

Des données satellitaires à la cartographie des sols, utilisation de l'outil informatique : exemple au Botswana

S. GUILLOBEZ¹, F. BORNE², P. FOL¹

CIRAD, BP 5035, 34032 Montpellier, France.

1. CA : UF-FCM

2. SCI

Résumé

A partir des données numériques du satellite SPOT, il est possible d'aboutir à une carte des sols, à une échelle voisine du 1/50 000, en utilisant l'outil informatique. La démarche proposée comprend trois étapes, toutes supervisées de la même façon par le photo-interprète ; dans un premier temps des images classées (polygones d'apprentissage identiques) sont établies (ACP, IPF, XS); les images apparemment les plus intéressantes sont ensuite traitées à l'aide du logiciel PAPRI qui permet un classement en unités de paysage. Ces nouvelles images ressemblent plus à une carte que les premières, mais conservent des imperfections. Dans une dernière phase les données, qui étaient jusque là de type matriciel, sont vectorisées (mode « vecteur »). La fin du traitement est effectué dans ce mode; on élimine les défauts (petites unités, agrégations d'unité, etc.). On obtient deux documents proches de cartes qui présentent de nombreuses similitudes et quelques différences; leur addition et une dernière interprétation en mode vecteur permet d'obtenir la carte finale dont les contours sont proches de ceux obtenus par interprétation visuelle. Ce document est directement intégrable dans un SIG.

Mots-clés : données satellitaires, cartographie des sols, informatique, PAPRI, Botswana.

Abstract

From Satellite Data to Soil Mapping : Example in Botswana

The present work illustrates a methodology using computer wares and digital data of SPOT satellite to produce a soil map with scale approximately 1/50 000.

The proposed procedure consists of 3 phases, each of them supervised by the same specialist:

In the first phase, classified images with polygons having similar spectral signatures were obtained from image treatments such as PCA, IFP... of XS channels of SPOT image.

In the second phase, two most interesting classified images from phase 1 were treated with software PAPRI to produce landscape units. The resulting images look more like classical maps than those of the first phase. They conserve however few imperfections.

In the third phase, two digital images of phase 2 were vectorized with module vector to smooth up boundaries between units and eliminate imperfections such as too small units or clusters of units...Two resulting images possess many similarities and a few differences. Their fusion or superposition accompanied by last rectifications using vector module lead to a final map. The latter showed unit boundaries that are very close to those obtained from visual interpretation and can be directly integrated into a GIS.

Keywords : satellite data, soil survey, computer graphics, PAPRI, Botswana.

1. Introduction

Malgré le développement de logiciels de plus en plus performants, aucun ne permet d'aboutir à un véritable document cartographique. Le thématicien est obligé de dessiner : soit sur une image (améliorée ou pas), soit sur l'écran (« P.I.A.O. » : photo-interprétation assistée par ordinateur). L'utilisation des classifications classiques (algorithme hypercube) aboutit à des échecs qui sont dus au fait qu'elles ne considèrent que l'espace des radiométries (analyse physique). Des logiciels récents essayent de tenir compte de cette proximité, ils opèrent dans l'espace géographique en établissant des statistiques entre classes ou radiométries (analyse statistique : CLAPAS, OASIS, PAPRI et PAPRICA). Tous ces logiciels travaillent en mode matriciel et sont de ce fait limités en ce qui concerne les relations de voisinage. Les logiciels de type SIG sont souvent mixtes (matriciel et vectoriel), ils permettent pour les plus perfectionnés d'entre eux un travail sur les vecteurs (analyse structurale). Les cartes sont pour la plupart établies dans ce dernier système.

2. Rappel

Au Botswana une étude conduite à la demande de la FAO (GUILLOBEZ et LANTIERI, 1990) a conclu à la non-opérationnalité des méthodes informatiques de traitement des données satellitaires dans le cadre de la cartographie des sols (données SPOT). A l'époque, des traitements classiques utilisant des méthodes de classification dirigée ont été utilisés (hypercube avec PERICOLOR 1000); mais, les images obtenues par ses traitements devaient

être analysées visuellement par le pédologue afin d'y tracer des contours; cette interprétation étant directement réalisable et à moindre coût à partir des produits papiers de SPOT.

Ces méthodes de classification utilisent des zones dites de références, elles procèdent d'une analyse physique des données par seuillage (GIRARD M.C. et GIRARD C.M, 1989). A la suite des travaux de HARALICK (1974) et ROGALA (1982), des recherches ont été conduites sur la notion de texture d'image (au sens informatique), elles ont porté essentiellement sur la prise en compte de l'organisation spatiale des données, l'analyse étant essentiellement statistique (BORNE, 1990; GIRARD et *al.*, 1991; ROBBEZ-MASSON, 1994). Les logiciels proposés ont pour noms dans le même ordre que leurs auteurs : (PAPRI, OASIS, CLAPAS).

La notion d'organisation structurale est encore peu utilisée. La démarche développée consiste à effectuer une analyse structurale d'images classées et à agréger les classes voisines, cette démarche réalisée en mode vecteur a déjà été utilisée par GUILLOBEZ et *al.* (1993) à l'aide du logiciel ARC/INFO.

Une image est un assemblage de pixels qui sont des *contenus* dont on ignore les limites; en revanche une carte est un assemblage de limites qui constituent le *contenant*. Ces deux constatations ont orienté la démarche développée (GUILLOBEZ et *al.*, 1993).

En prenant un cas concret de cartographie des sols à l'échelle du 1/50 000 dans la région de Molepolole au Botswana, la démarche propose une chaîne de traitements permettant, à partir des données SPOT, d'aboutir par infographie à l'établissement d'un document cartographique prêt à être intégré dans un SIG. La carte initialement dessinée lors de l'étude effectuée pour la FAO servira de témoin afin de comparer les limites obtenues par les deux méthodes; cette carte morphopédologique comprend 9 unités géomorphologiques ou de sol (*landforms*) liées à trois grandes formations géologiques :

- sableuses du Karoo au Nord Est (bordées d'un liseré de sols sableux blancs),
- diabase dans les zones planes,
- grès du Waterberg (collines entourées par les épanchements de diabase).

3. Analyse physique

Nous entendons par analyse physique les méthodes de classifications opérant par seuillage, effectuées après étude de polygones d'apprentissage et permettant la simplification des données originelles.

Une image satellitaire présente souvent une organisation de tâches colorées qui se répètent localement donnant l'impression d'une certaine homogénéité reflétant une organisation texturale. L'analyse visuelle de l'image permet au thématicien, connaissant le terrain, de choisir les polygones d'apprentissage caractéristiques des unités reconnues au sol.

Dans le cadre particulier de cette étude, les objets cartographiés : les sols qui ont un développement en profondeur, ne sont pas toujours visibles directement par le satellite ; en revanche, certains types de végétation ou d'utilisation du milieu par l'homme leurs sont liés. Ces relations qui ont été établies sur le terrain sont mises à profit par l'opérateur. Cette façon

d'aborder le problème est proche de la démarche morphopédologique proposée par KILIAN (1974) et qui va du général au particulier.

Rem : voir illustrations planche 7.

Quinze classes, d'état du sol, représentatives des types de végétation (type de savane, de jachère, de mise en culture) et de sols ont été retenues; les polygones d'apprentissage correspondants ont été choisis sur une image classée semi-dirigée aux couleurs dites proches de la réalité (Image SPOT SGPF (a)) ; du fait des objets à classer, les polygones ont été pris de petite taille et dans des zones homogènes radiométriquement. Les mêmes polygones ont été utilisés pour les trois traitements.

Le seuillage a été réalisé sur trois types de données :

les canaux bruts de SPOT : XS, les trois composantes de l'ACP et trois indices déterminés à partir des canaux bruts et des résultats de l'ACP : IPF. Trois images classées ont été obtenues : XS, ACP et IPF. La comparaison des images avec la carte des sols (Limites pédologiques, Images classées (b)) montre que les deux dernières images ont une organisation structurale des classes évoquant la répartition des sols. Ainsi les secteurs aux sols rouges sur diabase mis en culture (absence de charge en cailloux) sont bien distinguables sur les deux images (classe correspondante; mais, présence d'autres classes, en rouge sur l'image). Les talus aux sols blancs apparaissent en jaune. Notons que l'image obtenue à partir des canaux de l'ACP semble la plus contrastée, une observation détaillée montre que localement la limite de la formation du Karoo est mieux individualisée sur l'image issue des indices IPF. Ces deux images classées seront conservées pour la suite de la démarche. Aucune d'elle ne permet une représentation cartographique des sols car encore trop complexe.

Ces deux images classées présentent des organisations structurales de classes qui forment l'unité reconnue sur le terrain par le thématicien.

4. Analyse statistique (PAPRI)

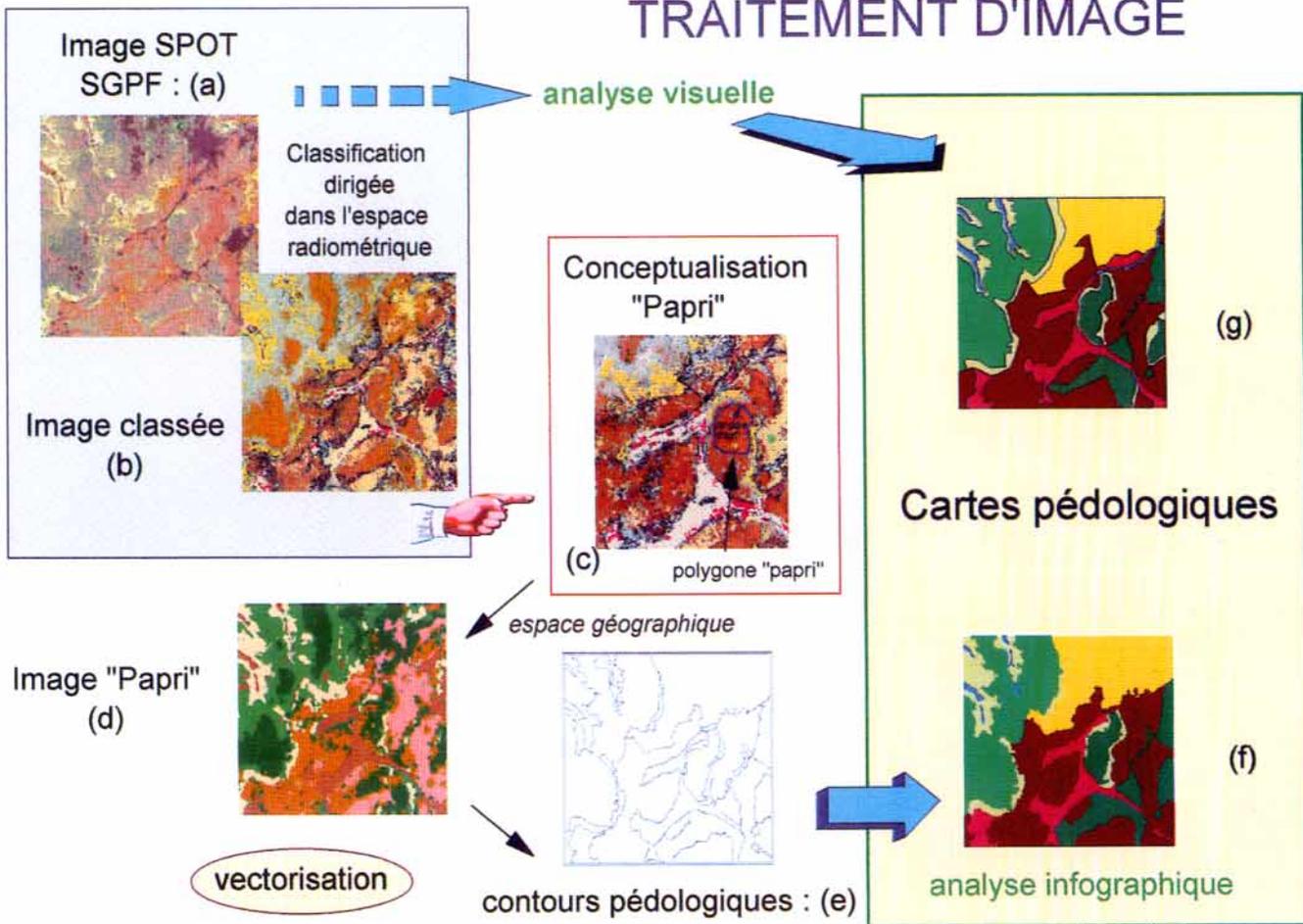
La méthode PAPRI (Paysages définis *a priori*, BORNE 1990) segmente une image d'après ses propriétés de statistiques. Elle permet d'obtenir un découpage de l'image en régions homogènes qui sont des « unités de paysages ». Ce produit est plus proche d'une carte que les classifications traditionnelles. Il est applicable aussi bien à des images classées qu'à des images en niveaux de gris.

La méthode prend en compte la composition des différents paysages à reconnaître, mais pas la position relative des valeurs sur l'image.

Les différentes étapes de la méthode PAPRI (c) sont :

- Choix des polygones de calibrage. L'opérateur trace sur l'image des polygones délimitant les zones homogènes, caractéristiques d'une unité repérée sur le terrain. Les

TRAITEMENT D'IMAGE



polygones ont en général de plus grandes dimensions que lors de la classification précédente; cette taille est fonction des unités à classer.

- Calcul des vecteurs de composition ou de paysages. Le programme, pour chaque paysage, calcule le vecteur composition ainsi que sa taille. Un vecteur paysage traduit la composition moyenne des différents polygones de calibrage pour le paysage considéré.

- Segmentation de l'image. L'image est ensuite analysée point par point en fonction d'une fourchette de taille des fenêtres. On cherche en tout point de quel paysage se rapproche le plus son voisinage sur l'image. Pour cela on examine des fenêtres de taille variable et, en fonction d'un indice de qualité, on retient le meilleur paysage pour le point.

L'image obtenue sera appelée **image PAPRI (d)**.

Ce traitement a été appliqué sur les deux images classées retenues au point 3 (images ACP et IPF). La délimitation des polygones a été faite en fonction des images et des observations de terrain. Les sept paysages retenus sont, comme pour les classifications physiques, des données superficielles (végétation) ayant un lien avec les sols et discernables sur les images classées (classification : méthode PAPRI) :

- talus (sols sableux blancs = sols nus),
- savane 1 (végétation ligneuse moyennement développée, sables du Karoo,),
- savane 2 (végétation ligneuse bien développée, sables du Karoo, grès du Waterberg),
- cultures (sols rouges sur diabase, peu de cailloux),
- jachère 1 (proximité des cultures, sols rouges sur diabase, cailloux abondants),
- jachère 2 (entre les collines de grès du Waterberg, sols rouges sur diabase).

La fourchette de tailles des fenêtres a été prise entre : 3 à 11 pixels; des travaux antérieurs, effectués sur des données de Boni au Burkina Faso, ont montré que pour avoir des limites correctes il ne fallait pas prendre des fenêtres trop grandes (GUILLOBEZ *et al.* 1993); les images obtenues restent complexes et nécessitent une analyse structurale.

Les images PAPRI sont encore loin de représenter fidèlement les unités retenues. Notons que la zone de cultures est assez bien individualisée sur l'image issue de l'ACP, ce qui est moins le cas pour la filière IPF (Image classée PAPRI IPF). Les talus ne sont représentés que localement et de façon discontinue alors qu'ils bordent en continuité le plateau des sables du Kalahari (Karoo) ou les collines sur grès du Waterberg. De nombreuses impuretés de petites tailles subsistent. Les collines sur grès sont repérables mais formées en réalité par la juxtaposition de divers types de végétation. Cette classification est plus simple et plus précise que celle obtenue par les méthodes classiques mais ne permet pas encore d'obtenir un document cartographique.

5 Analyse structurale

Il s'agit de regrouper localement des plages de classes juxtaposées dont l'addition représente l'unité cherchée. En l'absence de logiciel adapté, un palliatif a été utilisé; en effet,

ce travail ne peut être réalisé en mode matriciel. En fait, on cherche à aboutir à un document cartographique en plages et le mode vecteur répond à ces deux préoccupations.

Les données dans les logiciels de type « vectoriel » sont des polygones, des traits qui entourent les plages homogènes définies par des attributs (légende des unités); elles sont organisées de façon topologique et ne sont pas indépendantes les unes des autres. Ces logiciels permettent des traitements complémentaires de ceux qui travaillent en mode matriciel; ainsi, il est possible d'éliminer des polygones de petite dimension, d'isoler des objets (des arcs) de façon à les effacer.

Dans un premier temps, les images PAPRI sont vectorielles (utilisation d'ARC/INFO, sous Unix). La première opération consiste à éliminer les polygones de petite taille, cela est possible quelles que soient les classes (par exemple élimination des polygones dont la surface est inférieure à un nombre n de pixels). Puis l'analyse s'effectue sur les arcs; on supprime ceux qui séparent des plages de classes (issues des images PAPRI) que l'on veut regrouper. L'interprétation est faite visuellement à l'écran, après interprétation sur une sortie papier, le résultat est une simplification de l'image (Analyse structurale). Dans cette étude l'opérateur n'a pas essayé de dessiner des limites qui manquaient.

Les deux documents obtenus à partir des images ACP et IPF présentent des convergences en ce qui concerne certains contours (cultures, grès du Waterberg, une partie de la limite des sables du Kalahari); par contre, le document ACP délimite mieux les zones sableuses du NE des sols sur diabase; tandis que le document IPF sépare bien ces zones sableuses du Waterberg, des sables du Karoo.

La carte réalisée par infographie a été établie en additionnant les contours obtenus dans les deux documents précédents et en effectuant une dernière sélection des limites selon la même méthode.

La qualité du document obtenu a été jugée relativement un à la carte tracée par analyse visuelle, en PIAO et déduite de celle établie lors de l'étude réalisée pour la FAO. Nous nous sommes contentés de comparer les limites sans effectuer de statistiques sur les surfaces. On constate en observant rapidement la carte obtenue que cette méthode permet de retrouver les principales unités. Il est par contre pas impossible de mettre en évidence les unités très étroites (bas-fonds). Les unités étroites comme les talus aux sols sableux blancs sont représentés localement et de façon discontinue alors que sur le terrain leur continuité a été observée. L'étang est mis en évidence malgré sa taille car il correspond à un contraste important dans l'espace des radiométries et également dans l'espace géographique. Notons que les limites entre les grès du Waterberg et les sols sur diabase ne sont pas toujours équivalentes à la carte réalisée par analyse visuelle. Cette carte se rapproche de ce que l'on pourrait faire par analyse visuelle mais ne peut pas prétendre à la même précision. Certaines des limites ont la qualité du 1/50 000 mais l'ensemble ne peut atteindre cette précision; néanmoins, on peut estimer que pour un document au 1/100 000 en supprimant l'unité talus et après lissage le résultat serait acceptable.

La méthodologie développée permet d'obtenir un document qui s'apparente à une carte, les limites sont proches de celles dessinées visuellement.

Des défauts existent, ils sont peu importants si l'on envisage l'établissement d'un document cartographique à 1/100 000 ; par contre, à plus grande échelle (1/5 000) il sera nécessaire de dessiner certains contours par PIAO.

Conclusion

L'utilisation des données numériques satellitaires à l'aide des logiciels de traitement d'images classiques reste moins performante que l'analyse visuelle des images sur papier. La méthode proposée, sans atteindre la perfection de l'analyse visuelle permet de parvenir à un résultat voisin.

Cette démarche utilise successivement : les méthodes d'analyses radiométriques classiques, de classification dirigée, puis plus récente d'analyse statistique et enfin d'analyse structurale en mode vecteur. Cette dernière nécessite plus que les précédentes une interprétation à l'écran qui rend la méthode encore longue à appliquer et ce surtout pour de grandes tailles d'images.

Bibliographie

- BORNE F. (1990). *Méthodes numériques de reconnaissance de paysages, application à la région du lac Alaotra, Madagascar*. Thèse Doct. Un. Paris. 213p.
- GIRARD M.C., GIRARD C.M. (1989). *Téledétection appliquée; zones tempérées et intertropicales*. Masson, Paris, 260p.
- GIRARD M.C., MOUGENOT B., RANAIVOSON A. (1991). « Présentation d'un modèle d'organisation et d'analyse de la structure des informations spatialisées : OASIS », in *Caractérisation et suivi des milieux terrestres en régions arides et tropicales*, Orstom, Bondy, 341-350.
- GUILLOBEZ S., LANTIERI D. (1990). « Use of high resolution satellite data for soil mapping. Pilot study in Botswana ». FAO, remote sensing centre, Rome, 50p.
- GUILLOBEZ S., BORNE F., FOL P., GOUNEL C. (1993). « Des données satellitaires à la cartographie du milieu naturel. Utilisation de l'outil informatique », 1er Coll. Int. AOCASS, Ouagadougou, Burkina Faso.
- HARALICK R.M. (1978). « Statistical and structural approach to texture », *Intern. Symp. on remote sensing on inventories of environmental resources and endangered E.*, Freiburg, 379-431
- KILIAN J. (1974). « Etude du milieu physique en vue de son aménagement. Conceptions de travail. Méthodes cartographiques », *L'Agron. Trop.*, 29 (2-3), 144-153.
- ROGALA J.P. (1982). *Approche numérique de l'espace agricole. Analyse de l'hétérogénéité et de la structure des unités cartographiques*. Thèse Doct. Ing. Géol. Appli., INAPG, Grignon, 224p.
- ROBBE-MASSON J.M. (1994). *Reconnaissance et délimitation de motifs d'organisation spatiale; Application à la cartographie des pédopaysages*. Thèse Doct., ENSA, Montpellier, 161p.