



HAL
open science

Extraction automatique d'habitations en milieu rural de PED à partir de données THRS

N. Devaux, J.M. Fotsing, J.P. Chery

► **To cite this version:**

N. Devaux, J.M. Fotsing, J.P. Chery. Extraction automatique d'habitations en milieu rural de PED à partir de données THRS. *Cybergeo : Revue européenne de géographie / European journal of geography*, 2007, 388, p. - p. hal-00454473

HAL Id: hal-00454473

<https://hal.science/hal-00454473>

Submitted on 8 Feb 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Cybergegeo

Sélection des meilleurs articles de SAGEO 2005

Nicolas DEVAUX, Jean-Marie FOTSING et Jean-Pierre CHÉRY

Extraction automatique d'habitations en milieu rural de PED à partir de données THRS

Developing countries rural houses automatic extraction from Very High
spatial Resolution (VHR) remote sensing data

article 388

RÉSUMÉ/ABSTRACT

La disponibilité de données cartographiques à grande échelle pour la localisation individuelle d'habitations en milieu rural est quasi nulle dans les pays en développement. Pourtant, cette donnée est nécessaire pour la mise en place de projets d'électrification rurale décentralisée. Même si les satellites de télédétection THRS fournissent des images dont la résolution spatiale permet la distinction des habitations, l'automatisation de leur détection requiert cependant de nouvelles méthodes de traitement privilégiant l'approche spatiale.

In developing countries, high scale cartographic data for rural individual housing localisation is almost null. Nevertheless, they are useful for the initialisation and management of decentralized rural electrification projects. Even if very high resolution images from satellites allowed to distinguish houses thanks to their spatial resolution, their automatic detection requires new treatment methods that give greater place to spatial approach.

PLAN

Introduction
Configurations spatiales des habitations
Dispersion des habitations et agencement interne
Des bâtiments aux caractéristiques contraignantes
Choix des données en adéquation avec l'objet d'étude
Résolution spatiale
Date d'acquisition des images
Méthodologie générale
Approche multi-niveaux
Analyse visuelle des habitations
Traitements
Détection des zones de sol nu
Détection des bâtiments
Détection des pistes
Résultats – Discussion
Conclusion

TEXTE

Introduction

- 1 Les choix techniques des projets d'électrification rurale décentralisée sont largement dépendants des données de localisation des habitations à électrifier pour tenir compte de leur dispersion. Les projets mis en place par EDF et l'ADEME (de Gouvello *et al.*, 2000) concernent des pays en développement, où les données cartographiques sont anciennes et à des échelles inadaptées. Par exemple, les pays des anciennes AEF et AOF sont couverts pour l'ensemble de leur territoire par des cartes au 1/200

000^e datant de plus de cinquante ans (Motet, 1990), alors que les projets d'électrification ont besoin de données localisant individuellement les habitations. Que faire dans un tel contexte de pénurie en données fiables ?

- 2 Actuellement, la localisation des habitations est réalisée en utilisant conjointement des données statistiques de recensement de population et des relevés par GPS. Mais la qualité des recensements (Clairin *et al.*, 1988) (Gendreau, 1990), et le coût des campagnes de relevés GPS sont des contraintes fortes qui augmentent avec la ruralité et la dispersion de l'habitat.
- 3 Les images satellitaires métriques offrent une meilleure adéquation entre leur résolution et la taille réduite des habitations à cartographier. Leur usage semble une alternative envisageable aux localisations par GPS, mais l'automatisation de la détection d'éléments complexes comme les habitations, nécessite le développement de nouvelles méthodes pour dépasser les limites actuelles des approches purement radiométriques. Dans ce sillage, le renforcement de l'approche spatiale dans les traitements d'images s'avère être une solution prometteuse, notamment en privilégiant l'analyse contextuelle des éléments à détecter. La méthode est mise en application dans une étude de cas menée au Cameroun.

Configurations spatiales des habitations

- 4 L'habitation rurale se caractérise par sa distribution spatiale, sa taille et les spécificités internes de ses bâtiments (Figure 1). Afin de considérer ces différents aspects, une mission terrain a été effectuée dans la région Extrême Nord du Cameroun, dans la plaine de Kalfou pour localiser et lever les habitations au GPS.

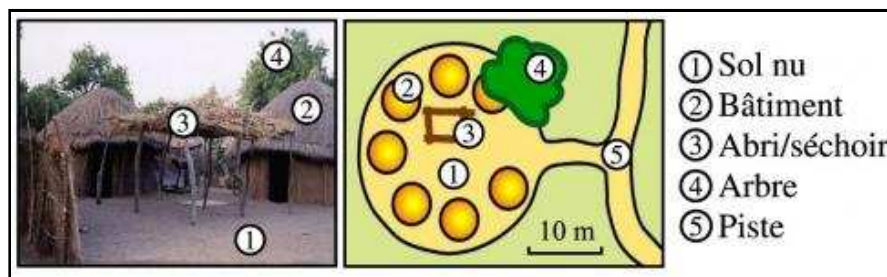


Figure 1 : Habitation traditionnelle et son modèle en vue verticale

Dispersion des habitations et agencement interne

- 5 Le peuplement de la zone est caractérisé par un habitat dispersé et une densité rurale pouvant avoisiner les 150 hab./km² (Boulet, 1984), (Seignobos *et al.*, 2000). Les habitations sont séparées par des champs de cultures vivrières mis en valeur pendant la saison des pluies.
- 6 Les habitations sont composées de l'association de plusieurs éléments bâtis. Ils se disposent au sein de l'unité d'habitation familiale sur une surface de sol nu importante qui résulte d'un piétinement et d'un nettoyage intensif. La pratique de la polygamie, le nombre d'enfants et le niveau social des habitants sont autant de critères qui interviennent dans la forme et la distribution des éléments de l'habitation. Elle peut être très simple, mais aussi fortement se complexifier en terme d'agencement spatial (Figure 2). Ce constat est vérifié pour une grande partie de l'habitat africain en général, et plus particulièrement celui de la partie soudanienne et centrale de l'Afrique. L'emprise spatiale de l'habitation est assimilable à celle de la surface de sol nu incluant ainsi les bâtiments.

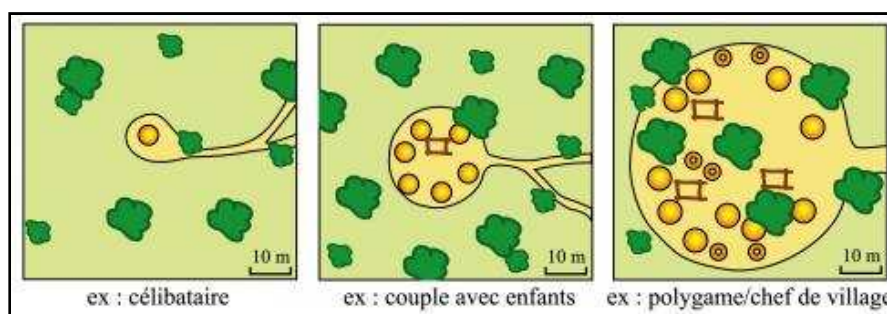


Figure 2 : Variabilité du modèle d'habitation de type agro-pastoral : exemples d'agencement des éléments selon des critères démographiques et socio-économiques

Des bâtiments aux caractéristiques contraignantes

- 7 L'emploi de matériaux naturels associé aux techniques traditionnelles de construction donnent lieu, notamment en Afrique, à des éléments bâtis de petite surface. Dans la zone d'étude, les habitations sont composées de bâtiments circulaires dont la surface au sol est inférieure à 20 m² (Figure 3). Par comparaison, les bâtiments étudiés dans les travaux de télédétection menés en zones urbaines ont une surface moyenne bien supérieure à 100 m² (Yun, 1999), (Mayer, 1999), ce qui permet une détection plus complète. Les bâtiments à identifier dans les images sont donc cinq fois plus petits en terme de surface que ceux habituellement cartographiés par télédétection. La faible dimension spatiale des bâtiments ruraux des PED est l'un des critères limitant pour l'utilisation de données de télédétection.

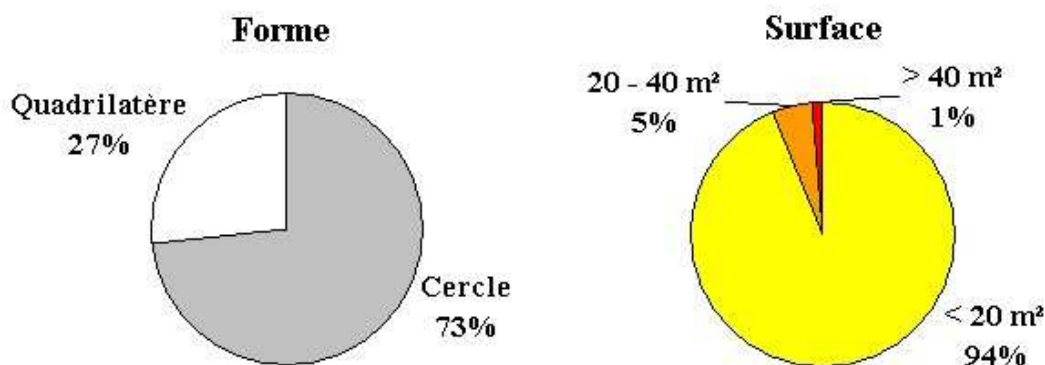


Figure 3 : Distribution des bâtiments des habitations enquêtées suivant leur forme (gauche) et leur surface au sol (droite)

- 8 Les toitures sont faites de matériaux naturels locaux comme la chaume ou les nattes végétales (Seignobos, 1977). Par conséquent, il n'est pas possible d'associer aux bâtiments une signature spectrale suffisamment spécifique pour réaliser leur cartographie par un simple seuillage radiométrique comme dans le cas des toitures tôlees.
- 9 Les habitations sont donc des éléments complexes de l'espace rural, caractérisés par une surface réduite et une forte hétérogénéité liées à l'agencement et les matériaux utilisés pour la construction des bâtiments induite par la situation démographique et socio-économique des habitants.

Choix des données en adéquation avec l'objet d'étude

Résolution spatiale

- 10 Le contexte soudano-sahélien de la zone d'étude donne une place importante aux surfaces de sol nu sur l'ensemble du territoire. Il n'est donc pas possible d'associer la détection des habitations à l'extraction des zones de sol nu sans générer d'importantes sur-détections dues par exemple aux termitières. Il est alors primordial que les données de télédétection utilisées discriminent l'ensemble des éléments constitutifs des habitations. Les bâtiments sont bien souvent les seuls éléments anthropiques autorisant la reconnaissance sans équivoque des habitations. Les dégradations successives d'images THRS 1 de la zone d'étude illustrent la perte de visibilité des objets et l'obligation d'utiliser des données THRS (Figure 4). Comme dans le cas des travaux menés dans les zones urbaines (Puissant *et al.*, 2002), la résolution métrique est la limite à ne pas dépasser. Le choix des données s'est donc porté sur des images Quickbird (panchromatique : 0,6 m, multispectrale : 2,4 m).

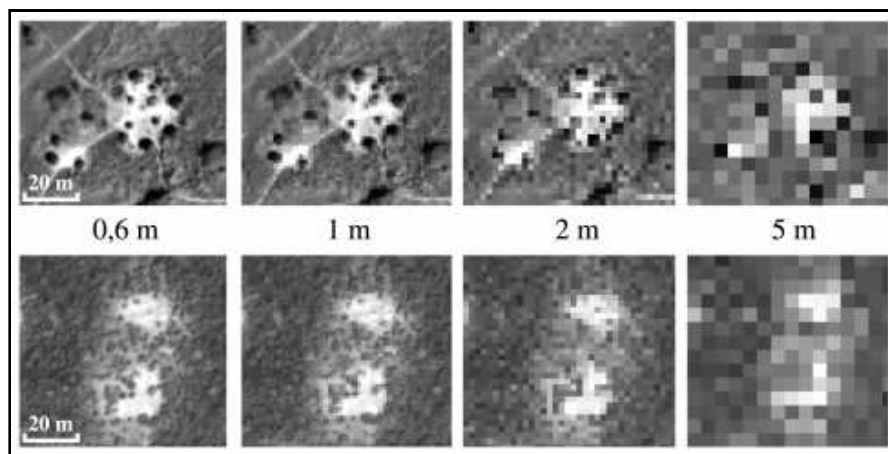


Figure 4 : Effets de la résolution spatiale sur la perception des objets – Ligne 1 : Habitation - Ligne 2 : termitière - Image originale : Quickbird panchromatique à 0,62 m (29-10-2003)

Date d'acquisition des images

- 11 Le sol nu des habitations génère un contraste important avec la végétation alentours. Cette particularité facilite la délimitation et l'identification individuelle des habitations. Le climat de la région est de type soudano-sahélien avec un cumul annuel des pluies de 820 mm pendant une unique saison des pluies de trois mois (Seignobos *et al.*, 2000). La forte diminution du couvert herbacé pendant la saison sèche justifie l'acquisition des images après la saison des pluies afin que l'activité végétative soit suffisante pour faciliter l'identification des habitations (Figure 5).

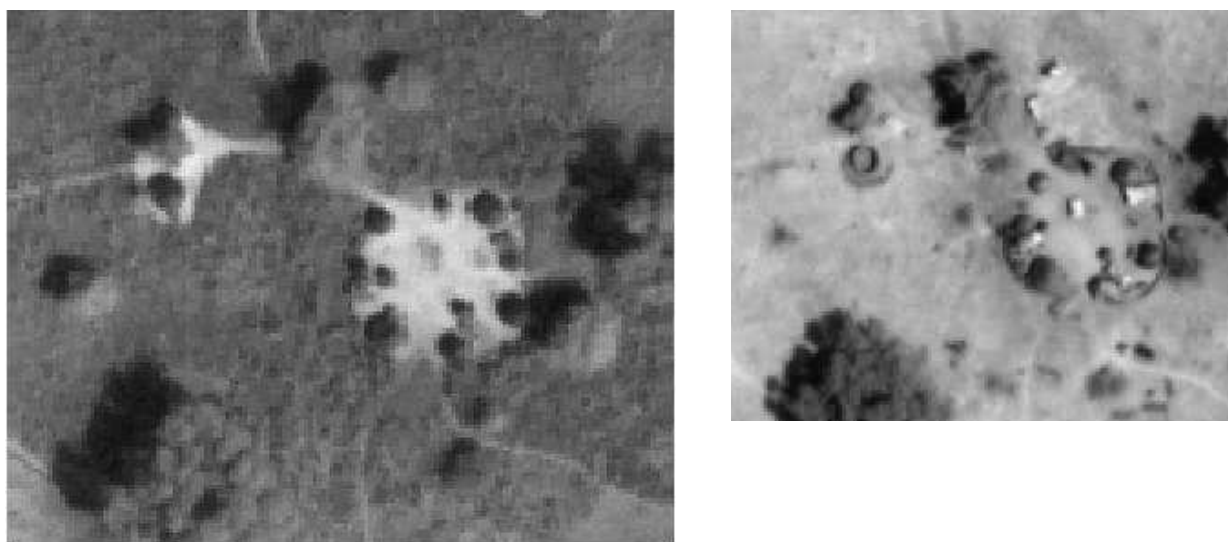


Figure 5 : Images Quickbird panchromatiques 0,6m d'une même habitation à la saison de pluies 29-10-2003 (gauche) et à la saison sèche 9-03-2003 (droite)

Méthodologie générale

- 12 La différenciation et l'extraction automatique des habitations des zones rurales de pays en développement sont limitées par leurs spécificités géométriques et spectrales. La faible disponibilité de données de télédétection et l'absence de données géographiques complémentaires ne permet pas le recours à des méthodes de détection multi-sources comme pour les zones urbaines (Haala *et al.*, 1999).
- 13 De ce fait, les choix se sont portés vers des méthodes simples et robustes de traitement d'image. L'approche spatiale est largement sollicitée en tentant de reproduire le raisonnement des photo-interprètes en favorisant une analyse contextuelle des habitations. Dans ce but, l'identification des habitations débute par une phase d'analyse de l'environnement des habitations. Elle est suivie par une étude plus fine des caractéristiques internes des habitations afin de les différencier d'autres éléments naturels du territoire.
- 14 L'idée générale est d'arriver à identifier des objets complexes peu discernables en se basant sur la

présence simultanée d'autres objets plus facilement extractibles et différenciables dans les images. Il est donc nécessaire d'identifier les caractéristiques spatiales qui différencient sans ambiguïté au sein des images une habitation d'autres motifs naturels du territoire. Cette approche est donc l'expression d'un modèle de représentation de l'habitation dont les règles de connaissance mobilisent plusieurs objets géographiques aux relations topologiques spécifiques. L'implémentation de ces règles dans un logiciel adapté permet de passer à la phase des traitements.

- 15 La détection des habitations repose donc sur une approche inductive. Elle requiert deux phases :
- l'identification par analyse visuelle des objets géographiques les plus élémentaires qui participent par leur présence à l'existence des habitations ;
 - l'implémentation dans les traitements de l'agencement spatial des objets constitutifs des habitations.

Approche multi-niveaux

- 16 Deux niveaux d'approche sont utilisés dans les traitements. Le premier niveau concerne la délimitation des villages, le deuxième concerne la détection des habitations au sein de ces derniers. Comme dans le cas des études urbaines en télédétection (Bianchin *et al.*, 2004), l'identification des zones villageoises, ou groupements d'habitations, segmente le territoire en zones habitées et inhabitées. De cette manière, la détection automatique des habitations ne s'effectue que dans les villages, et ce afin de limiter les sur-détections liées par exemple aux termitières situées hors des villages. Le détournement automatique des villages a aussi privilégié une approche contextuelle basée sur les relations spatiales d'éléments simples du territoire et donne des résultats probants. Seuls les traitements du deuxième niveau d'analyse qui concernent spécifiquement la détection des habitations sont abordés dans la suite de cet article.

Analyse visuelle des habitations

- 17 L'analyse visuelle des habitations (Figure 5) reproduit la démarche du photo-interprète qui donne lieu à un processus cognitif. Celui-ci peut être décomposé en différentes étapes qui s'appuient sur l'identification de trois critères principaux (Figure 6).
- 18 La première étape de la photo-interprétation est l'identification d'une surface de sol nu pseudo circulaire et dont la surface varie entre 50 et 700 m², avec une moyenne de 150 m². Ensuite, l'étude interne de la zone de sol nu identifie la présence d'au moins un bâtiment qui est l'objet élémentaire interne le plus discriminant d'une habitation. Le troisième et dernier critère retenu est la connexion de la zone de sol nu à un tronçon de piste du réseau local de communication. L'absence de connexion franche à une piste de certaines parcelles agricoles assimilables à des habitations justifie le recours à ce critère.

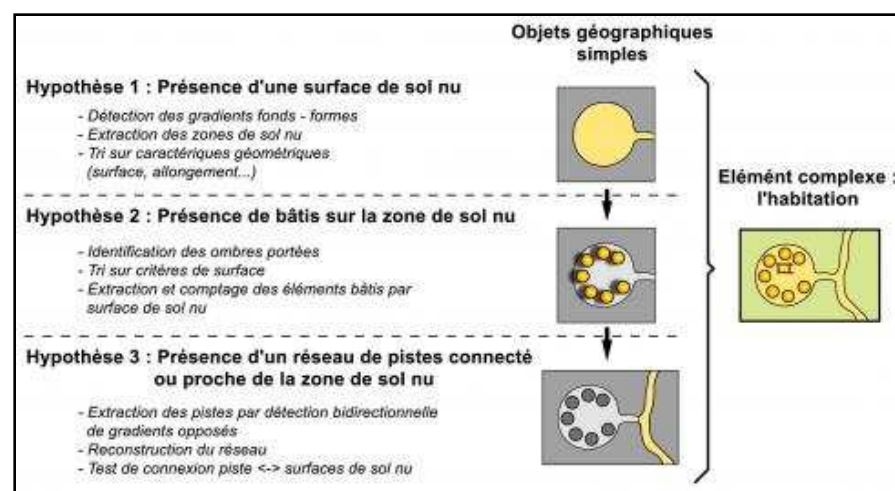


Figure 6 : Hypothèses pour valider la détection d'une habitation

Traitements

- 19 Les trois critères d'identification d'une habitation ont été implémentés dans un logiciel **2** afin de rendre l'ensemble de la chaîne des traitements automatique.

Détection des zones de sol nu

- 20 Cette première étape de détection des zones de sol nu crée une liste de zones de l'image qui peuvent être potentiellement des habitations. L'extraction de ces zones de sol nu se base sur l'image NDVI issue de l'image Quickbird multispectrale acquise à la saison des pluies. La résolution spatiale de l'image (2,4 m) permet de s'affranchir de la présence des bâtiments visibles dans l'image panchromatique. Les zones de sol nu extraites ne sont donc pas entachées de la présence des bâtiments et leurs périmètres correspondent aux limites sol nu/végétation. L'extraction de ces zones se fait par seuillages radiométrique et surfacique. Seules les valeurs spectrales faibles de l'image NDVI associées aux surfaces non végétalisées sont conservées. Ensuite, un seuil surfacique écarte les zones dont les surfaces diffèrent de la surface moyenne d'une habitation. Afin d'éliminer les zones liées aux ombres portées des grands arbres du village, un recouplement est réalisé avec l'image panchromatique pour ne conserver que les zones ayant une valeur forte dans l'image panchromatique (réflectance forte du sol nu). Des opérations morpho-mathématiques (fermetures) reconstruisent au mieux la forme initiale de la zone de sol nu (Soille, 2003). Les résultats de cette première étape sont conservés dans un fichier qui liste les sites potentiels d'habitations à évaluer suivant les deux autres critères dans la suite des traitements.

Détection des bâtiments

- 21 La détection des bâtiments est réalisée sur l'image panchromatique au niveau des sites potentiels identifiés à l'étape précédente. La recherche des bâtiments est réalisée de façon itérative dans chaque emprise individuelle des sites potentiels. Les premières tentatives de détection des bâtiments se basaient sur la recherche d'un motif de référence de bâtiment, mais elles ont dû être abandonnées du fait de l'hétérogénéité (géométrique et radiométrique) de l'objet recherché. La méthode retenue détecte les bâtiments en se référant aux ombres portées. Un seuil radiométrique isole les valeurs faibles du plan panchromatique dans les zones de sol nu. Un seuillage surfacique permet d'éliminer les ombres portées des arbres situés en bordure des habitations. Les éléments conservés sont assimilés à des bâtiments, et leur nombre est stocké comme attribut de chaque site potentiel d'habitation.

Détection des pistes

- 22 Les pistes à extraire des images sont celles qui desservent les habitations. Elles sont majoritairement empruntées à pied ou à bicyclette, d'où une très faible largeur (de l'ordre du mètre, soit moins de deux pixels) qui n'autorise pas l'utilisation de méthodes complexes basées sur des approches de type snake utilisées pour extraire les routes (Vosselman, 1998). La méthode retenue détecte sur l'image la présence de deux gradients opposés dus au passage d'une zone sombre (zone végétalisée) à une zone claire (sol nu de la piste) pour finalement retrouver une zone sombre (zone végétalisée). Ces variations successives des valeurs de pixels se traduisent par la présence de gradients opposés obtenus par le calcul de la dérivée première. Si la distance séparant ces deux gradients opposés correspond à la largeur d'une piste, le point médian à ces deux gradients est marqué sur l'image. Le balayage de toute l'image dans le sens horizontal et vertical est nécessaire. 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 de reconstituer une grande partie du réseau. Ensuite, un test de connexion est réalisé pour chaque zone de sol nu identifiée à la première étape de l'algorithme. Il consiste à vérifier si au moins un pixel du réseau extrait est inclus dans le périmètre du polygone englobant chaque zone de sol nu. Il est possible de minimiser le caractère restrictif de ce test en spécifiant une distance limite séparant la zone de sol nu d'un tronçon de piste. Le résultat du test est aussi conservé dans la table attributaire de nos habitations potentielles.
- 23 Les résultats de ces traitements sont graphiques et attributaires. La partie graphique figure les boîtes englobant les sites potentiels d'habitations détectés pendant les traitements, alors que la partie attributaire indique les résultats intermédiaires du traitement. Ces résultats sont exportables sous forme de donnée vectorielle dans un SIG.

Résultats – Discussion

- 24 Les traitements ont été effectués sur une zone de 140 km² accueillant 4080 habitations localisées au GPS et par photo-interprétation sur l'image panchromatique Quickbird. La délimitation automatique des zones villageoises mise en place dans l'approche multi-niveaux a réduit de 60% la surface de l'image à traiter tout en conservant plus de 88% des habitations qui constituent la réalité terrain de cette étude.

Les résultats sont analysés dans un logiciel SIG par l'intermédiaire d'intersections spatiales entre la réalité terrain et les habitations détectées. Une typologie des cas de figures est utilisée pour caractériser les résultats (Figure 7).

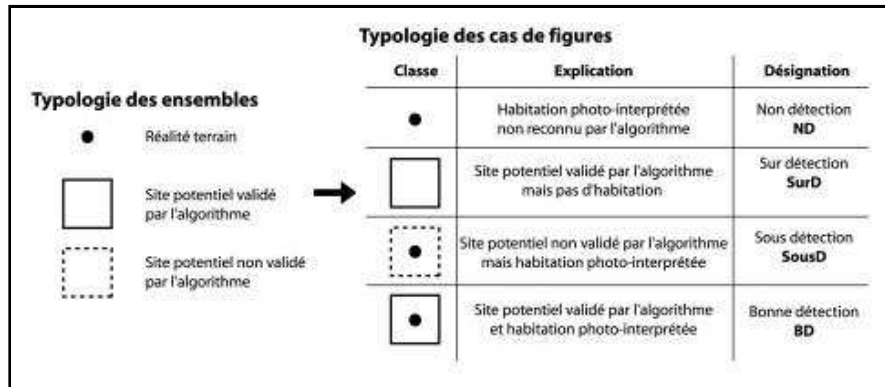


Figure 7 : Typologie du recouplement spatial des résultats et de la réalité terrain

- 25 La pertinence de chaque critère est évaluée par deux analyses réalisées à partir de requêtes effectuées sur la table attributaire des résultats. La première analyse valide la reconnaissance d'une habitation par la simple détection d'au moins un élément bâti dans les sites potentiels d'habitations. Pour la deuxième analyse, la présence des habitations est validée par les éléments bâtis et la connexion à un tronçon de piste. Les résultats de ces deux analyses sont rapportés à la réalité terrain (Figure 8).

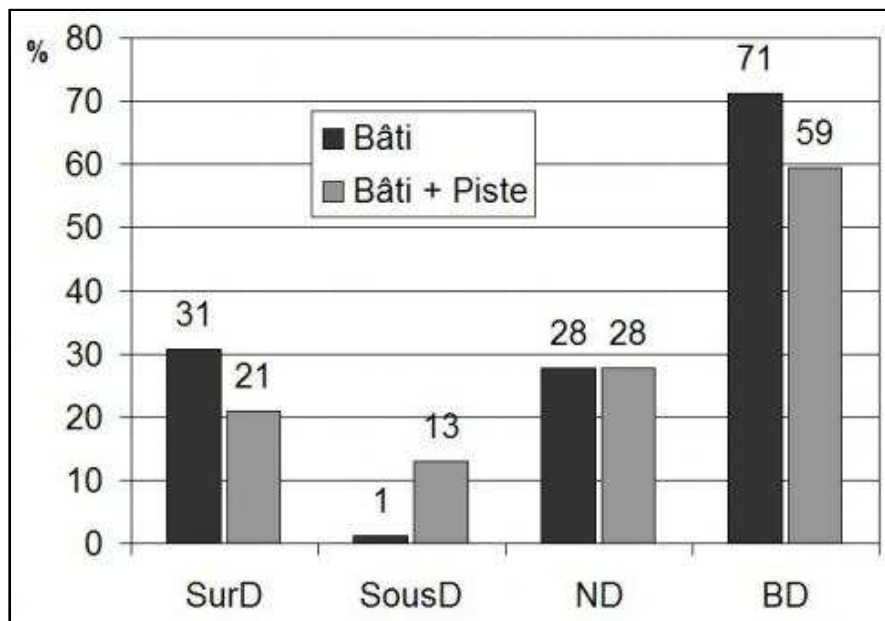


Figure 8 : Résultats des traitements rapportés à la réalité terrain (Nb : pour chaque analyse, la somme des proportions est supérieure à 100% par l'apport des sur-détections)

- 26 La première analyse s'illustre par des valeurs probantes de bonnes détections, mais aussi par d'importantes sur-détections et sous-détections. Les sur-détections sont générées par l'existence de parcelles de sol nu de petite surface, ou de carrefours de pistes. Les arbres à houppiers de petite taille présents en bordure de ces deux types de motifs produisent des ombres portées assimilées à des bâtiments. Les sous-détections ont quant à elles deux origines. La présence très localisée de sols plus sombres perturbe l'extraction des surfaces de sol nu lors de la recherche des sites potentiels d'habitations. Localement, il est possible de diminuer de 50% les sous-détections en modifiant la valeur radiométrique utilisée pour la détection du sol nu, mais il n'est pas possible de gérer l'hétérogénéité des sols de toute la zone à l'aide d'une valeur radiométrique unique. La deuxième origine des sous-détections est liée aux habitations dont les surfaces diffèrent de celle du modèle de référence. C'est le cas des habitations des jeunes couples qui ont des surfaces de sol nu trop petites, ou à l'opposé, des habitations contiguës qui génèrent de grandes surfaces de sol nu assimilées à des zones naturelles (Figure 2). Dans ces deux cas, il est impossible de modifier les valeurs des seuils surfaciques sans dégrader l'ensemble des résultats.
- 27 Le critère de connexion à un tronçon de piste, utilisé dans la deuxième analyse, élimine un nombre important de sur-détections associées aux parcelles agricoles non végétalisées, mais n'élimine pas les sur-détections liées aux croisements de pistes. De plus, la diminution des sur-détections est analogue à celle des bonnes-détections. L'explication réside dans des problèmes d'extraction du réseau de pistes

aux entrées de certaines habitations du fait de la présence d'arbres qui cachent les pistes. L'utilisation de ce critère reste pertinente lorsque aucun masque des zones villageoises n'est utilisé. Dans ce cas précis, la réduction des sur-détections est de 60% alors que les bonnes détections diminuent seulement 10%.

- 28 L'ensemble des résultats illustre la grande hétérogénéité de la configuration spatiale des habitations. La difficulté à identifier certaines habitations de la zone par simple photo-interprétation confirme ce constat lié au contexte géographique général de ce travail. Une complexification de l'algorithme, par le rajout de nouvelles règles tend à diminuer proportionnellement les sur-détections et les bonnes détections. Il semble alors pertinent de privilégier les approches les plus simples possibles.

Conclusion

- 29 La nécessité de pouvoir produire une donnée cartographique à grande échelle pour localiser les habitations est une réalité pour un grand nombre de projets de développement. Les résultats obtenus, en utilisant conjointement des images THRS et une méthode privilégiant l'approche spatiale, illustrent le potentiel à attendre de ce type de travaux. Pour autant, l'automatisation totale des traitements se heurte à la très forte hétérogénéité de l'agencement des habitations qui est difficile à appréhender en utilisant un unique modèle de référence pour implémenter les règles d'identification des habitations. Ce modèle de référence est aussi une limite à la transposabilité géographique des traitements.
- 30 Cependant, ces résultats non exhaustifs doivent être replacés dans le contexte spécifique de régions manquant d'informations cartographiques d'une précision équivalente. Par conséquent les résultats apparaissent utiles pour la localisation des zones de fortes densités d'habitations et pour la caractérisation de leur dispersion.

BIBLIOGRAPHIE

Bianchin A., Bravin L., « Reproductibilité des procédures d'analyse de l'espace urbain à différentes échelles », *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 2004, p. 93-103.

Boulet J., *Les Groupes humains. Le Nord du Cameroun : Des hommes, une région*, ORSTOM, Paris, 1984, p. 107-157.

Clairin R. Gendreau F., « La connaissance des effectifs de population en Afrique. Bilan et évaluation », *Les dossiers du CEPED*, France, Vol. 1, 1988, p. 15-34.

De Gouvello C., Maigne Y., *L'Electrification Rurale Décentralisée Une chance pour les hommes, des techniques pour la planète*, 2000, 363 p.

Gendreau F., « A propos de recensement... comptes africains », *Politique Africaine*, n° 40, 1990, p. 125-129.

Haala N. Brenner C., « Extraction of buildings and trees in urban environments », *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, n° 54, 1999, p 130 - 137.

Mayer H., « Automatic object extraction from aerial imagery - A survey focusing on buildings », *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 74, n° 2, 1999, p. 138-149.

Motet S., « L'œuvre de l'institut géographique national en Afrique au sud du Sahara et a Madagascar (1945-1985) », *Bulletin d'Information de l'IGN (Institut Géographique National)*, HS - Vol n° 58, 1990, p. 3-34.

Puissant A., Weber C., « The utility of Very High Spatial Resolution Images to identify urban object », *GEOCARTO International*, Vol. 17, 2002, p. 31-41.

Seignobos C., Lyebi-Mandjek O., *Atlas de la Province Extrême-Nord Cameroun*, 2000 172 p.

Seignobos C., *L'habitat traditionnel au Nord-Cameroun*, Paris, 1977, 70 p.

Soille P., *Morphological Image Analysis - Principles and Applications*, Springer, 2003.

Vosselman G., *Cartographic Feature Extraction. Course on Digital Photogrammetry*, Bonn, 1998, p. 1-10.

Yun Z., « Optimisation of building detection in satellite images by combining multispectral classification and texture filtering », *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, n°54, 1999, p. 50-60.

NOTES

1 Très Haute Résolution Spatiale

2 Gratuitiel *ImageJ* en langage java : <http://rsb.info.nih.gov/ij/>

POUR CITER CET ARTICLE

Nicolas DEVAUX, Jean-Marie FOTSING et Jean-Pierre CHÉRY, « Extraction automatique d'habitations en milieu rural de PED à partir de données THRS », *Cybergegeo*, Sélection des meilleurs articles de SAGEO 2005, article 388, mis en ligne le 12 juillet 2007, modifié le 15 novembre 2007. URL : <http://www.cybergegeo.eu/index12581.html>. Consulté le 21 octobre 2008.

AUTEURS

Nicolas DEVAUX

UMR TETIS – CEMAGREF – CIRAD - ENGREF, Maison de la télédétection, 500 rue Jean François Breton, 34093 Montpellier Cedex 5 nicolas.devaux@teledetection.fr

Jean-Marie FOTSING

US 140 Espace – IRD, Centre d'Orléans, Technoparc - 5 rue du Carbone, 45072 Orléans Cedex 2 Jean-Marie.Fotsing@orleans.ird.fr

Jean-Pierre CHÉRY

UMR TETIS – CEMAGREF – CIRAD - ENGREF, Maison de la télédétection, 500 rue Jean François Breton, 34093 Montpellier Cedex 5 chery@teledetection.fr