

A

analyse des relations entre les constituants des sols, la dynamique de la surface et les réflectances simulées ou mesurées par télédétection satellitaire.
Exemple de la vallée du fleuve Sénégal

Landing Mane¹, Pascal Boivin¹, Jean-François Richard², Claude Hammecker¹

¹ ORSTOM, Laboratoire de Pédologie, B.P. 1386, Dakar, Sénégal

² ORSTOM, Le Haut des Envers, 88340 Le Girmont Val-d'Ajol, France

Abstract

The aim of this study is to analyse the relationships between the reflectance, the soil constituents and the different evolutions of soil surface. The ground level radiometrical measurements are in agreement with the satellite reflectance measurements.

Covariography has showed significative interrelation between reflectance and internal soil properties (clay content, organic matter content...) and between reflectance and superficial soil dynamics (stability, destructuration, accumulation, crusting). Simple models have been proposed for determining the clay content in soil.

The applying of these models has shown that the ground level CIMEL radiometer measurements overestimates the soil clay content in a range from 3 to 9%. On the other hand, SPOT satellite underestimates this content of 7% with radiometrical bands and of 9% with the indices.

Introduction

L'objectif de ce travail est l'analyse des interrelations entre les réflectances, les constituants internes du sol et les différentes formes d'évolution de la surface du sol. Dans cette perspective, les caractéristiques radiométriques de la surface du sol sont d'abord établies avant de vérifier les similitudes entre les réflectances mesurées au sol et celles mesurées par le satellite. Ensuite, la variabilité de ces réflectances est étudiée de manière détaillée pour savoir comment varient spatialement les caractéristiques et les indices radiométriques de la surface du sol. Enfin, la signification de ces caractéristiques radiométriques est envisagée d'un double point de vue. Dans un premier temps, l'étude des covariations spatiales avec les paramètres physico-chimiques des sols devrait permettre de répondre à une question souvent posée par les spécialistes : peut-on estimer certaines propriétés des sols grâce à la télédétection ? Dans un deuxième temps, l'étude des covariations spatiales avec les dynamiques de la surface du sol devrait permettre de répondre à une autre question importante : quelles sont les relations entre la réflectance, d'une part, et les phénomènes de fixation, de déstructuration et d'accumulation à la surface du sol, d'autre part.

Méthode d'étude

Le secteur d'étude se localise dans la vallée alluviale du fleuve Sénégal au sud de la ville de Podor (16°38' de latitude nord et 14°58' de longitude ouest).

❖ *Méthodes d'échantillonnage sur le terrain*

L'étude a été effectuée à deux échelles d'analyse (Richard, 1989) : l'échelle des géons (unités élémentaires de paysage) et l'échelle des segments de paysage (ensembles de géons).

➔ *A l'échelle des géons*

Sur une parcelle d'environ 3 km², 100 "stations", "relevés" ou, encore, points d'échantillonnage ont été répartis aléatoirement aux noeuds d'une grille à maille élémentaire de 75 m de côté, avec la contrainte de disposer de deux points au moins par maille de 300 m de côté.

➔ *A l'échelle des segments de paysage*

Suivant le même principe d'échantillonnage, 94 stations ont été étudiées à l'échelle des segments du "secteur Nianga-Podor", sur une superficie beaucoup plus grande d'environ 350 km². De cette façon, on dispose d'un échantillonnage comparable, mais plus général.

❖ *Méthodes d'échantillonnage sur l'image satellite*

Après le "recalage" de l'image Spot dans le système géographique (UTM) des cartes de la vallée, la correction des interférences atmosphériques et la transformation des luminances Spot en réflectances, le plan d'échantillonnage précédent est superposé à l'extrait de l'image satellitaire étudiée. Ensuite, la moyenne des valeurs de réflectance de 9 pixels (1 pixel central + 8 pixels périphériques), correspondant à chaque point observé sur le terrain, a été effectuée.

❖ *Les données collectées sur les points échantillonnés*

Deux types de données sont collectées sur les stations d'échantillonnage : des données de terrain (les constituants de la surface du sol et les valeurs de réflectance mesurées sur le terrain avec un radiomètre de simulation Spot : Cimel) et des données de laboratoire (les caractéristiques physiques et chimiques des sols aux points échantillonnés et, en ces points, les valeurs de réflectance extraites sur l'image satellite Spot).

❖ Les variables radiométriques

Au total, 7 variables spectrales, obtenues par les deux techniques de mesure de la réflectance (Cimel et Spot), ont été retenues. Pour la validation des modèles d'estimation de la variabilité spatiale établis à l'échelle des géons, nous avons tenu compte des données obtenues à l'échelle des segments de paysage. Ces variables sont notées de la manière suivante (**tableau 1**) :

	Échelle des géons		Échelle des segments de paysage	
	Cimel	Spot	Cimel	Spot
bande radiométrique du vert	(P1C)	(P1S)	(N1C)	(N1S)
bande radiométrique du rouge	(P2C)	(P2S)	(N2C)	(N2S)
bande radiométrique du proche infrarouge	(P3C)	(P3S)	(N3C)	(N3S)
indice de brillance	(PBC)	(PBS)	(NBC)	(NBS)
indice de couleur	(PCC)	(PCS)	(NCC)	(NCS)
indice de rougeur	(PRC)	(PRS)	(NRC)	(NRS)
indice de végétation	(PVC)	(PVS)	(NVC)	(NVS)

$$\text{Indice de brillance} = [((\text{vert})^2 + (\text{rouge})^2 + (\text{proche Inf. rouge})^2)/3]^{1/2}$$

$$\text{Indice de rougeur} = (\text{rouge})^2 / (\text{vert})^3$$

$$\text{Indice de couleur} = (\text{rouge} - \text{vert} / \text{rouge} + \text{vert})$$

$$\text{Indice de végétation} = (\text{rouge} - \text{proche infrarouge} / \text{rouge} - \text{proche infrarouge})$$

Tableau 1 - Variables spectrales obtenues par radiométrie de terrain (Cimel) et par le satellite Spot à deux échelles spatiales

||| Résultats

L'analyse des interrelations entre les facteurs d'évolution de la surface du sol et les réflectances a permis d'aborder un certain nombre de points relatifs à l'intégration des outils de télédétection dans l'étude du milieu.

➤ Les analyses statistiques des variables de réflectance ont montré de fortes corrélations entre les bandes radiométriques du visible et du proche infrarouge. Les corrélations entre ces bandes s'expliquent par l'absence ou la faiblesse de la végétation mais probablement aussi par le fait que les données Spot ont été corrigées des effets atmosphériques.

Les mesures radiométriques au sol et les réflectances mesurées par Spot sont concordantes à l'échelle des géons mais également à l'échelle des segments de paysage. La concordance entre données Cimel et données Spot autorise une vérification réciproque des informations fournies par ces deux systèmes de mesure de la réflectance et permet d'utiliser la radiométrie de terrain comme support ou aide à l'interprétation des données de télédétection satellitaire.

➤ L'analyse variographique a mis en évidence une organisation spatiale assez nette pour toutes les variables de réflectance. Cela confirme ce que l'on supposait déjà, à savoir les dépendances spatiales des pixels de télédétection. La variabilité spatiale des paramètres étudiés n'est pas aléatoire, car elle est fonction de cette organisation emboîtée des milieux. De plus, les variables sont spatialement auto-corrélées entre elles sur des distances relativement importantes. Si ces distances d'auto-corrélation spatiale rendent

bien compte de la taille moyenne des unités les plus représentatives, on peut donc admettre que les principales unités physiques du secteur étudié ont des dimensions moyennes qui dépassent la centaine de mètres dans la majorité des cas.

La covariographie a révélé des interrelations significatives, d'une part, entre les réflectances et les propriétés internes des sols (**figures 1 et 2**) et, d'autre part, entre les réflectances et les caractéristiques de surface des sols (stabilisation, déstructuration, accumulation, encroûtement).

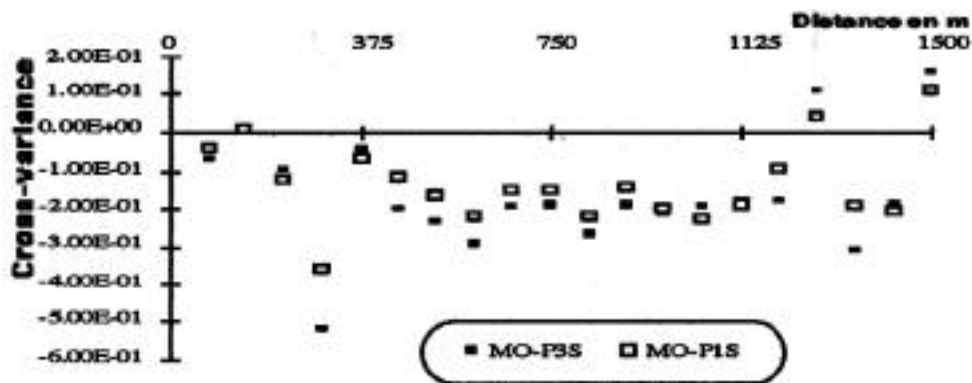


Figure 1 - Covariogramme de la matière organique et de la réflectance dans le vert du visible (MO-P1S) et le proche infrarouge Spot (MO-P3S)

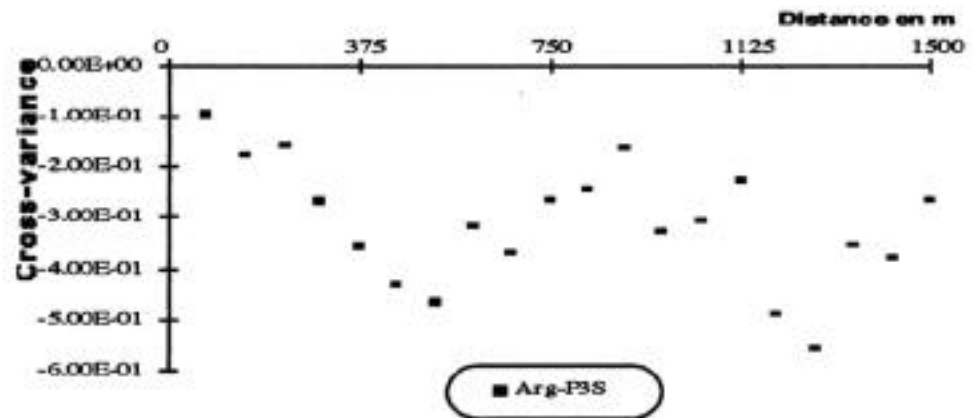


Figure 2 - Covariogramme de l'argile et de la réflectance dans le proche infrarouge Spot (Arg-P3S)

➤ Cette étude a en effet démontré que certains constituants des sols jouent un grand rôle dans la dynamique des milieux. C'est le cas de l'argile. Sa prise en compte dans le diagnostic des milieux de vallée alluviale est indispensable. Et il est donc important de pouvoir déterminer et cartographier les teneurs en argile des sols par télédétection... Une mise en correspondance entre l'argile et les réflectances a permis de trouver des modèles simples pouvant déterminer efficacement le taux d'argile dans le sol. L'application de ces modèles a montré que les réflectances mesurées au sol avec le radiomètre Cimel surestime la quantité d'argile dans le sol de 3 à 9% selon que l'on utilise les bandes radiométriques brutes (vert, rouge, proche infrarouge) pour l'estimation ou selon que les indices radiométriques (brillance, couleur, rougeur, végétation) sont employés dans la régression à variables multiples pour trouver l'équation associée au modèle. Par contre, le satellite Spot a tendance à sous-estimer l'argile contenu dans le sol, de 7% avec les bandes brutes ou de 9% avec les indices. Globalement, la combinaison des bandes radiométriques

triques du rouge et du proche infrarouge s'est avérée la "variable" la plus pertinente pour estimer le contenu des horizons de surface en argile (**figures 3 et 4**). Les écarts faibles entre les taux mesurés au laboratoire et les taux estimés par le biais des réflectances montrent que cette approche est fiable. Son application pourrait permettre d'alléger, sinon de se passer des lourdes et coûteuses analyses de laboratoire. Toutefois, pour affiner ces estimations concernant les teneurs en argile des sols, il est primordial de prendre en compte les caractéristiques de la surface de ces sols, notamment la couleur, la présence de litière et les formes du micromodèle. Ces deux derniers paramètres ont tendance à perturber les estimations...

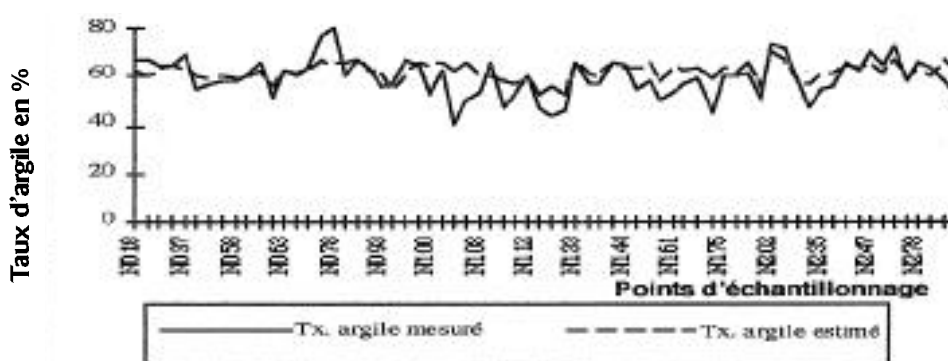


Figure 3 - Relations entre le taux d'argile mesuré au laboratoire et le taux d'argile estimé à partir des mesures de réflectance sur le terrain ($-0.28*N2C - 0.55*N3C + 85.62$)

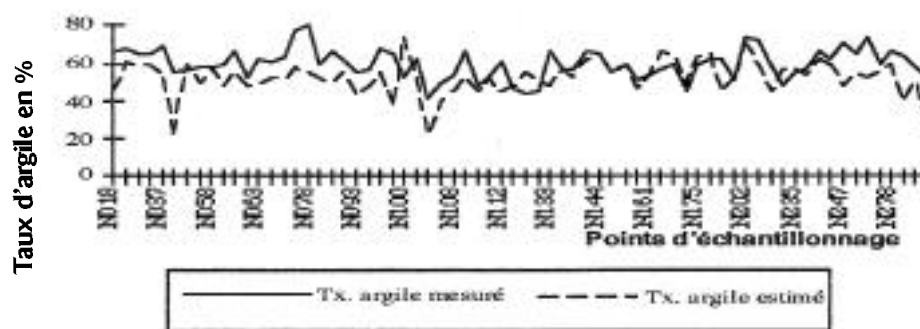


Figure 4 - Relations entre le taux d'argile mesuré au laboratoire et le taux d'argile estimé à partir des mesures de réflectance du satellite Spot ($-7.65*N2S - 6.75*N3S + 131.23$)

➤ Concernant les relations spatiales entre les réflectances de la surface du sol et la dynamique de cette surface, les résultats obtenus apparaissent très significatifs (**tableau 2**) :

	"Fixation"	"Destructuration"	Accumulation organominérale	Argile	Matière organique	Sodium	Calcium	pF4.2
vert	+	-		-	+		-	
rouge	+	-		-	+			-
proche infrarouge	+	-		-	+	-	-	-
indice brillance					+	-	-	-
indice couleur	+	-		-			+	
indice rougeur	-	+	+	+	-	+	+	+
indice végétation	-		+				-	

Tableau 2 - Relations de dépendance spatiale entre les variables structurales, physico-chimiques et de réflectance Spot (+ dépendance dans le sens de l'accroissement ; - dépendance dans le sens de l'abaissement)

➤ la "fixation" de la surface du sol par encroûtement va dans le même sens que l'accroissement de la réflectance dans le proche infrarouge, la "déstructuration" ou "déstabilisation" de la surface du sol se traduit par l'augmentation des valeurs de l'indice de rougeur, et les processus d'"accumulation organo-minérale" se manifestent par une baisse de la réflectance dans le proche infrarouge.

Conclusion

En définitive, les résultats acquis dans cette étude des relations entre support édaphique et réflectance, d'une part, et états de surface du sol et réflectance, d'autre part, permettent non seulement de comprendre l'organisation spatiale des caractéristiques de la surface du sol et des sols, mais surtout de faciliter le suivi des transformations spatio-temporelles des milieux naturels de la vallée du fleuve Sénégal à partir de la télédétection satellitaire.

Bibliographie

Richard J.F., 1989. Le paysage, un nouveau langage pour l'étude des milieux tropicaux. IDT 72, ORSTOM, Paris, 210 p.