

Les points correspondent à des mesures "HRS" (intégrées sur la largeur des canaux). Les barres correspondent aux écarts types de mesures "Cimel". Le biais systématique (valeurs "Cimel" inférieures à celles du "HRS") est probablement dû aux écarts de calibration. D'après ce graphique, la distinction entre différents groupes, des algues les plus foncées jusqu'aux algues vertes, semble possible. Ce principe ne pourra cependant s'appliquer aux données réelles de SPOT que dans la mesure où l'on aura vérifié que les pixels analysés remplissent la condition de cible "pure" (surface homogène).

#### 4.1 Sol découvert

Dans ce cas, l'indice de végétation  $I_V$ , du type  $(R_{IR} - R_{vis}) / (R_{IR} + R_{vis})$ , est le premier indice descriptif d'une cible "complexe" à prendre en considération. Il faut apprécier ses possibilités de représenter le taux de recouvrement végétal  $C$ , exprimé en pourcentage de surface. La Figure 4 répond en partie à cette question, mais il faut continuer à multiplier les points de comparaison afin de marquer les marges d'incertitude.

La figure 5 donne un exemple d'application : le long d'une radiale de 500 mètres sur les sols nus d'un marais maritime tropical (Marais de Mara en Nouvelle Calédonie), les indices de végétation  $I_V$  et de brillance  $I_B$  ( $(R_{vis}^2 + R_{IR}^2)^{1/2}$ ) mettent en évidence deux ensembles principaux décrits dans la littérature (Réf. 9) : zone d'algues filamenteuses alternant avec de fines couches de matériel argileux (six premières stations), et sols nus proprement dits typiquement sursalés, au-delà.

#### 4.2 Végétation à fleur d'eau

Les algues de haut niveau du domaine sublittoral et certaines espèces proliférant presque exclusivement dans les aires de ruissellement, telle *Sargassum muticum* par exemple, ne présentent à la surface de l'eau qu'une faible partie de leur thalle. Leur signature spectrale se caractérise par un maximum dans la région 700-800 nm, témoin de leur appartenance au règne végétal, mais également par un niveau moyen relativement faible ( $R < 15\%$ ), et une diminution des réflectances vers les plus grandes longueurs d'onde ( $> 800$  nm), due à la très forte absorption de l'eau dans cette région spectrale. De ces observations, il semble possible de déduire un indice caractérisant la végétation à fleur d'eau.

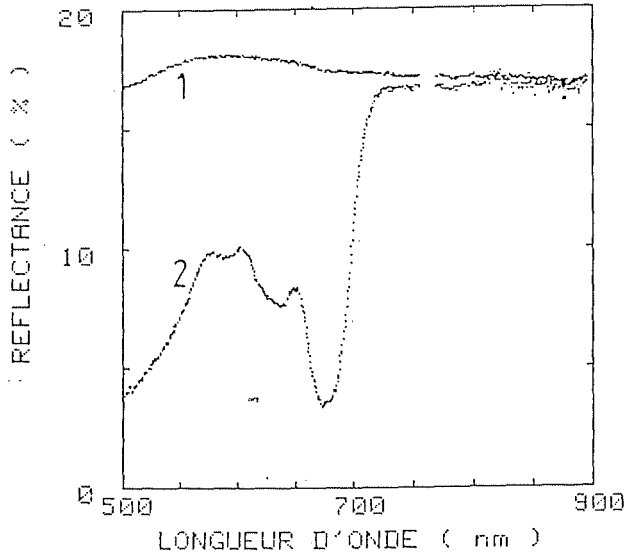


Figure 3. Signatures spectrales des sédiments d'estran. Deux cas extrêmes : sable grossier (1), vase à diatomées (2).

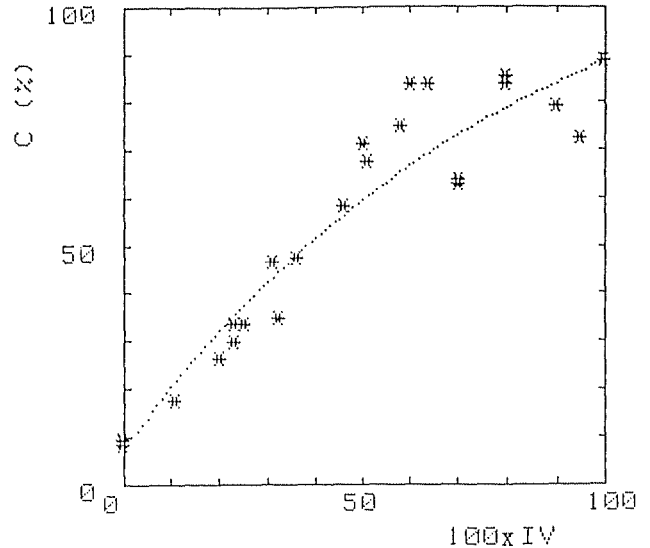


Figure 4. Relation entre le taux de couverture végétale  $C$  et l'indice de végétation  $I_V$  calculé à partir des mesures du radiomètre "Cimel". Cinq points correspondent à des cibles naturelles ; les autres à des répartitions reconstituées artificiellement. En pointillé : la relation théorique. Région concernée : littoral du Nord Finistère.

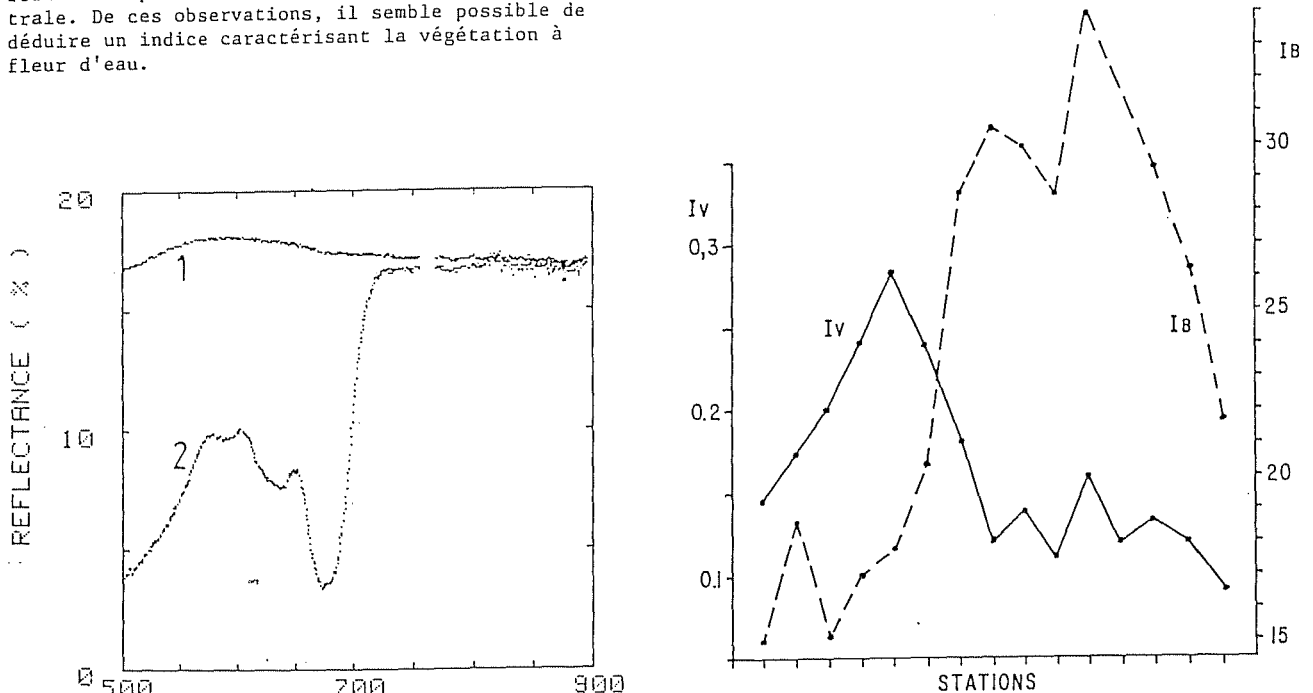


Figure 5. Indices de végétation  $I_V$  et de brillance  $I_B$  calculés à partir des mesures du radiomètre "Cimel", le long d'une radiale de 500 mètres sur les sols nus d'un marais maritime tropical (voir le texte).

#### 4.3 Végétation immergée

Dans des eaux claires (en l'absence de tout effluent côtier), il est possible de distinguer les fonds nus des fonds rocheux recouverts d'algues, jusqu'à des profondeurs d'une quinzaine de mètres. En 1985, le suivi bimensuel de la transmission optique des eaux du Nord Finistère, effectué à l'aide du radiomètre "EOS", a montré que le coefficient d'atténuation à 550 nm variait de  $0,05 \text{ m}^{-1}$  à  $0,12 \text{ m}^{-1}$  (cas de remise en suspension par tempête, ou de bloom de phytoplancton), ce qui donne des profondeurs théoriques maximales de pénétration variant entre 20 et 8 mètres. Le rapport des deux premiers canaux de SPOT semble fournir dans ce cas un bon indice de végétation immergée, comme on peut le vérifier sur un certain nombre d'images de simulation SPOT.

#### 5. CONCLUSION

La présentation des signatures spectrales du littoral a permis de préciser ou de projeter un certain nombre d'indices, en particulier sur

- la fraction de couverture végétale des estrans découverts,
- l'équipement pigmentaire des algues,
- la végétation à fleur d'eau,
- la végétation faiblement immergée.

Calculés à partir des données HRV/SPOT (calibrées et corrigées des effets atmosphériques), ces indices définis sur des bases physiques pourront être théoriquement comparés, indépendamment de l'époque et du lieu.

Les qualités propres à cette approche doivent s'ajouter à celles, complémentaires, des méthodes statistiques de classification et des analyses des structures géométriques des images.

#### 6. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le CNES pour le prêt des radiomètres et les personnels des services DERO/AT et DERO/EL pour leur participation à ces travaux (Y. Guennegan, B. Guillaumont, J. Populus, M.C. Juzeau, H. Ben Moussa, J.L. Piriou).

#### 7. REFERENCES

1. Loubersac L 1983, Applications des données satellitaires haute résolution à l'observation du milieu littoral, *Proc Earsel/ESA Symposium on Remote Sensing Applications for Environmental Studies*, 79-85.
2. Belsher T, Loubersac L, Belbeoch G 1983, Télédétection et variations du phytobenthos intertidal, *Oceanologica Acta*, n° sp, 11-14.
3. Populus J, Deslous-Paoli JM, L'Herroux M, Brussieux M 1985, Estimation des stocks conchylicoles par télédétection : résultats et perspectives, *4eme Colloque Franco-Japonnais d'Océanographie Marseille 16-21 sept 1985*, 8 pages.
4. Vermande P 1985, High spectral resolution remote sensing instruments developed and under development at CNES, *3eme Coll. Int. on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing*, Les Arcs 16-20 Décembre 1985.
5. Guyot G, Hanocq JF, Buis JP, Saint G 1984, Mise au point d'un radiomètre de simulation de SPOT *Proc IIe Coll. Int. Signatures spectrales d'objets en télédétection*. Ed. INRA Publ., 233-234.
6. Viollier M, Sturm B 1984, CZCS data analysis in turbid coastal water, *J Geophys. Res.*, 89, D4, 4977-4985.
7. Levavasseur G 1986, Plasticité de l'appareil pigmentaire des algues marines macrophytes. Régulations en fonction de l'environnement. *Thèse Doctorat d'Etat Univ. Paris VI*, 212 p.
8. Zbinden R 1984, Spectroradiométrie de sédiments de la baie du Mont Saint Michel *Proc IIe Coll. Int. Signatures spectrales d'objets en télédétection*. Ed. INRA Publ., 366-372.
9. Baltzer F 1970, Etude sédimentologique du Marais de Mara et de formations quaternaires voisines *Edition de la Fondation Singer Polignac, Paris, Vol. IV*.