
Détection automatique et cartographie des villages ruraux dans les pays en développement par télédétection et analyse spatiale

Nicolas DEVAUX : Cemagref UMR3S/ADEME/EDF – Université d'Orléans ;
Maison de la télédétection, 500 rue JF Breton, 34093 Montpellier Cedex 5
Émail : nicolas.devaux@teledetection.fr
Tel : 04-67-54-87-44 - Fax : 04-67-54-87-00

RÉSUMÉ :

La donnée cartographique grande échelle relative au peuplement, comme la localisation individuelle des habitations, est primordiale pour un grand nombre d'aménagements du territoire. Cependant, sa disponibilité est quasi nulle dans les zones rurales des pays en développement, où les données cartographiques existantes datent de plus de cinquante ans et dépassent rarement le 50000^e. L'électrification rurale décentralisée (ERD) menée par l'ADEME et EDF dans des pays en développement, est un exemple de projet de développement local qui nécessite la localisation précise des habitations pour réaliser des choix techniques.

L'arrivée des données satellitaires haute résolution spatiale (HRS) et très haute résolution spatiale (THRS) peut fournir des alternatives à la situation actuelle en produisant des données cartographiques récentes à des échelles en adéquation avec les besoins. Mais, l'automatisation des traitements impose l'adoption de nouvelles méthodes afin de dépasser les limites des approches purement radiométriques. L'approche spatiale, en valorisant la prise en compte de l'organisation spatiale des zones abordées par des traitements automatiques de classification, permet d'obtenir des résultats prometteurs. Cet article propose un développement de l'approche méthodologique, et sa mise en application pour la délimitation de villages dans la région de l'Extrême-Nord Cameroun.

ABSTRACT:

High scale cartographic information concerning human settlement, like individual housing location, is essential for many area's managements. However, its availability is almost nil within rural areas of developing countries. Existing maps in such areas are mostly fifty years old, with cartographic scales rarely better than 1/50 000^e. Decentralized rural electrification carries out by ADEME and EDF within developing countries, is an example of local development projects, which need exact local housing location to achieve technical choices.

Recent availability of very high spatial resolution (VHRS) commercial satellites imageries can offer alternatives to the actual situation, by producing new cartographic data with specific scales adapted to particular needs. But, treatments automation needs to use new methods in order to overshoot actual restrictions obtained with traditional radiometric approaches. Spatial approach, by introducing a more valuable spatial facet within automatic classification treatments, lead to promising results. The article firstly introduce main aspects of methodology approach, following by real application for village delineation within Extreme North Cameroon area.

MOTS-CLÉS : peuplement rural, village, télédétection THRS, analyse spatiale, Cameroun

KEYWORDS: Rural settlement, village, HSR images, spatial analysis, Cameroon

Introduction

Les données de localisation et de cartographie du peuplement sont essentielles pour nombre d'aménagements du territoire. Les projets d'électrification rurale décentralisée (ERD) mis en place dans des zones rurales de pays en développement par EDF et l'ADEME rencontrent des problèmes quant à la pertinence des données cartographiques existantes. Elles sont souvent inadaptées, soit du fait de leur ancienneté, comme par exemple les cartes réalisées en Afrique par l'IGN [Carrère *et al.*, 1990], soit du fait de leur échelle cartographique supérieure ou égale au 1/50 000^e, alors que des données au 1/20 000^e seraient nécessaires. En effet, la localisation des habitations à électrifier est une donnée nécessaire dans les projets d'ERD afin de tenir compte de leur densité et dispersion et choisir entre un réseau local filaire ou des solutions photovoltaïques autonomes [Lamache De Resseguier, 2002].

Actuellement, les solutions techniques utilisées pour localiser les habitations se limitent aux relevés de terrain GPS qui s'avèrent longs et fastidieux si la dispersion de l'habitat rural est prononcée.

L'arrivée de satellites de télédétection à très haute résolution spatiale (THRS) peut fournir une alternative technique aux relevés GPS pour la cartographie du peuplement rural des pays en développement. Contrairement aux satellites antérieurs, les capteurs métriques ou submétriques acquièrent des images dans lesquelles les éléments matériels d'importance pour la cartographie du peuplement sont perceptibles. Cependant, l'automatisation des traitements reste une étape importante pour l'essor de l'utilisation de ces images dans ces contextes singuliers. Les méthodes de classification « classiques » basées sur des approches radiométriques « pixel à pixel » utilisées jusqu'alors ne sont plus adaptées. Il est nécessaire de proposer de nouvelles méthodes de classification prenant en compte les réponses radiométriques des objets à caractériser, mais aussi leurs spécificités spatiales afin d'optimiser leur caractérisation et classification.

Les contextes ruraux favorisent les erreurs de classification du fait de la forte ressemblance entre des éléments naturels du territoire et les éléments d'intérêt à cartographier. Ce constat s'explique en partie par l'utilisation de matériaux naturels pour la construction d'habitations de petite dimension.

L'amélioration de la détection des habitations requiert donc une approche multiscalair. Le premier niveau d'analyse consiste à circonscrire au plus près les aires de localisation des habitations, donc à identifier les zones habitées des villages en éliminant les surfaces alentours, qui dans notre contexte d'étude, sont principalement constituées de brousse. Faute de pouvoir s'appuyer sur les caractéristiques radiométriques des villages pour les distinguer des zones de brousse, une « approche objets » a été développée dans le but d'améliorer les procédures de classification en intégrant les spécificités spatiales des villages sous forme de règles de connaissance.

Cet article propose un exemple d'approche objets pour la délimitation des espaces villageois dans les pays en développement. Une première partie expose les aspects méthodologiques de l'approche, suivie d'une étude de cas menée dans l'Extrême-Nord Cameroun.

1. Approche méthodologique

Les difficultés de l'automatisation des traitements des données THRS résident dans la complexification des objets géographiques à reconnaître et à extraire des images. L'amélioration de la résolution des images augmente l'hétérogénéité interne des objets à identifier, ce qui mène à l'obsolescence des approches strictement spectrales. L'une des alternatives pour différencier des objets géographiques radiométriquement proches, mais sémantiquement différents, est d'enrichir les méthodes de classification d'informations contextuelles dérivées de l'approche spatiale. Cela consiste à identifier des éléments simples de l'espace (arbres, tronçons de routes, toiture...) et à analyser leurs relations spatiales. Leur affectation à des classes sémantiques ne sera possible qu'après avoir tenu compte de leur contexte géographique d'insertion. En ce sens, l'approche s'apparente à l'automatisation de la démarche d'un photo-interprète face à une image.

La méthode requiert d'identifier des modèles d'organisation de l'espace qui formalisent les organisations particulières des villages. Ces modèles reposent sur la mise en relations des éléments purement matériels du territoire [Le Berre, 1993] qui participent, de par leur présence et arrangements propres, à l'émergence des paysages.

La méthode nécessite dans une première phase de créer les objets à partir des images qui correspondent aux éléments des modèles d'organisation territoriaux de référence. Ensuite, il faut implémenter les règles de classification rendant compte des relations spatiales entre ces éléments et de leur contexte géographique.

1.1. Approche spatiale

Création des « objets »

L'approche spatiale va identifier, qualifier et quantifier des relations spatiales existant entre des éléments géographiques du territoire [Brunet *et al.*, 1993], ce qui nécessite de décomposer l'espace en éléments simples, différenciables les uns des autres.

En traitement d'image, les éléments géographiques sont assimilés à des « objets ». Leur obtention passe par une phase de segmentation des images en régions homogènes. L'appréciation de l'homogénéité des objets peut être radiométrique, texturale, morphologique ou une combinaison de ces dernières [Girard *et* Girard, 1999]. Les seuils d'homogénéité fixés par l'utilisateur conditionnent la taille finale des régions.

Mais la segmentation n'est pas un passage obligatoire. L'approche spatiale est aussi une alternative, en considérant des primitives géographiques élémentaires extraites de l'image et mobilisées dans des règles de classification transcrivant les connaissances de l'organisation territoriale locale.

Implémentation de la connaissance experte

Une fois que les objets sont conceptualisés et extraits des images, ils sont caractérisés à l'aide d'attributs, soit radiométriques (valeur moyenne des pixels constitutifs de l'objet dans l'image), soit géométriques (issus de calculs décrivant la forme de l'objet), soit spatiaux (position absolue, relations inter-objets...). Dans un objectif de classification, l'identification des attributs pertinents suivant leur aptitude à différencier les éléments d'intérêt est primordiale. La connaissance experte mobilise ces attributs à travers l'usage de règles de classification.

Il est possible de recourir à des règles « simples » qui classifient les objets en se basant sur leurs caractéristiques intrinsèques (géométrie, positionnement absolu dans le territoire...). Mais il est parfois nécessaire de recourir à des règles plus complexes mobilisant plusieurs relations spatiales, liant différents éléments du territoire.

La création de ces règles soulève des difficultés de deux types. Dans un premier temps, il faut identifier les éléments géographiques « simples » qui entrent en compte dans le modèle de représentation du territoire. Ensuite, il faut privilégier les raisonnements et règles les plus simples, souvent les plus universelles, afin de favoriser la transposabilité géographique de l'approche.

1.2. L'approche spatiale et la cartographie des villages

La première phase du travail a permis d'identifier certains éléments des territoires ruraux des pays en développement qui attestent, de façon directe ou indirecte, de la présence de l'homme.

Afin de limiter les surdétections d'habitations liées à leurs fortes ressemblances avec d'autres éléments naturels du paysage, il faut identifier et circonscrire les zones de forte concentration d'habitations. Mais les habitations et les villages n'ont pas de signature spectrale distincte. La densité locale des bâtiments ne crée pas de surface spécifique comme dans le cas des zones urbaines [Ackermann *et al.*, 2004] et se distingue moins des zones de brousse alentours.

L'approche spatiale permet d'améliorer la délimitation des villages en utilisant d'autres objets du territoire plus visibles dans les images et qui entretiennent des relations spatiales univoques avec le peuplement.

Les descriptions et modélisations des espaces ruraux issues de la géographie rurale ou de l'agronomie [Bonnamour, 1993, Lebeau, 1996, Moindrot, 1993] ont identifié les éléments géographiques qui sous-tendent leurs organisations. Il y a, bien entendu, l'habitat qui fût l'objet d'études importantes, avec notamment la caractérisation de sa dispersion (habitat dispersé, groupé) et de ses regroupements (forme des villages). Mais il y a aussi les surfaces cultivées qui dominent les paysages par l'importance de leurs surfaces et conditionnent leur organisation par les choix des systèmes agraires. L'étude des éléments linéaires, comme les voies de communication reliant les habitations et donnant accès aux zones cultivées, est un élément d'importance. Les données de terrain collectées au Cameroun, dans des environnements biogéographiques divers (Figure 1), recourent ces constatations. Ils soulignent aussi les corrélations spatiales importantes existant entre le peuplement humain et certaines espèces d'arbres dans les systèmes agro-forestiers [Gautier *et* Seignobos, 2002, Hervouët, 1993, Pelissier, 1980a, 1980b].

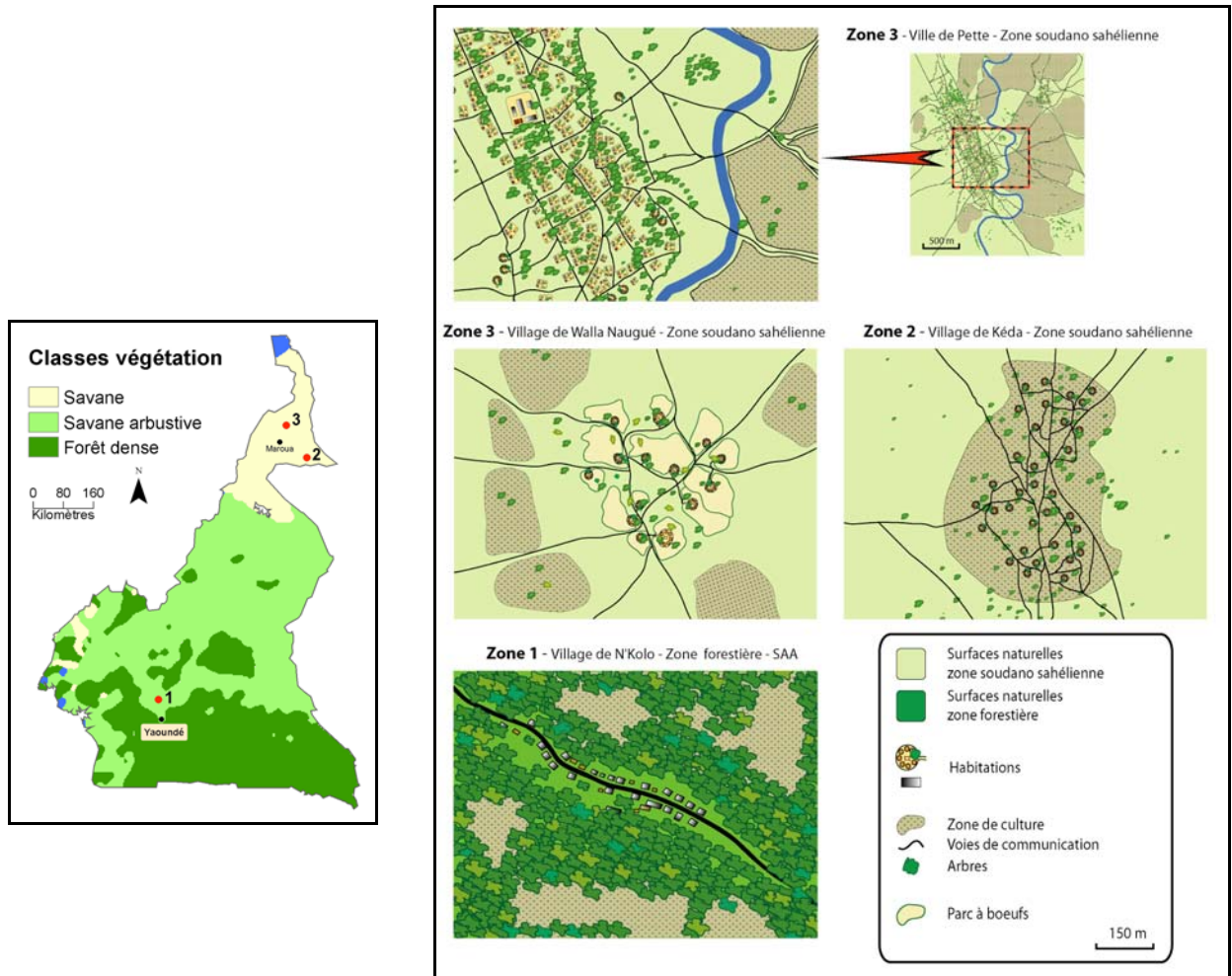


Figure 1 : localisation des trois zones d'étude en fonction des régions bioclimatiques du Cameroun et croquis de synthèse des villages enquêtés (N. Devaux)

Le recours à ces éléments géographiques dans les traitements de cartographie des villages doit tenir compte des spécificités contextuelles des différents sites, afin de modéliser au mieux leurs relations spatiales, afin d'optimiser le recours à des opérateurs spatiaux adaptés (Figure 2). La référence à plusieurs éléments dans les traitements est souvent nécessaire pour mieux circonscrire les aires de localisation d'habitations.

La partie suivante décrit deux approches différentes mises en place pour délimiter les aires villageoises dans la région de l'Extrême-Nord du Cameroun. La première méthode se fonde sur les éléments végétalisés de l'espace rural (zones cultivées et arbres) et l'utilisation d'images SPOT5. La deuxième privilégie l'extraction automatique du réseau des pistes et le calcul local de sa densité pour différencier les zones de brousses des aires villageoises, et ce à partir de données Quickbird THRS.


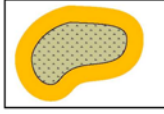






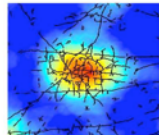


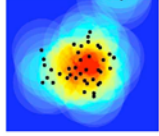

Éléments géographiques	Exemple de formes	Traitements d'image	Règles spatiales entre les habitations et les éléments considérés	Exemple Résultats	Seules les parties oranges sont conservées dans les images
Sol cultivé		Seuil sur plan NDVI Nettoyage	Distance au finage		
			Superposition		
Voies de communication		Extraction de réseau Nettoyage	Proximité au réseau		
			Densité locale (Km linéaire / Km ²) - [Barre de densité] + Seuil		
Arbres		Seuil sur plan NDVI Seuil surfacique Nettoyage	Densité locale (Nb arbres / Km ²) - [Barre de densité] + Seuil		

Figure 2 : exemple de synthèse de l'utilisation d'éléments géographiques « simples » pour l'identification des aires de localisation des habitations

2. Mise en application

2.1. Données terrain

Des relevés terrain GPS complétés par la photo-interprétation d'une image THRS Quickbird ont permis de localiser plus de 4 000 habitations sur une zone de 136 km² dans l'Extrême-Nord Cameroun (Figure 3), soit une densité moyenne de 25 habitations/km². Le peuplement au sein des aires villageoises privilégie un habitat dispersé dans des champs de cultures vivrières et de coton mis en valeur pendant la saison des pluies (village de Kéda, Figure 1).

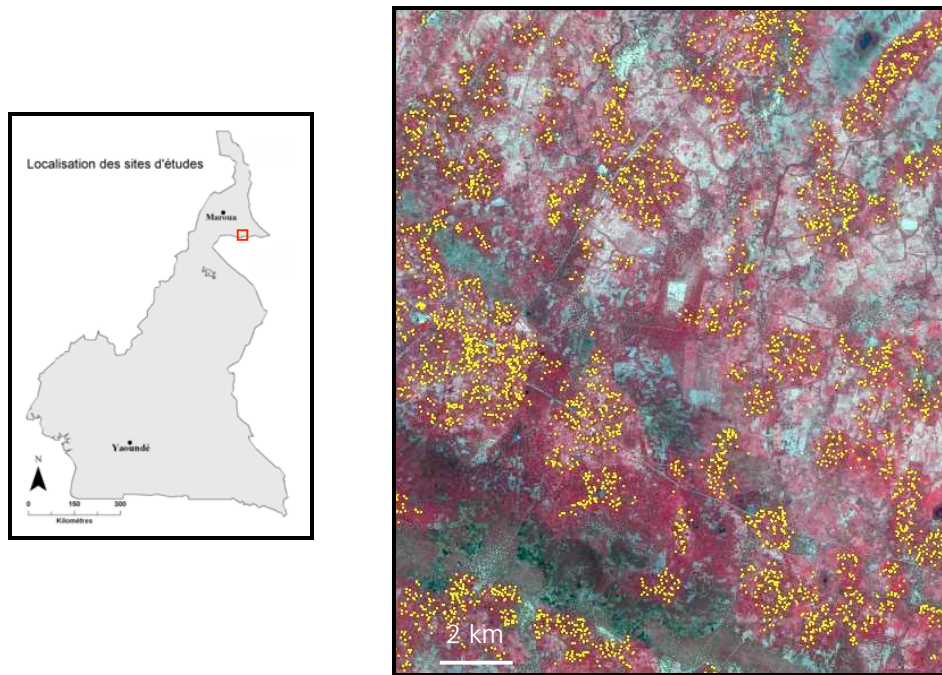


Figure 3 : localisation de la zone d'étude au Cameroun et des 4 000 habitations (points jaunes) sur une image SPOT5 super-mode acquise à la saison des pluies (19-10-2003 - Isis)

2.2. Délimitation des villages à partir des caractéristiques végétales des villages – images SPOT5

La résolution spatiale à 2,5 m des données SPOT5 ne permet pas l'extraction automatique d'éléments trop fins, comme les voies de communication ou les habitations ; pour autant cette résolution est adaptée pour la prise en compte des éléments végétalisés du territoire (zones cultivées, arbres).

La configuration locale de peuplement privilégie la localisation des habitations au sein des parcelles cultivées de façon intensive. Il est donc normal de penser que l'extraction des zones cultivées à la fin de la saison des pluies équivaut à la localisation des zones de plus fort potentiel de peuplement. Les premiers essais menés sur une image SPOT5 de la fin de la saison des pluies ont donné des résultats peu concluants du fait de zones de brousse présentant également un couvert végétal dense, sans pour autant accueillir d'habitation.

Cette première approche a donc été complexifiée en faisant intervenir un deuxième élément du paysage géographique local : l'arbre. Les gros arbres ont la particularité de se situer majoritairement aux abords des habitations, les ressources ligneuses des zones de brousse alentours étant surexploitées. Par conséquent, l'utilisation combinée de ces deux règles doit permettre de mieux délimiter les aires de localisation des habitations.

Deux étapes successives sont nécessaires. La première différencie les zones densément végétalisées des zones de sol nu. La deuxième distingue, au sein des zones densément végétalisées, les zones de brousse des parcelles cultivées, en se basant sur la densité locale des arbres afin d'identifier les aires villageoises.

Pour qu'un objet issu de la segmentation initiale de l'image soit assimilé à une parcelle, il faut qu'il présente les deux caractéristiques de la règle de classification, il doit :

- être densément végétalisé ;
- se situer à moins de 150 mètres d'au moins deux arbres.

Cette distance seuil a été calculée à partir d'observations sur les images. Le fait de considérer au minimum deux arbres évite de tenir compte des quelques arbres isolés situés dans les zones de brousse et qui créent des surestimations des surfaces villageoises. L'extraction des arbres repose sur une image SPOT5 acquise pendant la saison sèche (15-01-2004 – Isis), moment où le *Faidherbia-albida*, arbre majeur des systèmes agro-forestiers locaux [Seignobos, 1995], est au maximum de son activité végétale. Cela permet de mieux le distinguer de son environnement [Triboulet, 1996].

La robustesse de cette démarche méthodologique a été testée avec le logiciel commercial « eCognition » qui intègre les outils nécessaires au développement d'approches spatiales (eCognition, 2004). La première étape de ce travail consiste à segmenter l'image pour créer des objets dont les tailles concordent, selon les images utilisées, soit à des parcelles, soit à des arbres. L'étape suivante est l'implémentation des règles de classification combinant les spécificités spectrales, géométriques et spatiales des objets obtenus à l'issue de la segmentation. Le grand intérêt du logiciel réside en partie dans la facilité avec laquelle des règles spatiales complexes peuvent être implémentées. Un organigramme des traitements synthétise l'ensemble de la démarche (Figure 4) nécessaire à l'obtention de la carte de l'emprise spatiale des villages (Figure 5).

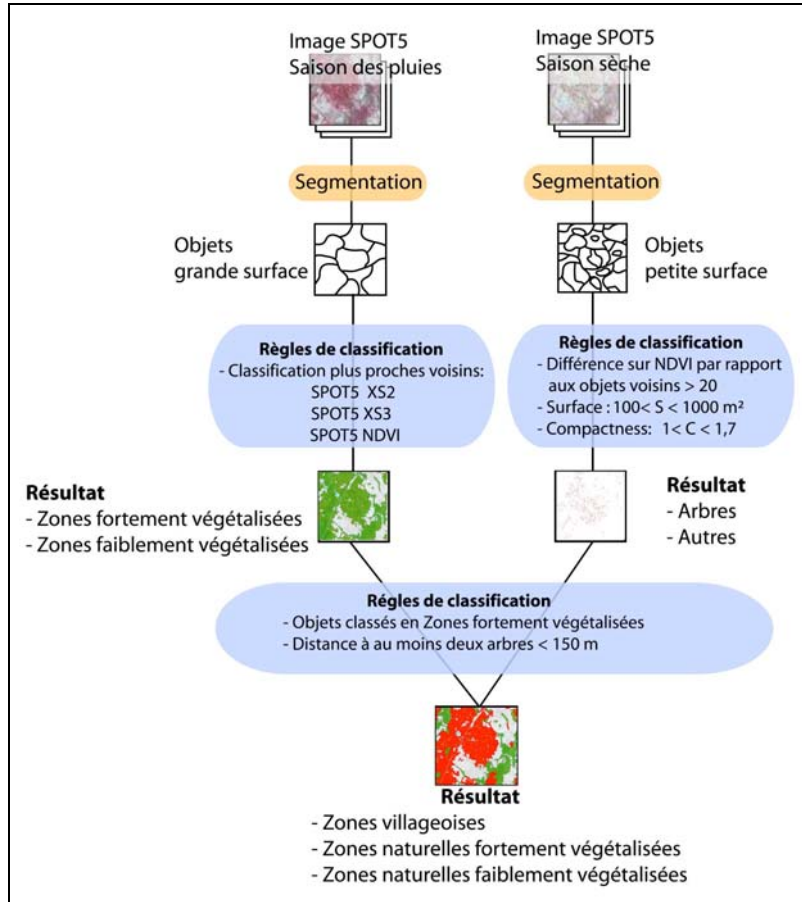


Figure 4 : organigramme général des traitements menés sous eCognition



Figure 5 : carte résultat de la spatialisation de l'emprise des aires villageoises (surfaces rouges)

2.3. Délimitation des villages à partir des densités de réseau de communication - images Quickbird

Une relation forte existe entre la densité du réseau de communication et l'intensité du peuplement. Cependant, vouloir identifier les zones villageoises en se basant sur le gradient de densité locale du réseau de communication n'a de sens que si l'intégralité du réseau vicinal des villages est prise en compte. En effet, la différence de potentiel local du peuplement, liée aux variations de densités des pistes, n'apparaît que si l'analyse considère les éléments les plus fins du réseau, ceux qui interconnectent les habitations (figure 6). Or, les pistes locales, uniquement empruntées à pied ou à vélo, ont une largeur souvent inférieure au mètre. C'est pourquoi, il est nécessaire de recourir à des images Quickbird panchromatiques à 0,6 m de résolution.



Figure 6 : aperçu d'habitations et de la largeur réduite du réseau local de pistes

L'extraction automatique du réseau repose sur une méthode simple et robuste. Elle consiste à détecter dans l'image la présence de deux gradients opposés. Ils résultent du passage d'un pixel sombre de l'image (zone végétalisée) à un pixel clair (sol nu de la piste), suivi d'un nouveau passage sur un pixel sombre (zone végétalisée). Ces variations successives des valeurs de pixels génèrent des gradients opposés perceptibles par le calcul de la dérivée première. Si la distance séparant ces deux gradients opposés coïncide à la largeur d'une piste, le point médian des deux gradients est marqué sur l'image, ce qui permet petit à petit d'extraire le réseau (Figure 7). La détection des gradients est faite dans le sens horizontal et vertical. Des étapes de nettoyage (seuil surfacique pour éliminer les plus petits segments) et de reconstruction du réseau (raccords des nœuds séparés par une distance seuil) permettent d'extraire la majeure partie du réseau (Figure 8).

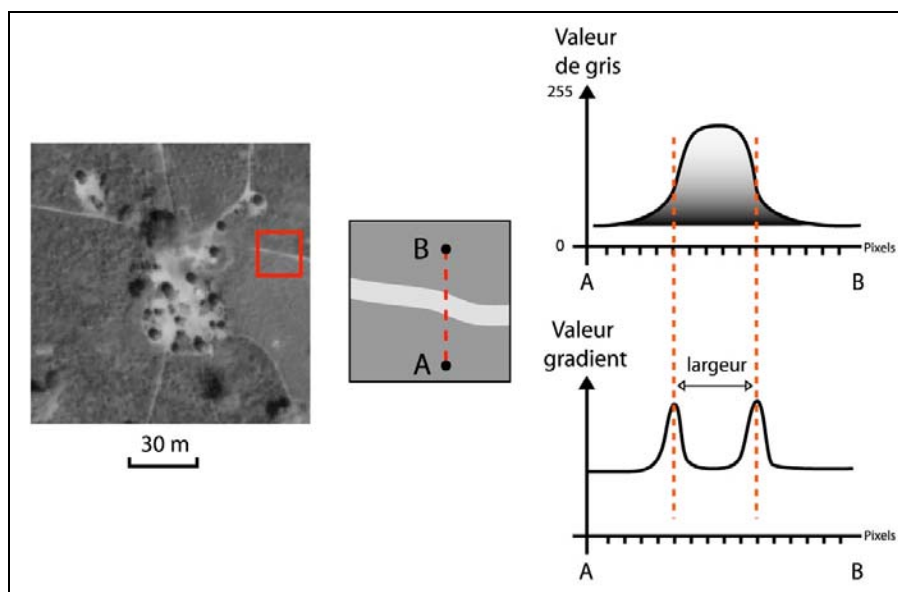


Figure 7 : méthode d'extraction du réseau de pistes

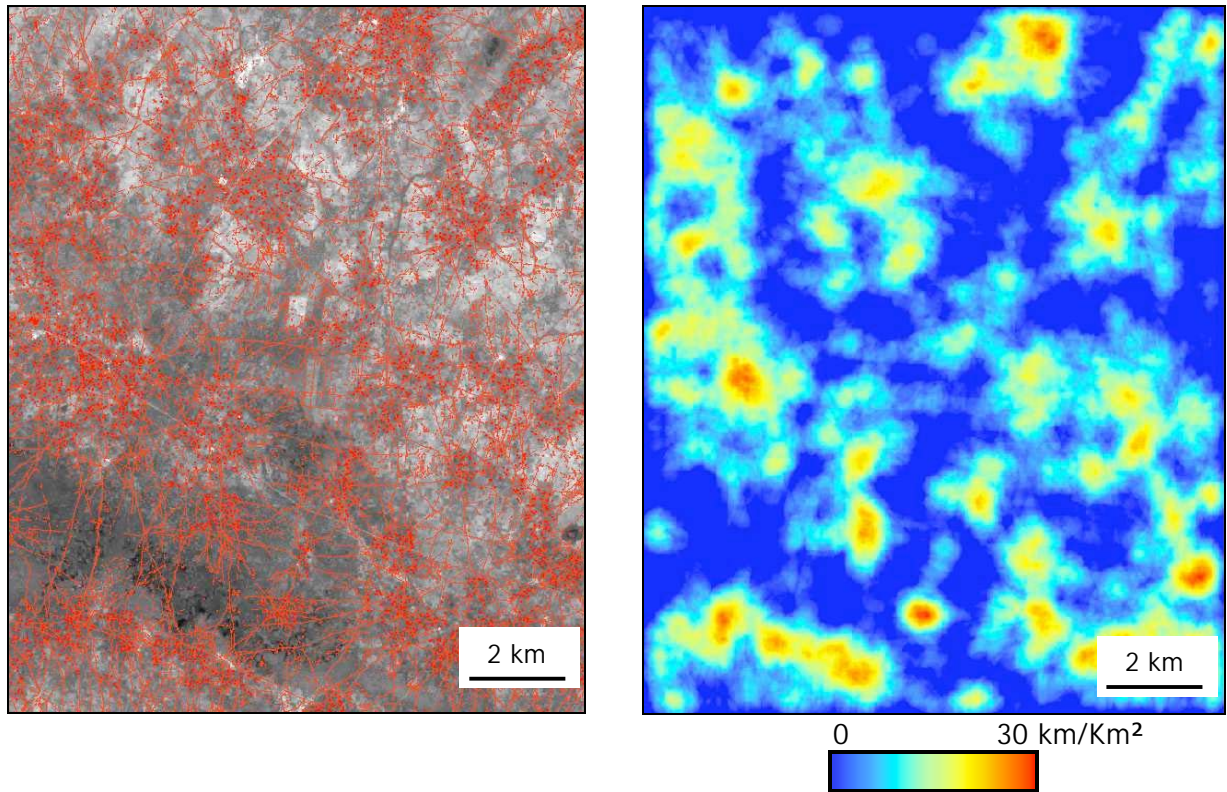


Figure 8 : ensemble du réseau des pistes (linéaire rouge) obtenu par extraction automatique et plan de densité locale calculée

Une fois le réseau extrait, un calcul de densité locale est effectué à partir d'un élément structurant circulaire de 300 m de rayon, correspondant à la distance de séparation moyenne des pistes situées hors des villages. La carte des densités (exprimées en kilomètre linéaire par kilomètre carré) peut ensuite être seuillée selon les valeurs spécifiques aux villages, afin de générer un masque binaire spatialisant leur emprise.

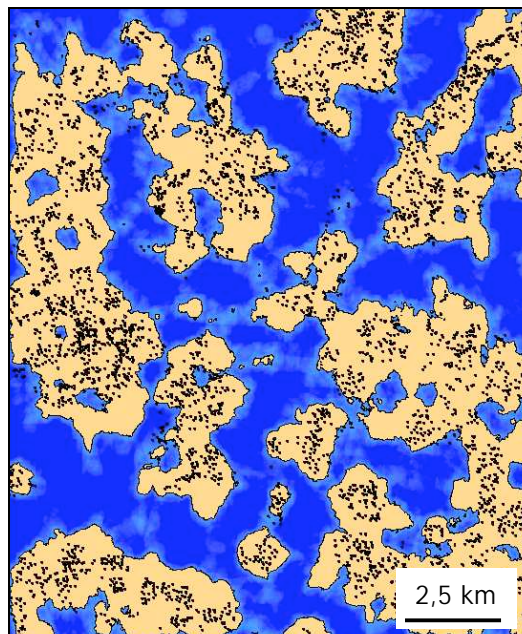


Figure 9 : exemple de délimitation des villages obtenue par un seuil de 12 km/km² du plan des densités (habitations en noir)

3. Résultats, discussion

L'évaluation des résultats a été réalisée avec un logiciel SIG. L'objectif de ce travail est de réduire au maximum la surface image dans laquelle la détection des habitations sera menée ultérieurement, tout en minimisant le nombre d'habitations exclues par les masques. Par conséquent, un recouplement spatial a été effectué entre les zones des villages issues des différentes méthodes et le semis de points des habitations. L'efficacité des méthodes dépend de la proportion des habitations incluses dans les zones villageoises calculées, mais aussi de la proportion de l'image éliminée par les traitements.

3.1. Évaluation des masques issus des images SPOT5

Les résultats illustrent la nécessité de recourir à la détection combinée des zones végétalisées et des arbres pour mieux circonscrire les aires de localisation des habitations (Tableau 1). La détection des zones végétalisées ne permet pas à elle seule d'éliminer une part significative de l'image, et inclut dans les zones villageoises les zones de termitières, problématiques pour la détection ultérieure des habitations. Le recours à la présence des arbres améliore significativement les résultats en éliminant plus de 60 % de l'image tout en conservant plus de 88 % des habitations à détecter.

Étape	Proportion de l'image éliminée	Proportion des habitations conservées
Différenciation entre : <ul style="list-style-type: none"> - zones faiblement végétalisées - zones fortement végétalisées 	27,9 %	96,4 %
Différenciation entre : <ul style="list-style-type: none"> - zones fortement végétalisées éloignées des arbres - zones fortement végétalisées situées à moins de 150 mètres d'au moins deux arbres 	60,8 %	88,5 %

Tableau 1 : synthèse des résultats obtenus pour chaque étape des traitements

3.2. Évaluation des masques issus de l'image Quickbird

Pour cette évaluation, le même calcul a été mené sous SIG en considérant cette fois plusieurs valeurs de densité de pistes. La part de l'image éliminée et la part des habitations conservées dans le masque sont représentées par le graphique de la Figure 10.

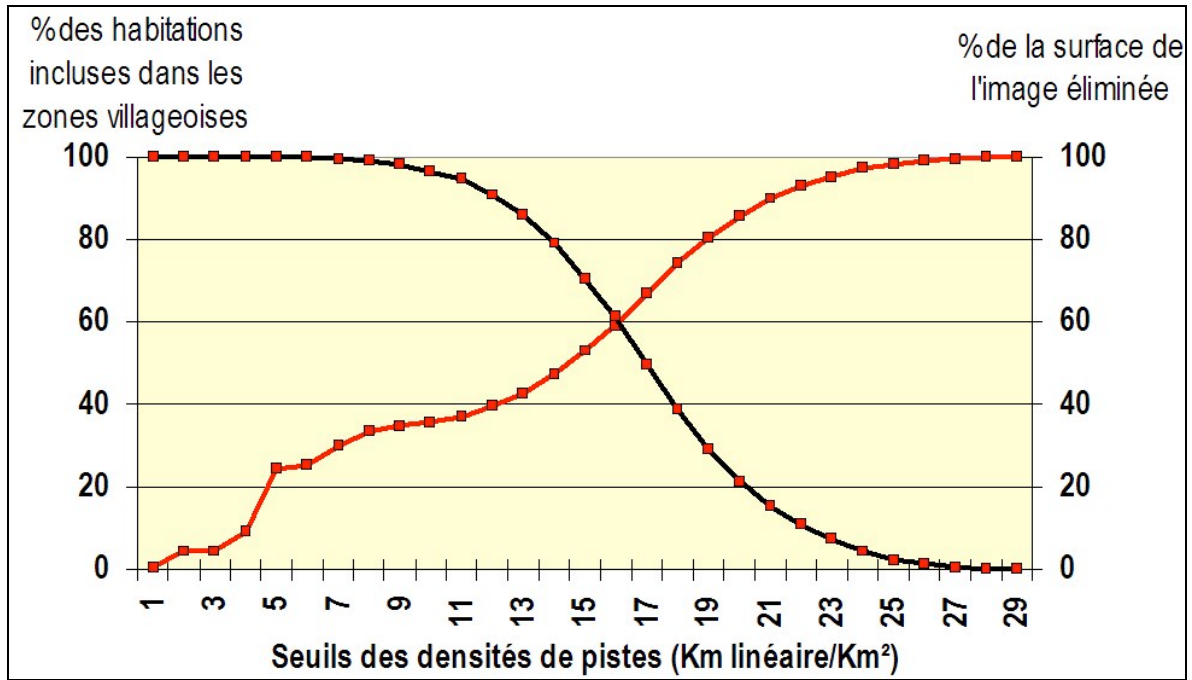


Figure 10 : qualité des masques suivant chaque valeur seuil du plan de densité de pistes

3.3. Discussion

Nous pouvons constater que l'approche menée avec les images SPOT5 donne de meilleurs résultats. La conservation de 88 % des habitations avec la méthode des densités de pistes n'élimine que 40 % de la surface totale de l'image, ce qui conduira ultérieurement à un grand nombre de surdétections d'habitations. L'élimination de 60 % de l'image ne conserve que 60 % des habitations, ce qui est insuffisant. Les problèmes proviennent des zones dont les densités locales de pistes se situent entre 12 et 16 kilomètres de pistes par kilomètre carré.

Concernant la première méthode, la présence, au niveau des corolles des villages, de zones non cultivées, gêne leur classification en zones fortement végétalisées, d'où des sous-estimations des surfaces des aires de localisation des habitations. À l'opposé, la présence fortuite hors des villages de plusieurs arbres contigus situés sur des zones fortement végétalisées entraîne des surestimations.

La deuxième méthode rencontre plus de problèmes liés principalement à l'extraction des pistes qui n'identifie pas toutes les pistes du fait de l'absence locale de gradients suffisamment marqués. Des surdétections de pistes existent aussi dans des zones naturelles comme les termitières, ce qui conduit à des surestimations des aires de localisation des habitations qui s'illustrent par la faible proportion d'image éliminée. La différenciation des zones de brousse des aires villageoises, par le biais des densités des pistes, ne semble pas assez marquée pour que cette méthode donne les résultats escomptés. La présence occasionnelle d'un réseau dense hors des villages réduit la pertinence des résultats (Figure 11). Au contraire, des effets de bords, induits par la taille de l'élément structurant utilisé pour le calcul des densités, minimisent les densités des pistes en bordure des villages.

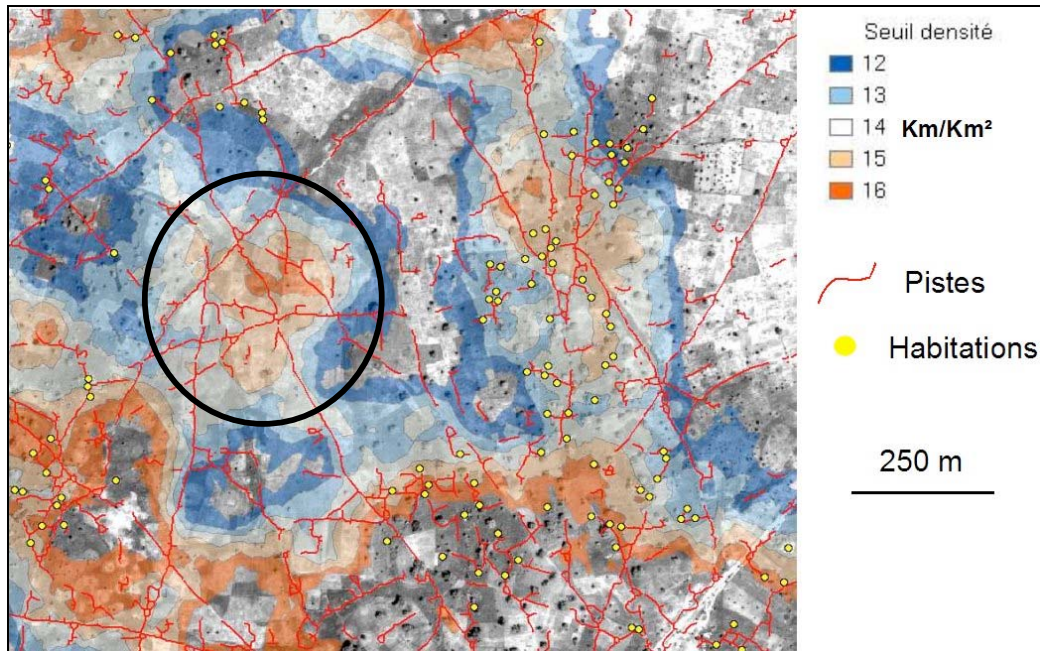


Figure 11 : exemple de zone problématique (Cercle) où la densité des pistes hors village est trop importante

Conclusion

La dilution du peuplement dans les zones rurales est un obstacle réel à l'automatisation des procédures de classification des images à des fins cartographiques. Mais, les deux exemples exposés dans cet article illustrent la nécessité et la faisabilité d'utiliser une approche plus spatialisée pour optimiser l'automatisation des traitements d'images. La cartographie d'un phénomène aussi complexe et diffus que le peuplement rural, en considérant des éléments matériels simples du territoire, montre l'apport indéniable de l'analyse spatiale. Pour autant, la transposabilité géographique des approches utilisées dans les exemples n'est pas évidente. En effet, la méthode repose sur les spécificités locales d'agencement des territoires qui sont très variables d'une région à l'autre. L'homogénéisation des arrangements ruraux, tributaire en grande partie des héritages et processus ethniques, n'atteint pas celle des zones urbaines où des méthodes similaires ont déjà été testées [Puissant, 2003, Puissant *et al.*, 2004].

Pour autant, la démarche générale est tout à fait reproductible. L'identification et la mobilisation des éléments géographiques matériels participant à l'organisation d'un territoire rural permettent d'améliorer les traitements de cartographie automatisée des villages. Il est ainsi possible de générer des données cartographiques à grande échelle sur des régions qui en manquent cruellement. Cette méthode présente aussi l'avantage de ne pas être sujette à une restriction d'échelle, il est possible d'envisager les mêmes approches à des échelles plus grossières ou plus fines, sous réserve d'identifier les éléments pertinents de chaque niveau abordé, donc d'identifier un modèle spatial qui retranscrive l'organisation et les processus du peuplement.

Bibliographie

- ACKERMANN G., TOURNAIRE O., MERING C. , 2004, « Étude de l'extension du bâti sur le littoral sénégalais à partir des paramètres texturaux de Haralick », *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection (SFPT)*, 173-174, p. 104-112.
- BONNAMOUR J., 1993, *Géographie rurale. Position et méthode*, Paris : Masson, 135 p.
- BRUNET R., FERRAS R., THERY H., 1993, *Les mots de la géographie — Dictionnaire critique*, Reclus, La Documentation française, 520 p.
- CARRERE J., MESTRALLET C., PERRICHET C., SALLAT R., 1990, « L'œuvre de l'institut géographique national en Afrique au sud du Sahara et à Madagascar (1945-1985) », *Bulletin d'Information de l'IGN* (Institut Géographique National), HS - Vol n° 58, p. 3-34.
- eCognition., 2004, « eCognition User Guide 4 », 486 p.
- GAUTIER D., SEIGNOBOS C., 2002, « Histoire des actions de foresterie dans les projets de développement rural au Nord Cameroun », in : *Savannes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis* - Actes du colloque, Garoua - Cameroun, Cirad.
- GIRARD M. C., GIRARD C. M., 1999, *Traitement des données de télédétection*, DUNOD, 529 p.
- HERVOUËT J. P., 1993, « *Faidherbia albida* : un témoin des mutations agraires », in : *ICRAF, Faidherbia albida - dans les zones tropicales semi-arides d'Afrique de l'Ouest*, Niamey : ICRAF, p. 165-169.
- LAMACHE DE RESSEGUIER C., 2002, *La géomatique au service de l'électrification rurale, application au Vietnam*, Yvelines : Université de St-Quentin.
- LE BERRE M., 1993, « Territoires », in : *Economica, Encyclopédie de géographie*, Vol II - Concepts et processus en géographie, Genève : CEDI, p. 635-656.
- LEBEAU R., 1996, *Les grands types de structure agraire dans le monde*, Paris : Masson, 120 p.
- MOINDROT C., 1993, « Les systèmes agraires », in : *Economica, Encyclopédie de géographie*, Vol II - Concepts et processus en géographie, CEDI, 481-506 p.
- PELISSIER P., 1980, « L'arbre dans les paysages agraires de l'Afrique Noire », *Cahiers ORSTOM - Série Sciences Humaines*, 17, 3-4, p. 131-136.
- PELISSIER P., 1980, « L'arbre en Afrique tropicale : la fonction et le signe », Pref., *Cahiers ORSTOM - Série Sciences Humaines*, 17, 3-4, p. 127-130.
- PUISSANT A., 2003, *Information géographique et images à Très Haute Résolution : utilité et applications en milieu urbain*, Strasbourg : Université Louis Pasteur, 343 p.
- PUISSANT A., WEBER C., 2004, « Démarche orientée "objets-attributs" et classification d'images THRS », *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection (SFPT)*, 173-174, p. 123-134.
- SEIGNOBOS C., 1995, *Terroir de Sirlawe. Saturation foncière et émigration encadrée*, ORSTOM, p. 73.
- TRIBOULET C., 1996, « Identification des parcs à *Faidherbia albida* par télédétection : Premier travaux réalisés au Nord-Cameroun », in : *Conférence des Responsables de la Recherche Agronomique Africains, Dakar*, ORSTOM, p. 203-216.