



5

Les possibilités de classification des formations contractées à partir de la télédétection aérienne et satellitaire. Exemple dans l'ouest nigérien

B. MOUGENOT¹ et S. HAMANI²

¹ *ORSTOM, Niamey, Niger.*

² *Direction de l'Environnement, Niamey, Niger.*

Résumé

La perception des formations végétales contractées par télédétection, dépend de la taille et de la forme des structures au sol, et des résolutions spatiales et spectrales des capteurs utilisés. L'objectif du présent travail est de comparer les capacités des satellites à haute définition actuels (résolution de 10 à 80 m), et des données aériennes (photographie et vidéographie) appliquées aux plateaux de l'ouest nigérien. Un indice de végétation combinant les données satellitaires SPOT multispectrales et panchromatiques est proposé. Il représente le meilleur compromis entre résolution spatiale et résolution spectrale.

Une cartographie automatique des différentes formations contractées a été testée, à partir de la définition de fenêtres glissantes de 10 à 20 pixels de côté et des proportions de pixels en «sols nus» et en «végétation» caractéristiques de chaque type. Une validation au sol, réalisée par ailleurs sur 6 transects perpendiculaires à l'allongement des structures, a permis de proposer une relation entre indice de végétation et recouvrement. Un test effectué sur une zone de 25 km² montre qu'il est possible de réaliser aisément et de façon fiable une extension spatiale des résultats. La méthode proposée constitue pour les services forestiers nationaux, un outil de suivi et de gestion des aires de production de bois.

Présentation

Les formations végétales contractées sont bien mieux différenciées en vue aérienne qu'au sol. Les classifications typologiques s'appuient largement sur les organisations spatiales (Ambouta, 1984). Cependant, quantifier, sur photographies par exemple, les surfaces végétalisées et délimiter des types de formations, nécessite un travail fastidieux de reconnaissance et de cartographie avec des risques d'erreur importants. La présence de sol nu alternant avec la végétation offre un excellent contraste. Cette caractéristique permet d'appliquer des méthodes automatiques de reconnaissance à partir de photos aériennes préalablement scannées et surtout d'images satellitaires.

L'estimation des recouvrements en relation avec les caractéristiques locales de biomasse et de production, doit permettre de produire rapidement et à moindre coût des cartes de potentialités forestières. Nous montrerons que l'outil «télé-détection» actuel, malgré des limites dues à sa résolution spatiale, sera utilisable pour estimer ces potentialités au niveau régional, à partir de l'exemple de la brousse contractée des plateaux dans l'ouest du Niger.

Perception des structures contractées par télé-détection et résolution spatiale

Plutôt que de reprendre systématiquement les caractéristiques des données satellitaires largement décrites par ailleurs, nous nous attacherons aux problèmes spécifiques que posent cette approche pour la végétation contractée. Dans le domaine du visible au moyen infrarouge, nous comparerons les capacités des principaux satellites à haute résolution actuels : pixel (ou point élémentaire de l'image), égal à 80 m pour Landsat MSS, à 30 m pour Landsat TM, 20 m pour SPOT en multispectral (XS) et 10 m en panchromatique (P). SPOT 5 prévu pour l'an 2 000, ainsi que d'autres satellites, posséderont des résolutions de l'ordre de 5 m à 10 m. Il est également possible d'utiliser des photographies aériennes ou de la vidéographie dans le domaine panchromatique (visible) ou de l'infrarouge.

Les données acquises dans une bande spectrale simple (SPOT P, ou photographies aériennes panchromatiques) occasionnent souvent des confusions entre états de surface pour un même niveau de gris. Des bandes spectrales combinées entre elles permettent d'élaborer des indices spectraux spécifiques. Un indice de végétation sera proposé plus loin.

La résolution spatiale représente la taille du point élémentaire au sol perçu à la verticale du satellite. Comme la taille des éléments qui constituent l'état de surface du sol est plus fine que celle du pixel des satellites actuels, c'est la combinaison des états de surface qui influencera la réflectance (quantité de lumière solaire réfléchi par la surface terrestre et reçue au niveau du satellite dans les différentes bandes spectrales).

Cet effet d'agrégation est représenté dans un exemple simplifié de bande boisée où sont schématisées les couronnes des arbres et arbustes sur un sol nu (Figure 1). En haut de cette figure, la bande est encore bien perçue en recouvrement et forme. Avec une taille de pixel 4 fois supérieure environ à la taille d'une couronne, les pixels mixtes, largement influencés par le signal du sol nu, entraînent un élargissement apparent de la bande et un lissage des variations de recouvrement. C'est le niveau stationnel, pour lequel on définira une relation

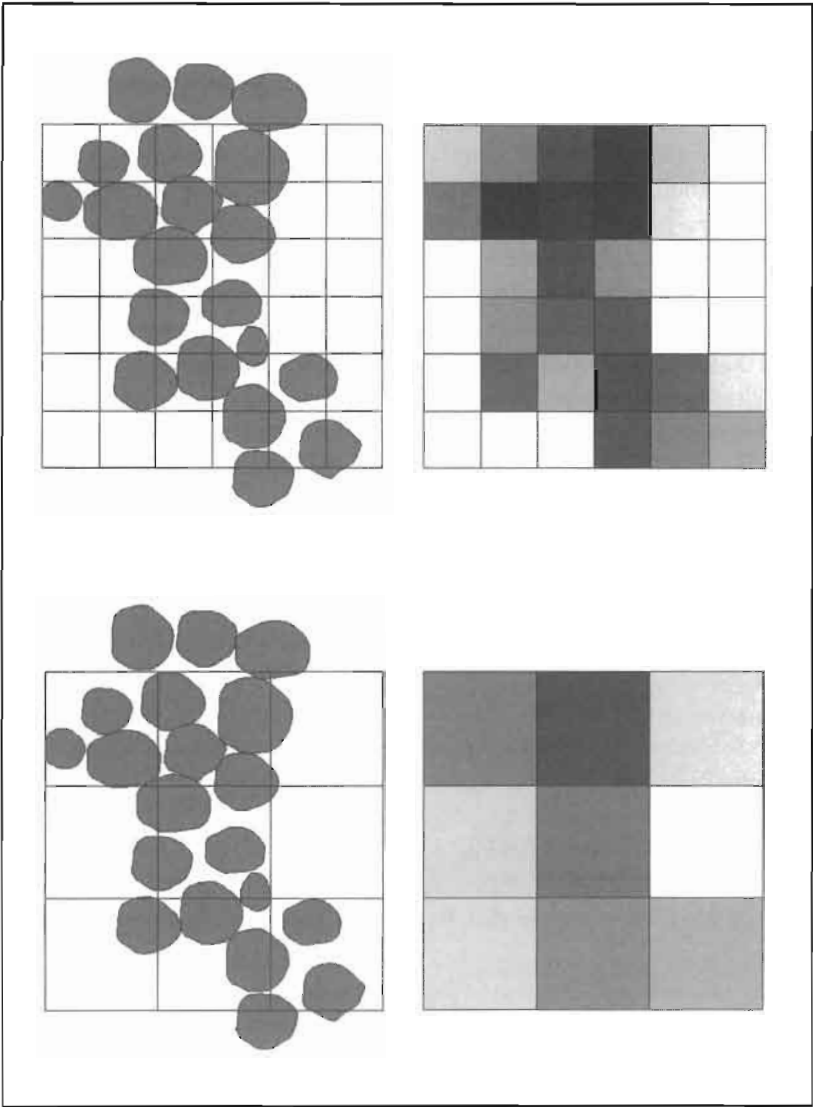


Figure 1. Influence de la taille du pixel sur la perception aérienne d'une bande boisée.

directe entre la réflectance de chaque pixel et les composantes de la surface du sol. L'erreur sur la localisation des pixels est d'environ 0,5. Il faudra un nombre suffisant de pixels pour obtenir des relations significatives (2 à 3 pixels de largeur le long d'un transect par exemple).

Au niveau local, une unité écologique correspond à une ou plusieurs structures de végétation contractée. Dans l'exemple d'un plateau couvert de brousse tigrée (Figure 2), le motif caractéristique de l'unité est défini par 3 ou 4 bandes plus ou moins continues et à peu près parallèles. La figure montre l'image, à différentes résolutions, de la structure à partir d'une représentation binaire de la végétation (en noir) et du sol nu. L'image en haut à gauche est issue d'une photographie aérienne. Elle indique de nombreux détails dans les bandes. Une résolution de 0,8 mètre permet de représenter pratiquement chaque arbuste. Avec un pixel de 5 mètres de côté, les arbustes isolés et les fins diverticules ne sont plus détectés, mais on conserve l'essentiel des formes, en particulier les ondulations des bandes formant des caps et des baies. La résolution du panchromatique SPOT (pixel = 10 m) ne conserve que la structuration en bandes, tout en restituant l'essentiel des grandes différences de largeur des bandes. A la résolution de 20 mètres, les bandes fines deviennent discontinues et on peut observer des fusions quand l'interbande de sol nu ne dépasse pas 20 à 30 mètres de largeur. Avec les données de Landsat TM, la structure n'est plus perçue, mais la composante végétation est encore bien dispersée. L'agrégation peut déterminer des organisations qui n'ont pas de lien avec la réalité au sol. Sur l'image avec un pixel de 80 mètres, la végétation n'apparaît plus qu'en taches avec de larges plages nues. A partir de 30 mètres de résolution, les pixels sont pour la plupart d'origine mixtes, avec un mélange sol nu et végétation.

En conclusion, dans l'exemple présenté, une résolution entre 10 et 20 mètres permet de restituer à la fois la localisation et la forme des structures de végétation contractée. Avec une résolution plus grossière, on estimera plutôt une proportion moyenne de végétation, ce qui est déjà une information capitale. C'est le cas avec les données Landsat TM utilisées pour la cartographie des zones forestières du projet Énergie II au Niger (SDAN, 1991).

Classification et typologie des brousses contractées par télédétection

Parmi les données satellitaires adaptées à la cartographie des structures contractées, les images SPOT panchromatiques (P) semblent donc les plus appropriées à une cartographie régionale. Des photographies aériennes numérisées peuvent être aussi utilisées. Cependant, des confusions peuvent se produire rapidement entre sol nu et végétation, parfois sur un même plateau (bande boisée et zone gravillonnaire par exemple). Le recours à des données multispectrales de type SPOT XS (résolution : 20 m), permet de différencier la végétation à l'aide d'indices spécifiques sans trop de confusions. L'indice de végétation normalisé (rapport des canaux Proche InfraRouge-Rouge / Proche InfraRouge+Rouge), augmente avec le taux de recouvrement du sol par la végétation active, mais sans réelle distinction des strates et de l'importance de la biomasse. Afin d'essayer d'améliorer la résolution spatiale de ces données, un indice de végétation combinant les données satellitaires SPOT multispectrales et panchromatiques, a été proposé : *IVpa* (Hamani, 1995). Il représente un compromis entre résolution spatiale et résolution spectrale. Dans cet indice de végétation,

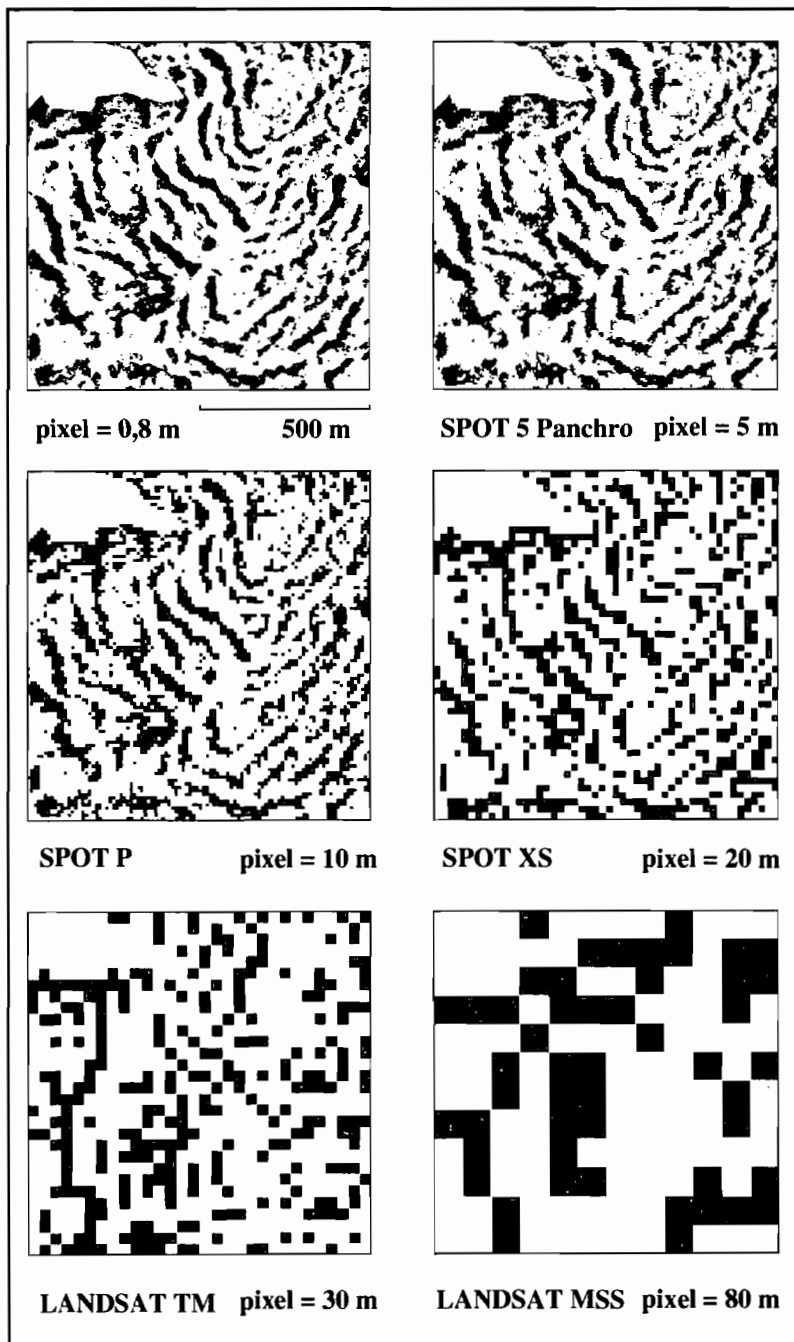


Figure 2. Influence de la taille du pixel sur la perception aérienne d'une structure de brousse tigrée.

la bande rouge est remplacée par la bande panchromatique, corrélée à cette dernière. Au préalable, les images XS (échantillonnées à 10 mètres) et P sont superposées à 0,5 pixel près. Chaque scène SPOT couvre une superficie d'au moins 3 600 km².

Les images satellitaires donnent une information en chaque point de l'espace. La typologie des brousses contractées est établie d'après une appréciation visuelle de leur organisation (Ambouta, 1984 ; 1997). Ces organisations peuvent être délimitées par des contours.

A chaque type de brousse contractée, et selon la latitude, correspond un fonctionnement et une production forestière potentielle. Le traitement d'une image en pixels ne permet pas d'obtenir le contour des unités. Pour y parvenir, une cartographie automatique de ces formations a été testée, à partir de la définition de fenêtres glissantes de 10 à 20 pixels de côté et des différentes proportions de sol nu et végétation pour chacun des types de brousse (Girard *et al.*, 1991 ; Delbaere, 1994). Le résultat est une classification typologique en plages continues (Figure 3). L'image centrale représente une simplification des bandes boisées, classées selon leur longueur, avec la composition des fenêtres-type pour chacune des structures. L'amélioration de cette méthode passe par une meilleure description numérique des bandes (longueur, largeur, espacement, connexions et orientations), et l'intégration de ces paramètres dans les algorithmes de classification.

La télédétection permet donc d'améliorer la qualité de la cartographie des formations forestières contractées. Les phases de contrôles sur le terrain demeurent cependant nécessaires. Elles doivent être adaptées à la fois à l'organisation de ces formations sur le terrain et aux objectifs d'utilisation. Il sera donc capital de définir pour les contrôles sur le terrain, à la fois les paramètres qui décrivent les états de surface (végétation et sol nu) pour interpréter les images satellitaires, et ceux liés au suivi de la production et à la gestion de la forêt. Les relations mises en évidence par Galle *et al.* (1997) et Ichaou et d'Herbès (1997) entre la structure, le fonctionnement et la production des formations contractées vont dans ce sens.

Exemple d'un plateau de brousse tigrée au nord-est de Niamey

Nous avons appliqué l'indice de végétation amélioré avec la bande panchromatique (*IVpa*) à un ensemble de plateaux de brousses contractées au nord-est de Niamey : site SALT (Savanes à Long Terme, PIGB) et HAPEX-Sahel (25x25 km², 13°30 N - 2°40 E ; scènes SPOT XS du 20/08/92 et P du 16/02/91).

Une validation au sol, réalisée sur 6 transects de 250 à 500 mètres de longueur (soit 5 bandes de végétation) perpendiculaires à l'allongement des structures, a permis d'établir une relation entre indice de végétation et recouvrement estimé visuellement (Figure 4). Ces relations, définies sur une bande située entre 12° et 14° de latitude nord ont été appliquées aux plateaux du site étudié, situé dans la partie centrale du transect (13°30 N). Cet indice a été seuillé en classes de recouvrement, dans lesquelles les ligneux bas sont très largement dominants (Figure 5, Tableau I). La corrélation et le résultat cartographique pourraient être largement améliorés, (1) en disposant d'images à dates plus proches, en période de végétation, (2) avec une meilleure estimation du recouvrement, à partir par exemple de photographies aériennes prises à basse altitude.

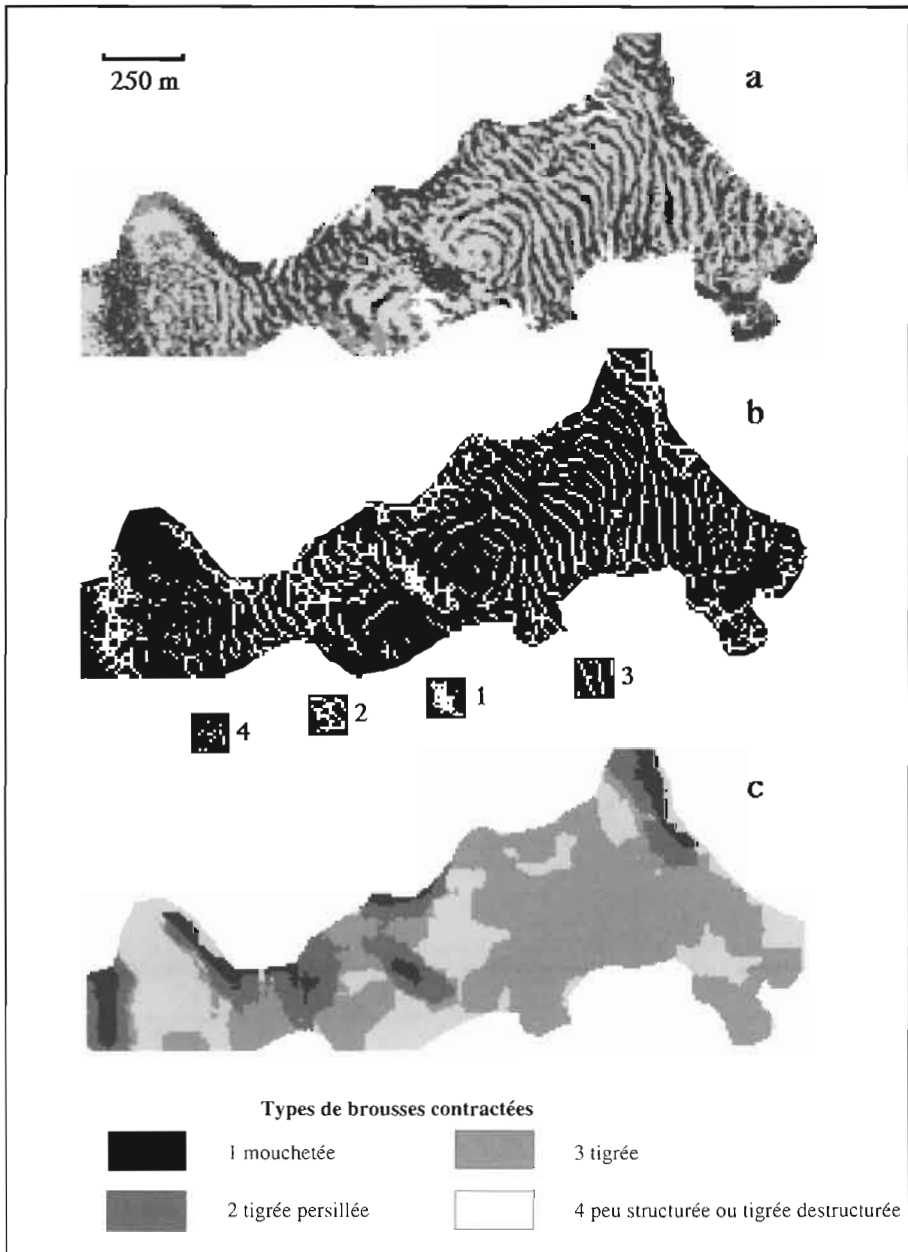


Figure 3. Classification typologique par multidensité d'un plateau de brousse contractée (nord-ouest du Niger), d'après une image panchromatique SPOT (pixel = 10 m).

- structure de la végétation sur l'image panchromatique SPOT : longueur des bandes, largeur des bandes/interbandes, orientation, points triples, recouvrement de sol nu.
- squelettes des structures végétales, classés selon leur longueur.
- classification typologique d'après la proportion sol nu/végétation.

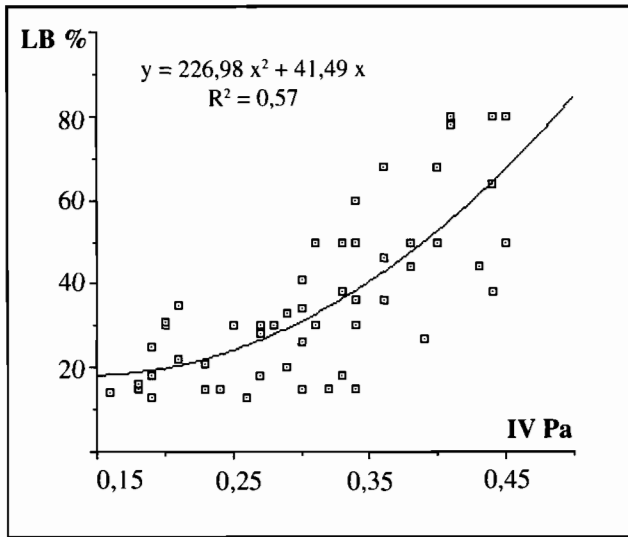


Figure 4. Relation entre Indice de Végétation amélioré avec le Panchromatique (IV Pa : PIR-P / PIR+P) et recouvrement >10% des ligneux bas (LB%).

Les applications à l'estimation des potentialités forestières ne peuvent se satisfaire d'un indice exprimant le seul recouvrement. Pour obtenir une relation entre recouvrement estimé par télédétection et biomasse, les études en cours montrent qu'il est nécessaire de réaliser des validations au sol pour chacun des grands types de brousse contractée (coupes échantillonnées le long de transects, par exemple. Cf. Ichaou et d'Herbès, 1997). Des relations similaires pourraient être établies pour déterminer le taux de tiges utiles en foresterie et réaliser des modèles prenant en compte le mode d'exploitation antérieur. Les résultats ne sont *a priori* valables que pour la région étudiée ou dans des situations écologiques similaires.

Tableau I. Classes de recouvrement et surface occupée par la végétation des plateaux du site de Banizoumbou (nord-est de Niamey, Niger).

classes de recouvrement	nb. de pixels	ha	% / plateaux
cl.1 : $0 < R\% \leq 20\%$	640 173	6 401,7	76,3 %
cl.2 : $20\% < R\% \leq 40\%$	107 167	1 071,7	12,8 %
cl.3 : $40\% < R\% \leq 60\%$	74 151	741,5	8,8 %
cl.4 : $R\% > 60\%$	17 121	171,2	2,1 %
total	838 612	8 386,1	100,0 %

Conclusion

Les données satellitaires haute résolution, comme celles des satellites SPOT, sont bien adaptées à l'évaluation de la végétation contractée, aussi bien au niveau de la bande végétale, que de l'organisation des bandes. Le multispectral SPOT, sans panchromatique,

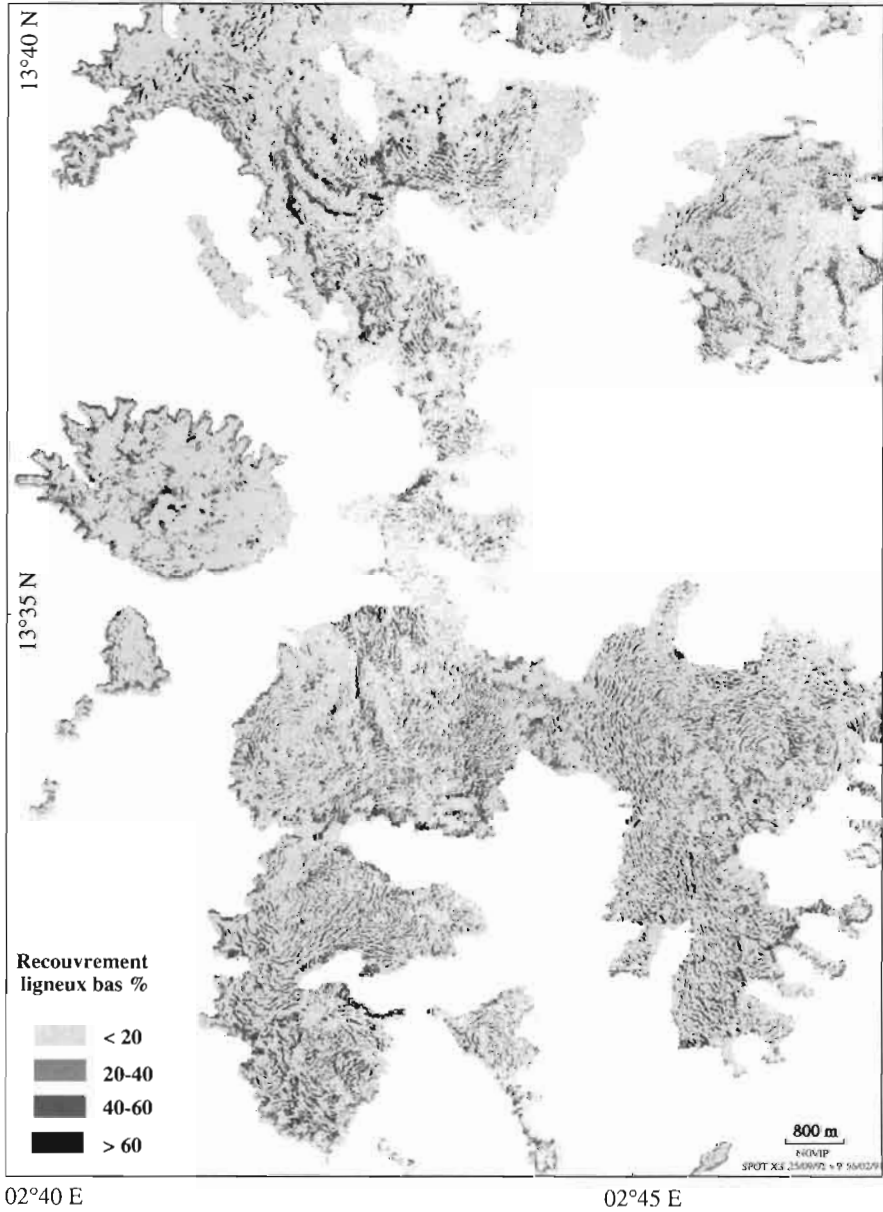


Figure 5. Spatiocarte du recouvrement de végétation sur les plateaux du site de Banizoumbou (nord-est de Niamey, Niger).

cas le plus fréquent, donne également de bons résultats. Quand la structure des formations forestières n'est plus directement détectée, on peut obtenir une spatioscarte en relation avec le recouvrement moyen par la végétation. L'estimation de la biomasse, et plus encore de la quantité de bois utile, avec un indice de végétation, est indirecte et nécessite une validation pour chaque type de végétation contractée. Ces relations ne seront pas transposables en dehors de la région d'étude sans contrôles sur le terrain. La classification typologique d'images satellitaires haute résolution permet de stratifier les formations forestières contractées en relation avec leur fonctionnement écologique. Ces procédures de classification ne sont pas totalement opérationnelles en mode automatique, elles peuvent cependant être validées par un contourage manuel des grandes unités.

Par rapport aux méthodes traditionnelles d'évaluation des potentialités forestières (photographies aériennes, terrain, cartographie), la télédétection apporte une information cartographique fiable et rapide au niveau régional. Elle constitue, pour les services forestiers nationaux, un outil de suivi et de gestion du milieu, adapté à l'évolution rapide des conditions environnementales au Sahel. Les résultats, quantitatifs, apportent un élément clé pour l'élaboration des stratégies d'exploitation.

Références

Ambouta J.M.K., 1984. *Contribution à l'édaphologie de la brousse tigrée de l'ouest nigérien*. Thèse Univ. Nancy I, France.

Ambouta J.M.K., 1997. Définition et caractérisation des structures de végétation contractée au Sahel : cas de la brousse tigrée de l'ouest nigérien. In : d'Herbès J.M., Ambouta J.M.K., Peltier R., eds. *Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens*. John Libbey Eurotext, Paris : 41-57.

Delbaere E., 1994. *Identification de la structure de écosystèmes forestiers contractés sahéliens par télédétection aérienne et satellitaire. Facteurs du milieu déterminant ces structures*. Rapport ISTOM, Paris ; ORSTOM, Niamey, Niger.

Girard M.C., Mougnot B., Ranaivoson A., 1991. Présentation d'un modèle d'organisation et d'analyse de la structure des informations spatialisées : OASIS. In : Pouget J., éd. *Caractérisation et suivi des milieux terrestres en régions arides et tropicales*. Colloques et Séminaires, ORSTOM éditions, Paris, France : 341-350.

Galle S., Seghieri J., Mounkaila H., 1997. Fonctionnement hydrologique et biologique à l'échelle locale. Cas d'une brousse tigrée au Niger. In : d'Herbès J.M., Ambouta J.M.K., Peltier R., eds. *Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens*. John Libbey Eurotext, Paris : 105-118.

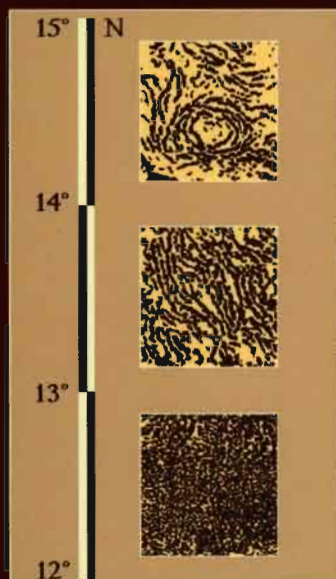
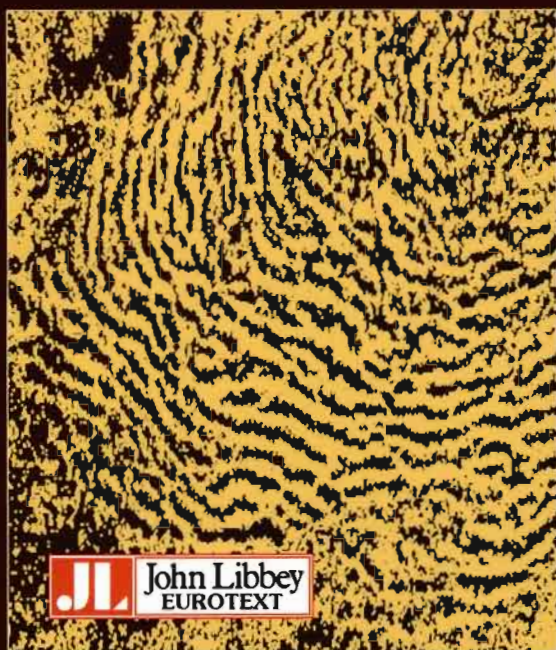
Hamani S., 1995. *Contribution des données satellitaires haute résolution à l'évaluation des potentialités de la végétation contractée («brousse tigrée») des plateaux de l'ouest nigérien*. Mémoire DESS, GDTA, Ecole Nationale des Sciences Géographiques, Toulouse, France.

Ichaou A. et d'Herbès J.M., 1997. Productivité comparée des formations structurées et non structurées dans le sud-ouest nigérien. Conséquences pour la gestion forestière. In : d'Herbès J.M., Ambouta J.M.K., Peltier R., eds. *Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens*. John Libbey Eurotext, Paris : 119-130.

SDAN, 1991. *Schéma directeur d'approvisionnement en bois-énergie de Niamey*. Groupement SEED/CIRAD-Forêt, Niamey, Niger.

Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens

J.M. d'Herbès, J.M.K. Ambouta, R. Peltier



Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens

TEXTES RASSEMBLÉS SOUS LA DIRECTION DE

J.-M. d'Herbès

J.-M.-K. Ambouta

R. Peltier



ISBN : 2-7420-0193-X

Éditions John Libbey Eurotext

127, avenue de la République, 92190 Montrouge, France.

Tél : 01.46.73.06.60

John Libbey and Company Ltd

13, Smiths Yard, Summerley Street, London SW18 4HR, England.

Tel : (1) 947.27.77

John Libbey CIC

Via L. Spallanzani, 11, 00161 Rome, Italy.

Tel : (06) 862.289

© John Libbey Eurotext, 1997, Paris.