

**Comparaison de SPOT et SIR A
pour la cartographie des formations superficielles
en zone forestière tropicale.**

Exemple de la région de Yaoundé (Cameroun)

F. Seyler & J. Noël

Résumé : La cartographie des sols sous forêt d'Afrique Centrale est impossible à réaliser par des méthodes classiques à cause des difficultés d'accès et de la couverture de photographies aériennes de mauvaise qualité. Pourtant, la connaissance de la répartition des sols est nécessaire aussi bien pour la mise en valeur des ressources naturelles que pour les grands programmes de recherche sur l'écosystème forestier tropical.

La mise au point d'une cartographie des sols sous forêt à l'aide de la télédétection est donc un enjeu d'importance et c'est le but d'un programme en partenariat entre l'I.R.G.M (Institut de Recherches Géologiques et Minières), Yaoundé, Cameroun et l'ORSTOM. La méthode consiste à étudier sur quelques petits secteurs les relations entre l'organisation du sol et les caractères de la surface, topographie et structure du couvert forestier. A l'aide de ces relations, on peut utiliser une image de télédétection pour extrapoler à une échelle régionale la connaissance acquise sur les sites de base.

Aux environs de Yaoundé, deux types de collines sont étudiées. Le premier type, de colline moyenne à inselberg, présente un sol organique peu épais alors que des collines basses présentent une organisation ferrallitique à niveaux cuirassés. Les caractéristiques morphologiques de ces deux types de collines sont extraites d'un Modèle Numérique de Terrain puis deux images SPOT et une image SIR A sont analysées du point de vue de leur aptitudes à discriminer ces caractères et leur extension spatiale.

* Orstom, B.P. 1857, Yaoundé, Cameroun, tel: 237201854, fax: 237201854, e-mail: seyler@orstom.orstom.fr

** Orstom, 213 rue Lafayette, 75480 Paris Cedex, tel: 3348037775, fax: 3348030829, e-mail: noel@orstom.orstom.fr

I - Introduction

Depuis la publication en 1982 et 1983 des premiers résultats obtenus en comparant SIR A et Landsat pour des interprétations géologiques (MARIF A., 1983; MASSON P., 1983; CHAMPETIER DE RIBES G. et SCANVIC J.Y., 1983), des travaux paraissent régulièrement sur l'analyse des apports respectifs des images radar et des images visible et proche infra-rouge dans le domaine des sciences de la terre. Citons parmi les plus récents les travaux de LOWMAN et al (1992) comparant Landsat, SIR B et SEASAT, de KRUSE et DIETZ (1991) comparant Landsat MSS et TM et des données AIRSAT du J.P.I. (Jet Propulsion Laboratory), dans les bandes P.L et C, et de ROLET et al (1993) sur la comparaison de SPOT et SEASAT pour la détection de structures circulaires et de réseaux de fractures. L'essentiel de ces travaux porte sur l'analyse de la fracturation et des structures linéamentaires. Aucun de ces travaux ne met en évidence d'apport décisif de l'imagerie radar par rapport aux images SPOT et Landsat. Plusieurs soulignent la mauvaise performance des images radar dans la détection des accidents orientés perpendiculairement à la direction de vol. ROLET et al (1993) notent la meilleure performance de SEASAT pour détecter une direction de fracture soulignée par le réseau hydrographique. Concernant notre zone d'étude CHAMPETIER DE RIBES et al (1983) mettent en évidence sur une image SIR A de la région de Yaoundé, la continuité de grands accidents qui n'avaient été vu jusque là que partiellement sur des photographies aériennes. L'image radar est la supérieure à cause de l'absence de couverture satellitaire de taille suffisante dans cette région équatoriale fréquemment couverte de nuages.

A notre connaissance, aucune étude associant des données visibles et radar ne porte sur la caractérisation sous couvert forestier de la couche d'altération et des horizons pédoturés situés entre la roche mère et la surface, exception faite de quelques travaux sur des cas particuliers de gîtes minéraux, aurifères en général. KRUSE et DIETZ (1991) notent simplement que la superposition de cartes géologiques et de cartes d'altération aux données radar, montrent un contrôle structural de l'altération qui n'avait pas été reconnu jusqu'alors.

L'originalité de nos travaux réside donc principalement dans notre objet d'étude. Les formations superficielles en zone équatoriale sous couvert forestier dense. En effet, la difficulté de pénétration en zone forestière nécessite la mise au point d'une méthodologie de cartographie des formations superficielles sous forêt à l'aide de la télédétection. La méthode employée consiste à choisir des bassins versants élémentaires représentatifs d'une région forestière, d'étudier l'organisation pédologique à plusieurs échelles, profils, versants et domaines, enfin de démontrer l'existence de relations entre certaines de ces organisations et les caractères de la surface, topographie et organisation du couvert forestier. C'est ainsi que plusieurs études sont en cours dans des zones diverses de la forêt sud camerounaise, zones caractéristiques d'ensembles régionaux.

L'ensemble de ces études a montré que le succès de cette méthode reposait sur deux étapes cruciales: à l'échelle locale, après analyse détaillée sur le terrain des relations entre sol et topographie et sol et structure forestière, la reconnaissance de ces critères morphologiques et/ou critères de structure de végétation sur des documents de télédétection, images radar aéroportées, photographies aériennes ou images satellites suivant les types d'information disponibles. La deuxième étape concerne l'extrapolation des connaissances acquises à l'échelle locale vers une échelle régionale. Bien sur, l'extrapolation est limitée dans l'espace et ne peut s'appliquer que dans le domaine où les relations définies entre organisation pédologique et caractères de surface sont valides. La qualité de l'extrapolation est extrêmement variable en fonction des documents disponibles. Le présent travail vise à analyser ces deux étapes sur des critères morphologiques de base dans la région de Yaoundé à partir de la comparaison d'un modèle numérique de terrain et des résultats d'interprétation obtenus sur deux images SPOT et une image SIR A.

II - Présentation de la région de Yaoundé

La région de Yaoundé fait partie du plateau forestier sud camerounais, à climat équatorial typique, (1600 à 2000 mm de pluie avec deux courtes saisons sèches). Le soubassement

géologique appartient pour l'essentiel au Complexe de Base (Précambrien D) et est formé de gneiss migmatitiques. La zone de Yaoundé est proche de la ligne de partage des eaux entre le bassin de la Sanaga au Nord et celui du Nyong au Sud. "Le plateau est hérissé de mornes rocheux ou inselbergs d'altitude 1100 à 1300m. Vers l'est et le sud le plateau s'incline en pente douce vers la RCA et le Congo." (KUETTE, 1990).

Les formations superficielles ferrallitiques sont constituées d'une manière générale par une couche meuble plus ou moins épaisse, par un ensemble d'horizons cuirassés et nodulaires et d'une couche d'altération très épaisse (YONGUE, 1986; MARTIN et al, 1990).

Dans la région de Yaoundé, la couverture forestière est intensément dégradée par l'occupation humaine. Il n'est donc pas possible d'utiliser les relations entre sol et couvert forestier pour la cartographie. En ce qui concerne les relations entre sol et topographie, l'étude la plus récente dans cette zone est le travail d'O. MALA (1993). Nous n'utiliserons dans ce présent travail préliminaire que deux types de morphologies très distinctes dont les relations avec la couverture pédologique sont connues depuis longtemps. Le premier type est celui des inselbergs à roche affleurante ou sub-affleurante sous un sol organique peu épais. Le second type est celui des collines cuirassées.

La figure 1 extraite du travail de KUETTE (1982) montre la répartition spatiale des deux types de collines autour de Yaoundé. A l'échelle locale l'organisation des deux types de collines reproduit ce que nous avons noté pour l'échelle régionale: les inselbergs ou noyaux rocheux de migmatite sont localisés sur la bordure nord ouest de la ville, les collines cuirassées occupent le reste du site.

Les inselbergs choisis comme caractéristiques sont ceux du Mont Febeu, des Monts Mbankolo et des Monts Mesa (figure 2). Les collines cuirassées sont deux collines situées au sud est de la ville, celles de Kondengi et Nkomo II (figure 3).

Les caractéristiques des deux types de collines ont été tirées d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) au 1:10000 dont la réalisation sera évoquée dans le paragraphe suivant sur les traitements. Ces caractéristiques sont récapitulées dans le tableau n°1.

	Point culminant	Dénivelé	Forme du sommet Pente < 2 %	Valeur moyenne des versants	Direction d'allongement principal	Pente de la section basale	direction de plus grande pente section basale
KONDENG I	745 m	35 m	Aplati Allongé Etréci L. 2040m l. 200m	15 %	OSO-ENE	0,3%	N 205
NKOMO II	781,5 m	60 m	Aplati Allongé Losange L. 2050 m (max 9,5m)	13 %	OSO-ENE	2 %	N 45 N 205
MIFEBEU	1001 m	311 m	Convexe L. 150 m l. 100 m	40 %	OSO-ENE	5 %	N 135
Mis MBANKOLO	1080 m	328 m	Convexe L. 200m l. 100m	38 %	NO-SE	5 %	N 135
Mis MESA	996 m	253 m	Convexe L. 400m l. 100m	44 %	OSO-ENE	0,7 %	N 315

Tableau n°1. Les principales caractéristiques morphologiques des deux types de collines

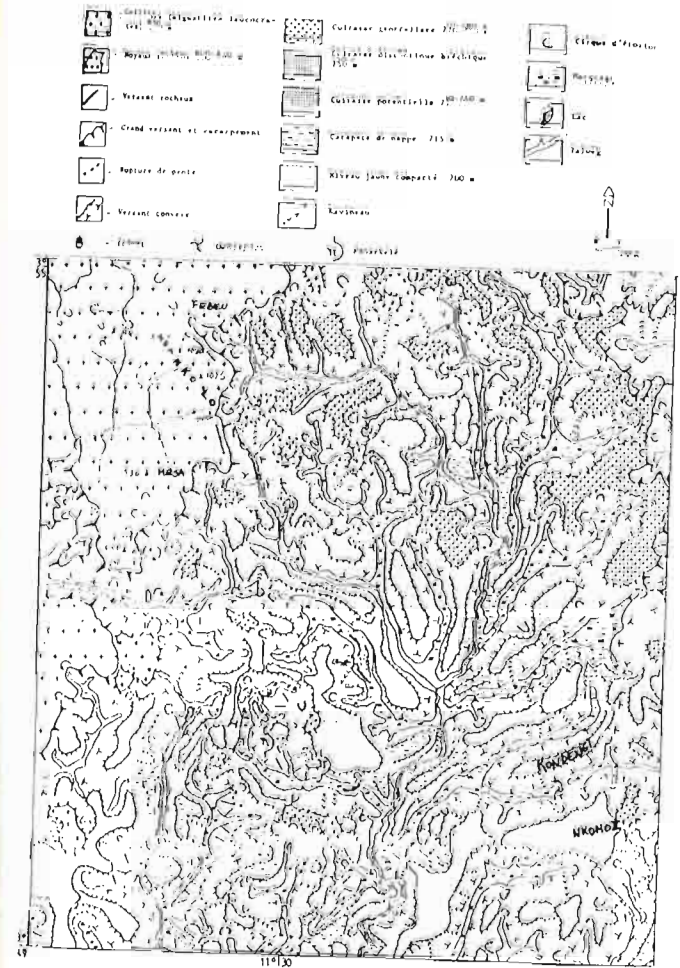


Figure n°1. Répartition spatiale des deux types de collines sur le site de Yaoundé (extrait du travail de KUETE, 1988)

III - Méthodes et traitements

Les images utilisées sont

- Deux images SPOT de 1987 et 1992
- Une image SIR A

Les principales caractéristiques des trois images sont récapitulées dans le tableau suivant:

	DATE	IDENT.	RESOLU T.	FREQ.	POLAR.	ANGLE I.
SPOT87	15/01/87	84-342	20m	multispect.		12,4° W
SPOT92	17/02/92	84-342	20m	multispect.		23° E
SIRA	13/11/81	L26	37m	L (1,28 GHz)	HH	47°

Tableau n° 2: Caractéristiques des images utilisées

Seule une portion de 1024 P x 1024 L des deux images SPOT a été acquise. Pour l'image de 87 c'était l'unique partie de l'image non couverte de nuages. L'image de 92 a été acquise dans le cadre d'une étude sur la ville de Yaoundé (CHAUME et al, 1993). L'image SIR A a été numérisée au CESR (Centre d'Etudes Spatiales des Rayonnements) en 256 niveaux de gris à l'aide d'un microdensitomètre à balayage avec une ouverture de 50 microns (20 points par mm.). Cette numérisation effectue donc un moyennage de 4 X 4 pixels, la résolution étant portée à 150 m environ. Le moyennage total devient donc de 4 X 4 X 6 = 96 look..

Les images sont de qualité inégale. L'image SPOT de 87 présente un effet de barettes très marqué et de nombreux petits nuages denses avec leur ombre dans la partie sud est de l'image. L'image SPOT de 92 est en partie voilée par un effet de brume. Enfin l'image SIR A est de mauvaise qualité car nous n'avons pu disposer que d'une copie de film. (l'original nous ayant été prêté pour un temps limité par le BRGM). Les traitements numériques effectués sur ces différentes images répondent donc à plusieurs besoins:

- Améliorer le rapport signal / bruit.
- Améliorer la dynamique de l'image sur les objets qui nous intéressent, c'est à dire les collines environnant la ville et non la partie urbanisée.
- Mettre en évidence l'information texturale des images.
- Obtenir un modèle numérique de terrain à partir d'une carte au 1:10 000.
- Faire un recalage géométrique des différentes images afin de pouvoir les comparer entre elles ainsi qu'au modèle numérique de terrain.
- Mettre en oeuvre des classifications afin d'intégrer les diverses informations, informations spectrales et informations texturales, informations issues de l'image SPOT et informations provenant de l'image SIR A.
- Réaliser des cartes d'interprétation à partir des résultats des principaux traitements afin de tester leur efficacité et l'apport respectif des deux types d'images.

1 - Analyse en Composantes Principales

L'utilisation d'une analyse en composantes principales sur les images SPOT répondait à plusieurs objectifs:

- décorrélérer les deux canaux dans le visible XS1 et XS2 (tableau n° 3)

SPOT87	XS1	XS2	XS3	SPOT92	XS1	XS2	XS3
XS1	1.000	0.907	0.251	XS1	1.000	0.961	-0.165
XS2	0.907	1.000	0.040	XS2	0.961	1.000	-0.258
XS3	0.251	0.040	1.000	XS3	-0.165	-0.258	1.000

Tableau n°3: Coefficients de corrélations des trois canaux pour les deux images SPOT

- Eliminer le bruit, effet des barettes pour l'image de 87 et voile de brume de l'image de 92. En effet, le canal 3 résultat de l'ACP (ACP3) contient la totalité de ces deux effets qui ne se retrouvent plus sur les deux premiers axes résultats. L'élimination de l'axe 3 de l'ACP dans la suite des traitements se justifie par son faible pourcentage de contraste (1.9% pour l'image de 87 et 1% pour l'image de 92).

- Mettre en évidence l'information sur les collines boisées contenue dans les deux images. En effet, comme le souligne G. Lowitz (1979), la transformation de Karhunen-Loève a la propriété de former un premier axe qui "est une image quasi-panchromatique qui s'étalerait sur tout le spectre", alors que l'axe 2 représente une composition non plus panchromatique mais colorimétrique. Le tableau des matrices des combinaisons linéaires pour les deux images confirment cette analyse.

SPOT 87	XS1	XS2	XS3	SPOT 92	XS1	XS2	XS3
CP1	0.500	0.089	0.862	CP1	0.489	0.157	0.858
CP2	0.860	-0.169	-0.481	CP2	0.854	0.113	-0.507
CP3	0.103	0.982	-0.161	CP3	-0.177	0.981	-0.079

Tableau n° 4: Matrice des combinaisons linéaires pour les deux images

L'axe 1 de l'ACP qui est une composition avec des coefficients positifs des trois canaux de départ montre une excellente séparation entre ce qui est urbanisé et ce qui ne l'est pas, alors que l'axe 2 de l'ACP qui oppose les canaux visibles et infra-rouge montre un bon contraste sur les collines boisées. Un seuillage binaire de l'axe 1 de l'ACP servira de masque sur la ville dans la suite des traitements.

2 - Amélioration de contraste sélective sur la zone forestière

Après masquage des canaux bruts par l'axe 1 de l'ACP binarisé (seuillage pour éliminer la ville), on peut améliorer l'image de façon sélective sur les collines boisées par une linéarisation des canaux (figure 1).

3 - Analyses de texture

Pour l'image SPOT, on a testé plusieurs méthodes mettant en évidence l'hétérogénéité de l'image. En particulier, l'écart-type qui substitue à chaque pixel de l'image l'écart type des valeurs radiométriques de son voisinage (voisinage 3x3 et 5x5) et la différence qui substitue à chaque pixel de l'image la différence entre la valeur radiométrique maximum et la valeur radiométrique minimum des points de son voisinage (voisinage 3x3 et 5x5).

Pour l'image SIR A on a testé les mêmes méthodes plus une méthode proposée par H. LAUR (1989). Après étude des statistiques associées au speckle et aux textures de divers échantillons d'images radar, cet auteur a proposé d'utiliser le coefficient de variation (rapport de la moyenne sur l'écart-type) comme étant la plus performante des méthodes cherchant à mettre en évidence les différences d'hétérogénéité d'une image radar. Il a également étudié la taille optimale du voisinage utilisé pour calculer le coefficient de variation. Pour séparer les cultures des forêts, il a conclu à une fenêtre optimale de 11x11. Pour notre étude où nous

cherchons à discriminer différentes formes de collines, on a testé les fenêtres 3x7, 11x11, et 15x15.

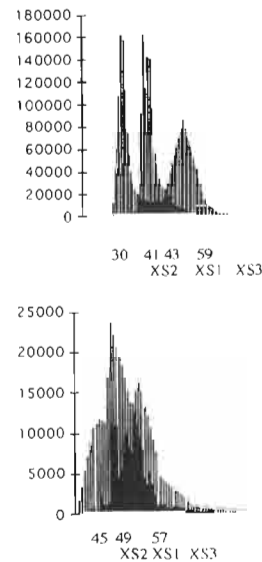


Figure 1. Histogrammes (A) des canaux bruts XS1, XS2, XS3 et (B) des mêmes canaux après masquage sur la ville par axe 1 de l'ACP binarisé

4 Recalage

Les différentes images ont été recalées sur une carte au 1:50 000 de la région de Yaoundé numérisée par prise de points d'appui et recalage bilinéaire. Les images étant de nature différente, il était difficile de trouver des points d'appui communs aux images SPOT et à l'image SIR A. Il a été possible de trouver des points d'appui seulement sur l'image SIR A avec suffisamment de précision, en conséquence seul un recalage du deuxième degré a pu être effectué.

5 MNT

Un modèle numérique de terrain a été calculé à partir de la carte au 1:10000 de Yaoundé numérisée.

6 Classifications

De façon à intégrer les diverses informations de base, celles produites par les différents traitements et afin d'effectuer une partition rendant compte des différentes formes de collines existant dans la région de Yaoundé, plusieurs classifications ont été testées. La méthode retenue dans tous les cas où la classification a été appliquée à plusieurs canaux, a été la classification supervisée barycentrique à distance euclidienne pondérée, pour tenir compte de la dispersion des canaux utilisés (LE TOAN T. et al, 1978). Une méthode paramétrique telle que le maximum de vraisemblance n'a pas été utilisée par le fait que l'hypothèse normale des réponses des classes n'est pas vérifiée (SWAIN P.H., 1978), en particulier pour l'image SIR A et pour le canal XS3 de SPOT (figure 2).

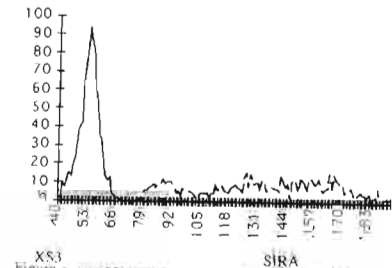


Figure 2. Histogrammes de la classe collines obtenus pour le canal XS3 de SPOT et l'image SIR A

Les deux principales classifications effectuées ont été:

- CLAS1**
- Canaux de départ:**
- Axe 1 de l'ACP image SPOT87 recalée
 - Axe 2 de l'ACP image SPOT 87 recalée
 - Canal analyse de texture par différence (matrice 3x3) sur Axe 1 ACP image SPOT87 recalée
 - Canal analyse de texture par différence (matrice 3x3) sur Axe 2 ACP image SPOT187 recalée
 - Canal analyse de texture par écart-type (matrice 3x3) sur l'image SIR A
- Classes retenues:**
- Collines nord ouest
 - eau
 - ville
 - bas fonds
- CLAS2**
- Canaux de départ:**
- canal XS1 SPOT87 masqué par axe 1 de l'ACP binarisé
 - canal XS2 SPOT87 masqué par axe 1 de l'ACP binarisé
 - canal XS3 SPOT87 masqué par axe 1 de l'ACP binarisé
 - image SIR A masqué par axe 1 de l'ACP binarisé
 - analyse de texture par différence sur axe 2 de l'ACP SPOT187 masqué par axe 1 de l'ACP binarisé

- analyse de texture par différence sur image SIR A masquée par axe 1 de l'ACP binarisé

Classes retenues:

- Versant ombré
- Versants divers
- Ville
- Bas fonds
- Eau

IV - Résultats - Discussion

1 - Analyse des images de départ

Les deux images SPOT sont très proches l'une de l'autre, bien que n'ayant pas exactement la même géométrie (angles d'incidence différents et opposés). Elles contiennent beaucoup d'information sur la ville et le réseau routier. Par contre, l'information sur la forêt et les collines à l'extérieur de la ville est pauvre; l'essentiel du contraste de l'image se situe dans les deux zones les plus différentes zone urbaine, zone non urbanisée. Pour l'image de 1987, les petits nuages disséminés sur la partie sud est de l'image rendent impossible l'utilisation de cette partie de l'image.

L'image SIR A présente une excellente vision de la fracturation qui commande les reliefs d'inselbergs au nord ouest de la ville. Ceci et l'absence d'information sur le couvert forestier avait déjà été noté par CHAMPETIER DE RIBES et al (1983). La ville se présente comme un amas de réflecteurs brillants et pratiquement aucune structure de réseau routier n'est perceptible, sauf un axe est ouest et un axe nord sud situé à l'ouest de la ville. La piste d'atterrissage de l'ancien aéroport de Yaoundé est reconnaissable. Le lac réservoir situé à l'ouest de Yaoundé est très nettement visible, caractérisé par la valeur nulle de la rétrodiffusion dans la direction du capteur. La texture de l'image met en évidence plusieurs zones très distinctes par la taille et le dénivelé des collines qui les constituent sans qu'il soit possible d'établir de limites nettes entre ces différents ensembles.

2 - Amélioration par A.C.P. et binarisation de l'axe 1

L'élimination de l'axe 3 de l'ACP pour augmenter le rapport signal sur bruit est particulièrement efficace, comme en témoigne la planche n° 1, qui reproduit l'axe 3 de l'image SPOT87. Ce canal contient essentiellement du bruit dû à l'effet de barettes, de la brume à l'ouest de la ville, des nuages et de leur ombre sur la partie sud est. Si l'élimination de ce canal, restitue l'information débrassée du bruit dû à l'effet de barette et de l'effet de voile, par contre, il ne permet pas de restaurer l'image sous les nuages denses au sud est, qui, bien que de petite taille, empêchent toute continuité dans l'observation des variations de forme de collines dans cette zone. Le masquage par binarisation de l'axe 1 est également très efficace et sépare remarquablement l'information urbaine du reste de l'image.

3 - Amélioration sélective des canaux

Le masquage de l'image sur la ville permet d'améliorer linéairement l'image SPOT de façon sélective sur les collines boisées. Le résultat est particulièrement net sur les collines au nord ouest de la ville où le relief est très nettement mis en évidence par l'ombre des collines alors qu'il était à peine perceptible sur l'image de départ (planche 2). La distinction entre forêt dégradée et forêt plus préservée devient possible sur cette image.

4 - Analyses de texture

Sur l'image SPOT les analyses de texture réalisées sur l'axe 1 et 2 de l'ACP mettent en évidence la différence entre l'urbain et le non urbain, à l'exclusion de toute autre information.

Parmi les méthodes testées, celle de la différence paraît la plus efficace, mais elle n'apporte rien de plus par rapport à l'image des réflectances.

Pour l'image SIR A, la méthode de l'écart type permet de mettre mieux en évidence les ombres des collines du nord ouest, mais ceci n'est pas un apport significatif par rapport à l'image brute. Ce résultat était prévisible si l'on fait référence à l'analyse de H. Laur (1989) concernant les opérateurs de texture en fonction des statistiques de images radar. L'image issue de la méthode des différences a été soumise à un essai d'interprétation. Plusieurs plages de texture très différentes ont été délimitées comme le montre la planche 3. Sur celle-ci on distingue essentiellement i) une zone de valeurs basses (5), témoignant d'une texture homogène, ii) deux zones très hétérogènes, la zone urbaine (1) et une autre zone située en haut et à gauche de l'image (6), iii) une zone intermédiaire composée d'un mélange de valeurs basses et de valeurs élevées (8), iv) une zone de texture moyenne (3) et v) diverses zones de transition (2), (4), (7) et (9). Les zones (3) et (8) correspondent respectivement à une zone de très hautes collines à inselbergs et à la zone des collines basses. Par contre la région de collines moyennes à inselbergs qui nous intéresse plus particulièrement (région des inselbergs Febeu, Mbankolo et Mesa) et qui jouxte la ville est recoupée par les zones (6) et (3). Cette analyse de texture n'est donc absolument pas performante pour notre étude. Ceci confirme d'ailleurs l'analyse d'H. Laur (1989) qui souligne que ces indices sont affectés par la valeur de la rétrodiffusion et pas seulement par l'hétérogénéité de l'image.

Par contre, l'analyse du coefficient de variation effectuée sur huit échantillons de 1000 pixels, dont quatre sont situés dans la zone des collines moyennes à inselberg du nord ouest et quatre sur les collines sud est, montre une bonne discrimination des deux textures (planche 4). Les tests sur la taille de la fenêtre montrent un meilleur résultat pour la fenêtre 15 x 15 dans l'individualisation des collines.

5 - Recalage

Le recalage sur l'image SPOT est globalement bon, sauf dans la partie sud est où on peut observer un décalage d'une dizaine de pixels (planche 5).

Le recalage de l'image SIR A est globalement moyen. On peut observer sur l'ensemble de l'image des décalages d'une dizaine de pixels, en particulier sur les reliefs. Par contre, la qualité de l'image est dramatiquement dégradée, avec un effet de flou dû à l'interpolation bilinéaire (planche 6).

6 - Classification

Le premier essai de classification apporte essentiellement une information sur la séparation urbain - non urbain. Le deuxième essai est meilleur mais ne donne pas d'informations significatives sur la discrimination des collines. Cette mauvaise performance est due sans doute partiellement au recalage imparfait et à la trop grande dispersion des variables. Néanmoins la classification sur des canaux bruts et texturés issus des images SPOT et SIR A ne semble pas permettre de synthétiser l'information contenue dans les images radar et visible-proche infra-rouge.

7 - Interprétation

a - Niveau local

Les essais d'interprétation de la forme des collines du nord ouest montrent des résultats moyens à la fois sur SPOT et SIR A. Le meilleur résultat peut être attribué à l'image SIR A seuillée mais il reste très proche des résultats obtenus avec SPOT (planche 7).

b - au niveau de l'extrapolation

Le résultat le plus intéressant est obtenu sur l'image SIR A avec analyse de texture par coefficient de variation fenêtre 15 x 15, sur lequel on a surimposé les contours de la ville obtenus par binarisation de l'axe 1 de l'ACP SPOT87. On obtient ainsi une très bonne discrimination des collines nord ouest par rapport au reste des collines boisées grâce à SIR A avec analyse de texture. SPOT apporte l'information sur la ville et les bas fonds compris dans

la zone urbaine. Bien qu'imparfaitement recalée, la surimposition des deux images permet une cartographie thématique de qualité moyenne (planche 8).

V - Conclusion

A la suite de cette étude, une cartographie thématique de deux différenciations pédologiques dominantes dans la région de Yaoundé basée sur l'analyse de la forme des collines peut être produite en effectuant une analyse de texture sur une image SIR A et en lui surimposant les informations extraites de l'image SPOT. Pour l'analyse du relief au niveau local, SIR A ne permet pas une meilleure interprétation que SPOT. Par contre, l'extrapolation des caractères morphologiques pour passer à une cartographie régionale n'est possible que grâce à SIR A, dans le cas que nous avons étudié. Il est vraisemblable que l'utilisation de ERS 1 confirme ces conclusions.

Quatre points essentiels devront être améliorés pour la suite de nos travaux:

- L'utilisation de modèles de rétrodiffusion et de techniques de radarclinométrie (POLIDORI, 1992) permettrait d'améliorer l'interprétation de la topographie au niveau local. Dans cette voie où la qualité des images radar sera essentielle, l'utilisation de ERS1 semble prometteuse.
- L'essai de nouvelles techniques d'analyse texturale en particulier les techniques basées sur les fractales (DELLEPIANE et al, 1991, EIJLERS et al, 1990, GIBERTI et al, 1988, par exemple), appliquées plus particulièrement à la segmentation des zones d'hétérogénéité différentes.
- L'emploi de méthodes de classification plus adaptées à la diversité des canaux radar et visible-proche infra-rouge, comme la méthode proposée par WATSON et al (1992) (technique des "bassins versants" : segmentation d'un histogramme bidimensionnel par des méthodes topologiques).
- L'amélioration du recalage des images radar doit être amélioré. HAAG et al (1991) propose une méthode d'acquisition de points d'appui par analyse de la forme d'objets tridimensionnels dans plusieurs images.

VI - Références

- CHAUME R., CHAMPAUD J., CHEREF J.P. (1992) - Croissance urbaine, environnement et imagerie-satellite. Rapport CEF, multigr. 2vol. 250 p.
- CHAMPETIER DE RIBES G., SCANVIC J.Y. (1983) - Résultats préliminaires de l'étude des images SIR A de la région de Yaoundé (Cameroun). Bulletin - Société Française de Photogrammétrie et Télédétection, n°92, pp. 33 - 42.
- DELLEPIANE S., GIUSTO D.D., SERPICO S.B., VERNAZZA G. (1991) - SAR image recognition by integration of intensity and textural information. Int. J. of Remote sensing, Vol 12, N°9, pp. 1915-1932.
- EIJLERS E.J., BACKER E., GERBRANDS J.J. (1990) - An improved linked pyramid for texture segmentation using the "fractal-brownian" model. Proc. of Int. Conf. on Pattern Recognition, Atlantic City, USA, June 16-21, Vol 1, pp. 687-689.
- HAAG N.N., BRILL M.H., BARRETT E.B. (1991) - Invariant relationships in side-looking Synthetic Aperture Radar. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol 57, N°7, pp. 927-931.
- GIBERTI L., PICCOLLO L., DELLEPIANE S., SERPICO S.B., VERNAZZA G. (1988) - A framework for region characterization in remote sensing images by fractal-based approach. in Image analysis and processing II, Cantoni V., DI GESU V. and LEVI ALDI S., editors, Plenum Press, pp. 443-451.
- KRUISE F.A., DIETZ B. (1991) - Integration of visible to microwave-range multispectral data sets for geologic mapping. Proc. of the 5th Int. Col. - Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Courchevel, France, 14-18 January 1991, ESA SP-319, pp. 481-486.
- KUETE M. (1982) - Les formations superficielles du plateau camerounais au Sud de la Sanaga. in H. KADOMURA editor, pp.45-65.
- KUETE M. (1990) - Les paléoformes quaternaires du Sud Cameroun forestier. in Paysages quaternaires de l'Afrique Centrale, LANFRANCHI R. et SCHWARTZ D., éditeurs, ORSTOM, pp. 161-166.
- LAUR H. (1989) - Analyse d'images radar en télédétection. Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse, n° 403, 244 p.
- LE TOAN T., CASSIRAME P., QUACH J., MONCHANT M. (1978) - Utilisation d'algorithmes de classification des informations spectrales et texturales pour l'étude d'une zone agricole. Proc. of an Int. Conf. on Earth Observation from Space and Management of Planetary Resources, Toulouse, 6-11 March 1978, ESA SP-134.
- LOWITZ G. (1979) - Les images multispectrales, leur compression et analyse. Centre d'actualisation scientifique et technique. Développements récents en reconnaissance des formes. Méthodes et applications. Journées internationales, pp. (5.1-5.15).
- LOWMAN P. D. Jr, WHITING P.J., SHORT N.M., LOHMANN A.M., LEE G. (1992) - Fracture patterns on the Canadian shield : a lineament study with Landsat and orbital radar imagery. Intern. Conf. on Basement Tectonics, KINGSTON, 17 08 87, R. MASON ed. n°7, pp. 139-159.
- MALA O. (1993) - Thèse de Doctorat de l'Université Paris VII, sous presse.
- MARIE A. (1983) - Etudes comparatives des images SIR A et Landsat sur la terminaison ouest du grand erg occidental. Bulletin - Société Française de Photogrammétrie et Télédétection, n°92, pp. 13 - 21.
- MARTIN D., VOLKOFF B. (1990) - Significations paléoclimatiques des cuirasses et des nappes de nodules ferrugineux dans les sols d'Afrique Centrale (rive droite du Zaïre). in Paysages quaternaires de l'Afrique Centrale, LANFRANCHI R. et SCHWARTZ D., éditeurs, ORSTOM, pp.129-135.
- MASSON P. (1983) - Interprétation géologique préliminaire de l'imagerie radar SIR A de la région de Beyrouth-Damas. Comparaison avec l'imagerie Landsat. Bulletin - Société Française de Photogrammétrie et Télédétection, n°92, pp. 23 - 31.
- POLIDORI I. (1992) - Aptitudes et limitations du radar à ouverture synthétique pour la cartographie. Bulletin - Société Française de Photogrammétrie et Télédétection, N° 125, pp. 41-49.

ROLET J., YESOU H., BESNUS Y. (1993) - Structures circulaires et réseaux de fractures en pays granitique. Analyse de données SPOT, Landsat TM et Seasat sur le Massif Armonicain, sous presse.

SWAIN P. (1978) - Image data analysis in remote sensing. Digital Image Processing and Analysis. Advanced Study Institute NATO-IRIA.

WATSON A.I., VAUGHAN R.A., POWELL M. (1992) - Classification using the watershed method. Int. J. of Remote Sensing, Vol 13, N°10, pp. 1881-1890.

YONGUE R. (1986) - Contribution à l'étude pétrologique de l'altération et des faciès de cuirassement ferrugineux des gneiss migmatitiques de la région de Yaoundé, Thèse, Université de Yaoundé, multigr., 214 p.

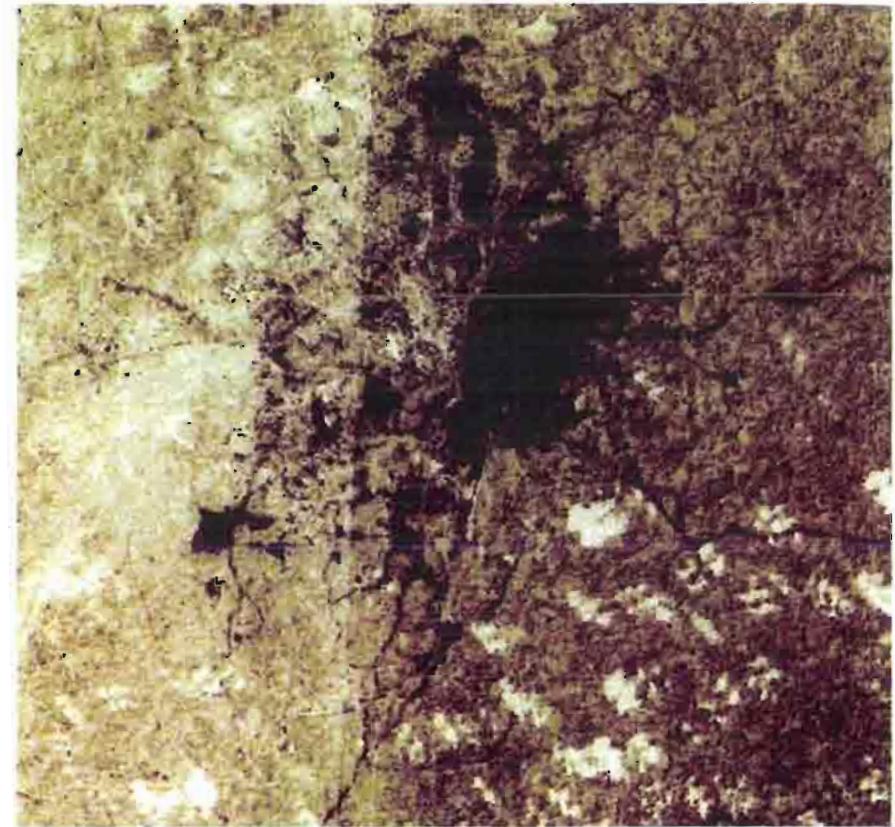


Planche n° 1: Axe 3 de l'A.C.P. sur l'image SPOT DE 1987

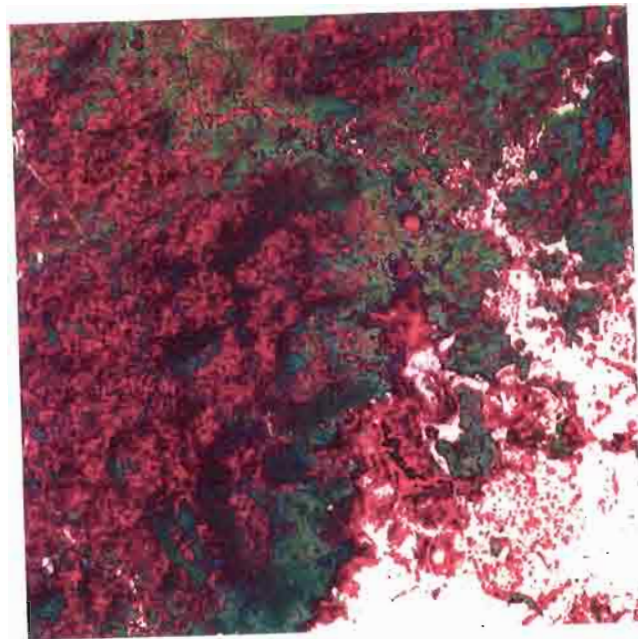


Planche 2: Amélioration sélective sur la forêt par masquage de la ville

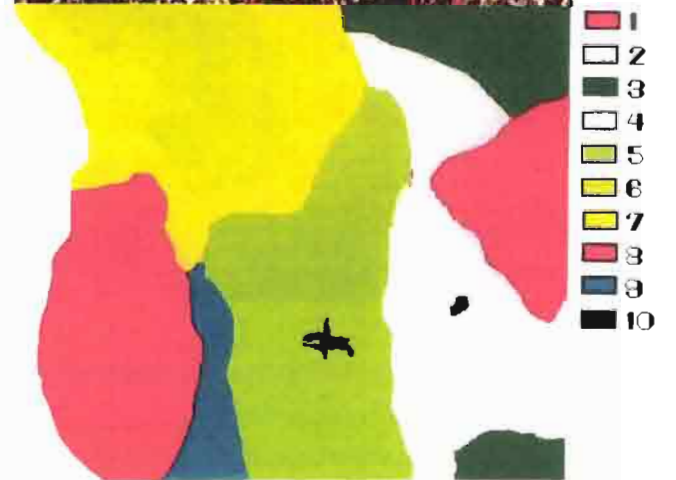
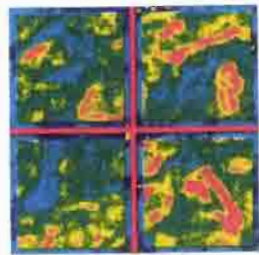
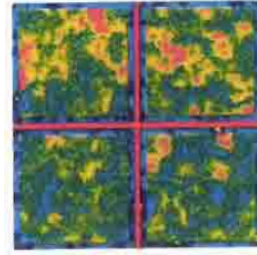


Planche 3. Analyse de texture par méthode des différences



**Collines Nord
Ouest**



**Collines Sud
Est**

Planche 4: Analyse de texture par coefficient de variation



Planche 5: Recalage d'image SPOT et carte superposée



Planche 6 : Recalage de l'image SIR A

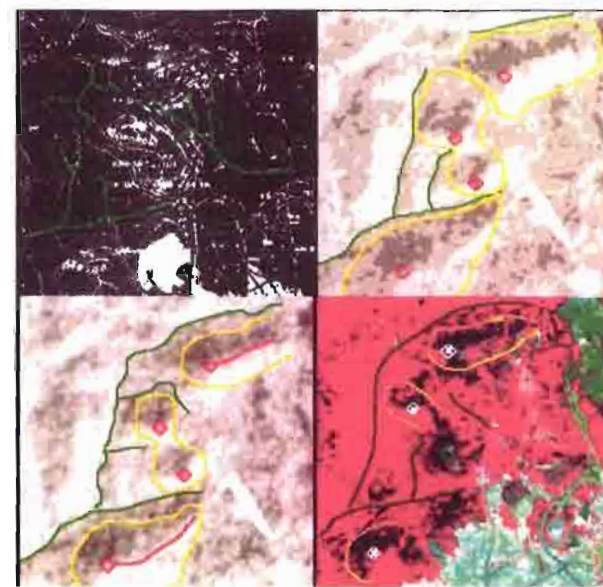


Planche 7: Interprétation de la forme des collines sur image SPOT et SIR A

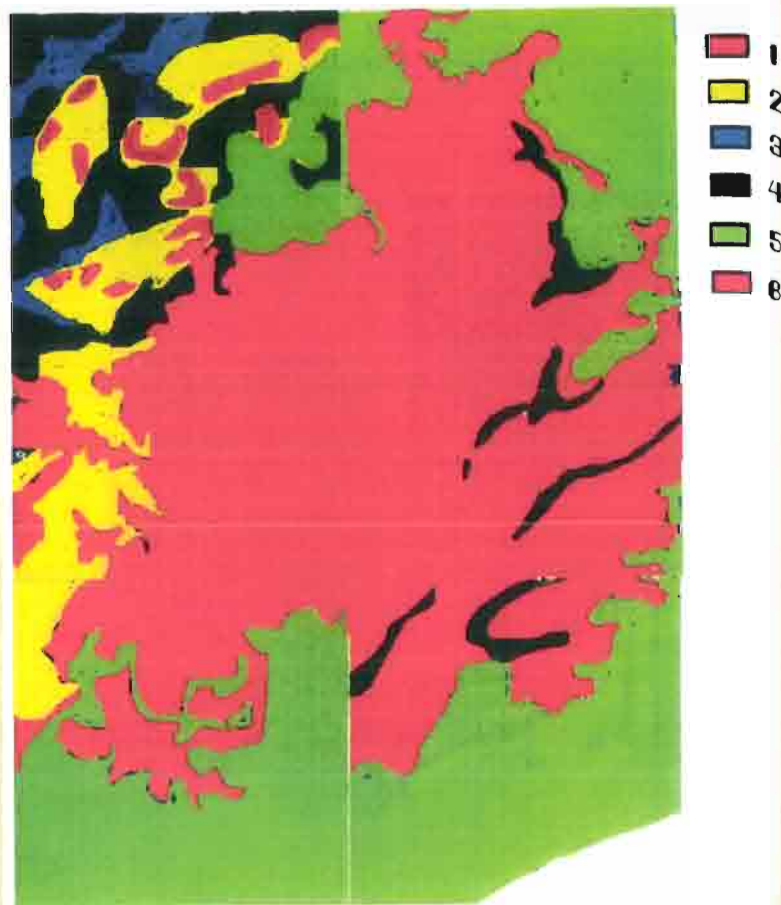


Planche 8 : Analyse de texture sur image SIR A et surimposition des contours de la ville

CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL
POSSIBLE COMPLEMENTARITE SPOT/ERS

UNE ETUDE SUR UN PAYSAGE AGRICOLE BRETON

S. Louahala*,
M. Normand**, C. Loumagne**, A. Vidal**, C. Cann**,
D. Vidal-Madjar ***, C. Oitlé***, Ph. Olivier***,
Ph. Mérot****, A. Craves****, D. Courault****

* GEOSYS, 3 rue Hermès - 31526 Ramonville Cedex1

** CEMAGREP Antony, Montpellier, Rennes

*** CRPE Issy-les-Moulineaux, Vélizy

**** INRA Rennes

ABSTRACT

A hydrological space observatory has been implemented on a small agricultural watershed in center Brittany. The main objective is to study the usefulness of the ERS-1 SAR images for water resources monitoring. During the year 1992, a great number of ERS-1 images has been acquired together with extensive ground truths. In this paper, it is shown, as one of preliminary results, that thanks its all weather capacity to obtain time series of data, the SAR images could be used in conjunction with SPOT data to map the soil occupation.

Seyler Frédérique, Noël Jacques (1993)

Comparaison de SPOT et SIRA pour la cartographie des formations superficielles en zone forestière tropicale : exemple de la région de Yaoundé (Cameroun)

In : De l'optique au radar, les applications de SPOT et ERS =
From optics to radar, SPOT and ERS applications

Toulouse : CEPADUES, 413-435

Colloque De l'Optique au Radar, les Applications de SPOT et ERS, Paris (FRA), 1993/05

ISBN 9782854283457