



UMR 3S Cemagref-Engref
Maison de la Télédétection
500, Rue J.-F. Breton
34 093 Montpellier cedex 5



Prévention des Incendies de Forêts
INRA
Avenue A. Vivaldi
84 000 AVIGNON



Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive
UPR 9056 – CNRS
1919, Route de Mende
34 293 Montpellier cedex 5



Direction Régionale PACA
ONF
15, Avenue Paul Cézanne
13 098 Aix-en-Provence cedex 02

GIS INCENDIE DE FORET

Indices satellitaires et stress hydrique de la végétation méditerranéenne : du bosquet au pixel

Rapport d'avancement des travaux – 27/11/2001

CONVENTION DERF 61.45.11/01

Montant de 50 890 € TTC

Approuvée le 31 octobre 2001

Notifiée le 6 novembre 2001

Résumé

La phase expérimentale du projet a consisté à mesurer sur plusieurs sites l'évolution spatio-temporelle de la teneur en eau des feuilles d'espèces méditerranéennes sclérophylles. Conjointement, des études radiométriques de terrain et de laboratoire sont conduites sur ces feuilles dans le domaine spectral du Visible au MIR (350-2500 nm) pour le suivi du paramètre teneur en eau. Les mesures de terrain sont ensuite mises en relation avec les images de plusieurs satellites (NOAA, SPOT, TERRA) et divers indices satellitaires sont testés pour évaluer l'humidité de la végétation.

Protocole 1 : Suivi de la variabilité spatio-temporelle de la teneur en eau

La teneur en eau des feuilles de quatre espèces méditerranéennes a été mesurée sur deux zones d'étude :

- chêne vert *Quercus Ilex* et chêne kermès *Quercus Coccifera* sur le Causse d'Aumelas près de Montpellier (Hérault) ;
- arbousier *Arbutus Unedo* et bruyère arborescente *Erica Arborea* dans le Massif des Maures (Var).

Travail sur le Causse d'Aumelas (Cemagref et ONF)

La zone d'étude se situe à 30 km à l'ouest de Montpellier. Elle s'étend sur 3x3 km. Le protocole d'analyse consiste à prélever des feuilles de chêne, au plus proche du midi solaire, à les peser et les sécher en étuve pour déterminer leur teneur en eau (précision : $\pm 0,1\%$). Les prélèvements s'effectuent 2 fois par semaine, en 5 sites localisés par GPS différentiel, avec 8 échantillons par site.

Plus de 1.100 prélèvements couvrent la période du 14 juin au 17 octobre 2001.

Travail sur le Massif des Maures (Inra)

La zone d'étude se situe dans le Massif Forestier des Maures, près du sommet du Bœuf. Le protocole d'analyse consiste à prélever des feuilles de bruyère arborescente et d'arbousier, au plus proche du midi solaire, à les peser et les sécher en étuve pour déterminer leur teneur en

eau. Les prélèvements s'effectuent 2 fois par semaine, en 3 sites localisés par GPS différentiel, avec 7 échantillons par site. Plus de 1.000 prélèvements couvrent la période du 26 juin au 9 septembre 2001.

Protocole 2 : Analyse des réponses spectrales des feuilles selon leur niveau de stress (Cemagref)

L'objectif de cette étude est de caractériser la réponse spectrale des feuilles des deux espèces étudiées pour des teneurs en eau (niveau de stress) différentes. Les feuilles sont passées une à une dans un dispositif composé d'un spectroradiomètre (spectre 350-2500 nm, pas de 1 nm) couplé à une sphère d'intégration. Le mécanisme permet la mesure des différentes composantes du rayonnement (réflectance, absorptance et transmittance) pour chaque face des feuilles. On mesure également pour chaque feuille sa teneur en eau, notée FMC (*Foliage Moisture Content*) qui correspond à la proportion d'eau par rapport au poids sec.

Protocole 3 : Etude des variations de la composition chimique des feuilles lors d'un stress hydrique (CNRS)

Nous tâchons de répondre à la question suivante : existe-t-il une relation entre la composition chimique des feuilles (au travers de leur réponse spectrale après séchage) et leur niveau de stress hydrique ? Le protocole d'analyse consiste à conserver une partie des feuilles prélevées sur chaque site d'étude, à les sécher et à mesurer leur réflectance par spectroradiométrie infrarouge en laboratoire (400-2500 nm, pas de 2 nm). Les feuilles sont broyées au Cyclotec (maille de 1 mm) pour obtenir une poudre constituée de particules de taille homogène. Le spectromètre NIRS mesure la réflectance de l'échantillon pour des stress hydriques de plus en plus marqués. Les espèces étudiées sont le chêne vert, le chêne kermès, l'arbousier, la bruyère arborescente, le ciste cotonneux, le genévrier oxycèdre, le genêt à balais. Le but est de rechercher un modèle commun (indépendant des espèces) pouvant prédire le niveau de stress hydrique des plantes. Les modifications des réflectances semblent liées aux changements très rapides des éléments chimiques constitutifs des feuilles, par exemple les sucres solubles à forte mobilité.

Premiers résultats

La mesure des propriétés optiques des feuilles de chêne par spectroradiométrie de laboratoire (protocole 2, figure 1) nous permet d'observer les différences de comportement des deux faces des feuilles sur un large spectre (400 à 2400 nm). La face inférieure, claire, est plus réfléchissante dans le visible et le moyen infrarouge que la face supérieure.

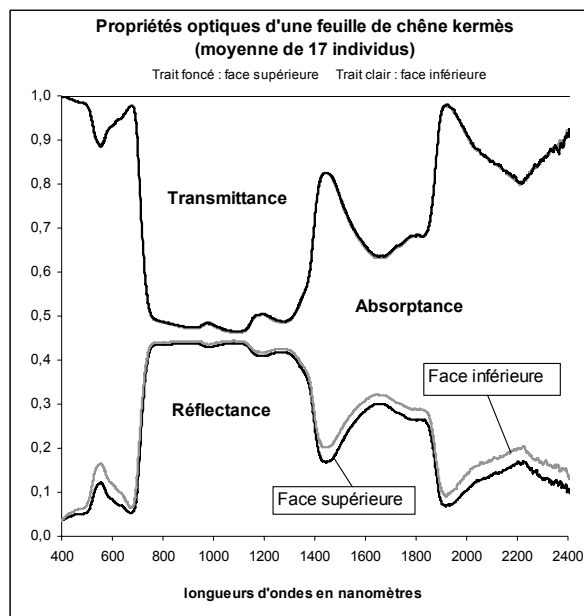


Figure 1. Propriétés optiques des deux faces d'une feuille de chêne kermès

L'étude des spectres met en évidence une différence significative des réflectances des feuilles selon leur teneur en eau. La zone fin PIR-début MIR du spectre apparaît la plus intéressante pour caractériser la teneur en eau. Cette zone est rarement exploitée par les satellites d'observation de la Terre.

Conclusion - Perspectives

Les mesures radiométriques de laboratoire, sur matériel vivant (protocole 2) et sec (protocole 3), confirment la zone d'intérêt du moyen infrarouge du spectre pour prédire la teneur en eau des feuilles.

Actuellement, un travail complémentaire étudie la réflectance des feuilles séchées de plusieurs espèces méditerranéennes (chênes vert et kermès, arbousier, bruyère arborescente, ciste cotonneux, genévrier oxycèdre, genêt à balais...). Le but est de rechercher un modèle

commun (indépendant des espèces) pouvant prédire le niveau de stress hydrique des plantes. Les modifications des réflectances semblent liées aux changements très rapides des éléments chimiques constitutifs des feuilles, par exemple les sucres solubles à forte mobilité.

La teneur en eau des feuilles des deux espèces de chênes méditerranéens a également été étudiée à travers ses variabilités spatiale et temporelle. Il apparaît que l'hétérogénéité naturelle de la garrigue dépasse l'amplitude moyenne annuelle, d'où l'intérêt de calculer une humidité moyenne à partir de plusieurs individus. Cette humidité moyenne présente alors un profil temporel lissé, avec une décroissance naturelle au cours de l'été, interrompue par les épisodes pluvieux. Cette mesure de paramètre sur plusieurs individus correspond à ce qui est fait naturellement par les données de télédétection, avec la couverture d'une grande surface sous forme d'une matrice de pixels. Ceci confirme l'intérêt potentiel de la télédétection pour spatialiser le paramètre teneur en eau.

Le travail suivant consistera à traiter 8 images du satellite SPOT de l'année sur la région de Montpellier et de comparer les valeurs de réflectance, dans les 4 bandes du capteur HRVIR, aux mesures de teneur en eau (FMC) des sites.

Il en sera fait de même avec des capteurs basse résolution (AVHRR, VEGETATION et MODIS) sur les 2 zones de suivi (Causse d'Aumelas et Massif des Maures).

A terme, l'étude doit permettre de préciser dans quelles mesures les informations tirées des images satellitaires peuvent améliorer la localisation du risque d'incendie.