Pédologie/Pedology

## Etude des propriétés spectrales des sols arides appliquée à l'amélioration des indices de végétation obtenus par télédétection

### Richard Escadafal et Alfredo HUETE

Résumé – Les variations du rapport de la réflectance dans les bandes rouge et infrarouge sont mises en relation avec un « indice de coloration » pour une série de dix sols arides. Ces variations gênent fortement la détection des faibles taux de couvert végétal avec les indices de végétation (NDVI et SAVI) calculés à partir de ces deux bandes. Il est proposé d'utiliser l'indice de coloration comme facteur de correction de ce « bruit » dû au sol. Une simulation de la réflectance des sols avec une couverture végétale variant de 0 à 15% en évidence un doublement de la sensibilité des indices de végétation ainsi corrigés. En particulier, le SAVI corrigé permet d'estimer le taux de végétation avec une erreur quatre fois inférieure à celle du NDVI non corrigé. Ces premiers résultats devraient conduire à une amélioration sensible de la mesure de la biomasse végétale des régions arides par télédétection.

# Improvement in remote sensing of low vegetation cover in arid regions by correcting vegetation indices for soil "noise"

Abstract — The variations of near-infrared/red reflectance ratios of ten aridic soil samples were correlated with a "redness index" computed from red and green spectral bands. These variations have been shown to limit the performances of vegetation indices (NDVI and SAVI) in discriminating low vegetation covers. The redness index is used to adjust for this "soil noise". Data simulated for vegetation densities of 5 to 15% cover showed that the sensitivity of the corrected vegetation indices was significantly improved. Specifically, the "noise-corrected" SAVI was able to assess vegetation amounts with an error four times smaller than the uncorrected NDVI. These promising results should lead to a significant improvement in assessing biomass in arid lands from remotely sensed data.

Abridged English Version – I. INTRODUCTION. – One of the most important goals of terrestrial remote sensing is the assessment of vegetation cover and biomass. Vegetation indices (VI), which are based on linear combinations or ratios of near-infrared (NIR) and red (R) bands, are used to enhance the vegetation spectral features while minimizing the soil influences. The simplest and most widely used vegetation index is the NDVI [1], which is partially based on the premise that all soils have a constant NIR/R ratio [equation (1)]. Thus, the NDVI would depict only vegetation variations.

However, several studies have shown that, besides atmospheric perturbations which are discussed elsewhere [2], the NDVI is also affected by soil spectral properties, especially over sparsely vegetated regions where the soil is the dominant spectral component.

A first order influence of soils is due to the non-linear optical properties of soil-vegetation mixtures. This phenomenon is more intense over intermediate vegetation densities. It has been discussed in detail by Huete [3], who has proposed the "soil-adjusted" vegetation index [SAVI, equation (2)].

\_ Soils also show a significant variability in their NIR/R reflectance ratios, so that the VI computed for bare soils can deviate from the assumed reference soil baseline ([4], [5]). This form of soil "noise" impedes remote sensing of low vegetation densities [6] and seems related to soil color [7].

In this short note a method is presented to correct the VI for soil noise using a "redness index".

12 DEC. 1921

Nº 4

Note présentée par Georges PEDRO.

0764-4450/91/03121385 \$ 2.00 © Académie des Sciences

1385

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

24290

G

II. MATERIALS AND METHODS. – The spectral reflectance curves of ten aridic soil samples collected in Arizona (Table) were measured outdoors with a portable spectroradiometer (see [9] for a detailed description of the technique used). Reflectance data were resampled to simulate current satellite sensors bands. Only the results for Landsat Thematic Mapper band 2 (green, G), band 3 (red, R) and band 4 (infrared, IR) are reported here.

Green vegetation covers of 5, 10 and 15% were simulated by linearly mixing the soil curves with the reflectance spectrum recorded over a complete alfalfa canopy (data after [8]). When computing the indices, soil-vegetation interactions were assumed to be negligible over such low percent covers as well as the vegetation shadowing effect.

In order to facilitate intercomparisons, values of NDVI and SAVI, both uncorrected and noise-corrected, were expressed relative to the value computed for the complete alfalfa canopy (relative to 100% veg.).

III. RESULTS-DISCUSSION. – The primary factor of variability found among the soil curves is brightness, which is the overall amplitude of reflectance as shown on Figure 1. We will focus here on secondary spectral variations expressed by the curve shape, which is related to soil composition [9]. The sigmoidal shape is mainly caused by adsorption of the blue radiation by iron oxides [10]. The more pronounced this shape, the redder the soil. The relationships between spectral reflectance and soil color have been investigated by Escadafal *et al.* ([11], [12]). Saturation of soil color (or "redness") was found to be correlated with red band/green band ratios in the case of arid soils [13]. An application of these results was the use of a Landsat-derived soil color index for soil mapping purposes [14].

The amplitude of the soil noise in the NDVI appears on Figure 2. Note that all four simulated levels of vegetation density may be represented by an NDVI value of 0.18. The SAVI is significantly better in discriminating different vegetation amounts, but does not remove all the noise.

The variations of the NIR/R ratio causing these problems appear to be related to the sharpness of the soil curves (*Fig.* 1). Thus, the relationships between the VI values for bare soil (soil noise) and a redness index, RI [equation (3)], were studied. A significant linear correlation was observed between the two indices, even in the case of soils with simulated vegetation cover (*Fig.* 3).

IV. CORRECTING VEGETATION INDICES FOR SOIL NOISE. – As the slope of the linear correlation reported above, k, is not affected by low amounts of vegetation (*Fig.* 3), the proportion of noise in a given VI value can be estimated from RI. Based on this statement, a corrected vegetation index (VI\*) is proposed [equation (4)]. With the soil series studied here, k=0.45 for the NDVI, and k=0.26 for the SAVI.

The amplitude of variation of corrected NDVI and SAVI values for the 10 soils and the 4 simulated cover densities are shown in Figure 4. Graphically assessed from Figures 2 and 4, the error in estimating the amount of vegetation with the corrected indices is 50% less. In brief, the corrected SAVI is four times better than the NDVI in detecting sparse vegetation.

V. CONCLUSION. - This study has clearly illustrated how the soils spectral variability hinders the use of current vegetation indices to assess low vegetation densities typical of arid biomes. The correlation found between the redness index (green and red bands combined in a manner analogous with the vegetation index) and the soil noise, was used as a correction technique which doubles the sensivity of the NDVI and the SAVI. This technique is simple enough to be easily implemented in any image processing system. Further studies are

needed to investigate the applicability of these promising results to real soil-vegetation mixtures remotely sensed from satellites.

I. INTRODUCTION. – Une des tâches importantes assignées aux satellites civils de télédétection est la caractérisation de l'abondance et des variations de la biomasse terrestre. La télédétection de la végétation dans le domaine optique repose sur la forte absorption du rayonnement rouge par les végétaux verts, alors qu'ils réfléchissent la lumière solaire dans les longueurs d'onde correspondant à l'infrarouge. Ainsi, les capteurs des satellites cités sont équipés de canaux centrés sur ces portions du spectre (symbolisés plus loin par R et IR).

Des relations ont été mises en évidence entre la quantité de biomasse aérienne ou le taux de couverture de la végétation et différents rapports ou combinaisons linéaires des données de ces canaux. Parmi ces « indices de végétation » (VI), le plus utilisé actuellement est le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [1].

C'est une expression simple, facile à calculer, du contraste entre les valeurs mesurées dans les bandes rouge et infrarouge.

(1) 
$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}.$$

En fait, cet indice n'est pas seulement sensible aux variations de l'abondance de la végétation verte. Les effets atmosphériques introduisent des perturbations discutées en détail par ailleurs [2], tandis que les propriétés spectrales des sols peuvent modifier le contraste Réflectance R/Réflectance IR dans le cas très fréquent où ils ne sont que partiellement recouverts par la végétation.

Le premier type d'influence des sols mis en évidence dans le NDVI est dû au fait que le rayonnement solaire reçu, puis réfléchi par le sol interagit avec la végétation. Les propriétés spectrales des mélanges sol-végétation ne varient donc pas linéairement avec la proportion des deux composants. Ce phénomène est plus particulièrement sensible dans le cas des couverts végétaux de densité moyenne. Il a été étudié en détail par Huete [3], qui a proposé un indice de végétation ajusté pour cet effet : le SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index).

(2) 
$$SAVI = \frac{IR - R}{IR + R + L} . (1 + L)$$

où L est un facteur d'ajustement indépendant du type de sol. En s'appuyant sur un modèle de transfert radiatif simplifié, Huete [3] a montré que la valeur L=0,5 permet le meilleur ajustement.

Les sols ont un deuxième type d'influence sur les indices de végétation du fait de la variabilité de la forme de leur courbe de réflectance spectrale. En effet, la conception des indices tels que le NDVI suppose que le rapport IR/R est constant d'un sol à l'autre. Les variations de ce rapport sont alors attribuables à la seule végétation.

En réalité, plusieurs études ont montré que cette hypothèse n'est pas toujours vérifiée et que les valeurs de l'indice de végétation obtenues sur les sols nus dévient souvent de ce cas idéal ([4], [5]). Ceci constitue un « bruit » gênant la détection des faibles couvertures végétales [6]. Huete et Tucker [7] ont ainsi mis en évidence des artefacts dans les valeurs de NDVI dérivés des données NOAA-AVHRR au-dessus du Sahara. Ces derniers auteurs suggèrent que ce bruit dû aux sols serait lié à leur couleur.

Composition

TABLEAU I						
Caractéristiques de la série de sols arides étudiée.						
Characteristics of the studied aridic soils.						

				Composition			
	Couleur Munsell ( <sup>1</sup> )			argile	sable	Fe	Carb. org.
Serie de sol	leinte	Clarte	Purete	(%)	(%)	(%)	(%)
1. Coconino	5 YR	5,1	4,9	31	17	0,37	0,01
2 Contine	7,5 YR	4,5	3,7	26	52	0,70	0,33
3 Karrio	10 YR	6,9	2,3	22	40	0,19	0,01
4 Laveen	7,5 YR	4,7	3	19	46	0,80	0,58
5 Mohave	7,5 YR	4,8	3,6	23	59	0,60	0,38
6 Pinaleno	7,5 YR	4,7	3,4	7	71	0,90	0,74
7 Superstition	10 YR	5,7	3,1	- 2	96	0,47	0,11
8 White house (A hz)	7,5 YR	4,1	4	7	79	1,50	0,84
9 White house (B hz)	5 YR	3,4	4	33	49	2,42	0.89
10 Yuma	5 YR	5,5	3,1	30	2	0,90	1,00

(1) Mesurée avec un colorimètre portable à source lumineuse calibrée.

(1) Measured with a hand-held colorimeter with an in-built light source.

A partir de l'étude des propriétés spectrales de sols arides et de la simulation des faibles couverts végétaux rencontrés à leur surface, cette Note propose l'utilisation d'un « indice de coloration » des sols comme facteur de correction des indices de végétation.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES. – La réflectance spectrale d'une série d'échantillons de sols collectés en Arizona a été mesurée entre 380 et 900 nm à l'aide d'un spectroradiomètre portable et par comparaison à une cible de référence (voir [9] pour une description détaillée de la méthode utilisée). Ces échantillons de surface, séchés et tamisés à 2 mm, représentent une gamme assez complète de composition et de couleurs de sols de milieux arides (tableau).

Les données de réflectance ont été rééchantillonnées suivant les bandes spectrales de différents capteurs utilisés sur les satellites de télédétection. Dans cette Note ne sont reportés que les résultats concernant les bandes 2, 3 et 4 du Landsat Thematic Mapper (TM), dont les largeurs nominales sont respectivement 520-620 nm (G), 630-690 nm (R) et 760-900 nm (IR). Des résultats très voisins ont été obtenus en utilisant les bandes Spot HRV qui sont similaires.

La réflectance de sols partiellement couverts de végétation verte a été simulée pour des taux de couverture de 5, 10 et 15 %. A ces faibles taux, les interactions secondaires évoquées plus haut peuvent être négligées; la végétation est par ailleurs supposée basse, ne créant pas d'ombres importantes. En appliquant une pondération par le taux de recouvrement, le modèle de simulation utilisé est alors simplement la moyenne des valeurs de réflectance des sols nus et de celles d'un couvert végétal actif complet (mesures sur une culture de luzerne d'après [8]). Ce modèle est une assez bonne approximation des situations rencontrées en zone aride, après des épisodes pluvieux importants permettant le développement de jeunes plantes annuelles.

Dans chaque cas, pour le sol nu et les trois taux de couverture, le NDVI et le SAVI ont été calculés en utilisant les formules ci-dessus. Enfin, pour comparer les valeurs obtenues avec ces deux indices, elles ont été exprimées en fraction de la valeur maximale que prend l'indice pour la végétation seule.

III. RÉSULTATS. INTERPRÉTATION. – Les six courbes de la figure 1 illustrent la gamme des réflectances spectrales de la série de sols étudiée. La hauteur moyenne des différentes

-

## C. R. Acad. Sci. Paris, t. 312, Série II, p. 1385-1391, 1991

courbes indique de fortes différences de brillance entre les sols. Pour notre propos, nous ne nous intéressons qu'à la forme des courbes, dont nous avons récemment étudié les relations avec la composition des sols [9]. On remarque ici que les courbes sont toutes croissantes, mais plus ou moins fortement creusées dans le bleu-vert. On reconnaît l'influence des oxydes de fer qui, en absorbant le rayonnement dans les longueurs d'ondes du bleu et du vert, donnent une coloration rougeâtre plus ou moins intense aux sols [10].

Les relations entre couleur et réflectance des sols ont été discutées en détail par ailleurs ([11], [12]). En particulier, Escadafal [13] a montré que le rapport entre les valeurs des canaux TM2 et TM3 est corrélé à la saturation de la couleur, ou « degré de coloration » dans le cas des sols des régions arides. L'utilisation en cartographie pédologique d'un indice de coloration des sols, dérivé des données Landsat, est un exemple d'application de ces recherches [14].

La médiocre aptitude des indices de végétation à discriminer les faibles valeurs de couvert végétal est clairement illustrée par la figure 2. Par exemple, à la valeur NDVI = 0,18 les quatre taux de couverture du sol simulés sont indiscernables. La sensibilité du SAVI est meilleure, sans pourtant être satisfaisante. Nous avons vu que ce problème est dû aux fluctuations du rapport entre les canaux TM3 et TM4. L'examen de la figure 1 montre que celles-ci semblent liées au degré de creusement de la courbe de réflectance, qui se traduit visuellement par une augmentation de la coloration du sol. Nous avons donc étudié la relation entre les valeurs des indices de végétation et un indice de coloration. Par analogie avec le NDVI cet indice, RI (redness index), est défini par l'équation :

$$RI = \frac{R-G}{R+G}$$

Une corrélation significative  $(r^2 = 0.74)$  a été observée entre indice de végétation et indice de coloration des sols nus comme l'illustre la droite (*a*) de la figure 3. Sur cette même figure, la droite (*b*) montre que ces deux indices sont corrélés de la même manière dans le cas des sols à couvert végétal simulé.

IV. CORRECTION DES INDICES DE VÉGÉTATION. – Le « bruit » est ici défini comme un accroissement de l'indice de végétation dû aux variations des propriétés spectrales des sols et non à une augmentation du taux de couverture végétale.

Une méthode simple a été développée pour corriger les indices de végétation du bruit du sol en utilisant l'information apportée par le canal « vert » (G). Elle utilise la pente, k, de la droite de corrélation de la figure 3 pour modéliser, à partir de RI, la fraction de bruit que contient une valeur donnée de l'indice de végétation (d'autres méthodes, comme la rotation des axes pourraient aussi être utilisées). En retranchant cette fraction attribuée au bruit du sol, on obtient un indice de végétation corrigé, VI\* :

$$VI^* = VI - k. RI$$

Dans le cas de la série de sols étudiée, le calcul de la droite de corrélation donne k=0,45 pour le NDVI et k=0,26 pour le SAVI. L'amplitude des valeurs des indices de végétation ainsi corrigés apparaît sur la figure 4. Par comparaison avec la figure 2, la correction apporte un doublement de la sensibilité de ces indices. En particulier, le NDVI ne permet d'évaluer les faibles taux de végétation qu'avec une précision de  $\pm 8$  %, alors que le SAVI corrigé (SAVI\*) est environ quatre fois plus précis.

V. CONCLUSION. - Cette étude a permis de souligner la difficulté de détecter la végétation éparse des milieux arides à l'aide du NDVI, à cause de l'influence des propriétés spectrales des sols. Ce bruit créé par les sols a été corrélé à un indice de coloration, RI. Dans la gamme de couvert simulée (0 à 15%), une méthode de correction utilisant RI permet de doubler la sensibilité des indices de végétation. Simple à utiliser en traitement d'image, elle ouvre de nouvelles perspectives pour l'étude de la quantité de biomasse des milieux arides, jusqu'à présent très difficile à caractériser par télédétection. L'applicabilité de ces résultats aux données satellitaires, devra être précisée par des études complémentaires utilisant des mesures sur végétation réelle et intégrant les aspects atmosphériques.

Note remise le 21 février 1991, acceptée le 21 mars 1991.

#### **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

[1] C. J. TUCKER, Remote Sens. Environ., 8, 1979, p. 125-150.

- [2] R. D. JACKSON, P. N. SLATER et P. J. PINTER Jr, Remote Sens. Environ., 13, 1983, p. 187-208.
  [3] A. R. HUETE, Remote Sens. Environ., 25, 1988, p. 295-308.
- [4] R. J. KAUTH et G. S. THOMAS, Proc. Symp. Machine Processing Rem. Sens. Data, L.A.R.S., Purdue, In, 1976, p. 41-51.
  - [5] A. J. RICHARDSON et C. L. WIEGAND, Photogram. Eng. Rem. Sens., 43, 1977, p. 1541-1552.
  - [6] A. R. HUETE, R. D. JQCKSON et D. F. POST, Remote Sens. Environ., 17, 1985, p. 37-53.
  - [7] A. R. HUETE et C. J. TUCKER, Int. J. Rem. Sens. (sous presse), 1990
  - [8] M. B. SATTERWHITE et J. P. HENLEY, Remote Sens. Environ., 23, 1987, p. 155-175.
  - [9] A. R. HUETE et R. ESCADAFAL, Remote Sens. Environ. (sous presse), 1990.
- [10] V. SCHWERTMANN et R. M. TAYLOR, In : Minerals in soil environment, Dixon et Weed, Soil Sci. Soc. Am., Madison (U.S.A.), 1977, p. 145-180.
   [11] R. ESCADAFAL, M. C. GIRARD et D. COURAULT, International Agrophysics, 4, (3), 1988, p. 249-261.
   [12] R. ESCADAFAL, M. C. GIRARD et D. COURAULT, Remote Sens. Environ., 27, 1989, p. 37-46.
- [13] R. ESCADAFAL, Adv. Space Res., 9, (1), 1989, p. (1) 159-(1) 163.
- [14] R. ESCADAFAL et M. POUGET, I.T.C. Journal, 86, (1), 1986, p. 19-23.

R. E. : Unité de télédétection, ORSTOM, 93140 Bondy;

A. H. : Department of Soil and Water Science, University of Arizona, Tucson, U.S.A.

#### EXPLICATIONS DE LA PLANCHE

- Fig. 1. Réflectance spectrale de six échantillons illustrant la gamme des dix sols arides étudiés (les caractéristiques en sont détaillées dans le tableau I).
- Fig. 1. Spectral reflectance curves for six of the ten aridic soils studied (Table I shows the corresponding analytical data).
- Fig. 2. Amplitude de variation et moyenne, pour les dix sols étudiés, des indices de végétation non corrigés (NDVI et SAVI). Quatre valeurs de couvert végétal ont été simulées : 0, 5, 10 et 15%. (Pour faciliter les comparaisons, les indices sont exprimés en fraction de leur valeur pour 100 % de végétation.)
- Fig. 2. Amplitude of variation and mean values of the NDVI and the SAVI computed for the 10 soils with four different simulated vegetation densities: 0, 5, 10 and 15%. (For comparisons purposes, indices are normalized relative to 100% vegetation.)
- Fig. 3. Corrélation entre SAVI (indice de végétation) et RI (indice de « coloration ») pour 10 sols arides. (a) sols nus; (b) sols couverts de 10 % de végétation verte (données simulées).
- Fig. 3. Correlation between the Soil Adjusted Vegetation Index and the Redness Index for the ten aridic soils. (a) bare soils; (b) soils with 10% green vegetation cover (simulated data).

Fig. 4. Amplitude de variation et moyenne, pour les dix sols étudiés, des indices de végétation corrigés du « bruit » du sol (NDVI\* et SAVI\*). (A comparer avec la figure 2.)

Fig. 4. - Amplitude of variation and mean values of vegetation indices corrected for soil "noise" (NDVI\* and SAVI\*). (Compare with Figure 2.)

PLANCHE I/PLATE I

v

9)

RICHARD ESCADAFAL



Fig. 4