

Abidjan 5 étoiles.

L'image radar, un luxe inutile ou un recours nécessaire ?

[B. Lortic](#) , D. Couret



Métalivoire, grand fournisseur de tôles aluminium à Abidjan, est bien connu pour son slogan publicitaire à l'ivoirienne "tôle c'est pas tôle" façon de dire qu'il y a les bonnes tôles, celles qui durent c'est-à-dire les tôles marquées des cinq étoiles de métal ivoire, et les autres...

Comme les autres grandes entreprises de tôles, son marché principal est celui de l'habitat populaire et de la classe moyenne. Cette entreprise a posé à l'entrée de la ville un nouveau panneau publicitaire en 1996, une représentation d'Abidjan accompagnée des mots suivants :

"Akwaba, Abidjan, ville Cinq étoiles,

vous souhaite la bienvenue !!!"...

[page suivante](#)

Le satellite radar a pour avantage de fournir une image de la zone désirée sans souffrir de la nébulosité locale. C'est principalement pour cette raison que nous nous sommes intéressés à ce type d'image satellite. En effet, obtenir une image SPOT avec moins de 10 % de nébulosité sur la ville d'Abidjan n'est pas chose facile étant donnée la proximité quasi constante du front intertropical (FIT). SPOT Image a effectué, sur programmation, 45 prises de vue entre mars et juin, [l'interrogation du serveur](#) nous montre [qu'aucune](#) n'était utilisable. Il en est de même pour la réalisation d'une couverture en photographie aérienne classique.

Pouvoir se servir de l'imagerie radar serait donc une solution techniquement et économiquement très intéressante, notamment quand on est à la recherche d'un moyen de suivi rapide et périodique de l'expansion du tissu urbain. Pourtant, aujourd'hui encore, ce type d'image est considéré par tous comme inutilisable et la réaction habituelle d'un géographe à la vision d'une image radar s'apparente plus au recul sceptique qu'à l'appropriation intéressée. Ainsi dans le numéro spécial de Photo-Interprétation consacré à la télédétection en sciences humaines, nous ne trouvons aucune référence à l'imagerie radar.

Des travaux antérieurs, sur des images Seasat (MC Lortic, 1988) et une image Varan (B. Lortic, 1992), nous avaient pourtant convaincu de l'intérêt de telles données. La question est donc d'évaluer le type d'information que cette imagerie Radar nous apporte sur le milieu urbain d'Abidjan.

Pour bien télédétecter, il faut avoir préalablement cadrer précisément ce que l'on cherche, même si au cours du processus toutes les pistes aussi aléatoires soient elles doivent être explorées. Ainsi le choix du site d'Abidjan correspond à un projet d'observation des dynamiques d'aménagement et d'édification de l'espace urbain qui s'inscrit dans le cadre des travaux de l'unité de recherche urbaine de l'Orstom. Dans ce cadre une exploitation de l'imagerie SPOT et de photographies aériennes est envisagée avec pour objectif d'obtenir une actualisation de la cartographie des modes d'occupation du sol de 1989 de façon à pouvoir mettre en regard évolution du tissu urbain et orientations successives des politiques urbaines. Dans le cadre de ce projet et face à la rareté des images SPOT utilisables, la question s'est donc posée de savoir si l'imagerie radar pourrait éventuellement pallier le manque d'image SPOT.

Les données acquises

L'amabilité de l'ESA et de Spotimage nous a permis de bénéficier d'un tarif "recherche" (1125 Fr. l'image). La consultation du [serveur de l'ESA](#) nous permet de lister les images disponibles.

Nous avons donc acheté deux images ERS l'une du 30 novembre 95 en trace descendante du nord vers le sud, l'autre du

Multi-Mission Query Form

Selected Missions: *ERS-1/SAR, ERS-2/SAR*

Zoom:
x60

Rivers
 States

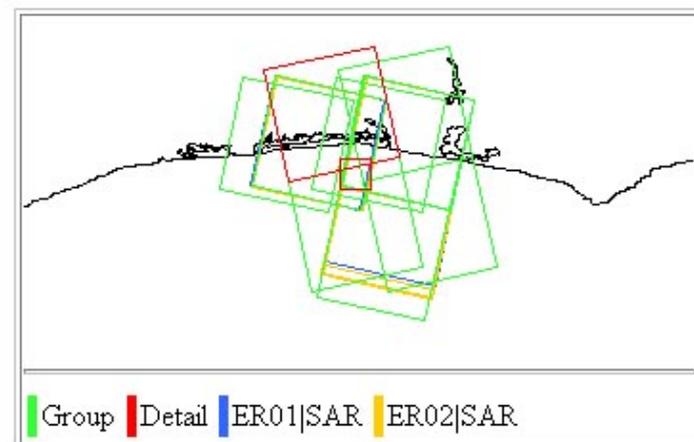
Define search area

| | | | |
|----------------------------|------|-----------------------------|-------|
| Center Latitude: | 5.22 | Center Longitude: | -4.04 |
| Latitude Extension: | 3.00 | Longitude Extension: | 6.00 |

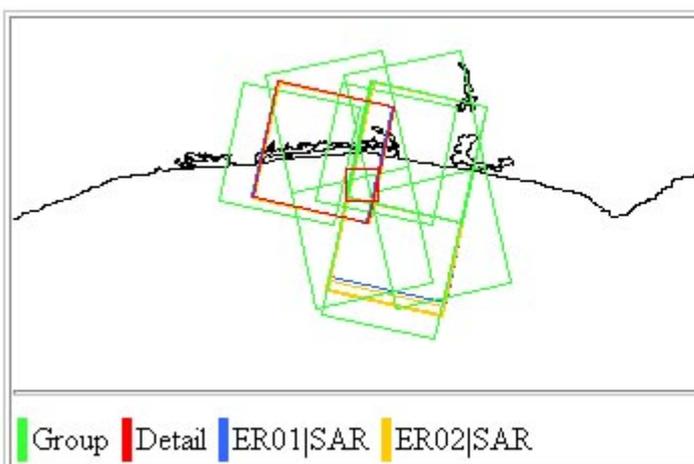
Date range (yyyy-mm-dd): from to

Group by: **granules** **with quick-looks**

24 juillet 94 en trace montante du sud vers le nord. La visée étant située vers la droite pour les deux images.



Satellite: ERS-1 **Sensor:** SAR
Orbit: 15812 **Frame:** 0099
Station: Libreville, Gabon **Archive station:** German PAF
Catalogue status: Archived **Sensor Mode:** Normal Mode, OGRC
Centre Lat.: +05.48 **Centre Long.:** -004.16
Lat. NW: +05.83 **Long. NW:** -004.73
Lat. NE: +06.02 **Long. NE:** -003.85
Lat. SE: +05.12 **Long. SE:** -003.65
Lat. SW: +04.93 **Long. SW:** -004.54
Missing data: 00 **Pass type:** Ascending
Quality level: 0 **Track:** 00891
Product type: **Start:** 1994-07-24 22:54:00
Stop: 1994-07-24 22:54:15



Satellite: ERS-1 **Sensor:** SAR
Orbit: 22870 **Frame:** 3501
Station: Libreville, Gabon **Archive station:** German PAF
Catalogue status: Archived **Sensor Mode:** Normal Mode, OGRC
Centre Lat.: +05.25 **Centre Long.:** -004.33
Lat. NW: +05.78 **Long. NW:** -004.64
Lat. NE: +05.59 **Long. NE:** -003.76
Lat. SE: +04.70 **Long. SE:** -003.95
Lat. SW: +04.89 **Long. SW:** -004.83
Missing data: 00 **Pass type:** Descending
Quality level: 0 **Track:** 00337
Product type: **Start:** 1995-11-29 10:39:37
Stop: 1995-11-29 10:39:52

L'ésotérisme de la documentation sur l'imagerie radar nous a fait craindre d'avoir quelques difficultés à lire et exploiter les données brutes (RAW). Parce que l'opération de recherche devait rapidement donner matière à un stage de fin d'année d'étude d'ingénieur avec une date limite en mai, nous avons commandé rapidement deux quarts d'image en format SLC (module et phase). Le choix de ce format, fut aussi motivé par l'idée de tester les possibilités d'interférométrie pour les objets urbains ! Sur ce format la taille du pixel résultant est à peu près de 20 mètres et nous avons sans doute perdu en précision géométrique par rapport à des données d'intensité haute résolution (PRI).

Par ailleurs, ont été utilisées, pour analyser les apports de l'image radar : le plan des Modes d'occupation des Sols d'Abidjan de 1989, réalisée par l'agence d'urbanisme locale, l'Atelier d'urbanisme d'Abidjan (DCGTx-BNETD) et une image SPOT canal panchromatique datant de 1988.

L'exploitation des données fut faite avec des programmes écrits par Mamy Rakoto (Orstom) pour la lecture, les convolutions et transformées de Fourier et Benoit Wandame (observatoire de Nice) pour le traitement par transformée en ondelettes. Les changements de géométrie furent effectués par les modules de recalage d'images mis au point par D. Remy et B. Lortic. Les données sont maintenant intégrés dans Savane, logiciel SIG conçu par M. Souris (Orstom) qui va nous permettre aussi d'affiner les traitements statistiques nécessaire à la démonstration des deux hypothèses décrites ci-après.

Ce texte correspond à l'avancée actuelle de nos travaux sur l'image radar de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire) et comprend : une présentation de notre compréhension des caractéristiques de l'image Radar et une première analyse des données radar sur la ville, une approche de l'intérêt trouvé dans l'exploitation complémentaire des traces montante et descendante et un premier essai d'interprétation de l'image obtenue de l'espace urbain et périurbain.

Première vision d'une image " brute ", caractéristiques de l'imagerie radar.

L'image SAR SLC d'origine est de 150 Mg à peu près. Les données sont en mode complexe, 16 bits. Le programme *sarslc* (Mamy Rakoto) lit cette donnée complexe et fournit l'intensité codée de 0 à 255. L'histogramme montre que les valeurs fortes (au delà de 300) de l'image d'origine sont très peu nombreuses. Cependant il nous importait de conserver une bonne différenciation des fortes intensités de réflectance. Le programme effectue le réétalement sur 256 niveaux des valeurs originales comprises entre 0 et 512 Nous n'avons donc saturé que les valeurs supérieures à 512 qui ont été plafonnée à 255. L'histogramme nous montre que 99,4% des valeurs de l'image résultante vont de 0 à 128.

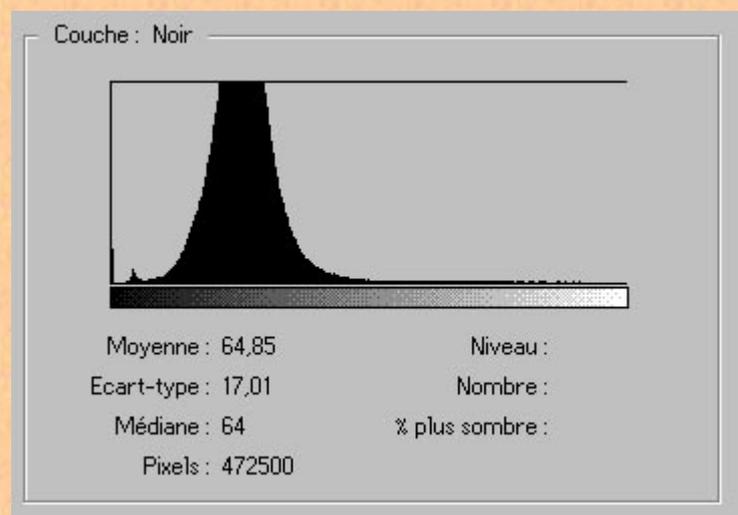


Figure 9 : Histogramme de l'image résultante (trace descendante)

Nous avons ensuite effectué la moyenne sur cinq lignes, obtenant des pixels à peu près carrés d'environ 20*20 mètres. Cette image montre bien :

- le trait de côte et des bords de lagune,
- la géomorphologie globale de la région,
- des tâches claires correspondant aux zones bâties, la ville semble réduite par rapport aux cartes du Mos et à un panchro SPOT !

A première vue et en comparaison avec une sortie en noir et blanc du Panchromatique SPOT 1989, l'image radar paraît décevante :

- la tache urbaine semble bien moindre, nous avons une forte impression de "trous" dans toutes les zones bâties ;
- le bruit et le flou semblent beaucoup plus importants avec un moindre détail dans les surfaces : par exemple le parcellaire agricole, en zone péri-urbaine, n'apparaît pas ;
- nous avons par contre une forte mise en valeur du relief (talwegs ou versants) et de lignes continues telles que les routes et les pistes de l'aéroport (en noir du à l'absence de réponse) ou la lisière de la forêt du Banco (en blanc).



Figure 1a : SPOT Panchromatique 1989.

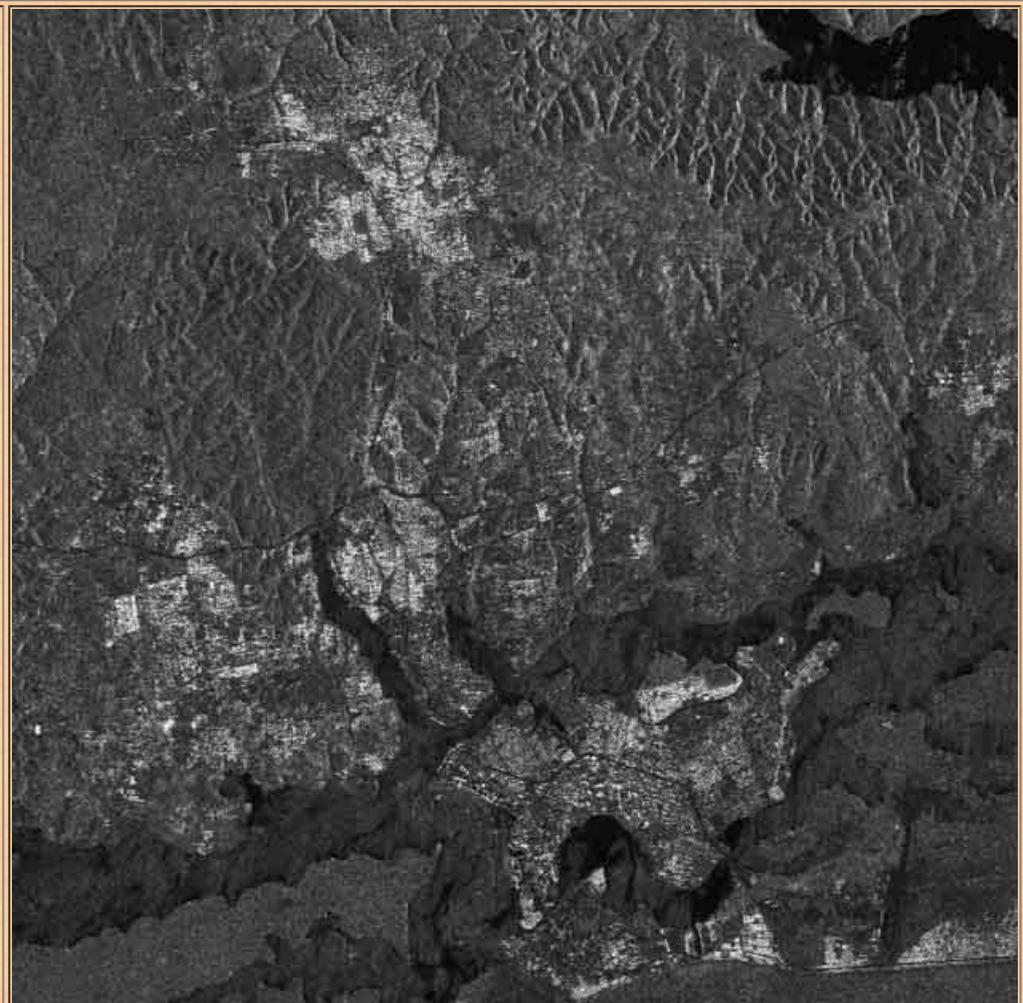


Figure 1b : Image ERS1, trace descendante.

L'image Radar fournit-elle une vision objective ?

Nous avons l'habitude d'analyser les images que nous offre la photographie faite par SPOT ou Landsat ou les autres capteurs travaillant en lumière visible ou infrarouge proche comme si c'était notre œil qui regardait les objets. Ceci n'est pas une mauvaise hypothèse : la vision humaine, comme celle des scanners multispectraux classiques est sensible, c'est-à-dire opère dans des zones de longueurs d'onde très courtes, centrées autour 550 nanomètres, c'est-à-dire 5,5 centièmes de millimètre. La vision de SPOT est donc raisonnable au sens où l'image correspond au type de raisonnement qui participe à la vision. Ces images de la terre nous sont familières. Nous lisons facilement ces images car instinctivement nous connaissons les propriétés des objets qu'elles représentent. La couleur d'un objet nous est naturellement une notion familière. Depuis fort longtemps les pédologues utilisent un système de chartes colorées, le code Munsell, pour caractériser les sols. Nous pensons généralement les images comme si tous les objets avaient une réflexion lambertienne, c'est-à-dire renvoyant la lumière dans toutes les directions, ce qui est le cas presque général. Nous ne sommes cependant pas étonnés de voir certains objets briller, comme les surfaces d'eaux calmes ou des toits, même de tuiles noires quand ils sont bien orientés, mais nous négligeons ce phénomène de spécularité, car si certains objets sont des miroirs naturels c'est un phénomène assez rare dans la nature.

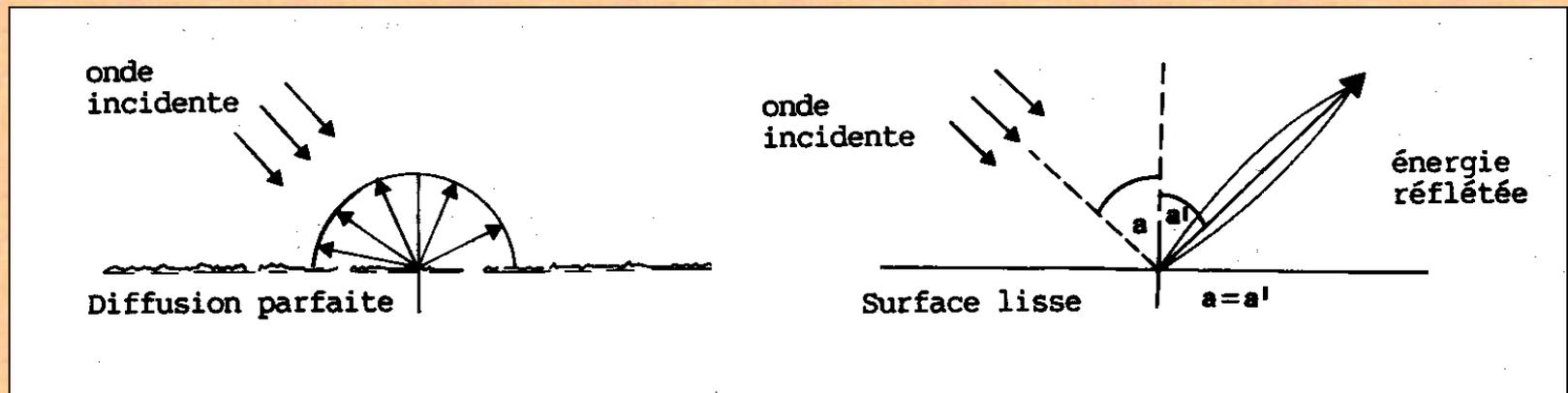
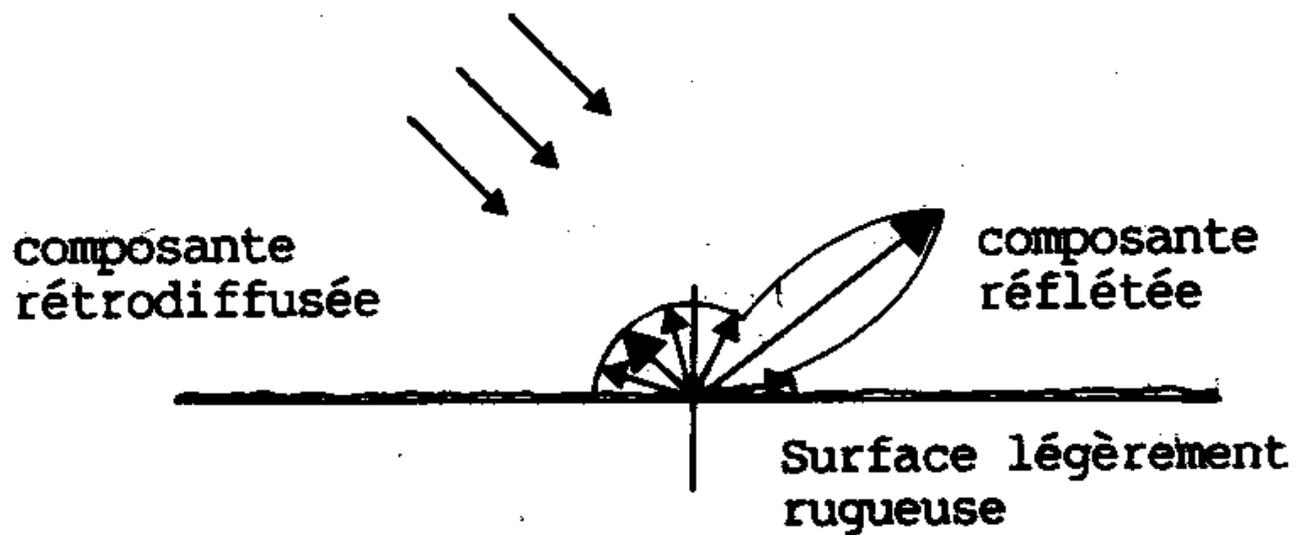


Figure 2 : Réflexion Lambertienne; diffusion parfaite; L'énergie est réfléchie dans toutes les directions.
Sur une surface lisse une partie de l'énergie repart dans la direction opposée.

Pour utiliser une métaphore, la vision SPOT et la vision de l'œil sont en accord comme le sont le toucher et la vision humaine. Rares en effet sont les objets sur lesquels le passage de notre doigt ne donne pas l'interprétation : " rugueux ". Le toucher du doigt humain a en effet une sensibilité accordée à sa vision. Les petites canules de la peau " mesurent " correctement des aspérités très fines, de l'ordre du centième de millimètre. Ainsi et de la même façon, pour l'œil qui travaille au centième de millimètre la plupart des objets sont rugueux. Avec le radar c'est tout autre chose, il n'y a pas accord avec la vision humaine. Comment concevoir qu'une allée de gravier soit vue comme " lisse " alors que même nos pieds chaussés le perçoivent comme une surface rugueuse ? C'est pourtant ce qui se passe car un objet n'est pas rugueux en soit, il est rugueux par rapport à l'outil de mesure utilisé. Reprenons l'hypothèse classique qu'une surface est lisse si sa rugosité est supérieure au huitième de la longueur d'onde utilisée. Dans le cas de Seasat avec $\lambda = 24$ cm tout objet dont la rugosité n'est pas supérieure à 3 cm est parfaitement lisse. Presque tous les objets sont des miroirs dont l'indicateur de directions de la rétrodiffusion peut être symbolisée par une droite répondant à la loi de Descartes. Dans le cas d'ERS1 avec $\lambda = 5$ cm nous sommes dans le cas intermédiaire où tous les objets auront une indicatrice de direction très inégale.



Cas général : une indicatrice de direction mélangeant une réflexion lambertienne et une réflexion spéculaire.

On pourrait s'attendre à ce que nous ne soyons jamais, sauf pour des pans de montagnes bien orientés face à la visée du satellite, dans le cas d'une saturation par réflexion spéculaire puisque la " visée " du radar s'effectue dans la direction de l'illumination. Jamais nous n'aurons par exemple le phénomène du point chaud que l'on observe sur des photographies aériennes lorsque le soleil est situé en face de la caméra par rapport au nadir. Sur l'image radar nous avons une multitude de point chauds répartis sur l'ensemble de l'image. Nous savons (MC Lortic 89) que la direction d'objet petits comme des rangs de labour conditionnent grandement la mesure de l'intensité faite par le radar. Nous savons que ce phénomène se produit pour un angle très étroit (de 2 à 3 degré autour de la direction de visée). L'orientation des objets est donc une données qui doit être prise en compte de façon fine. A fortiori, le bâti présente souvent une très forte réflexion dans le cas du système radar par le fait que nous avons à faire à des objets manufacturés qui ont une propriété optique un peu particulière, ce sont des dièdres droits. En règle générale l'angle formé par le sol et la façade d'un immeuble est de 90°. Pour tous les objets de ce type, dont le sommet du dièdre est perpendiculaire à la direction de visée, la réflexion sera très forte. Dans ces conditions l'image va privilégier les bâtiments dont la façade est perpendiculaire à la direction de visée.



La figure 5, type d'images couramment utilisé pour illustrer le "cardinal effect" montre qu'une petite variation angulaire entraîne des différences considérables d'intensité. Cependant la littérature ne nous donne que peu de précision.

Trace montante, trace descendante.

C'est pour cela que nous avons utilisé une propriété du système ERS1 : la possibilité de prendre une image en trace descendante mais aussi la nuit donc en trace montante, quand le satellite remonte vers le nord. Or selon les traces du satellite qui s'enroulent autour de l'axe nord sud avec un angle de $8,52^\circ$ de part et d'autre, les deux traces feront un angle de 18 degrés l'une par rapport à l'autre. Avec une telle différence angulaire nous devrions constater des différences importantes sur les deux images.

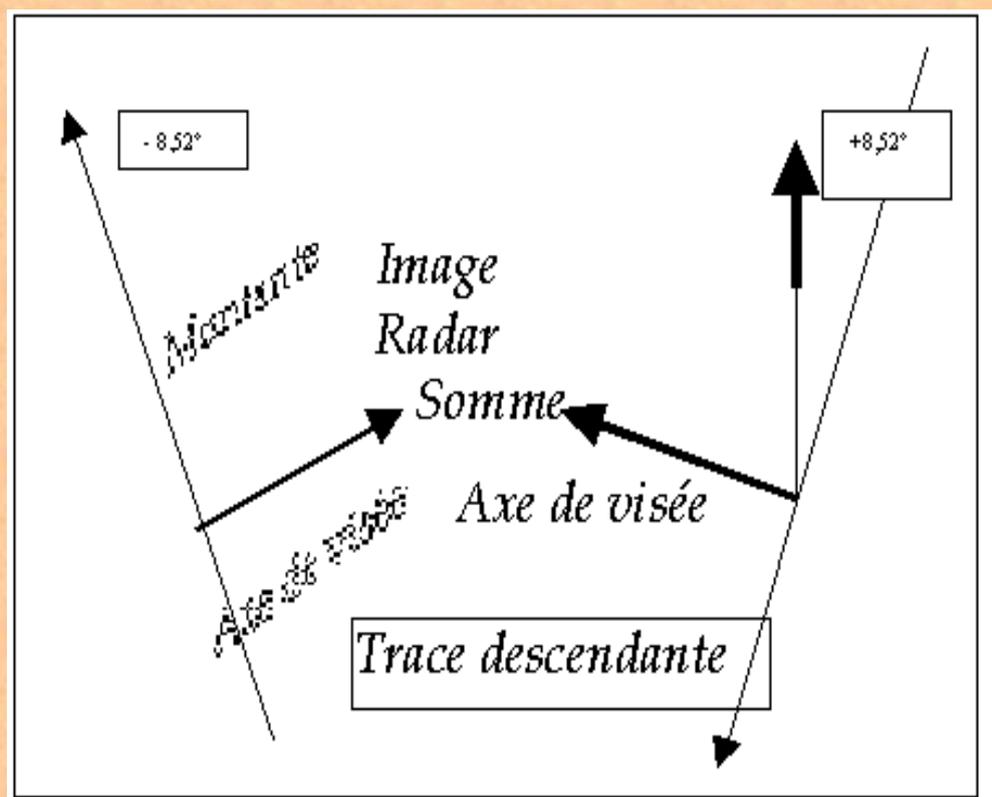


Figure 6.

Pour exploiter ces deux images nous les avons superposées de façon aussi précise que possible, puis nous avons traité cette superposition en composition colorée, la trace descente en rouge et la trace montante en vert. Celle-ci permet une première analyse rapide de la différence entre les deux images, nous avons une meilleure détection de la zone urbanisée.

L'analyse des directions

Le travail de superposition permet d'apprécier l'apport de chacune des deux images. En rouge viennent les parties réfléchissant plus en trace descendante, en vert celles réfléchissant plus en trace montante. Pour réaliser l'analyse des directions nous avons procédé de la façon suivante :

- Choix d'un échantillon de zones présentant des directions de voirie homogène,
- Mesure, modulo $\pi/2$, de l'orientation des rues pour chacune des zones à partir de la cartographie des modes d'occupation du sol de 1989, en posant que cette orientation est aussi celles des façades principales des bâtiments d'habitation,
- Calcul du niveau de réflectance moyen sur chaque images pour chacune des zones,
- Réalisation du graphique suivant (figure 7) qui permet d'analyser le rapport entre l'angle de visée des capteurs selon la trace montante ou descendante et tout à la fois l'intensité de la réflectance et l'orientation des lignes de façades de chaque quartier. Sur ce graphique apparaissent en vert les zones dont la réflectance est plus forte en trace montante qu'en trace descendante, sont en rouge les zones dont la réflectance est plus forte en trace descendante qu'en trace montante, en jaune celle qui apparaissent également sur les deux images.

Cette analyse des directions confirme les phénomènes attendus avec le radar. Elle nous montre une corrélation très forte entre la réflectance

moyenne du quartier et l'angle entre la direction des rues du quartier et la direction de la prise de vue.

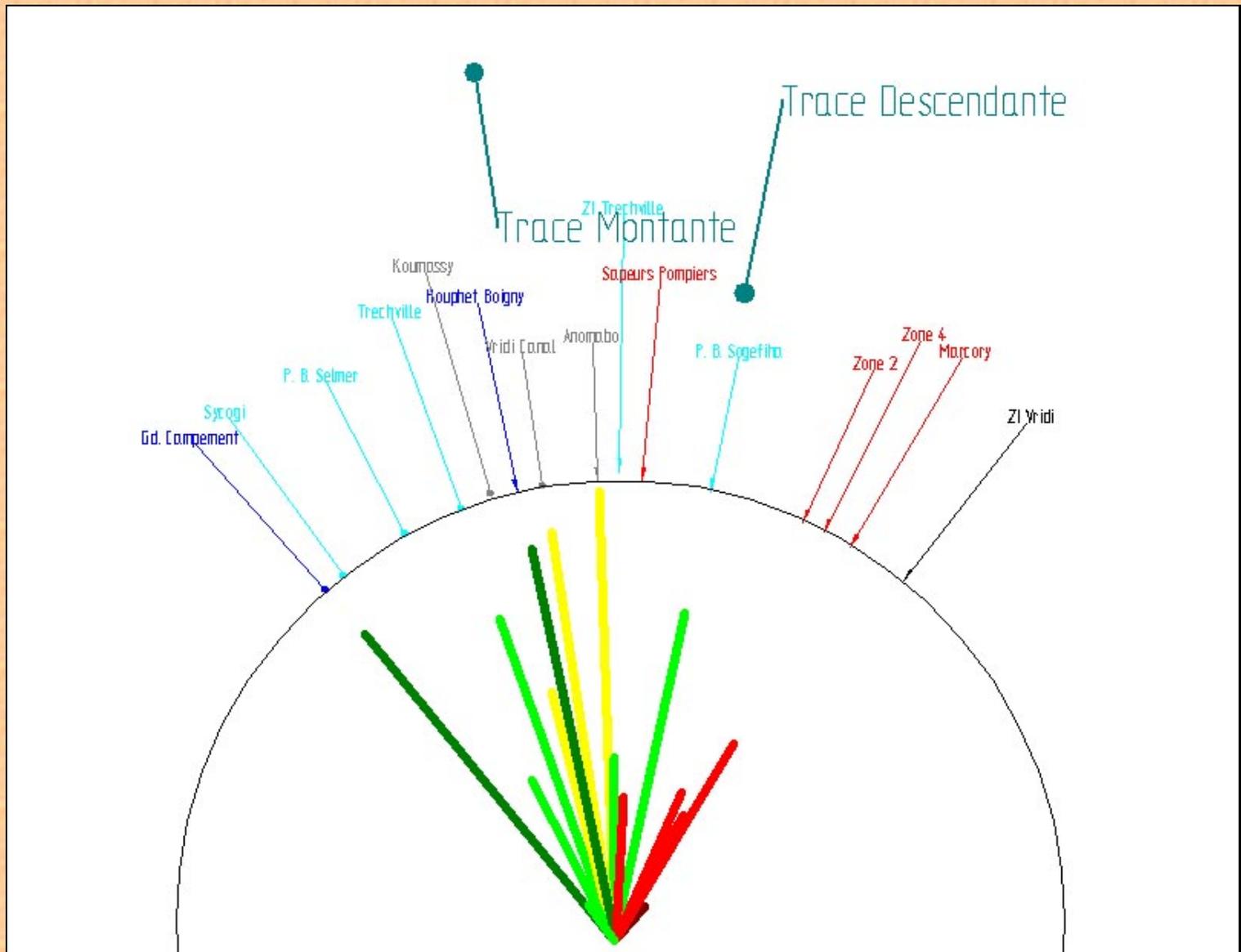
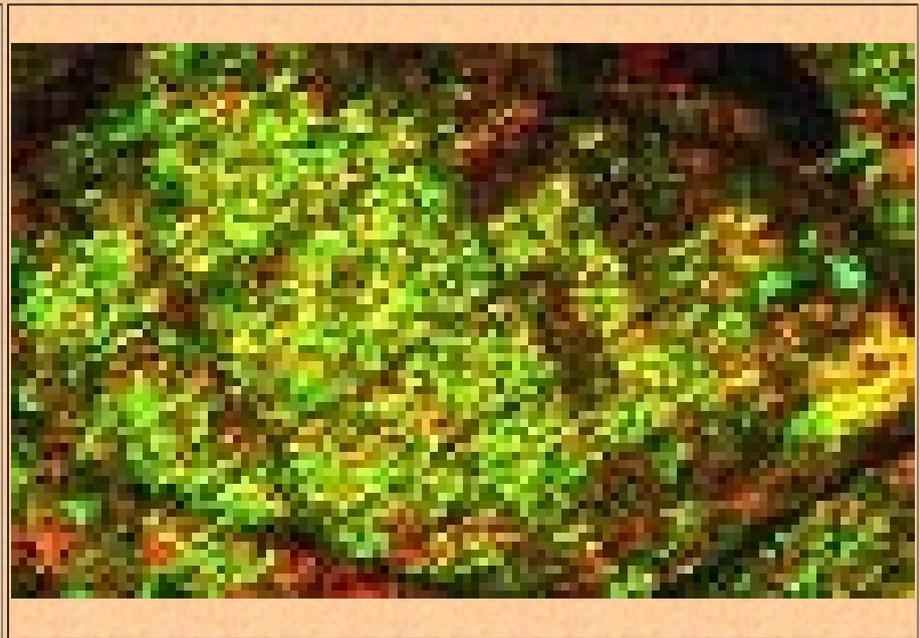


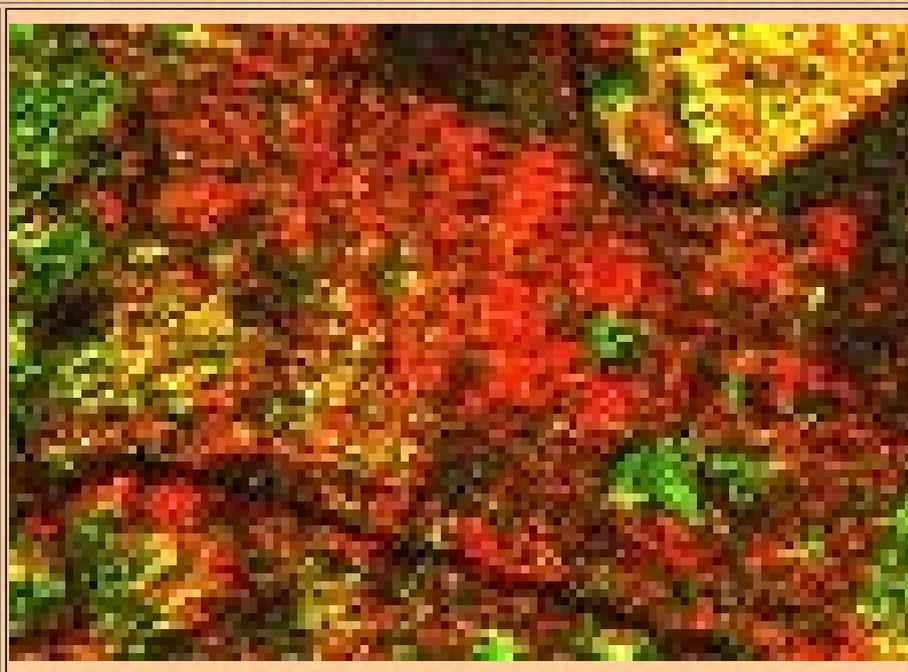
Figure 7 : Couleur, Intensité et direction principale de la voirie sur 15 zones d'Abidjan

Pour simplifier nous allons décrire trois cas présentant des situations bien tranchées :

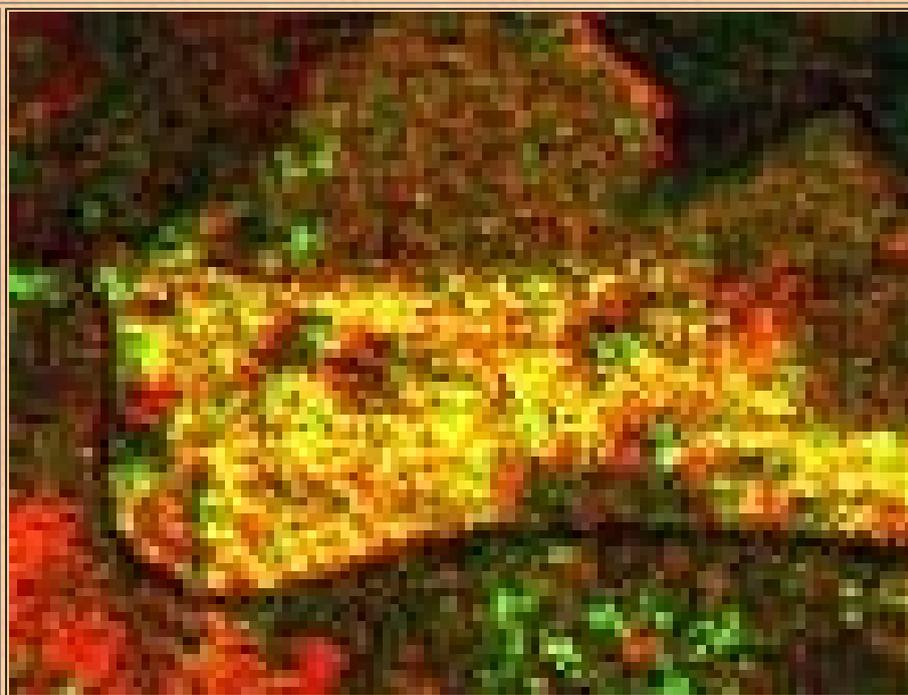
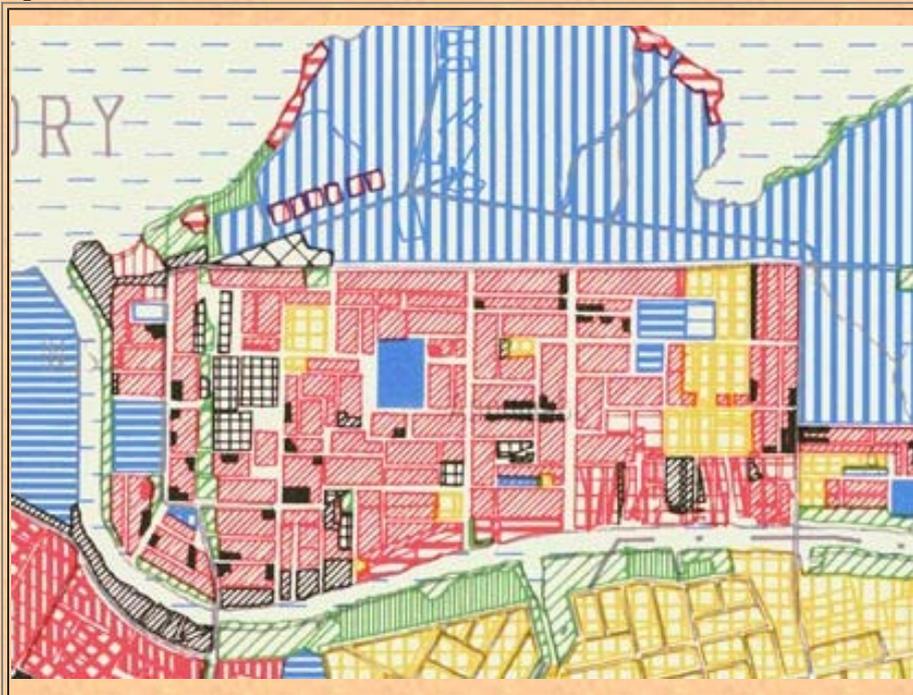
1- les parties vertes, lieux où la radiométrie provenant de la trace montante est plus forte que celle de provenant de la trace descendante, présentent les rues perpendiculaires et parallèles à la direction de visée de la trace montante.



2- les quartiers dont la forte réponse provient surtout de la trace descendante viennent en rouge. Leur voirie est perpendiculaire à la direction de visée de la trace descendante. : 82 degrés 08.



3- les parties en jaune indiquent que la rétrodiffusion est à peu près égale sur les deux traces. La direction des rues présente un angle équivalent sur les deux traces.



Les problèmes de superposition.

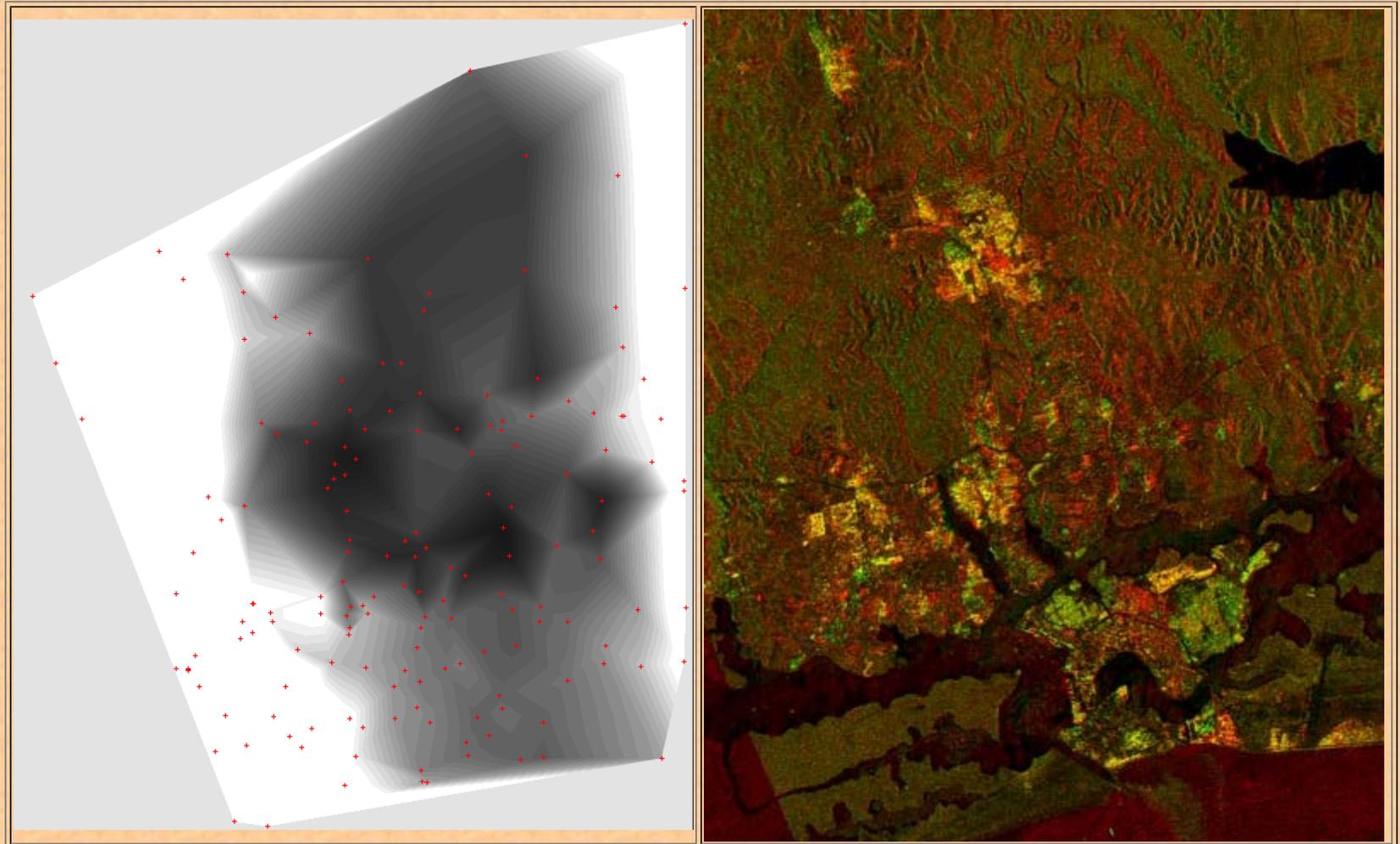
Pour réaliser cette image des deux traces en composition colorée il fallait préalablement superposer les deux images. Décrivons brièvement les différentes étapes du processus que nous avons suivi. Nous avons choisi, en fonction d'expériences anciennes de superposition d'image, le processus suivant :

1. L'image de la trace montante est superposée à la trace descendante par transformation polynomiale de degré 1 (trois points d'appui). Le résultat présente une très forte disjonction des deux images dès que l'on s'éloigne des trois points d'appui utilisés. Cette appréciation de la disjonction, i.e. la non superposition des deux images, ce fait par scintillement visuel (flicker). On perçoit, par cette méthode que nous utilisons depuis 1990, très efficacement le décalage entre les deux images, et l'absence de déplacement pour les zones situées autour des trois points utilisés.
2. Un deuxième ajustement, local par triangulation, est donc effectué avec 165 points d'appui. La prise de point d'appui se fait par scintillement, méthode manuelle assez fatigante sur de l'image radar. Mais la corrélation automatique ne peut être utilisée car elle donne beaucoup trop d'erreurs. *La plupart des auteurs (L. Marrinelli, T. Toutin I., Dowman 1997)(S. Sylvander, D. Cousson, P. Gigord 1997) déconseillent l'utilisation d'images de coté opposés sauf si les pentes sont faibles (10 à 15 degrés).* L'illumination du terrain étant dans deux directions opposées nous ne superposons bien un talweg qu'en positionnant la ligne brillante de part et d'autre du fond du talweg ou en inversant une des deux images. Les seuls objets pour lesquels l'estimation d'une bonne conformité

géographique est facile sont certaines intersections de routes (mais nous n'en avons pas trouvé plus de trois ou quatre) visibles sur les deux images, certains petits lacs ou étangs et beaucoup de points en bordure de lagune. La figure 10 nous donne les déformations, en nombre de pixels que nous avons mesuré entre l'image descendante (référence) et l'image montante. Les zones correspondant aux trois points d'appui principaux apparaissent en gris (valeur nulle) le maximum de déplacement vers la gauche égale 32 pixels de 20 mètres (650 mètres) , le maximum à droite égale 37. Ces déformations ne doivent pas être attribuées au relief mais au fait nos images SLC sont restituées en mode distance oblique (slant range).

Composition colorée des deux images
(En rouge trace descendante en vert trace montante.)

Figure 10

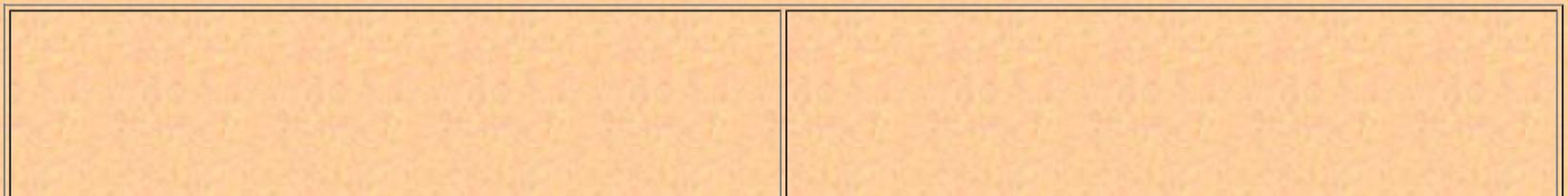


Déformation relative
(En rouge apparaissent les points d'appui de la triangulation)

Intérêt de la somme d'images.

Certes ce travail de superposition demande du temps et une grande attention mais il nous permet maintenant d'effectuer la somme des deux images ou plutôt la moyenne des rétrodiffusions. Et nous constatons plusieurs avantages par rapport à une seule image :

- 1- Globalement le bruit venant du speckle est atténué,
- 2- Les zones de relief, ravines ou ombres de lisières apparaissent beaucoup moins. Cela peut s'expliquer par le fait que sur une image apparaît en clair un des cotés et sur l'autre image apparaît l'autre côté. Le même côté du talweg est donc clair sur une image et sombre sur l'autre, la somme des deux nous donne un gris moyen. Donc la géomorphologie apparaît comme un peu gommée et les zones bâties n'en ressortent que plus facilement. On peut penser que si nous avons une vision résiduelle de la géomorphologie c'est que le recalage n'a pas été parfait,
- 3- Si le speckle est atténué, les structures sont renforcées et on distingue beaucoup mieux les structures urbaines et celles du parcellaire agricole.



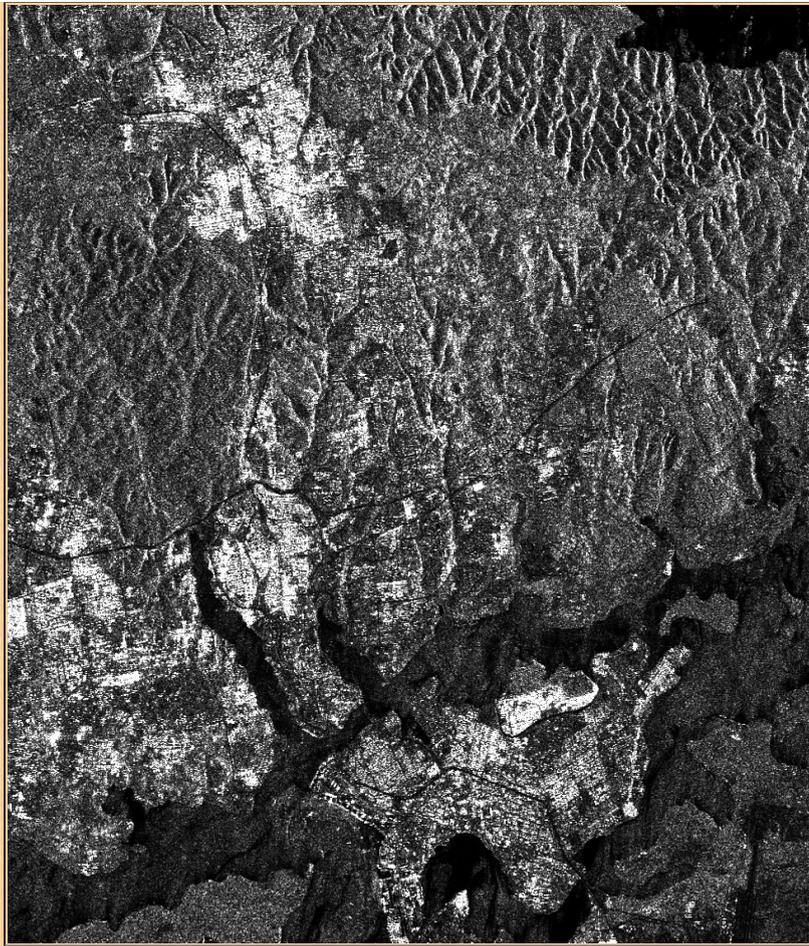
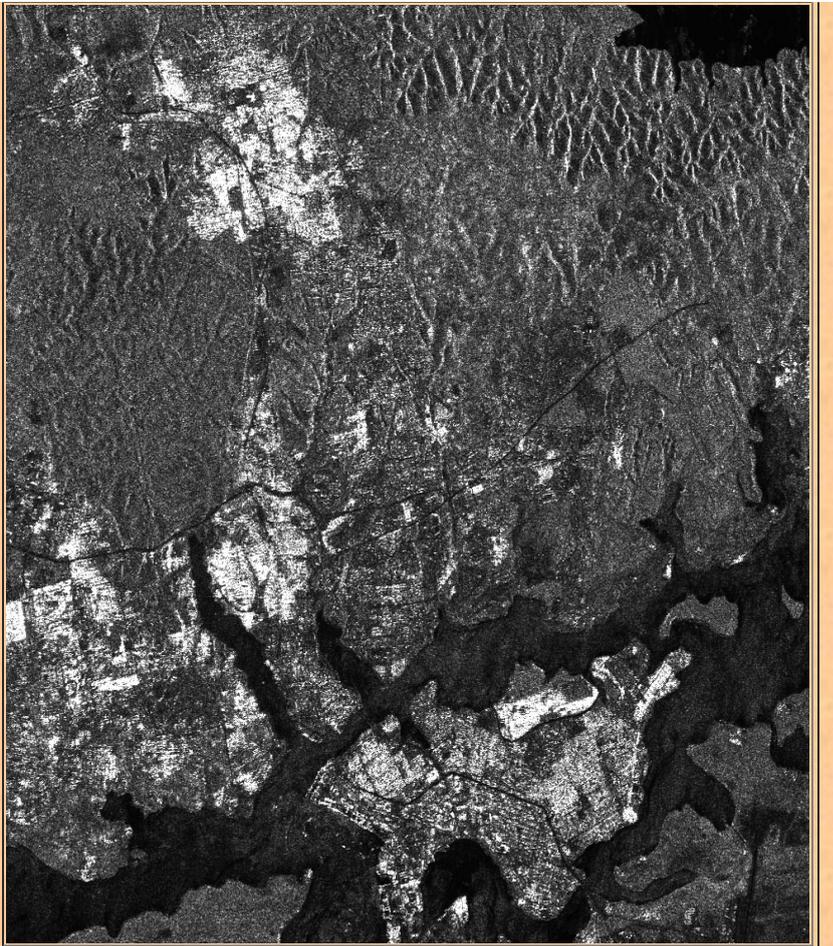


Image descendante

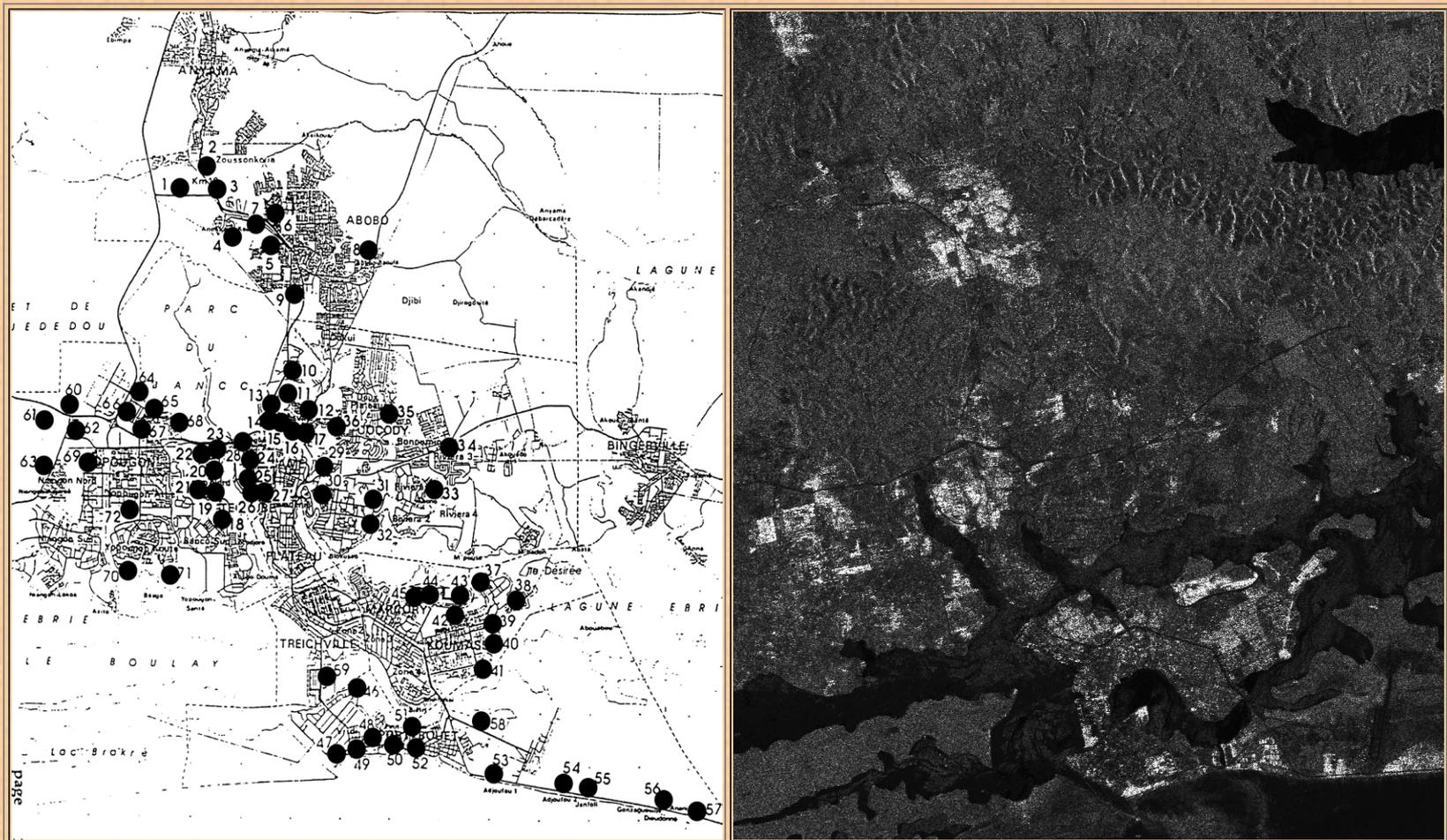
[page suivante](#)



Somme des deux traces

Constante diélectrique et section efficace.

A partir de ces éléments de compréhension acquis au cours du traitement de l'image et d'une classification sommaire réalisée indépendamment par trois chercheurs ayant une certaine connaissance d'Abidjan, une interprétation de l'image en quatre classes dont une de non bâti a pu être réalisée. Apparaissent le plus fortement les quartiers spontanés et cela même quand les baraques se trouvent sous les arbres des plantations de cocotier, comme Adjoufou à l'est de l'aéroport. Ressortent très bien aussi des quartiers qui n'apparaissent que très peu ou pas du tout sur SPOT comme la Pointe aux Fumeurs ou Derrière Canal. Les noyaux des villages anciens comme Blokhous ou Cocody Village sont bien perceptibles. Ressortent ensuite de façon moins fortes les quartiers populaires très denses comme Attecoube ou Adjame. Par contre des quartiers parfaitement urbains, mais constitués de grandes villas de luxe comme Cocody ou d'immeubles comme le Plateau n'apparaissent que très peu. Nous avons vu que la direction de la voirie est un critère déterminant fortement l'intensité de la rétrodiffusion. Cependant l'intensité nous semble fortement corrélée avec la présence de quartiers précaires ou du moins populaires. Si nous analysons la figure 7 nous voyons que l'intensité n'est pas très dépendante de la direction contrairement à la couleur. Tout ce passe comme si la présence et la densité des toitures métalliques, quelque soit leur orientation était le critère dominant de l'intensité de la réponse radar; une tôle ondulée même " mal " orientée donnant une réponse très forte. Or, si nous savons qu'à Abidjan, le rôle de la tôle ondulée est primordial dans la construction populaire, nous manquons de données fiables et précises sur le type de toiture de tel ou tel pâté de maison. La cartographie du MOS, réalisée en 1988 par l'IAURIF représente une typologie des formes de bâti (habitat sur cour tramé, habitat sur cour non tramé). Nous ne pouvons que faire des suppositions sur les matériaux utilisés pour la couverture. Nous avons effectué un traitement permettant de faire ressortir les zones de forte réponse conjointement sur les deux traces images, données obtenues par sélection de la valeur minimum sur les deux images. Les quartiers qui apparaissent fortement semblent être les quartiers précaires dont le tissu est généralement peu tramé et dont les toitures sont très probablement de la tôle ondulée. Nous disposons d'une carte des quartiers précaires, assez grossière, certes mais présentant l'avantage de localiser à peu près des éléments qui n'apparaissent pas forcément sur des documents plus officiels. La similitude entre cette carte et l'image du minimum d'intensité des deux traces semble confirmer cette hypothèse.



Cartographie des quartiers précaires

Valeur minimum des deux traces.

Figure 12.

La figure 12 montre les zones qui ressortent fortement en même temps sur l'une et sur l'autre trace. Si l'on admet que ces zones correspondent à des tôles ondulées on peut donc faire l'hypothèse que la partie lambertienne de l'indicatrice de direction d'un objet métallique est au même niveau que la réponse provenant de la partie spéculaire de l'indicatrice de direction d'un objet en terre ou en béton. L'hypothèse que cette réponse forte serait due à la présence d'objets métalliques n'est certes pas contraire à ce que l'on connaît du radar mais elle suppose que nous prenons mal en compte les réflectances extrêmement fortes de ces mêmes objets quand ils sont bien orientés par le simple fait que l'échelle logarithmique des décibels que nous donne le système peut fort bien masquer les différences entre les différentes valeurs fortes qui nous intéressent. Dans ce cas nous n'aurions que peu de différences entre les différents objets métalliques quelques soit leur orientation.

Il n'en reste pas moins qu'en l'état de nos investigations il ne nous est pas possible de dire quelle est la part "morphologique" et la part "constante diélectrique du matériaux" car, malheureusement les quartiers précaires, qui sont supposés avoir des toitures en toles ont aussi une morphologie bien spécifique. Se sont tous des quartiers dans lesquels on ne peut pas définir d'orientation privilégiée, les " constructions " étant posées sans aucun rapport avec la voirie directrice. Entre la direction des batiments et la nature physique de la toiture quelle est la part prépondérante ? Il nous faudra collecter des données plus précises pour pouvoir trancher en faveur d'une des deux hypothèses.

Conclusion

- L'imagerie radar est fort bien adaptée à la détection du bâti, une des données importantes pour les études urbaines. Le fait d'avoir accès à des images de directions de visée différentes lève beaucoup d'ambiguïtés.
- Mais la résolution des images d'ERS est plus proche de celle de Landsat que de celle du panchromatique de SPOT. Comme avec Landsat, avec ERS l'image ne pourra pas satisfaire en elle-même les besoins de production d'informations générales sur la ville. Par exemple un simple tracé de la limite urbaine semble impossible sur ces images, de même la perception de la voirie y est très incomplète.
- Elle offre cependant l'avantage de nous donner une information complémentaire à celle que l'on peut extraire de l'imagerie Spot. Il semble bien en particulier que l'on pourrait l'utiliser pour des estimations de la densité du bati.
- Il est nécessaire que nous fassions encore des relevés sur les variables qui sont peu ou mal notées d'habitude : type de matériaux de la toiture et orientation précise des bâtiments.
- Il ne nous est pas encore possible d'affirmer que l'on peut profiter du principal avantage du radar : la disponibilité d'image assurée. En effet ce travail ne dit pas grand chose sur les possibilités de suivi de l'extension urbaine car nous n'avons encore utilisé que trop peu de d'images de dates différentes.

Bibliographie

1. Principes d'imagerie radar FAO Rome 1991. Serie RSC 62 J.F. Dallemand, J. Lichtenegger, H. Laur, Ph. Rebillard.
2. Bulletin Société Française Photogrammétrie et Télédétection n° 148 (1997-4) Secondes Journées Cartographique Radar.
3. Les données radar en télédétection These 3 ème cycle EHESS 1986 M.C. Lortic.
4. Bulletin de la société française de Photogrammétrie et télédétection. N° 148 (1997-4)
5. ESA JOURNAL Volume 10 number 3 -1986.
6. Photo-Interprétation (Volume 35 - 1997/1-2).
7. Derivation of the backscattering coefficient in ESA ERS SAR PRI Products. Document N° : ES-TN-RS-PM-HL09 Issue 2, Rev 4 -. 5 may 1997.
8. Principles & Applications of Imaging Radar. Manual of remote sensing Third Edition, Volume 2 1998 - Ed John Wiley & Sons.

