

CONTRIBUTION DE DONNEES SATELLITE SPOT A LA TYPOLOGIE ET A LA CLASSIFICATION DES FORMATIONS VEGETALES D'INTERET FOURRAGER DANS LA ZONE NORD ARIDE DU MEXIQUE

Antoine Cornet

Introduction

Les études d'inventaire (Breimer 1985, Montaña 1987) ont permis de définir et de cartographier à partir de travaux de terrain les grandes unités de géomorphologie et de végétation et d'identifier les principales formations d'intérêt fourrager. Par ailleurs des études stationnelles ont permis de suivre la dynamique de ces groupements et les cycles de production de biomasse. L'objectif de notre étude est de relier les caractéristiques radiométriques des vues Spot à des caractéristiques de végétation mesurées sur le terrain pour des sites test, afin de répondre à deux questions principales :

- Quels sont les paramètres mesurés sur une végétation hétérogène de zone aride, à différentes dates, qui sont les mieux corrélés aux caractéristiques radiométriques des images?

- Peut-on à partir des données radiométriques et des mesures de terrain sur sites test établir une typologie des groupements à intérêt fourrager liée à leur niveau de productivité et cartographier la biomasse herbacée présente?

Données et Méthodes

Les données sont constituées d'un échantillon de 17 parcelles décrites par des caractéristiques de milieu et de végétation relevées in situ et par des caractéristiques radiométriques extraites des images SPOT. Les données de terrain concernent les états de surface des sols (pourcentages de sol nu, de croûte, bioderme...) et les paramètres caractérisant la couverture végétale (liste floristique, couverture herbacée, ligneuse, ... biovolume, biomasse). Les mesures effectuées portent sur des relevés de 1 ha situés dans des zones représentatives plus vastes.

Après localisation des sites test sur l'image, les données radiométriques des différents pixels représentant chaque parcelle sont extraites : moyenne et variance des valeurs de réflectance dans chaque canal SPOT X_1 , X_2 et X_3 . La réflectance de la végétation en milieu naturel est le résultat de nombreux facteurs, cependant, les caractéristiques essentielles dépendent, d'une part, de la biomasse verte active, d'autre part, de la rugosité de surface liée à la structure et à la quantité de végétation, qui réduit la réflectance sur l'ensemble des canaux (Maxwell 1983). On a donc calculé sur les données radiométriques : l'indice de végétation normalisé (IVN) et l'indice de brillance (IB).

L'analyse des données a comporté différentes étapes suivant une démarche progressive : (1) Classification des sites test en fonction des caractéristiques de terrain reconstruites, au moyen d'une analyse en composantes principales (ACP) pour chaque date et multodate afin de faire apparaître le regroupement des sites et la stabilité de ces regroupements dans le temps. On cherche à connaître l'existence de relations entre sites et variables pour voir s'il existe un mode ordonné de répartition de sites. (2) Etude des relations entre sites test, variables de terrain et caractéristiques radiométriques pour mettre en évidence les relations entre les variables relatives à la description de la végétation et les grandeurs radiométriques. (3) Expression par des régressions des liaisons entre certaines variables radiométriques et des caractéristiques de la végétation. L'information relative au couvert végétal peut être corrélée quantitativement aux caractéristiques radiométriques ou à leur combinaison en indices de végétation ou de brillance. On créera ainsi des néocanaux à partir du calcul des régressions représentant des caractéristiques du couvert végétal : recouvrement de la végétation, biomasse herbacée, dont on pourra ensuite cartographier la répartition.

Résultats

Analyse en composantes principales des données de terrain pour les sites test

Pour la date de mai, on constate une assez forte corrélation entre les variables. Sol nu (SN) et couverture totale de la végétation (CTV) correspondent à une même donnée $CTV = 1 - SN$. CTV est corrélé avec le recouvrement de la strate herbacée (RSH); les variables relatives à la strate herbacée, recouvrement et biomasse, sont corrélées entre elles. Le recouvrement de la strate ligneuse (RSL) est corrélé essentiellement avec le biovolume total (BVT) auquel il contribue pour une forte part. Le

recouvrement des annuelles est peu corrélé avec les autres variables décrivant la végétation.

Les trois premiers axes de l'analyse expliquent 87 % de la variance. L'axe 1 classe les sites en fonction décroissante du recouvrement total de la végétation. L'axe 2 classe les sites en fonction du recouvrement de la strate ligneuse, individualisant bien les sites à recouvrement ligneux dominant (Formations ligneuses basses). Sur l'axe 3, s'opposent d'une part la présence de bioderme (BD) et d'autre part l'abondance d'annuelles.

La projection des sites sur le plan des axes 1 et 2 (Fig. 1) permet le classement en 6 groupes à partir des variables de terrain.

L'analyse multidade montre la même corrélation entre les variables que pour mai. La projection des sites sur le plan des axes 1 et 2 montre un classement des stations en fonction de la couverture totale et du recouvrement herbacé suivant l'axe 1 et l'individualisation sur l'axe 2 des sites à couverture ligneuse importante. L'ordre des stations suivant l'axe 1 est modifié par rapport à mai, avec déplacement vers les recouvrements plus élevés. Le déplacement est différent selon les sites, par exemple 11A (zone dénudée des arcs de végétation) et 10 (zone dénudée de la *vega*) varient peu, alors que 15B (zone dégradée de *Hilaria* de *playa*) voit son recouvrement augmenter de manière importante à cause de la présence d'annuelles. L'axe 3 traduit essentiellement la présence d'annuelles. Excepté pour le groupe 3 (sites 1 et 3) dont le recouvrement a beaucoup évolué, le classement des groupes obtenu par l'analyse des données de mai est conservé. L'étude de l'analyse aux différentes dates permet de faire un classement typologique des stations à partir des données de terrain observées :

- 1) Formations ligneuses basses à faible strate herbacé : sites 2, 6, et 9.
- 2) Formations à très faible couverture végétale : sites 10, 11A, et 15B.
- 3) Formations herbeuses peu denses à *Hilaria* de *playa*, et à fort développement d'annuelles en saison humide : sites 1 et 3.
- 4) Formations herbeuses à *Hilaria* et *Sporobolus* : sites 12, 4B, 8, et 15A.
- 5) Formations herbeuses denses à *Hilaria* ou *Sporobolus* : sites 4A, 7, et 13A.
- 6) Formations herbacées à ligneux bas et ligneux hauts des arcs de végétation : site 11B.

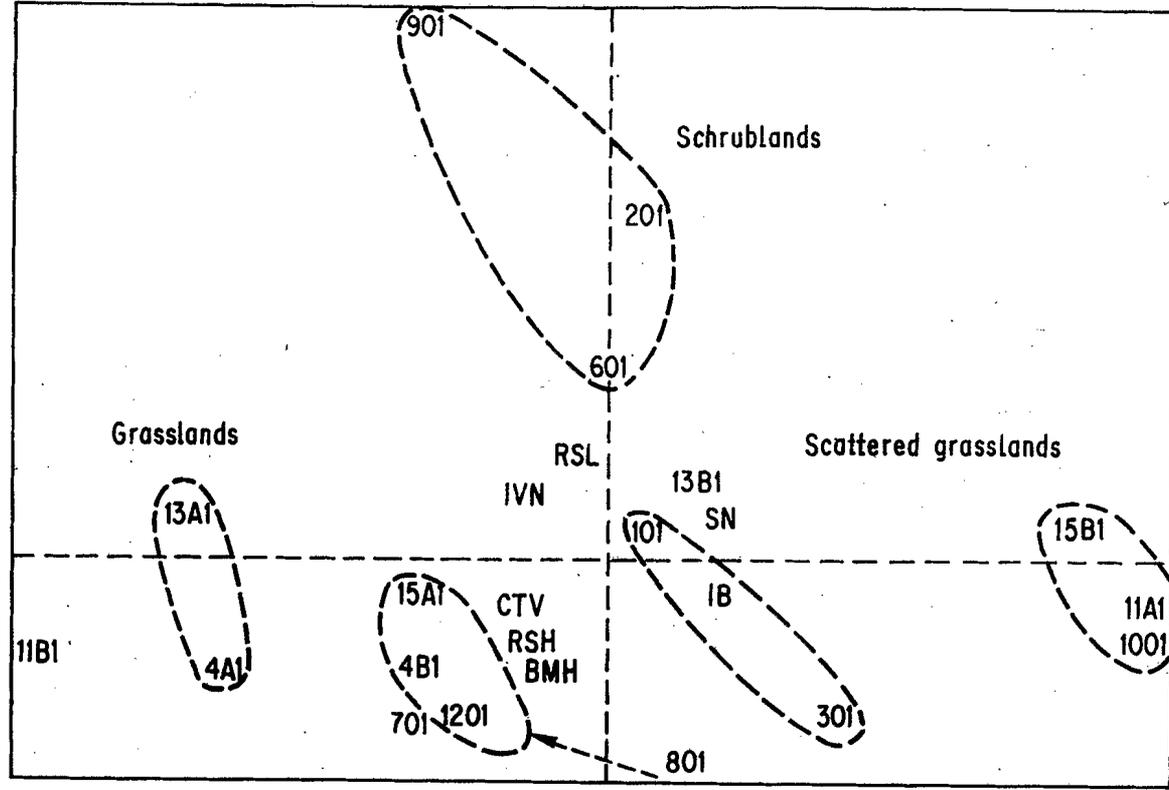


Fig. 1. Analyse en composantes principales des données de terrain pour maïs; projection des sites sur le plan des axes 1 et 2.

Le site 13B, formation herbeuse à *Sporobolus* surpâturée, est intermédiaire entre le groupe 2 et le groupe 3.

Analyse des corrélations entre variables radiométriques et variables de terrain

Les analyses précédentes ont montré la forte corrélation des variables radiométriques entre elles et d'un certain nombre de variables de terrain entre elles, ce qui permet de réduire le nombre de variables à considérer. Le tableau 1 montre la valeur des coefficients de corrélation entre variables radiométriques et variables de terrain pour mai.

TABLEAU 1
VALEURS DES COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE VARIABLES
RADIOMETRIQUES ET VARIABLES DE TERRAIN POUR MAI ET POUR
L'ENSEMBLE DES SITES

	CTV	RSL	RSH	RA	BMH	BMHV	BVT
IB	- .69 **	NS	-.56*	NS	-.49*	-.47 *	-.65 *
IVN	+ .49 *	+ .53 *	NS	NS	NS	NS(.38)	+ .72 **

Pour un nombre de 17 valeurs les seuils de signification sont de :
0.575 pour $P < 0.01$ (**) et de 0.455 pour $P < 0.05$ (*).

Les plus fortes corrélations sont :

- entre Biovolume et Indice de végétation, en raison du fait que seuls les ligneux sont actifs en Mai et qu'ils contribuent pour une part importante au Biovolume (RSL est également corrélé à IVN).

- entre Couverture totale de la végétation et Indice de brillance. En effet, la couverture totale de la végétation toutes catégories confondues (verte et sèche), joue comme facteur de rugosité diminuant la réflectance (BVT est corrélé aussi avec IB).

A noter que la corrélation entre Biomasse herbacée verte (BMHV) et Indice de végétation n'est pas significative, ce qui peut s'expliquer par la prédominance des ligneux actifs et par l'occultation de la BMHV par la matière sèche accumulée en saison sèche.

Etant donné la forte individualisation des groupements ligneux et la

possibilité de les distinguer sur la classification de l'image, nous les avons retirés de l'analyse. Le tableau 2 donne les valeurs des coefficients de corrélation entre variables radiométriques et variables de terrain pour les sites à strate herbacée dominante.

TABLEAU 2
VALEURS DES COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE VARIABLES
RADIOMETRIQUES ET VARIABLES DE TERRAIN POUR LES SITES A STRATE
HERBACEE DOMINANTE ET POUR LA DATE DE MAI

	CTV	RSL	RSH	RA	BMH	BMHV	BVT
IB	- .81**	NS	- .82**	NS	- .76**	- .69**	- .62 *
IVN	+ .67**	NS	+ .67**	NS	+ .58*	+ .69**	+ .67 **

Pour 14 valeurs les seuils de signification sont :
de 0.683, $P < 0.01$ (**) et de 0.497, $p < 0.05$ (*).

Les plus fortes corrélations sont :

- entre Indice de Brillance (IB) et Couverture totale de la végétation et RSH. Il s'agit de l'effet de la rugosité de la végétation sur la réflectance.
- entre Indice de végétation et Biomasse herbacée verte correspondant bien à la signification de cet indice.

Cependant la biomasse herbacée constituée en grande partie par de la végétation latente plus ou moins desséchée est plus corrélée à l'Indice de Brillance qu'à l'Indice de végétation.

Le tableau 3 donne la valeur des coefficients de corrélation entre variables radiométriques et variables de terrain pour les sites à strate herbacée dominante, pour les données de septembre.

TABLEAU 3
VALEURS DES COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE VARIABLES
RADIOMETRIQUES ET VARIABLES DE TERRAIN POUR LES SITES A STRATE
HERBACEE DOMINANTE, POUR LES DONNEES DE SEPTEMBRE

	CTV	RSL	RSH	RA	BMH	BMHV	BVT
IB	- .81**	NS	- .81**	NS	- .81**	- .81**	- .71**
IVN	+ .68**	+ .54*	+ .67**	NS	+ .64**	+ .69**	+ .70**

Pour 14 valeurs les seuils de signification sont :
de 0.683, $P < 0.01$ (**) et de 0.497, $P < 0.05$ (*).

Sauf avec RA et RSL, ces corrélations sont élevées et significatives ($P < 0.01$). On note que les plus fortes corrélations sont obtenues entre l'indice de brillance (IB) et les variables de végétation. Cependant, les corrélations entre IVN et ces variables sont aussi significatives. Dans ce cas, l'activité photosynthétique de la plupart des végétaux intervient sur les composantes radiométriques bien que l'effet de la couverture de la végétation sur la réflectance globale reste important.

Etablissement des relations entre les caractéristiques radiométriques des sites test sur l'image SPOT et les descripteurs de la végétation

Le but est d'établir des relations quantitatives permettant à partir des valeurs radiométriques de calculer certaines caractéristiques du couvert végétal et de les représenter cartographiquement.

Ainsi pour l'ensemble des sites, la couverture totale de la végétation en saison sèche est estimée par la relation :

$$\text{CTV} = - 0,397 \text{ IB} - 3,043 \text{ IVN} + 556,175$$

avec $R = 0,710$ $F_c = 7,108^{**}$

Pour la biomasse herbacée en ne considérant que les formations herbeuses, nous avons la relation :

$$\text{BMH} = - 7,830 \text{ IVN} - 1,525 \text{ IB} + 1646,978$$

$r^2 = 0,767$ $F_c = 7,889^{**}$

dans laquelle BMH est la biomasse herbacée totale en g de MS.m².

Pour la période humide (septembre) la relation est :

$$\text{BMH} = - 1,652 \text{ IVN} - 2,353 \text{ IB} + 985,312$$

$r^2 = 0,812$ $F_c = 10,680^{**}$

A partir de cette relation, on a calculé pour l'ensemble des pixels de l'image les valeurs de biomasse herbacée. Un masque réalisé à partir de la classification a permis d'extraire les formations herbeuses pour lesquelles cette relation est applicable. Un seuillage sur l'écran suivi d'une validation sur le terrain ont permis de déterminer six classes de valeur de biomasse pour chaque date et de les cartographier automatiquement.

Les figures 2 et 3 montrent les résultats de cette cartographie pour une partie de l'image et respectivement pour les dates de mai et septembre.

FIGURE 2 Carte de répartition de la biomasse obtenue à partir des données radiométriques de Mai

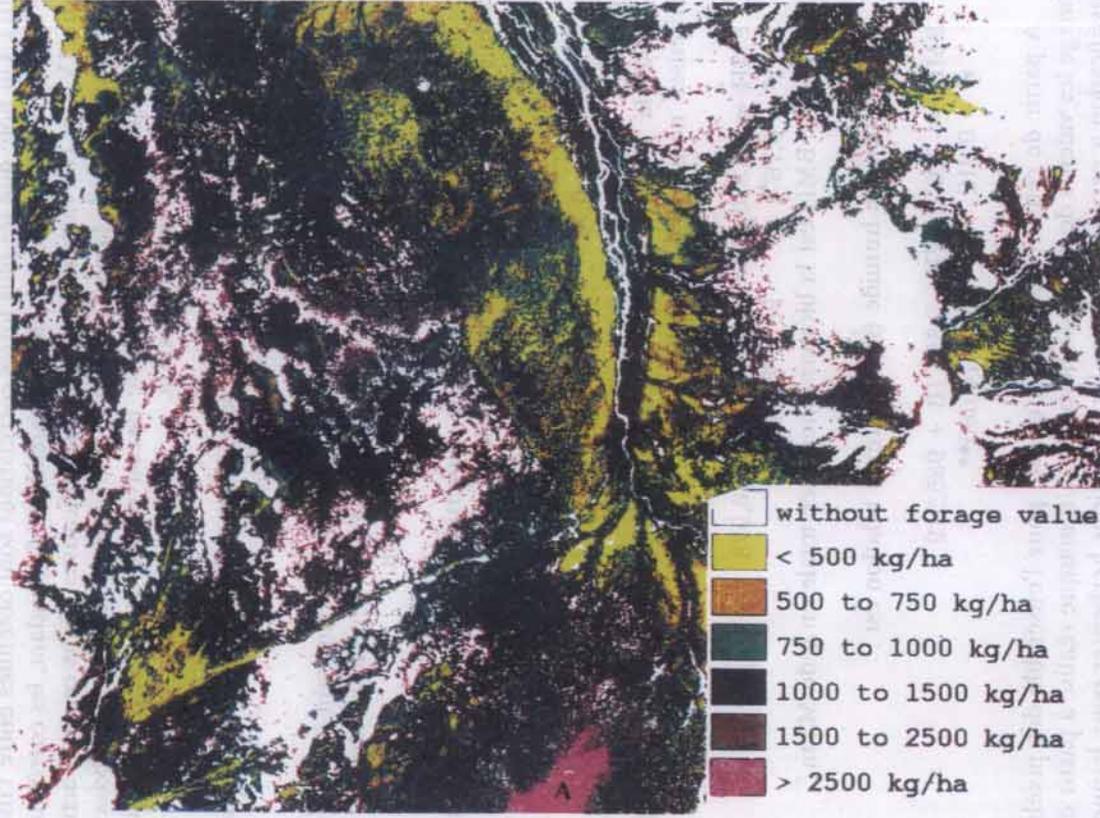


Fig. 2. Carte de répartition de la biomasse obtenue à partir des données radiométriques de mai.

FIGURE 3 Carte de répartition de la biomasse obtenue a partir des données radiométriques de Septembre

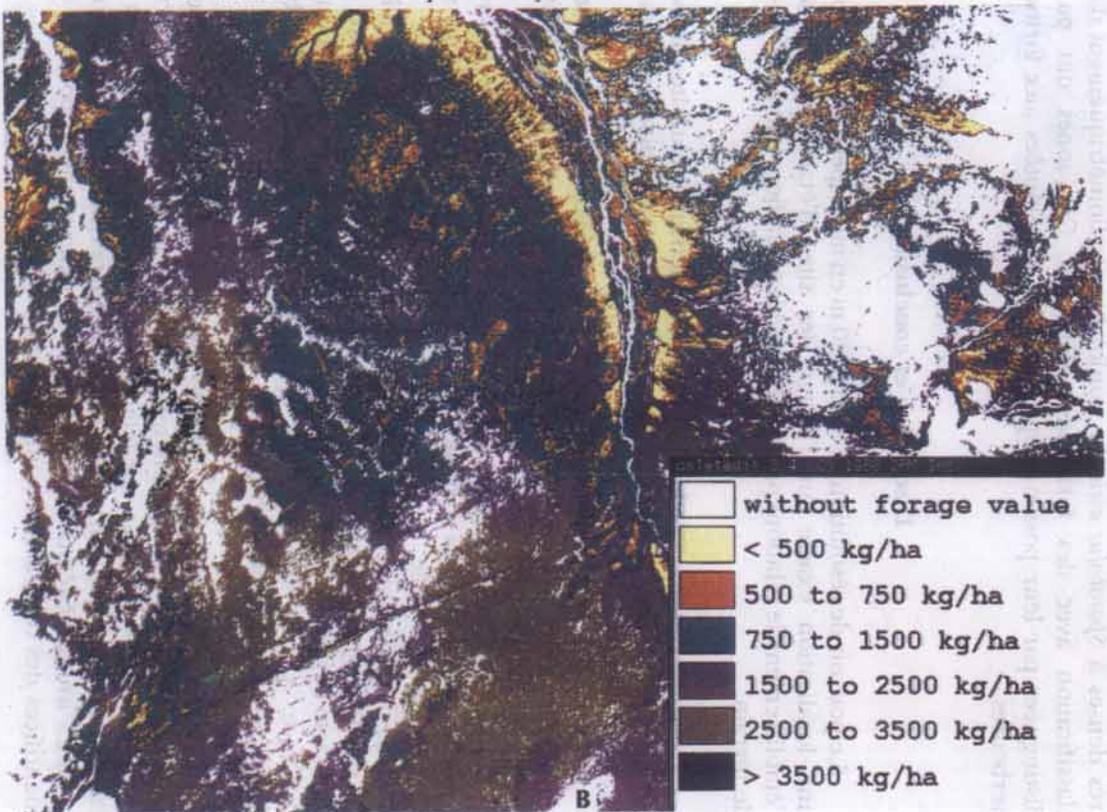


Fig. 3. Carte de répartition de la biomasse obtenue à partir des données radiométriques de septembre.

La classe n° 6 (zone A et B de la figure) correspond à des formations très denses à *Sporobolus airoides*, confondues radiométriquement dans la classification avec des formations ligneuses. Ces zones ont pu être distinguées par leur position topographique et rajoutées aux formations herbeuses.

Discussion et conclusion

Le pouvoir de résolution de SPOT (20 m en multispectral) rend possible une localisation exacte sur l'image des sites d'étalonnage au sol et l'établissement de relations précises entre valeurs radiométriques et données de terrain.

La comparaison entre les données radiométriques extraites des scènes SPOT et les valeurs de recouvrement et de quantité de biomasse mesurées *in situ* montrent :

- que pour la saison sèche, l'indice de végétation n'est pas corrélé significativement ni avec la couverture totale de la végétation, ni avec la biomasse totale ou la biomasse verte.
- que l'indice de brillance est corrélé de manière significative avec la couverture totale de la végétation. Cette dernière jouant surtout sur la rugosité de la surface.
- qu'il est possible, même en saison sèche, après classification de l'image et stratification des zones de trouver une relation satisfaisante entre biomasse herbacée totale et la combinaison des indices de végétation et de brillance. Cette relation étant applicable aux formations herbeuses présentant un intérêt fourrager.

Les résultats recourent ceux de Mc Daniel et Hass (1982) pour des zones voisines, où ils montrent que le suivi de la production des terres de parcours est possible par télédétection à condition de procéder en deux étapes : une classification préalable de l'image permettant l'identification de grandes unités végétation-sol et ensuite la détermination pour les unités identifiées des corrélations radiométrie-biomasse.

Bibliographie

- Breimer, R. 1985. Soil and landscape survey of the Mapimi Biosphere Reserve, México, UNESCO, 128 p.

- Mc Daniel, K.C. and Hass, R.H.** 1982. Assessing Mesquite grass vegetation condition from Landsat. *Photogrametric Engineering and remote sensing* 48, 3: 441-450.
- Maxwell, E.L.** 1983. Remote monitoring of rangeland production. *Agricultural Water Management* 7: 323-340.
- Montaña, C.** 1987. Las formaciones vegetales de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. In: Montaña (ed.) *Estudio integrado de los recursos: vegetación, suelos y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí*. Publ. 23, Instituto de Ecología, México.