

## ملخص:

إن الاعتراف بمساهمة صور الرادار ضمن التطبيقات الموضوعية يشجع على استعمالها. التحليل المزدوج للصور متعددة الطيف البصري والرادارية يعطينا إذن آفاقاً جديدة فيما يخص إنجاز بعض التطبيقات هذا بفضل إنجاز دمج يسمح باستعمال بصفة أفضل للتأزر الذي ينتج عن مثل هذه التجمعات.

هذه الدراسة مخصصة لإدراج معطيات متعددة الالتقاط أي بمعنى البصرية و الرادارية لغرض إظهار تأزر الصور المتعددة الطيف (XS) لسبوت و SAR (ERS-2). في هذا المقال قمنا بدراسة حالة لأجل تطبيق منجز في منطقة وهران (الجزائر) حيث نقوم بعرض خصوصيات و مختلف مراحل التحضير للمعطيات المختلفة الواجب دمجها. تمت دراسة حالتان تهدفان إلى إظهار مساهمة التصوير بالرادار، نقوم في الحالة الأولى بتصنيف مسير بعد توحيد و دمج الصورتان. في الحالة الثانية نهتم بشرح و تفسير كل بكسال (pixel) من الصور Spot و RSO التي سبق تصنيفها.

## Résumé :

La reconnaissance de l'apport des images radar, au sein des applications thématiques, favorise leur utilisation. L'analyse conjointe des images multispectrales optiques et radar offre alors de nouvelles perspectives quant à la réalisation de certaines applications, grâce bien sûr à la conception de processus de fusion permettant d'exploiter au mieux la synergie qui découle de tels regroupements.

Cette étude est consacrée à l'intégration des données multicapteurs en l'occurrence optique et radar dans le but de mettre en exergue la synergie des images multispectrales (XS) de SPOT et Radar à Ouverture Synthétique (ROS) PRI d'ERS-2. Nous avons traité, dans ce document, une étude d'un cas pour une application exécutée sur la zone d'Oran (Algérie). Nous y exposons les spécificités et les différentes phases de préparation des diverses données à fusionner. Deux cas de figures visant à mettre en exergue l'apport de l'imagerie radar ont été étudiés et on procédera, dans le premier cas, à une classification dirigée après la normalisation et la fusion des deux images. Dans le deuxième cas, on s'intéressera à l'interprétation, pixel par pixel, des scènes SPOT et RSO préalablement classifiées.

**Mots Clés:** Radar à Synthèse d'ouverture (RSO) Filtrage, Fusion de données, données multispectrales, données multicapteurs, données multisources, Classifications d'images, Matrice de confusion, coefficient Kappa.

## Abstract :

The recognition of the contribution of the radar images within thematic applications promote their use. The joint analysis of multispectral optical and radar images offer new prospect as to realization of some applications, thanks of course to fusion process making possible to take advantage of synergy following such regrouping.

This study is conscrate to multisensor data integration, optical and radar data in this case, in the aim to point out the synergy of optical (SPOT) and SAR (ERS-2). In this paper, a case of study for an application executed in Oran area (Algeria) is treated. The specificity and the different steps for preparation of various data to combine is exposed. Two exemples aiming at in underling the contribution of radar imagery were studied and we proceed in the first case to a supervised classification after normalization and fusion of both data. In the second case, we take an interest to interpretation, pixel by pixel, of SPOT and SAR images classified in advance.

## I- Introduction

L'observation de la Terre depuis l'espace contribue, dans une large mesure, au suivi et à la discrimination de régions naturelles, ainsi qu'à la compréhension de nombreux processus de l'environnement. Parmi les techniques utilisées par les capteurs de télédétection, les plus connues sont certainement celles opérant dans le domaine du visible et de l'infrarouge; les images fournies par certains satellites (Landsat, SPOT), utilisant ces techniques, sont en effet largement diffusées.

Cependant, depuis la conception des systèmes «Radar à Synthèse d'Ouverture» RSO (ou SAR en anglais: *Synthetic Aperture Radar*) permettant l'acquisition d'images de forte résolution spatiale (de l'ordre de 10 mètres), l'application

des techniques hyperfréquences à la télédétection connaît un essor grandissant, dont témoigne le développement de capteurs spatiaux tels que ceux embarqués par les satellites ERS (*European Remote Sensing Satellites*), Radarsat, Envisat.

L'avantage de la combinaison est conditionné par la qualité des données prises en considération. Une meilleure certitude des analyses et des décisions est alors assurée grâce à l'usage des images multicapteurs et/ou multisources. Dans ce travail, l'usage des capteurs HRV de SPOT et RSO d'ERS-2 comme sources d'informations complémentaires pour une meilleure classification paraît être évident.

Les données optiques contiennent de l'information sur les propriétés des réflectances du terrain observé dans le spectre



visible et infrarouge, pendant que pour le radar, la rétrodiffusion est déterminée par les propriétés diélectriques et géométriques (l'humidité et la rugosité de surface). Les réflectances des images optiques et les rétrodiffusions des images micro-ondes sont largement complémentaires, ce qui devrait mener à une amélioration de l'exactitude de la classification par la fusion des diverses données. Nous avons testé cette possibilité lors d'une étude d'un cas sur la région d'Oran. L'étude présentée, porte sur la fusion d'images RSO d'ERS-2 et XS de SPOT acquises au mois d'Avril 2001.

Du fait de la nature très différente des deux produits, les problèmes à résoudre sont, dans une première étape, le prétraitement, la correction géométrique et le rééchantillonnage de chacune des images puis, dans une seconde étape, la caractérisation de leur contenu en vue d'une classification par rapport à l'objectif fixé.

Nous serons amenés, par la suite, à définir un processus de classification prenant en considération la complémentarité des deux types de données, en l'occurrence l'image SPOT et l'image d'amplitude RSO d'ERS. L'application à laquelle seront destinées les images est importante car elle spécifie le conditionnement et la stratégie à suivre pour les associer.

Deux cas de figures visant à mettre en exergue l'apport de l'imagerie radar sont étudiés : Le premier cas porte sur la fusion des deux images où les données sont d'abord normalisées, combinées, ensuite une classification supervisée est exécutée et validée par rapport à la réalité terrain. Dans le second cas les images RSO et SPOT ont été préalablement classifiées. La fusion intervient, après la validation et la quantification de la qualité des deux résultats, par le biais de règles de décision.

## II- Description de la zone d'étude

La zone d'intérêt est située dans la région d'Oran et est délimitée par les points (695 000 m, 3 942 000 m) et (712 500 m, 3 957 500 m). La région est choisie pour la diversité des thèmes qu'elle contient (mer, forêt ou buissons, cultures, zones urbaines...) et pour sa topographie relativement accidentée (dénivelée de presque 580 m) qui pose de gros problèmes pour les prétraitements (essentiellement pour l'image radar).

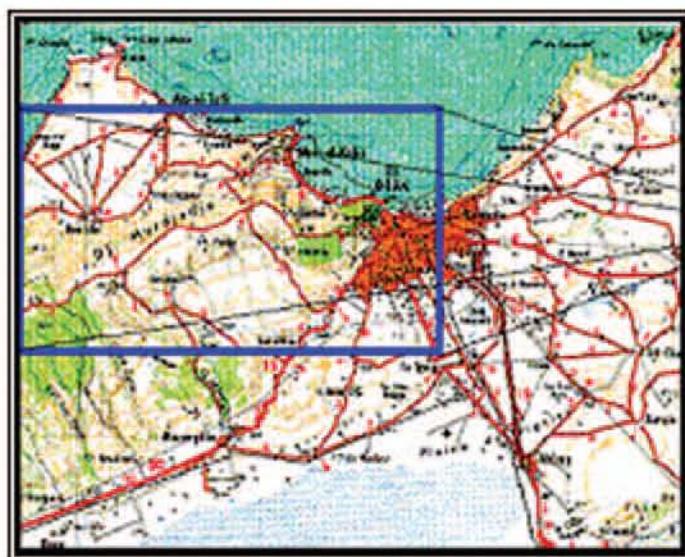


Fig. 1 : Délimitation de la zone d'étude sur un extrait de la carte d'Oran au 1/200 000.

## III- Données utilisées

Les données utilisées dans cette étude sont deux coupures de 690 x 910 pixels extraites d'une image RSO-PRI d'ERS-2 et d'une scène XS de SPOT de la région d'Oran prises au début Avril 2001.

### III-1- Spécificités des données optiques et radar

Nous avons l'habitude d'analyser les images issues des satellites SPOT ou Landsat ou d'autres capteurs travaillant en lumière visible ou proche infrarouge 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 dans des zones de longueurs d'onde très courtes centrées autour de 550 nm. La vision de SPOT est donc raisonnable au sens où l'image correspond au type de raisonnement qui participe à la vision humaine. 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 des objets nous est naturellement une notion familière.

Dans le cas d'ERS, avec sa longueur d'onde de 5 cm, nous savons que la visée s'effectue dans la direction de l'illumination. Le raisonnement de la vision diffère donc de celui de l'imagerie optique. Jamais on aura, par exemple, de points chauds que l'on observe dans les photographies aériennes lorsque le soleil se trouve en face de la caméra par rapport au nadir. Sur l'image radar nous avons une multitude de points chauds répartis sur l'ensemble de la scène. Il est évident que l'orientation des objets comme des rangs de labour conditionnent grandement la mesure de l'amplitude faite par le radar. A fortiori, le bâti présente souvent une très forte réflexion par le fait qu'on a à faire à des objets manufacturés qui ont une propriété un peu particulière. En règle générale l'angle formé par la base et la façade de la bâtisse est de 90°, pour tous les objets de ce type, dont le sommet est perpendiculaire à la direction de la visée, la réflexion sera très forte. Dans ces circonstances, l'image va privilégier les bâtiments dont la façade est perpendiculaire à la direction de visée.

## IV- Prétraitements

Outre la phase du géoréférencement et de la superposition des deux images, les Prétraitements concernent essentiellement les images radar qui sont très bruitées par le speckle. Le travail à ce niveau consiste à mettre en œuvre les différentes techniques de filtrage du speckle proposées dans la littérature. Par ailleurs, dans certaines régions, le relief très accidenté limite l'utilisation de l'imagerie radar. On note un manque d'outils adaptés pour traiter les déformations géométriques et radiométriques rencontrées dans ce cas.

### IV-1- Filtrage des données RSO

Le radar imageur est un système d'imagerie cohérent où chaque élément rétrodiffuseur se comporte comme une source émettant une onde elle-même cohérente qui peut interférer en tout point dans l'espace, dans le cas où l'interférence serait constructive on obtient une tâche brillante, sombre dans le cas contraire. Cet effet est appelé "speckle". Sa réduction par un filtrage peut être satisfaite par différentes méthodes, entre autres la technique de la multivue (pendant la formation de l'image) et d'autres méthodes de post-traitement.



En pratique, le filtrage s'avère nécessaire afin de réduire l'effet du speckle, pour assurer une meilleure interprétation. Plus particulièrement les filtres adaptatifs qui présentent relativement une meilleure qualité.

Le choix du filtre le plus approprié se fera après avoir testé tout les filtres adaptatifs (Frost, Lee, Kuan, ... etc.) tout en variant la taille de la fenêtre ainsi que le nombre d'itérations, l'indice du speckle sera le critère de validation de notre choix, il est donné par :

$$I_s = \frac{\sqrt{\sigma}}{\mu}$$

Nous avons testé quatre filtres (disponibles) en variant la taille de la fenêtre et le nombre d'itérations pour prétraiter notre image radar, à savoir : le filtre de Lee, Kuan, Frost et le filtre Gamma. Comme on peut aisément le constater sur la figure. 2, le filtre de Frost, avec le coefficient de variation le plus optimal, semble être le filtre le plus adéquat pour la suite de nos travaux.

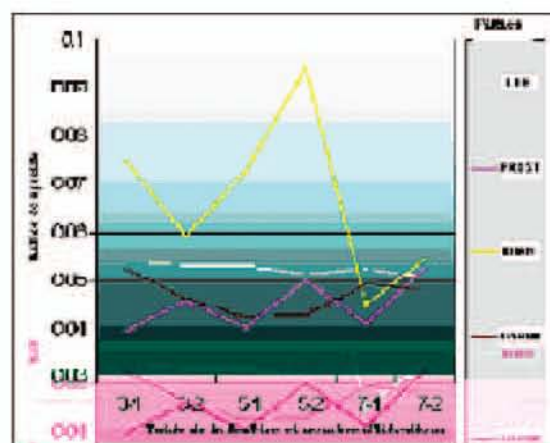


Fig. 2 : Courbes des indices de speckle relatifs aux différents filtres en fonction de la taille de la fenêtre et du nombre d'itérations.

Chaque filtre utilisé dans le cadre de ce travail se distingue des autres méthodes de filtrage par son principe d'estimation. Comme déjà vu, il existe des filtres qui réduisent le bruit sans une préservation optimale des contours. D'autres filtres permettent une bonne préservation des caractéristiques linéaires, mais au prix d'une mauvaise élimination du bruit.

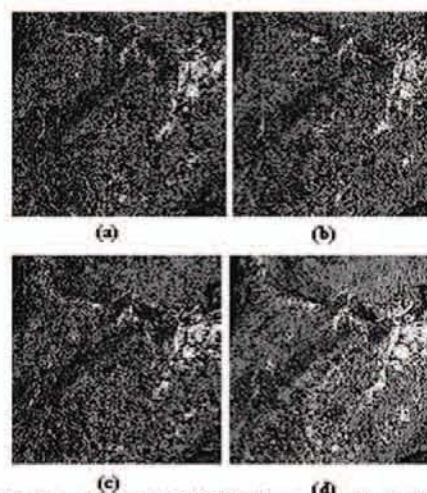


Fig. 3 : Image RSO filtrée par : (a) le filtre de LEE, (b) le filtre de FROST, (c) le filtre Gamma et (d) le filtre de KUAN

#### IV-2- Géoréférencement & Superposition des images:

Après acquisition et prétraitement des scènes, le géocodage consiste à positionner chaque pixel de l'image brute par rapport à une carte géographique (ou à une autre image) afin de la rendre superposable aux autres images de capteurs différents et à d'autres cartes (topographiques et/ou thématiques); En d'autres termes, cela se ramène à appliquer des distorsions à l'image brute pour caler chaque pixel par rapport à une référence. La transformation vers une projection de référence permet en effet de localiser précisément les objets au sol en les dotant de coordonnées géographiques. Mais elle permet aussi de procéder à leur orthorectification, ou alors de les intégrer, de les traiter ou de les visualiser dans un SIG ou toute autre base de données géoréférencées.

Les points de calage utilisés pour la correction géométrique des deux images ont été repérés sur les cartes d'Oran au 1 / 25.000 (les quatre coupures) du fait qu'elles sont les plus récentes des cartes disponibles (Révisées en 1988). Par ailleurs, on observe de fortes distorsions sur l'image RSO dues principalement au relief et à la nature des images radar. Les principales étapes de la correction géométrique des deux images ont été : la saisie des points Amers sur les images et sur la carte d'Oran, le calcul du modèle de correction, et ensuite la génération des images corrigées.

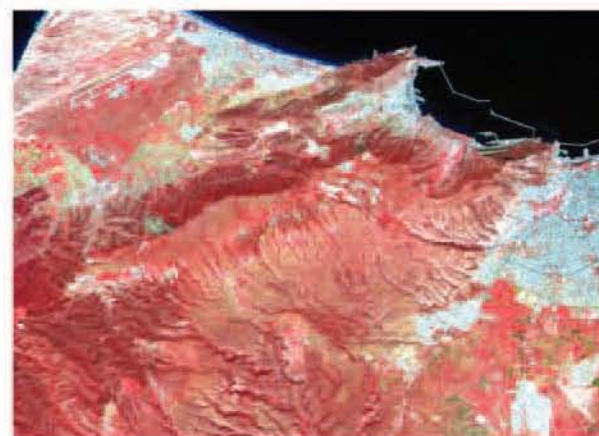


Fig. 4 : Image SPOT corrigée par rapport à la carte d'Oran UTM au 1/25 000.

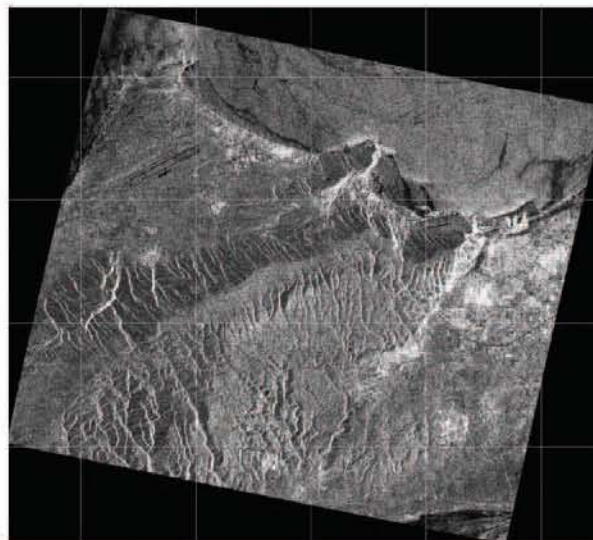


Fig. 5 : Image PRI d'ERS-2 corrigée par rapport à la scène SPOT géoréférencée.



Pts Amer	Coord. Carte (m)		Coord. Image (Pixel)		Préc (Pixel)
	X	Y	Colonne	Ligne	
01	700125.0	3956975.0	2000.43	729.50	0.59
02	710000.0	3955725.0	2500.00	726.93	0.15
03	711515.0	3949507.5	2613.75	1021.88	0.12
04	711050.0	3946725.0	2608.88	1160.46	0.19
05	714712.5	3955175.0	2736.43	721.98	0.05
06	701525.0	3953100.0	2095.08	911.48	0.45
07	701362.5	3954975.0	2074.81	820.96	0.65
08	699625.0	3950532.5	2017.89	1050.99	1.12
09	699725.0	3943575.0	2065.93	1398.25	0.07
10	709225.0	3943025.0	2545.96	1374.03	0.08
11	698270.0	3942682.5	1997.57	1435.25	0.07
12	698150.0	3952750.0	1929.6	953.38	0.58

Table.1 : Positions des points Amer sur la carte d'Oran au 1/25 000 et leurs homologues sur la scène SPOT et qualité de la correction.

Pts Amer	Coord. XS-SPOT (pixel)		Coord. PRI-RSO (Pixel)		Préc (Pixel)
	Colonne	Ligne	Colonne	Ligne	
0 1	133.00	677.00	293.07	1116.78	0.23
0 2	697.75	872.00	1178.63	1491.84	0.38
0 3	266.00	473.67	514.43	803.01	1.55
0 4	913.50	763.75	1526.69	1338.86	0.19
0 5	841.80	376.60	1435.50	654.00	0.14
0 6	932.40	638.40	1576.92	1068.14	0.47
0 7	595.00	291.75	1053.16	515.66	0.03
0 8	784.20	710.40	1325.72	1234.37	0.76
0 9	345.67	81.33	656.60	179.56	0.47
1 0	426.83	461.50	768.22	819.57	0.63
1 1	348.80	254.60	655.44	460.75	0.38
1 2	225.50	331.00	448.10	581.92	0.75
1 3	436.86	311.57	796.46	554.07	0.58

Table.2 : Positions des points Amer sur la scène SPOT et leurs homologues sur l'image RSO et qualité de la correction.

On remarque d'après les tables 1 et 2 que la précision obtenue après correction est de l'ordre du pixel pour l'image RSO et du demi-pixel pour l'image XS.

## V- Processus classificatoire développé:

Deux cas de figures visant à mettre en exergue l'apport de l'imagerie radar ont été étudiés et exécutés. Le premier cas porte sur la fusion des deux images avant d'établir une classification dirigée (Distance Minimum). Le second intervient à l'étape finale où l'on s'intéresse à la fusion, *pixel par pixel* par le biais de règles de décision, des résultats obtenus à partir des scènes SPOT et RSO préalablement classifiées.

### V-1- Première méthode:

Les données sont d'abord normalisées, combinées, ensuite une classification supervisée (Distance Minimum) a été exécutée et validée par rapport à la réalité terrain.

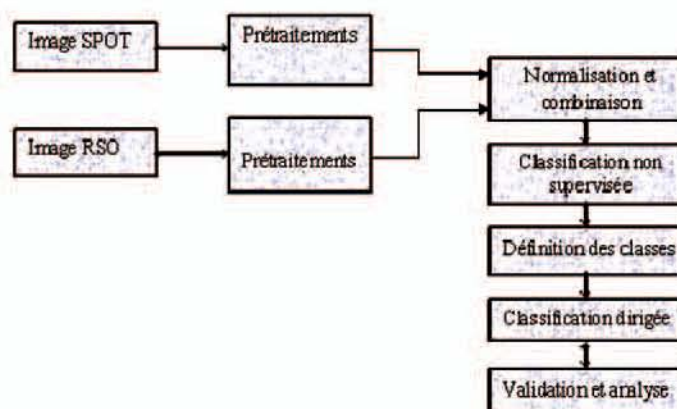


Fig.6 : Organigramme du processus de classification (1er cas).

Le prétraitement des deux images a consisté, dans une première étape, à géoréférencer les deux images par rapport au système de projection cartographique U T M puis à la superposition "image à image" de la scène RSO par rapport à l'image XS. Dans la seconde étape, l'image RSO est filtrée après un choix rationnel du filtre le plus approprié (Frost).

Les deux scènes sont ensuite normalisées par l'écart-type, puis on procède à la simple multiplication des trois canaux XS normalisés par le canal RSO normalisé.

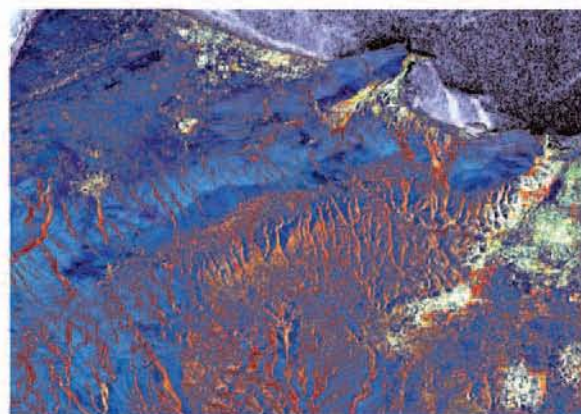


Fig. 7 : Composition colorées des trois canaux XS normalisés et combinés au canal RSO normalisé.

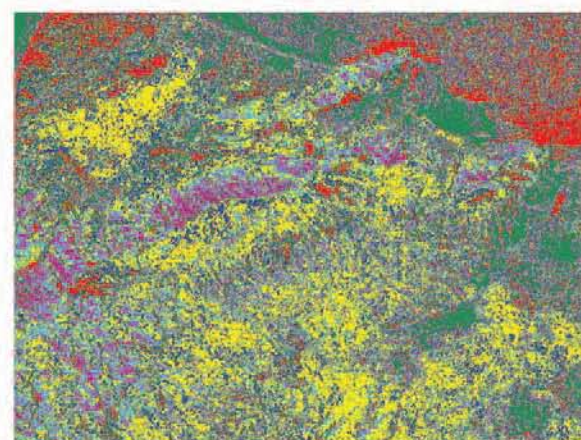


Fig. 8 : Classification non-supervisée (K-means) de la CC, avec huit classes,



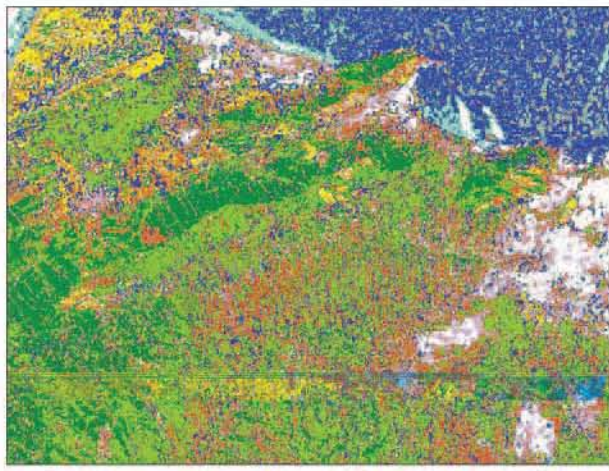


Fig. 9 : Classification supervisée (Distance Minimum) de la Composition colorée des canaux XS normalisés combinés au canal RSO normalisé.

Un nombre de huit classes a été considéré pour la classification non supervisée (Fig. 8) de la composition colorée des trois canaux XS-1,2 et 3 normalisés et combinés (chacun) avec le canal RSO normalisé. La classification de l'image SPOT "seule" sert de base pour la classification supervisée par la méthode "Distance Minimum" de la composition colorée de la combinaison des données optiques et RSO. Les classes considérées sont : la classe des zones bâties, la classe des cultures, les jachères, le thème "Forêt + Maquis", la classe "Mer", "Ressac" ainsi que la classe du "Sol Nu" et celle du "Voile sableux".

Classes	Commission (%)	Omission (%)
Ressac	4.95	7.69
Mer	44.68	50.94
Voile sableux	50.00	5.68
Sol Nu	88.33	94.74
Bâtis	26.67	0.00
Cultures	44.62	46.27
Jachère	34.42	32.67
Forêt + Maquis	25.00	33.13
Précision de la classification	62.5 %	
Le coefficient KAPPA	0.57	

Table. 3 Gains et pertes ( en % ) pour chaque thème, ainsi que la précision de la classification

Les résultats obtenus sont tributaires de la capacité du filtrage à d'ébruiter l'image radar ainsi que la méthode de normalisation. On note, cependant, plusieurs confusions dues aux caractéristiques spéciales de l'image RSO d'ERS à savoir : les distorsions dues au relief, à la rugosité de surface. D'après la table 3, on observe des confusions entre les thèmes "Mer", "Culture" et "Sol Nu", entre le thème "Voile Sableux", le thème "Sol Nu" et le thème "Jachère" qui sont probablement dues aux erreurs de photo-interprétation, de classification et de superposition de l'image SPOT et l'image RSO et aussi aux niveaux de rugosité équivalents présentés par l'image RSO. La précision obtenue est de 62.5 % avec un KAPPA égale à 57 %.

## V-2- Deuxième méthode:

Dans ce cas, les images RSO et SPOT ont toutes deux été préalablement classifiées. La fusion intervient après la validation et la quantification de la qualité des deux résultats. Les différentes étapes exécutées sont :

- \* Classification supervisée de l'image optique (Maximum de vraisemblance).
- \* Validation et analyse de la classification.
- \* Transformation en couleurs synthétiques de l'image radar.
- \* Définition des classes (niveaux de rugosité) présentes dans l'image RSO.
- \* Classification supervisée de l'image radar (Distance minimum).
- \* Validation de la classification.
- \* Fusion des deux résultats sur la base des règles de décisions.
- \* Validation et discussion des résultats.

La figure 10 schématise l'organigramme du processus classificatoire exécuté dans ce deuxième cas.

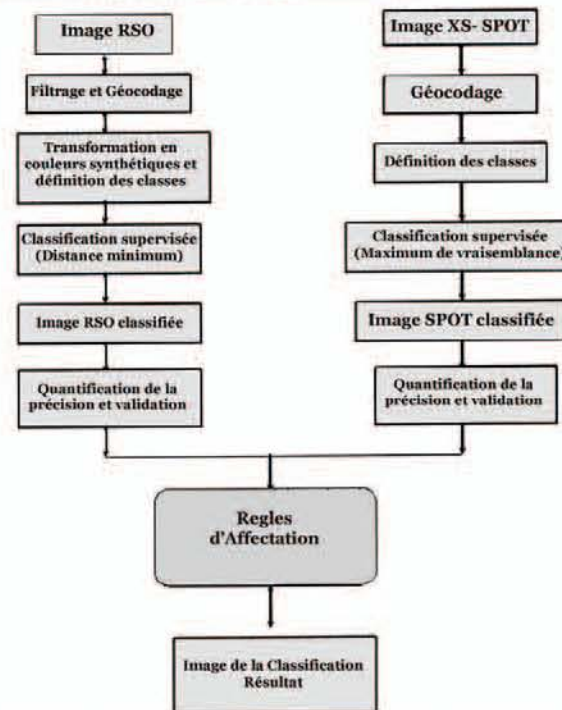


Fig. 10 : Organigramme du processus de classification intégrant l'imagerie RSO (2ème cas)

La classification de la scène SPOT s'est déroulée comme suit : Définition des classes, extraction des échantillons, classification supervisée par la méthode du "Maximum de Vraisemblance" et enfin la validation de la classification (matrice de confusion).



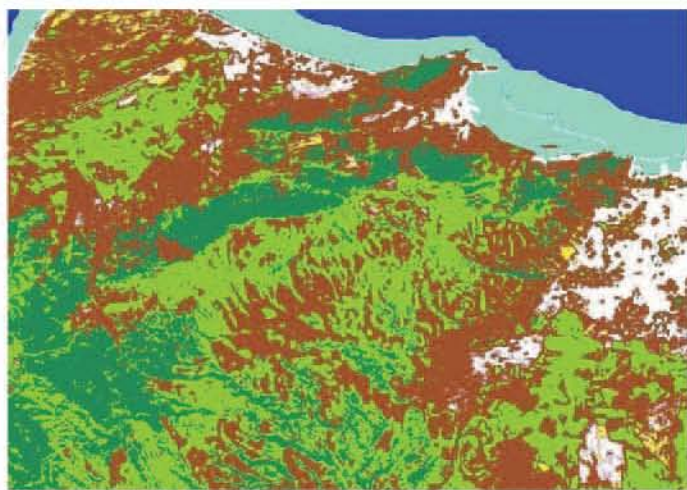


Fig. 11 : Classification supervisée de l'image XS-SPOT par la méthode du Maximum de vraisemblance.

Classes	Commission (%)	Omission (%)
Ressac	0	0
Mer	0	0
Voile sableux	26.67	58.49
Sol Nu	36.97	14.05
Bâtis	0.99	0
Cultures	0	0
Jachère	0.96	0
Forêt + Maquis	0	0
<b>Précision de la classification</b>	<b>91.73 %</b>	
<b>Le coefficient KAPPA</b>	<b>0.90</b>	

Table 4 : Gains et pertes ( en % ) pour chaque thème, ainsi que la précision de la classification de l'image XS.

On procède, pour la classification dirigée de scène RSO, à une analyse texturale de l'image radar par la méthode des "Transformations en couleurs synthétiques" pour la définition des classes dont le nombre a été limité à trois classes. Cette méthode offre de meilleurs résultats pour des régions caractérisées par un relief modéré. Pour les images radar, il est souvent difficile de détecter les variations à basses fréquences à cause des caractéristiques à haute fréquence dues aux variations topographiques à petite échelle. L'information des basses fréquences est habituellement causée par des variations de la rétrodiffusion de couvertures végétales ou de la lithologie. L'interprétation d'une telle image consiste à distinguer des régions de textures différentes. La couleur verdâtre correspond aux zones lisses tandis que les régions à forte rugosité figurent en couleur blanchâtre. Les régions moyennement rugueuses sont en couleur grenat. Les classes ainsi définies sont alors : La classe rugueuse, la classe à rugosité moyenne et celle des régions lisses. La scène radar a été, par la suite, classifiée par la méthode dirigée de la "Distance Minimum" en prenant en considération les trois (03) classes citées.

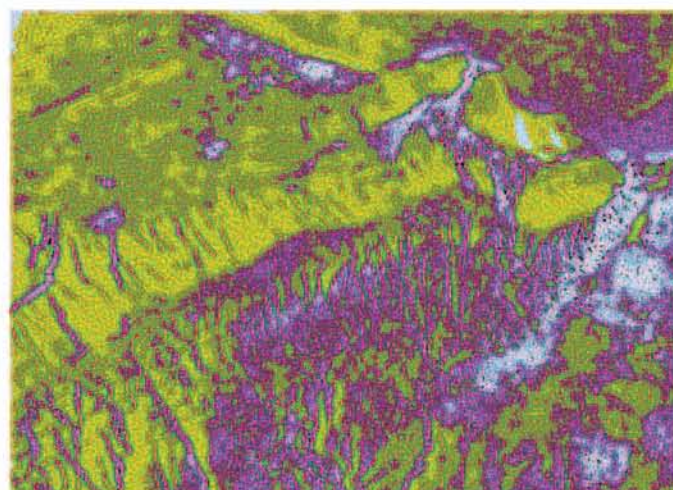


Fig. 12 : Image de la transformation en couleurs synthétiques de l'image RSO filtrée.

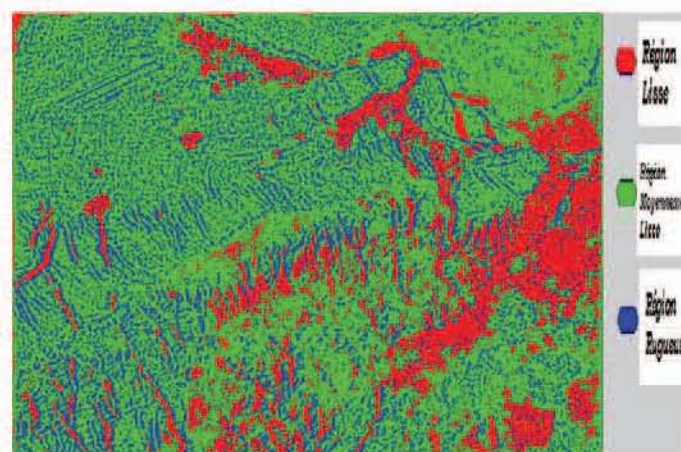


Fig. 13 : Image de la classification de l'image RSO par la méthode de la "Distance Minimum".

Classes	Commission (%)	Omission (%)
Région Lisse	5.06	9.09
Région moyennement Lisse	26.56	21.23
Région Rugueuse	5.06	9.09
<b>Précision de la classification</b>	<b>81.87 %</b>	
<b>Le coefficient KAPPA</b>	<b>0.72</b>	

Table 5 : Gains et pertes ( en % ) pour chaque thème, ainsi que la précision de la classification de l'image RSO.

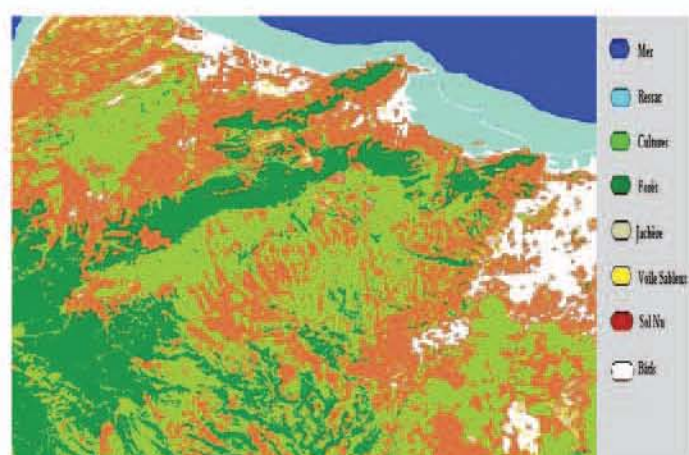


La précision de la classification obtenue est de presque 82 % avec un KAPPA de 72 %. On note, cependant des confusions entre les trois classes qui sont probablement dues à la caractérisation de la rugosité.

La fusion intervient, dans ce cas de figure, après la classification antérieure des deux scènes (RSO et SPOT) et est exécutée selon les règles suivantes :

- \* Si le pixel appartient à la classe rugueuse (RSO) et à la classe sol (SPOT), il sera affecté à la classe Bâti.
- \* Si le pixel appartient à la classe rugueuse (RSO) et à la classe végétation (SPOT), il sera affecté à la classe forêt.
- \* Si le pixel appartient à la classe lisse (RSO) et à la classe sol (SPOT), il sera affecté à la classe sol nu.
- \* Si le pixel appartient à la classe végétale (i) (SPOT), il sera affecté à la classe végétale (i).
- \* Si le pixel appartient à la classe lisse (RSO) et à la classe Bâti (SPOT), il sera affecté à la classe sol nu.
- \* Si le pixel appartient à la classe moyennement lisse (RSO) et à la classe Voile Sableux (SPOT), il sera affecté à la classe sol nu.

Ces tests sont appliqués à chaque pixel dans l'ordre cité et prennent fin quand l'une des règles sera satisfaite. L'indice (i) fait allusion à la classe végétale (maquis ou zones agricoles) issue de la classification de l'image optique. L'ensemble de ces tests ne sera définitif que lorsque tous les cas de confusion (ou la majorité) seraient identifiés et localisés.



**Fig.14** : Image de la combinaison des deux classifications des images XS-SPOT et RSO-ERS2.

Cette méthode donne de meilleurs résultats par rapport à la première avec une amélioration de la précision jusqu'à 87 % avec un KAPPA égale à 0.84.

Dans la table 6, la confusion entre les thèmes "Sol Nu", "Urbain" et "Voile sableux" est due aux erreurs de la classification de l'image optique. Tandis que la confusion entre le thème "Culture" et "Forêt + Maquis" est due à la proximité de leurs réponses spectrales dans l'image optique et des effets d'ombres présents dans l'image RSO.

Classes	Commission (%)	Omission (%)
Urbain	3.77	0.97
Sol Nu	58.33	85.98
Voile sableux	51.76	19.61
Ressac	0.00	0.00
Mer	0.00	0.00
Forêt	0.00	8.96
Cultures	2.61	0.00
Jachères	7.03	0.00
<b>Précision de la classification</b>	<b>86.05 %</b>	
<b>Le coefficient KAPPA</b>	<b>0.84</b>	

**Table 6** : Gains et pertes ( en % ) pour chaque thème, ainsi que la précision de la classification résultat de la fusion.

## VI- Conclusion

Différents capteurs fournissent des informations différentes et complémentaires qui lorsqu'elles sont intégrées, peuvent faciliter l'interprétation et la classification des images. Un exemple de cette fusion de données provenant de plusieurs capteurs serait la fusion d'images panchromatiques de haute résolution avec des images multispectrales à faible résolution. On peut aussi combiner des données acquises de façon active et passive. L'imagerie RSO ajoute l'expression de la topographie ou du relief de surface à une image qui en paraît dépourvue.

Dans le cadre de cette étude, nous avons proposé et implanté un processus classificatoire ayant pour objectif d'intégrer différents types de données satellitaires (dans notre cas, XS de SPOT et RSO d'ERS-2 de la région Oranaise). Le traitement d'images est une discipline exigeant une démarche rigoureuse, simple, cohérente et de bon sens, qui demandera l'examen des différentes étapes de la chaîne de traitement. Pour cette raison, On a étudié les spécificités et les différences entre les capteurs XS de SPOT et ROS d'ERS-2 ainsi que les diverses méthodes de fusion de données multicapteurs.

Dans le premier cas, nous avons pris en considération huit classes pour la classification non supervisée (Fig.14) de la composition colorée des trois canaux XS-1, 2 et 3 normalisés et combinés (chacun) avec le canal RSO normalisé. La classification de l'image SPOT "seule" a servi de référence pour la classification dirigée par la méthode "Distance Minimum" de la composition colorée de la combinaison des données XS et RSO. Les classes considérées ont été : la classe de "l'urbain", la classe des "cultures", les "jachères", le thème "forêt + maquis", la classe "mer" et celle du "ressac" ainsi que la classe du "sol nu" et celle du "voile sableux". La précision acquise a été de presque 63 % avec un coefficient KAPPA de 0.57. La deuxième méthode nous offre de meilleurs résultats par rapport à la première avec une précision de presque 87 % et un KAPPA de 0.84 malgré que les données à combiner aient subi le même prétraitement. La différence des deux méthodes réside dans le fait que la texture de la scène RSO a été prise en compte et la méthode de normalisation des deux images (SPOT et RSO). Dans ce cas, nous avons procédé à la classification supervisée de l'image SPOT par la méthode du "Maximum de Vraisemblance" avec une précision de 91.7 %, puis à la transformation en couleurs synthétiques de l'image radar afin de pouvoir définir les trois différentes classes (niveaux de rugosité) présentes dans l'image RSO.



(La classe rugueuse, la classe à rugosité moyenne et celle des régions lisses) et exécuter une classification dirigée de l'image radar par la méthode de la "Distance minimum". La précision de cette dernière a été d'environ 82 % avec un KAPPA de 0.72.

## VII- Références Bibliographiques:

- [1] **Christian Barillot, 1999** «Fusion de Données et Imagerie 3 D en Médecine». L'Université de Rennes I. Institut de Formation Supérieure en Informatique et en Communication. Rennes. France.
- [2] **Pierre Bazile, Alain Décombe et Jacqueline Ecochard, 2002** «Télé-détection satellitaire et gestion du territoire». Etablissement National d'Enseignement Supérieur Agronomique de Dijon (ENESAD), le Centre National d'Etudes et de Ressources en Technologie Avancée (CNERTA). Dijon, France.
- [3] **Christophe BOUCHER, 2000** « Contribution à la fusion d'informations par filtrage non-linéaire : Application à l'estimation de la structure et du mouvement 3D dans un contexte multicapteurs ».
- [4] **Luce CASTAGNAS, 1995** « De la synergie des images satellitaires SPOT/ERS au travers de deux exemples de fusion ». Thèse de doctorat, Ecole des Mines, Paris, France.
- [5] **Cheng P. et Toutin Th., 1995** « High Accuracy Data Fusion of Satellite and Airphoto Images ». ACSM / ASPRS Annual Convention, Charlotte, North Carolina, February 27-March 2, 1995, Vol. 2, pp. 453-464.
- [6] **Philip Cheng (a), Thierry Toutin (b), Victor Tom (c), 2000** « Orthorectification and data fusion of Landsat 7 data ». (a) PCI Enterprises, Richmond Hill, Ont, Canada. (b) Canada Centre for Remote Sensing, Ottawa, Ontario, Canada. (c) Atlantic Aerospace Electronics Corp, 470 Totten Pond Rd. Waltham.
- [7] **Y.M. Chen a et H.C. Huang b 2000** « Fuzzy logic approach to multisensor data association ». Department of Electrical Engineering, Lee-Ming Institute of Technology, Tashi, Taoyuan, Taiwan 33509, PR China, (b) School of Defense Science, Chung Chen Institute of Technology, Tashi, Taoyuan, Taiwan 33509, PR China.
- [8] **Josef Cihlar** « Land cover mapping of large areas from satellites: Research priorities ». Canada Centre for Remote Sensing, Ottawa, Canada.
- [9] **Baron Damien, Becquet Benjamin, Boitrel Florian, David Mathieu, Philibert Simon 2001** « Les radars ». Projet de l'UV capteurs, INSA, Rouen, France.
- [10] **M. Craig Dobson, F.T. Ulaby et Leland Pierce, 1999** « Regional Scale Land-Cover Classification Using ERS-1/JERS-1 SAR Composites ». Radiation Laboratory, Electrical Engineering and Computer Science Department. The University of Michigan. Ann Arbor, Michigan. USA.
- [11] **C.A Dupas, 2000** « SAR and Landsat T M image fusion for land cover classification in the Brazilian atlantic forest domain ». ITC, Enschede, The Netherlands. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B1. Amsterdam 2000.
- [12] **Roger Fjortoft, 1999** « Segmentation d'images radar par detection de contours ». Thèse de doctorat Spécialité : Signaux, Images et Communications, Institut National Polytechnique de Toulouse, France.
- [13] **L. Gagnon et A. Jouan, 1999** « Speckle Filtering of SAR Images - A Comparative Study Between Complex-Wavelet-Based and Standard Filters ». Département de R&D, Lockheed Martin Canada, 6111 Ave. Royalmount, Montréal, Canada.
- [14] **GIRARD Michel-Claude, GIRARD Colette, 1999** « Traitement de données de télédétection », ISBN : 2 10 0041851.
- [15] **Hassaine Benali, 1998** «Synergie des images optiques et radar.Intégration des données multisources pour une application à un milieu désertique: Cas de Tin Begane (Hoggar) ». Thèse de magister, laboratoire de télédétection, CNTS, Arzew, Algérie.
- [16] **Olaf Hellwich and Christian Wiedemann, 1999** « Multisensor data fusion for automated scene interpretation ».
- [17] **Major D. J., Lindwall C.W. Smith A. M., et Brown.R.J., 1995** « Multitemporal, Multi-sensor Remote Sensing for Monitoring Soil Conservation Farming ». Canadian Journal of Remote Sensing, 1995, Vol. 21, No 2, pp. 177-184.
- [18] **Mahta Moghaddam, Jennifer Dungan et Joseph Coughlan 1998** «Fusion of AIRSAR and T M data for variable classification and estimation in dense and hilly forests ».
- [19] **Edmond Nezry, Francis Yakam-Simen et Francis Zagolski 1999** "Fusion of ERS and Radarsat SAR data through control systems of land applications». PRIVATEERS N.V. Private Experts in Remote Sensing, Great Bay Marina, P.O. Box 190, Philipsburg, Netherlands Antilles.
- [20] **Luc PIGEON, Bassel SOLAIMAN, Thierry TOUTIN, Keith P. B. THOMSON 1999** « 3D Map features extraction from radar and visible remotely sensed image fusion ».
- [21] **Thierry Ranchin 1993** « Applications de la transformée en ondelettes et de l'analyse multirésolutions au traitement des images de télédétection ».
- [22] **Rimbert Sylvie et Théa VOGT 1990** « Données satellitaires et paysages factoriels ». Spatial analysis and population dynamics, Chapitre 22.
- [23] **J.J. van der Sanden, P.W. Vachon et J.F.R. Gower, 2000** «Combining optical and radar satellite image data for surveillance of coastal waters ». Presented at the Sixth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Charleston, South Carolina, 1-3 May 2000. Institute of Ocean Sciences (IOS) Sidney, British Columbia, Canada.
- [24] **Smara youcef 1998** « Contribution au système LATIS. Evaluation de la correspondance terrain-image classée et intégration d'images multisources optiques et radar SAR ». Thèse de doctorat, Université des Sciences et de la Technologie, Houari Boumédién, Alger, Algérie.
- [25] **Th. Toutin, C. Nolette, Y. Carbonneau, et P.A. Gagnon 1993**, « Stéréo restitution interactive des données SPOT: description d'un nouveau système ». Journal canadien de télédétection, vol. 19, no. 2.
- [26] **Thierry Toutin 1995a** « Multisources data fusion with an integrated and unified geometric modeling ». EARSeL Journal " Advances in Remote Sensing ", vol. 4, no. 2.
- [27] **Thierry Toutin 1994** « Intégration d'images multi-sources: premiers résultats avec SPOT et radar aéroporté ». Journal canadien de télédétection, Vol. 20, No 1
- [28] **Thierry TOUTIN 2000** « SAR image sampling on DEM generation » Canada Centre for Remote Sensing. Ottawa, Ontario, Canada
- [29] **Thierry Toutin 1998** « Stereo mapping with SPOT-P and ERS-1 SAR images ». Canada Centre for Remote Sensing. Ottawa, Ontario, Canada
- [30] **Wunian Yang, François Cauneau, Jean-Pierre Paris et Thierry Ranchin, 1999** «Influence of landscape changes on the results of fusion of P and XS images by different methodes ».