

TRAITEMENT DES IMAGES RADAR SEASAT ET INTEGRATION AUX DONNEES SPOT. COMPARAISON DE PROCEDES PHOTOGRAPHIQUES ET DE METHODES NUMERIQUES

YESOU H.¹, AING A.², PION J.C. ¹, BESNUS Y. ¹, ROLET J.³

RESUME

Après réduction du speckle et correction géométrique, des données SEASAT ont été combinées à une image SPOT. Pour cela, des intégrations selon des procédés photographiques et numériques ont été testées. Les procédés photographiques sont simples à mettre en oeuvre et efficaces; les meilleurs résultats sont obtenus en combinant en cyan, magenta et jaune, les canaux XSI, SEASAT et XS3, ou SEASAT, XS3, XS2. Les méthodes d'intégration numérique comprennent des combinaisons linéaires, transformation en IHS et analyse en ACP. L'ACP donne en particulier de très bons résultats en travaillant sur les canaux XS de SPOT et SEASAT, centrés à 100 et réduits avec un écart-type de 10. L'image finale est restituée en RVB avec les trois premiers facteurs. La procédure numérique offre l'avantage de la maîtrise du poids relatif accordé aux données radar par rapport aux données multispectrales SPOT.

INTRODUCTION

Dans les régions équatoriales et tropicales humides, la cartographie géologique structurale à partir d'images satellitaires se heurte aux problèmes d'acquisitions de données du fait d'une couverture nuageuse souvent abondante. Les capteurs hyperfréquences étant des instruments "tout temps", le lancement prochain de ERS-1 devrait résoudre en partie ce problème. On peut déjà évaluer l'apport des données radar satellitaires en utilisant des images SEASAT. La présente démarche consiste à tester celles-ci en les intégrant à des données multispectrales. Ne disposant pas d'image radar numérique couvrant des zones équatoriales ou tropicales, la zone test retenue est celle du cisaillement sud armoricain (Bretagne, France). Après traitements séparés des deux types de données, les images SEASAT sont intégrées aux données SPOT XS selon deux procédés, le premier photographique et le second numérique. L'intérêt des intégrations est de combiner la précision spatiale des données SPOT, particulièrement utile pour le parcellaire agricole révélateur du bâti structural, et

¹Laboratoire de Télédétection et de Géologie Structurale et Groupement Scientifique de Télédétection Spaciale (GSTS), Institut de Géologie, 1, rue Blessig, 67084 Strasbourg cedex, France

²LIA, Unité de Télédétection, ORSTOM, 72 route D'Aulnay, 93143 Bondy Cedex, France

³Département des Sciences de la Terre, URA 1278 et Groupement "Ouest Image", 6 avenue le Gorgeu, 29287 Brest Cedex

les informations hyperfréquences particulièrement sensibles à l'humidité. On rehausse le réseau hygrographique permettant ainsi son interprétation géomorphologique et l'on cherche à mettre en évidence des régions hydriquement anormales.

2 - CADRES GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

2.1 Cadre géographique

Le Massif armoricain présente les caractéristiques d'un massif ancien pénéplané. Son relief est modéré. Dans la région étudiée, les altitudes dépassent rarement 200 mètres et les variations d'altitudes sont d'une cinquantaine de mètres. Cette région de bocage est marquée par une occupation et une utilisation humaine du sol très ancienne. La campagne est découpée, morcelée par tout un réseau de haies, de bosquets. Les champs souvent de petite taille sont relativement bien ordonnés. Leurs bordures, suivant la ligne de moindre pente, soulignent les moindres discontinuités du relief. L'analyse de l'organisation spatiale du bocage, à partir des images satellitaires, constitue une excellente approche de la géomorphologie et de la géologie structurale du secteur (Rolet et Yésou, 1990).

Le Cisaillement Sud Armoricain (CSA) s'étend sur plus de 600 kilomètres de la pointe du Raz, à l'extrémité ouest de la Bretagne, jusqu'au Massif Central. Dans sa partie occidentale, le CSA a une direction grossièrement EW (fig 1). Il est marqué dans le paysage par une succession de vallées étroites soulignée par le développement de zones humides.

2.2 Cadre géologique

Située en Bretagne méridionale, la zone étudiée (fig. 1) a fait l'objet de travaux récents, tant sur le terrain qu'à partir des données de télédétection (Gouronnec et al., 1986; Yésou et Rolet, 1990; Rolet et Yésou, 1990; Braux et al., 1990). La terminaison occidentale du CSA en constitue le trait majeur. Pour certains auteurs, cette zone de faiblesse crustale correspondrait à la suture d'un océan paléozoïque sud-européen (Matte, 1986). Cet accident hercynien à composante dextre ductile puis décrochante sépare deux grands domaines armoricains (Jégouzo, 1980; Rolet et al., 1986):

- au Nord, le Domaine Centre Armoricain, autochtone, caractérisé par une évolution tectono-métamorphique carbonifère relativement faible;
- au Sud, le Domaine Sud Armoricain, empilement de nappes parfois très métamorphiques, plus précoces, siluro-dévonniennes.

Au cours de son histoire carbonifère, le CSA est envahi par de nombreux plutons leucogranitiques souvent foliés et cisillés par des répliques de l'accident principal.

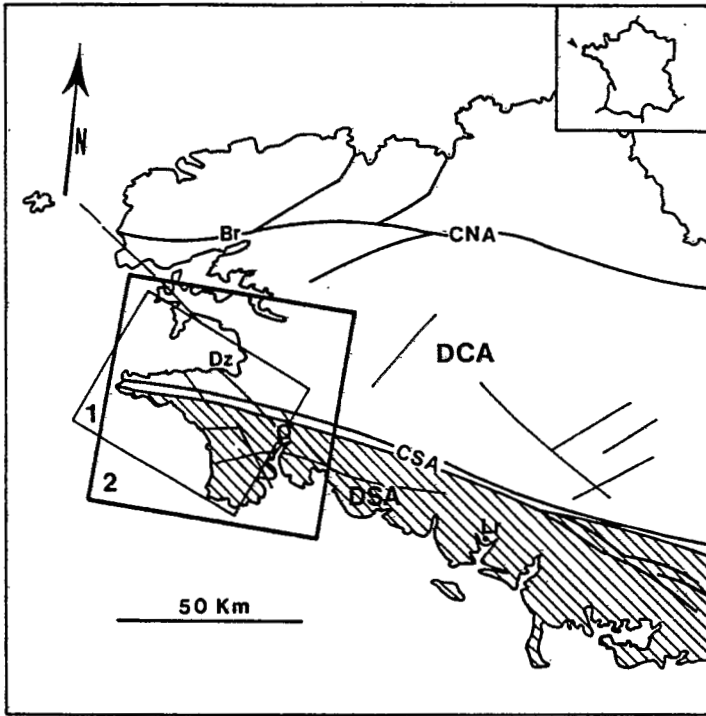


Figure 1- Localisation de la scène SEASAT 07806-0785 (1) et de la scène SPOT 27-253 (2). Principaux domaines du Massif armoricain: (DSA) domaine sud armoricain, (DCA) domaine centre armoricain, (CNA) cisaillement nord armoricain, (CSA) cisaillement sud armoricain, (Br) Brest, (Dz) Douarnenez, (Q) Quimper, (Lr) Lorient.

3 - DONNEES UTILISEES ET TRAITEMENTS PRELIMINAIRES

3.1 Données utilisées

La région de Quimper est couverte par la scène SPOT 27-253. Nous disposons des données en mode multispectral, sur bande magnétique. Il s'agit d'une scène oblique, de 20 m de résolution, acquise par temps clair sans couverture nuageuse, le 22 avril 1987 (fig. 1).

Sur le satellite SEASAT-1 était embarqué un radar à ouverture synthétique (SAR) fonctionnant dans la bande L= 23,5 cm de longueur d'onde, avec un angle d'incidence de 20° par rapport à la normale. Nous disposons de la scène 078060785 acquise le 20 août 1978. Elle couvre une superficie d'environ 40x55 km avec une résolution spatiale de 12,5 m (fig. 1). Il s'agit de données prétraitées par le DFVLR pour le compte de l'Agence Spatiale Européenne.

3.2 Traitements préliminaires

Une correction géométrique de l'image SPOT par rapport aux coordonnées UTM a été effectuée. L'erreur résiduelle de recalage est inférieure au pixel.

La première étape de prétraitement des données SEASAT correspond à la transformation des données 16 bytes en données 8 bytes, et ce, afin de faciliter les manipulations et l'archivage des données. Les données 16 bytes, comprises entre le minimum et le maximum, ont été réétagées entre 0 et 255.

La seconde étape consiste à réduire le "speckle", bruit inhérent aux données radar (fig2). Sur des sous-images de 512x512 et 2200x1000 pixels, diverses méthodes ont été testées: filtrage médian, moyenneur, passe-bas (filtres standards disponibles sur PLANETES et ERDAS) et filtres adaptatifs implantés par nos soins. Une attention particulière a été apportée à la taille des fenêtres appliquées. Des masques de 3x3 à 11x11 pixels ont été testés.

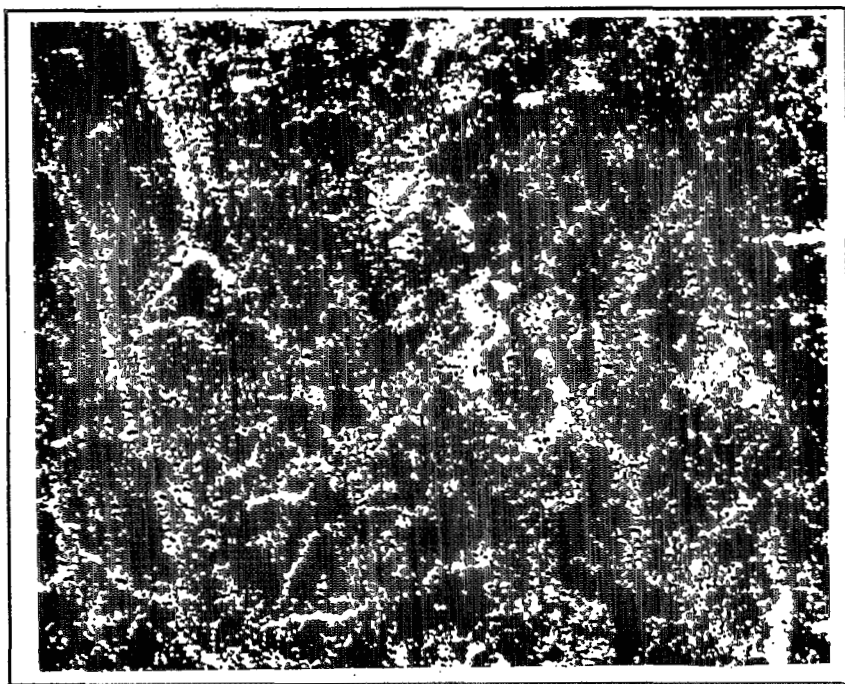


Figure 2. - Sous image SEASAT 16 bytes avant réduction du "speckle".

De façon générale, s'ils permettent une réduction notable du speckle, les filtres passe-bas et moyenneurs sont peu intéressants. Ils induisent en effet un fort lissage qui entraîne une perte de contraste. Les résultats les plus satisfaisants ont été obtenus suite à deux itérations d'un filtre de Lee (1983). Ce filtre teste dans une fenêtre de 7x7, la valeur du pixel central par rapport à la moyenne de la fenêtre dans un interval de deux écart-types (fig.3). Si la valeur est supérieure à cette borne, la moyenne établie sur les pixels "normaux" est affectée au pixel "monstre". Si cette méthode permet d'éliminer efficacement le speckle, elle provoque une perte d'informations à grande échelle et dégrade les contours: un pixel isolé, ou un

petit groupe de pixels isolé ayant des comptes numériques élevés et entourés de voisins sombres, vont être considérés comme des "monstres" et seront éliminés. Actuellement nous testons un masque adaptatif où le nombre d'individus à considérer comme "monstres" dans la fenêtre et la différence de luminance avec leur entourage sont fixés par l'opérateur. D'après les premiers résultats ce type de masque élimine efficacement le speckle tout en préservant ces petites unités ainsi que les contours.

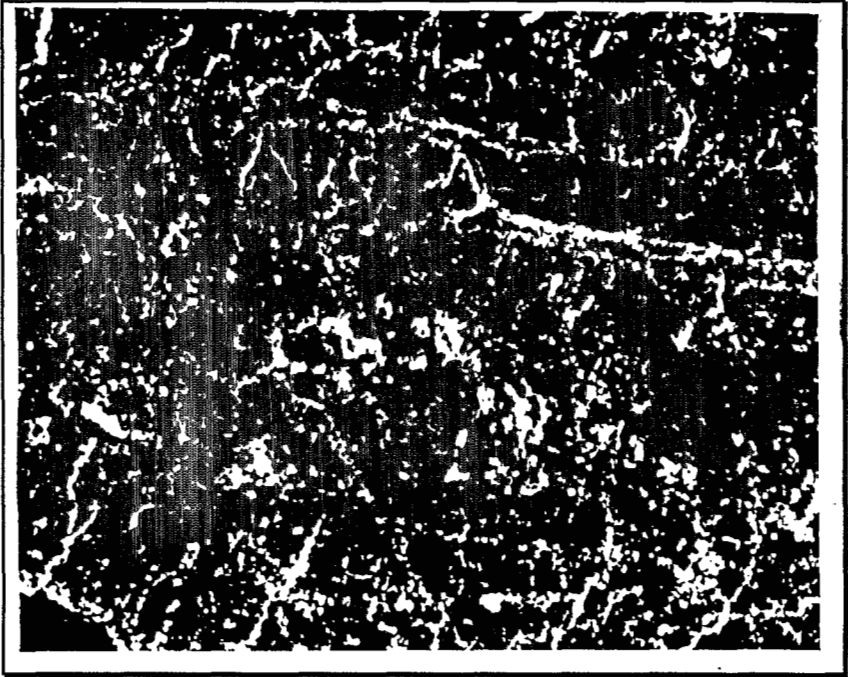


Figure 3. - Sous image SEASAT de 512x400 pixels après transformation en données 8 bytes, réduction du speckle et correction géométrique. Le réseau hydrographique est nettement visible en clair.

Une correction géométrique des données SEASAT par rapport aux données SPOT, est ensuite effectuée par une méthode de points d'amers. L'erreur résiduelle est de 1,5 pixel. Elle est liée à la forte sensibilité des données radar à la topographie.

A partir de l'image SPOT corrigée et des données radar prétraitées, des négatifs haute définition au 1/400 000 ont été fabriqués sur un drum-scanner au SERTIT (Service Régional de Traitement d'Image et de Télédétection de Strasbourg).

Nous appellerons données "brutes" dans la suite du texte, les données obtenues par ces traitements préliminaires.

4 - INTEGRATION PAR PROCÉDES PHOTOGRAPHIQUES

4.1 Principes

La méthode photographique correspond à la substitution lors du tirage photographique d'un des trois plans images (cyan, magenta, jaune), attribués classiquement aux canaux XS3, XS2 et XS1 de SPOT, par les données SEASAT. Il ne s'agit pas d'une technique nouvelle. Elle a été testée avec succès dans le but d'augmenter la résolution spatiale, lors de la combinaison de données MSS et SEASAT, respectivement de 80 et 25 mètres de résolution (Daily *et al.*, 1979; Wong et Orth, 1980). A partir de données aéroportées radar et de simulation SPOT, Royer *et al.* (1983) ont mené une approche similaire.

Cette méthode nécessite un recalage précis des données. Cependant du fait de la non simultanéité des acquisitions, les changements dans le paysage induisent localement des anomalies. Les plus importantes sont observables dans les zones situées en bordure de mer, grèves et plages, ainsi qu'au niveau du ria du Goyen. Elles sont liées à des hauteurs différentes de marée lors des deux acquisitions. L'évolution du paysage urbain cause également quelques problèmes, tel celui rencontré au niveau de l'aéroport de Quimper qui a été agrandi entre les deux dates de prise de vue.

4.2 Résultats

Quatre combinaisons différentes ont été produites sur des tirages au 1/200 000 et 1/100 000. Les paramètres, tels la saturation, la lisibilité, le contraste apparent, le rehaussement des structures géologiques, ont été analysés. La combinaison x53, x52 et Seasat, respectivement en cyan, magenta et jaune, est de mauvaise qualité. En effet, sur cette image de teinte jaune orange, les contrastes sont médiocres. Les combinaisons x53, Seasat, x52 ou x51 sont de bonne qualité. Le réseau hydrographique soulignant les structures majeures ressort très nettement dans des teintes jaunâtres. Le parcellaire agricole rose, et la mer verte, sont bien individualisés et aisément analysables.

Les meilleurs résultats ont été obtenus par combinaison x52, x53 et Seasat respectivement en cyan, magenta et jaune. Cette image, de teinte générale verdâtre offre les meilleurs contrastes. La perception du parcellaire agricole, présent sur les canaux XS3 et XS2, quasiment absent sur les données radar, est excellente. Le réseau hydrographique, en teinte jaune-orange est bien contrasté ce qui en facilite une interprétation rapide et précise.

5 - INTEGRATION NUMÉRIQUE

Diverses méthodes d'intégration numérique ont été testées: combinaisons linéaires (sommées pondérées, convolutions de canaux bruts ou de canaux rééchantillonnés), ACP et IHS.

5.1 Combinaisons linéaires.

Différents types de combinaisons linéaires ont été comparés: sommes pondérées, valeur absolue d'une somme de carré, tests sur les valeurs minimales et maximales.

Ces traitements ont porté sur des données "brutes", mais aussi sur des données centrées et réduites, la réduction étant effectuée successivement pour des écart-types de 1, 6 et 10. Les données présentant des histogrammes fort différents et dissymétriques (tableau I), l'application d'une transformation logarithmique, afin d'obtenir des distributions plus proche de la normale, a également été testée avant centrage et réduction.

	Min-Max	Moyenne	Ecart-type
SEASAT	7-150	26,71	10,26
XSI	26-103	37,37	4,84
XS2	16-96	27,94	7,40
XS3	9-143	69,63	22,89

Tableau I: Valeurs statistiques de la sous-image 512x512, données "brutes".

Pour les combinaisons linéaires ou pondérées, les meilleurs résultats sont obtenus à partir de données centrées à 100 et réduites avec un écart-type de 10 (tableau II). Les combinaisons selon des rapports 60%/40% (6/4) ou 50%/50% (5/5) des données SPOT et SEASAT sont les plus pertinentes. Sur ces combinaisons le réseau hydrographique est considérablement rehaussé. Il ressort en teinte claire, proche de la saturation tandis que sur des compositions SPOT standard, il apparaissait en teinte très foncée. L'intégration d'un pourcentage supérieur de radar, provoquerait une détérioration des données, par perte de la perception du parcellaire et forte augmentation du bruit de fond.

Les résultats obtenus à partir de la racine carrée de la somme des carrés des données, $RC = \sqrt{SEASAT^2 + XS^2}$, sont proches de ceux obtenus par sommes pondérées (tableau II). Si on utilise des données centrées à 100 et réduites avec un écart-type de 10, le réseau hydrographique est rehaussé sans entraîner une perte du parcellaire agricole.

Dans la méthode des maximum ou des minimum, les néocanaux sont obtenus en affectant la valeur minimale ou maximale des comparaisons successives des données SEASAT et des trois canaux SPOT. Les résultats des tests effectués sont décevants. Le rehaussement du réseau hydrographique s'opère au détriment de la perception du parcellaire. Celui-ci est masqué par un fort bruit de fond.

SPOT/SEASAT	9/1	8/2	7/3	6/4	5/5	4/6	3/7	RC
brutes	0	0-1	1	2	3	↓	↓↓	1
rad. cent. XS3	0	0-1	1	3	2	↓	↓↓	-
rad. cent. XS	0	0-1	1	3	2	↓	↓↓	↓
rad. cent. red 10	0	0-1	1	3	2	↓	↓↓	2
rad. log cent. red 10	0	0-1	2	1	↓↓	↓	↓↓	↓↓↓
rad. log cent red16	0	0-1	↓	1	↓	↓↓	↓↓	↓↓

Tableau II: Comparaisons des résultats obtenus par combinaisons linéaires et RC. 0 à 3: amélioration par les données radar (0, pas d'amélioration; 3 amélioration sensible). Les flèches indiquent la détérioration des données SPOT.

5.2 Analyse en composantes principales, ACP

Les techniques d'analyses en composantes principales peuvent être utilisées pour l'intégration de données satellitaires multisources (Khale *et al*, 1980).

En effectuant l'analyse en composantes principales des données "brutes", XSI XS2, XS3 et SEASAT, on obtient quatre néocanaux qui sont très dépendants des quatre canaux initiaux. En effet, les composantes principales CP1 et CP3 sont fortement corrélées aux données multispectrales SPOT et le facteur CP2 reprend quasi intégralement les données SEASAT (tableau III). Celles-ci ne sont pas du tout intégrées aux données SPOT, par ce procédé qui ne réalise en fait qu'une simple combinaison vidéo comparable aux procédés photographiques déjà décrits.

La visualisation en trois plans image des CP1, CP2 et CP3 de cette ACP à quatre canaux revient en fait à visualiser les facteurs 1 et 2 d'une ACP des trois canaux SPOT, auxquels on aurait associé l'image radar.

	CP1	CP2	CP3	CP4
SEASAT	-0,01	0,99	0,15	0,1
XS1	-0,02	-0,09	0,53	0,84
XS2	-0,07	-0,12	0,83	-0,54
XS3	1,00	0,00	0,07	-0,03

Tableau III: Contribution des données "brutes" SPOT et SEASAT aux composantes principales CP.

Afin qu'une des variables, dans le cas présent XS3 ou SEASAT, ne soit privilégiée lors de l'analyse en composantes principales, il convient de travailler à partir des données centrées et réduites. La moyenne a été fixée arbitrairement à 100 et des écart-types de 1, 5, 10 et 15 ont été testés. Avec un écart-type égale à 1, on ne travaille en combinaison colorée que sur quatre valeurs de niveau de gris; l'image obtenue est peu contrastée et saturée. Il convient donc de travailler avec des écart-types supérieurs à 1. Les résultats obtenus pour des écart-types de 5, 10 et 15 sont semblables. Les contributions des canaux XS1, XS2, XS3 et SEASAT restent sensiblement les mêmes (variations inférieures à 0,05) Les résultats obtenus avec un écart-type de 10 sont portés sur le tableau IV.

Les résultats sont très pertinents. Sur les compositions colorées, CP1, CP2 et CP3 respectivement en RVB, le réseau hydrographique est nettement rehaussé. Il ressort en bleu sur un fond de parcellaire vert à orange-brun. Des zones plus humides non repérées sur les images SPOT sont mises en évidence au sein des parcelles agricoles (fig 4).

Des tests ont été également menés à partir des données rééталées au moyen d'une fonction logarithmique puis centrées et réduites, avec des écart-types de 6 et 10. Les résultats sont médiocres, un peu meilleurs avec un écart-type de 10 que de 6, car si on rehausse bien l'information hydrique, ceci s'accompagne d'une diminution de la perception du parcellaire.

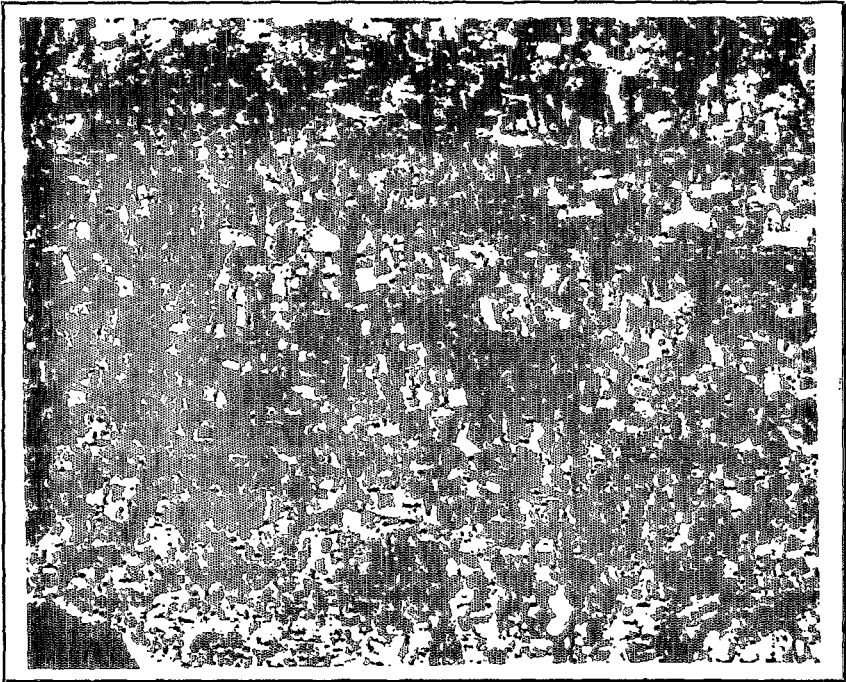


Figure 4 - Vue en teinte de gris de la composition colorée obtenue à partir des trois premiers facteurs de l'ACP des canaux SPOT et SEASAT centrés à 100 et réduits à un écart-type de 10.

	CP1	CP2	CP3	CP4
SEASAT	-0,07	-0,65	0,76	-0,01
XS1	0,76	0,11	0,15	-0,62
XS2	0,63	-0,05	0,03	-0,77
XS3	-0,13	0,75	0,64	0,13

Tableau IV: Contribution des données centrées et réduites SPOT et SEASAT, écart-type de 10, aux composantes principales CP.

5.3 Intégration par IHS

Les méthodes d'intégration des données par IHS sont de plus en plus utilisées pour combiner des données multisources, satellitaires multispectrales, géophysiques, géochimiques (Wech et Ehlers, 1987, Harris et Murray, 1989, Carper *et al.*, 1990). La transformée IHS, permet le passage en coordonnées sphériques, où les couleurs sont codées en terme de saturation, teinte et intensité (Gillepsie *et al.*, 1986). L'intégration par IHS est réalisée en substituant l'intensité calculée à partir des trois canaux SPOT par les données radar seules ou combinées (fig 5). Le retour en espace de couleur RVB, s'effectue au moyen d'une transformée inverse.



Figure 5 - Canal Intensité établi à partir des trois canaux XS de SPOT.

Le problème majeur de l'intégration par IHS est le poids accordé au substitut du canal Intensité (Carper *et al.*, 1990). Dans le cas présent le substitut est de la forme $[(\alpha * SEASAT + \beta * XS3 + \delta)]$ avec α égal à 1 ou 2, β prenant les valeurs de 0, 1, 1.5, 2 et 3, et δ étant pris à 0 ou à la moyenne de XS3 (fig 6). Les tests ont été effectués à partir des données XS et SEASAT "brutes" et de données réétalées et centrées: moyenne à 100 et écart-type à 10. Des tests sur le centrage et la réduction du substitut sur le canal Intensité ont également été menés.

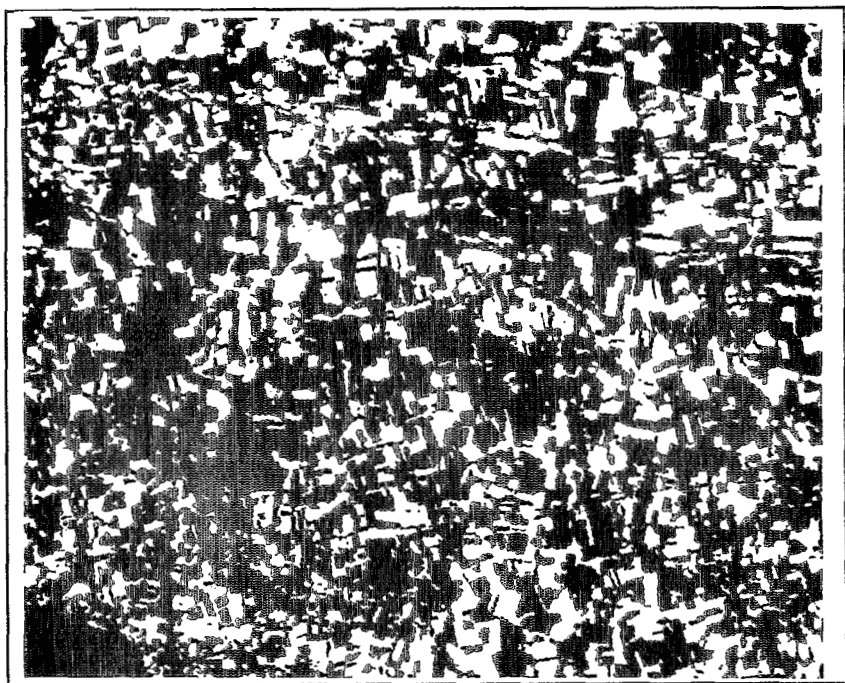


Figure 6 - Sous image SPOT, canal XS3. On notera l'importance du parcellaire agricole.

De façon générale, le centrage et la réduction des données utilisés pour la transformation en IHS ou pour la substitution du canal Intensité, apportent des résultats de qualité inférieure à ceux obtenus à partir des données "brutes".

Si le radar "brut" est substitué au canal Intensité ($\alpha = 1, \beta = 0$ et $\delta = 0$), il prend un poids trop important lors de la transformée inverse. Le parcellaire alors n'est plus perceptible, on a une diminution de l'information.

Les meilleurs résultats ont été obtenus à partir de données brutes et avec les paramètres suivants: $\alpha = 1, \beta = 3$ et $\delta =$ moyenne de x53 (fig.7). Le réseau hydrographique est fortement rehaussé, il apparait dans des teintes très claires, le parcellaire agricole est préservé lors de la transformé inverse.



Figure 7 - Néocanal obtenu par combinaison linéaire du canal XS3 de SPOT et des données SEASAT centrées sur la moyenne des comptes numériques du canal XS3. Ce néocanal est substitué au canal Intensité lors de la transformation inverse permettant le retour dans un espace de couleurs RGB.

CONCLUSION

Combinées aux images multispectrales, les données radar se révèlent riches d'enseignements. Elles soulignent les traits structuraux existants, font apparaître de nouvelles informations dans les zones humides, accentuent les phénomènes liés à la topographie et à la morphologie. La méthode d'intégration photographique nécessite peu de temps de calcul et de développement et offre de très bons résultats graphiques. Les traitements numériques permettent une maîtrise du poids relatif accordé aux données hyperfréquences, par rapport aux données multispectrales.

Pour les combinaisons linéaires, les sommes pondérées selon un rapport 6/4 ou 5/5, des données SEASAT et SPOT centrées et réduites offrent de bons résultats. En utilisant une transformation en IHS, des résultats de bonne qualité sont obtenus. Il est nécessaire pour cela de remplacer le canal Intensité par une combinaison linéaire SEASAT-XS3. Cependant, c'est en pratiquant une ACP sur les trois canaux SPOT et sur les données SEASAT, tous centrés à 100 et réduits à un écart-type de 10, qu'a été réalisée l'intégration numérique des données SEASAT et SPOT la plus pertinente. La représentation optimale est obtenue avec une composition colorée en RVB des trois premiers facteurs de l'ACP.

Ce premier travail méthodologique réalisé avec des données anciennes SEASAT est tout à fait encourageant. Il permet de préparer l'arrivée des données ERS1 qui seront de meilleures qualités et apporteront encore plus de compléments aux données multispectrales SPOT. En effet, pour les objectifs thématiques géologiques qui sont les nôtres, l'intégration des données multispectrales et des données hyperfréquences semble être la solution la plus prometteuse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Braux C., Delpont G., Bonnefoy D., Cassard D. et Bonnemaïson M., 1990: Interpretation of remote sensing data over the South Armorican shear zone (Brittany-France): a contribution to exploration for gold mineralization. In "Remote Sensing and operational technology for mining and petroleum industries", Londres, 29-31 october 1990.
- Carper W.J., Lillesand T.M. et Kiefer R.W., 1990: The use of Intensity-Hue-Saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data. *Phot. Eng. Remote Sensing*, vol. 56, 4, pp. 459-467.
- Daily M.I., Farr T., Elachi C and Schaber G., 1979 : Geologic interpretation from composited radar and Landsat imagery. *Phot. Eng. Remote Sensing*, vol. 45, 8, pp. 1109-1116.
- ERDAS, 1988. Sun System User's Guide. - Version 7-3, Erdas Inc, Atlanta.
- Gillepsie A. R., Kahle A. B. et Walker R.E., 1986: Color enhancement of highly correlated images. I. Decorrelation and HSI contrast stretches. *Remote Sens. Env.*, 20, pp. 209-235.
- Gouronnec Ph., Jouvin F., Philippe Y. and Rolet J., 1986: Cadre structural du magmatisme hercynien au Nord de la zone broyée sud-armoricaine. *Rapport C.E.A.*, n° 14.934, 4 fasc.
- Harris J. et Murray, 1989: IHS transform for the integration of radar imagery with geophysical data. Seventh Thematic Conference on remote Sensing for Exploration Geology. Calgary, Canada, October 2-6 1989.
- Jégouzo P., 1980: The south armorican shear zone. *J. Structural Geology*, vol. 2, pp. 39-47.
- Khale A. B., Madura D. P. et Soha J. M., 1980: Middle infrared multispectral aircraft scanner data: analysis for geological applications. *Applied Optics*, 19, 14, pp. 2279-2290.
- Lee J. S., 1983: A simple smoothing algorithm for the synthetic aperture radar images. *IEEE Trans. Syst. man Cybern.*, SMC-13, pp. 85-89.
- Matte P., 1986: Tectonics and plate tectonics model for the variscan belt of Europe. *Tectonophysics*, vol. 126, pp. 329-374.

- PLANETES, 1988: Guide l'utilisateur de Planètes. Rakoto M., H. Andrianasolo H. et Mering C., Rapport Orstom, Paris, 130 p.
- Rolet J., Le Gall B., Darboux J.R., Thonon P. et Gravelle M., 1986: L'évolution géodynamique dévono-carbonifère de l'extrémité de la chaîne hercynienne d'Europe sur le transect Armorique-Cornwall. Bull. Soc. Géol. Fr., (8), t. II, 1, pp. 43-54.
- Rolet J. et Yésou H., 1990: Apport de l'imagerie SPOT à la reconnaissance en pays couvert de plans de cisaillement C et de schistosité S. Le cas du Cisaillement Sud Armoricaïn. C. R. Acad. Sc, t. 3 1 1 , Série II, pp 1 075 - 1 080.
- Royer A., Vincent P., Dubé C. et Bonn F., 1984: Corrélations entre les documents satellites, levés radar, thermographiques et multispectraux en vue d'une interprétation géomorphologique d'une région du Sud du Québec. In "8e Symposium Canadien de Télédétection", ed. Thomson K.P.B. et Bonn F., pp. 717732.
- Welch R. et Ehlers M., 1987: Merging multiresolution SPOT HRV and Landsat TM data. Phot. Eng. Remote Sensing, vol. 53, 3, pp. 301-303.
- Wong F.H. and Orth R., 1980: Registration of SEASAT/Landsat composite image to UTM coordinates. In "4e Symposium Canadien de Télédétection", pp. 161-164.
- Yésou H. et Rolet J., 1990 :Regional mapping of the south-armorican shear zone (Brittany- France) using remotely sensed SPOT imagery. Photogrammetria., 45, pp 419-427.