

# INTERCOMPARAISON DES IMAGES SATELLITAIRES MULTICAPTEURS

## INTERCOMPARISON OF MULTISENSOR SATELLITE IMAGES

Gérard GUYOT and Xing-Fa GU  
INRA, Bioclimatologie  
BP 91, 84143 MONTFAVET CEDEX (France)  
Commission VII

### ABSTRACT

Different factors affecting the intercomparison of multisensor satellite images are analyzed : Calibration of the sensors, non coincidence of sensor spectral bands, sun and viewing geometries and temporal variations of the target. The relative weight of these different factors is analyzed showing that the most important factors are the intercalibration of the sensors and the non-coincidence of the spectral bands.

### RESUME

Les différents facteurs qui affectent l'intercomparaison d'images satellitaires acquises par différents capteurs, sont analysés : étalonnage des capteurs, non-coïncidence des bandes spectrales des différents capteurs, géométries de l'éclairage et de la visée et variations temporelles de l'état de la cible visée. Le poids relatif de ces différents facteurs est analysé et cette étude montre que les deux facteurs principaux qui affectent l'intercomparaison des images sont l'inter-étalonnage des capteurs et la non coïncidence de leurs bandes spectrales.

**Key Words :** Multisensor images, Image intercomparaison, Temporal effect, Angular effect, Spectral effect, SPOT, Landsat TM.

**Mots clés :** Images multicapteurs, Intercomparaison d'images, Effets temporels, Effets angulaires, Effets Spectraux, SPOT, Landsat TM.

## 1 - INTRODUCTION

Lorsque l'on veut effectuer un suivi temporel ou une analyse de la réponse directionnelle d'une surface quelconque, il est généralement nécessaire d'utiliser des données fournies par différents capteurs satellitaires. Il faut donc mettre au point une procédure d'inter-comparaison de ces données. Pour des applications thématiques, de nombreux auteurs se sont contentés le plus souvent, de mettre au point une simple régression statistique permettant de passer des valeurs numériques des pixels d'une image à celles d'une autre (Cicone et Metzler, 1984; Colwell et Poulton, 1985; Crist et Cicone, 1984; Bildgen et al., 1989; Royer et al., 1987). Par contre, peu d'études se sont attachées à analyser la signification physique des données numériques acquises (Gu, 1991; Gu et al., 1991).

L'intercomparaison des données de différents capteurs satellitaires est affectée par une série de facteurs :

- les caractéristiques propres des capteurs comme leur FTM et leur étalonnage absolu;
- la hauteur du Soleil et la distance Terre-Soleil;
- les effets atmosphériques;
- les effets topographiques;
- la non-coïncidence des bandes spectrales dont l'effet dépend du spectre de réflectance de la cible visée;
- les effets de la géométrie de visée qui dépendent de la non-lambertianité de la cible;
- les effets temporels dus à l'évolution des caractéristiques de la cible.

Les effets propres des capteurs satellitaires sur le signal enregistré font l'objet d'une autre communication (Gu, 1992). Les effets de la hauteur du Soleil et de la distance Terre-Soleil peuvent être corrigés facilement. Par ailleurs de nombreuses études ont été publiées sur la correction des effets atmosphériques et topographiques (Tanré et al., 1990; Dave et Bernstein, 1982; Proy, 1986; Hugli et Frei, 1983; Kawata et al., 1988; Civco, 1989; Le Men, 1989; Ranson et al., 1986). Par contre les effets des trois derniers facteurs ont été rarement analysés. Cette communication a donc pour objectif de déterminer leur poids relatif.

## 2 - ACTION DES FACTEURS PERTURBATEURS

Toute cette étude est basée sur l'intercomparaison des données des capteurs satellitaires HRV1 de SPOT1 et Thematic Mapper (TM) de Landsat 5 qui possèdent trois bandes spectrales homologues dans le vert, le rouge et le proche-infrarouge.

### 2.1.- Non coïncidence des bandes spectrales

Comme le montre la figure 1, la sensibilité spectrale relative des capteurs SPOT1-HRV et Landsat 5 TM est différente. Les bandes spectrales homologues qui sont considérées ne coïncident pas et sont centrées sur des longueurs d'ondes différentes. La luminance équivalente  $L(\lambda_1, \lambda_2)$  qui est mesurée dans une bande spectrale comprise entre les longueurs d'onde  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  est définie par la relation suivante :

$$L(\lambda_1, \lambda_2) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) \cdot d\lambda}$$

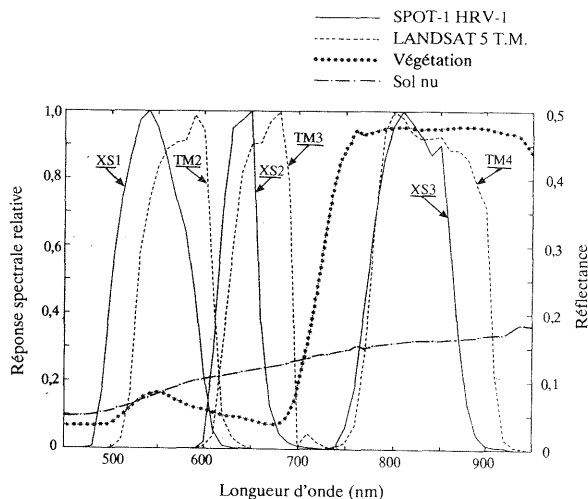
avec :

$L(\lambda)$  : Luminance spectrale de la cible;

$S(\lambda)$  : Sensibilité spectrale relative du capteur.

Comme la luminance d'une cible visée par les satellites varie généralement en fonction de la longueur d'onde, les sensibilités spectrales différentes des capteurs dans les bandes homologues induisent des différences au niveau des luminances équivalentes qui peuvent être soit positives soit négatives selon la forme du spectre de réflectance de la cible. Comme le montre la figure 1, la non-coïncidence des bandes XS1 et TM2 et XS2 et TM3 doit se traduire par des différences sensibles de la luminance équivalente de la végétation. TM doit fournir des valeurs plus fortes que HRV dans ces deux bandes. Par contre, dans le proche-infrarouge, les valeurs indiquées doivent être très proches.

Il faut noter également que la luminance équivalente  $L(\lambda_1, \lambda_2)$  dépend de la luminance spectrale de la cible  $L(\lambda)$  qui est fonction non seulement des caractéristiques spectrales de celle-ci mais aussi de sa réponse directionnelle, des effets atmosphériques, etc...

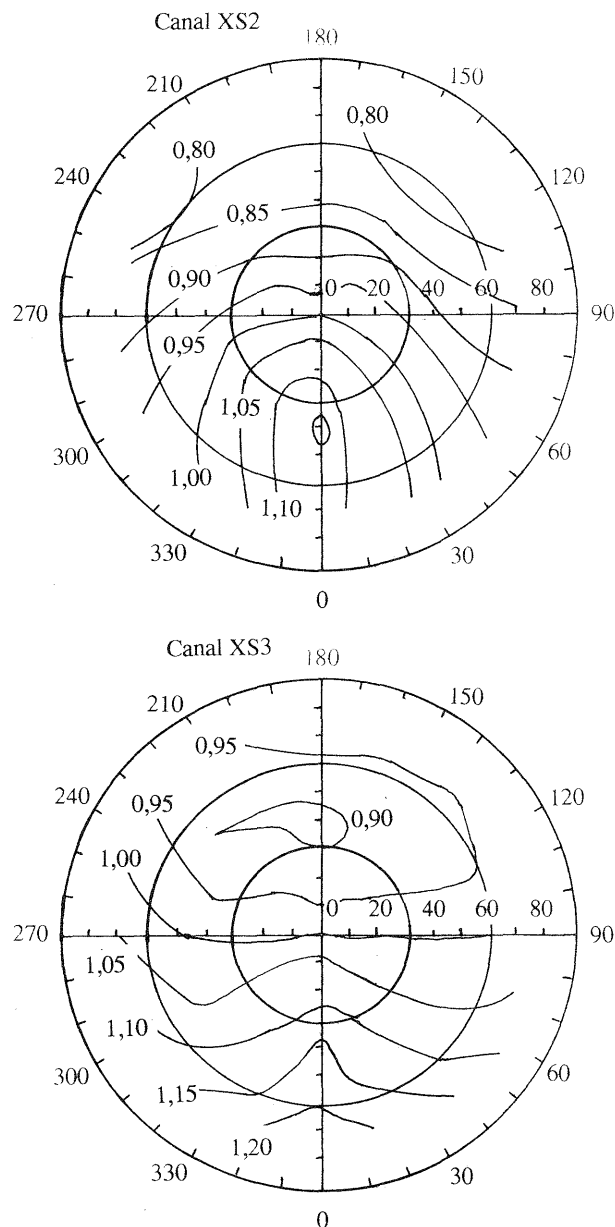


**Figure 1 :** Variation de la réponse spectrale relative des capteurs HRV-1 de SPOT-1 et TM de Landsat 5 en fonction de la longueur d'onde et spectres de réflectance d'un couvert végétal et d'un sol nu.

## 2.2. Différences de géométries d'observation

Les différences de géométries d'observation affectent le signal satellitaire car les surfaces naturelles ne sont généralement pas des diffuseurs lambertiens comme le montre la figure 2. Celle-ci correspond à des mesures effectuées sur le site de la Crau qui a été choisi pour l'étalonnage de SPOT (Santer et al., 1992). Une des raisons du choix du site a été la faiblesse relative de la variation angulaire de la réflectance qui malgré tout ne peut pas être négligée. Pour les couverts végétaux la variation angulaire du facteur de réflectance est beaucoup plus importante et dépend de leur structure géométrique (Guyot et al., 1980). Ainsi, sur

une image correspondant à une visée oblique, le facteur de correction des effets angulaires dépendra du type de cible visée.



**Figure 2 :** Variation relative du facteur de réflectance bidirectionnel de la Crau. La mesure verticale est prise comme référence. Les cercles concentriques correspondent aux angles zénithaux de visée et les graduations du cercle extérieur à l'azimut par rapport au soleil. Les mesures ont été effectuées avec un radiomètre de simulation des SPOT (canaux XS2 et XS3) le 27 Juillet 1988 à 11h52.

## 2.3. Effets temporels

Il est bien établi que la réflectance des surfaces naturelles évolue au cours du temps en fonction, du développement de la végétation, de l'humidité du sol... Lorsqu'on utilise des images multicapteurs ou des données d'un même satellites correspondant à des visées sous des angles différents, elles sont acquises avec des décalages dans le temps de quelques jours à quelques semaines. Il est donc évident que dans ces conditions il faudra tenir compte de l'évolution des propriétés optiques des

cibles visées soit pour introduire une correction des données, soit pour estimer l'erreur qui est alors commise.

### 3 - MATERIEL ET METHODE

Pour mettre en évidence les problèmes que pose l'intercomparaison des données acquises par différents capteurs satellitaires, il est nécessaire de disposer d'images correspondant à la même cible vue les mêmes jours par les différents instruments. Il faut également associer à ces acquisitions, des mesures des caractéristiques de l'atmosphère et de la réflectance au sol d'une surface de référence au moment du passage des satellites afin de pouvoir corriger les effets atmosphériques et déterminer les coefficients d'étalonnage absolus des capteurs.

#### 3.1. Les données satellitaires utilisées

Dans notre étude nous nous sommes intéressés à l'intercomparaison des données des capteurs HRV de SPOT et TM de Landsat qui possèdent trois bandes spectrales homologues (XS1 et TM2, XS2 et TM3, XS3 et TM4). Deux séries d'images de SPOT1-HRV1 et de LANDSAT-5 TM ont ainsi été acquises les 30 septembre et 16 Octobre 1989. Comme le montre le tableau 1, une des visées de SPOT est pratiquement verticale le 30 septembre alors que la seconde correspond à un angle zénithal de 10°. De leur côté, les mesures de Thematic Mapper correspondent toujours à des visées verticales.

**Tableau 1 :** Conditions géométriques dans lesquelles les images satellitaires ont été acquises ( $\theta_v, \Phi_v$  : inclinaison et azimut de la visée;  $\theta_s, \Phi_s$  : inclinaison et azimut du soleil)

Capteurs	SPOT-1 HRV-1		Landsat 5 TM	
	30/09	16/10	30/09	16/10
$\theta_v$	10,0	2,0	0	0
$\Phi_v$	283,1	101,9	-	-
$\theta_s$	47,1	53,1	51,3	56,6
$\Phi_s$	166,3	166,7	147,1	151,2

#### 3.2. Les mesures au sol

##### 3.2.1 Le site expérimental

L'inter-étalonnage de SPOT1-HRV et de LANDSAT5-TM a été effectué sur le site d'étalonnage de "la Crau". Ce site est une surface de 400x400m située au centre de la Crau sèche, plaine caillouteuse du sud-est de la France. Cette plaine se trouve à 40 km au nord-ouest de Marseille et à 40 km au sud d'Avignon. L'analyse détaillée des propriétés optiques de ce site et des conditions climatiques locales a permis de montrer qu'il était bien adapté pour les étalonnages de satellites (Gu et al. 1990, 1992; Guyot et al., 1990).

##### 3.2.2 Mesures de réflectance du sol

Les mesures ont été réalisées avec un radiomètre de simulation de SPOT à 3 canaux (Guyot et al., 1984) en suivant la procédure décrite par Gu et al. (1990, 1992). Une centaine de mesures de réflectance ont été effectuées dans l'heure qui encadre le passage des satellites. Elles ont été régulièrement espacées sur l'ensemble du site d'étalonnage et correspondaient à des surfaces élémentaires circulaires de 0,53 m de diamètre. Les réflectances dans les bandes des satellites ont été déduites des mesures

effectuées avec le radiomètre en tenant compte du spectre moyen de réflectance du sol (Guyot et al., 1990; Gu, 1991) et des courbes de réponse des capteurs des satellites (Figure 1, Tableau 2). De plus, pour l'étalonnage de SPOT, les mesures de luminance ont été effectuées en visant le sol avec la même inclinaison et la même orientation que l'instrument HRV.

**Tableau 2 :** Réflectances du sol ajustées en fonction de la sensibilité spectrale des capteurs et de la géométrie de visée.

Capteur	Date	Bandes spectrales		
		Vert	Rouge	Proche IR
HRV 1	30/09	0,148	0,223	0,282
	16/10	0,142	0,211	0,271
TM	30/09	0,168	0,214	0,276
	16/10	0,168	0,214	0,276

##### 3.2.3. Mesure de l'épaisseur optique des aérosols

L'épaisseur optique des aérosols a été déterminée au moment du passage des satellites à partir de mesures effectuées avec un photomètre pistolet à 5 bandes, conçu par le Laboratoire d'Optique Atmosphérique de l'Université de Lille (L.O.A.), et pointé sur le Soleil. Son angle d'ouverture est de 2°. Il possède 5 bandes spectrales et parmi celles-ci nous en avons utilisé 3 centrées sur 449, 644 et 845 nm et dont la largeur était de 18 nm. Les épaisseurs optiques totales de l'atmosphère ont alors été déterminées à partir du tracé de droites de Langley-Bouger. Celle des aérosols a ensuite été calculée en déterminant la contribution moléculaire et celle de l'ozone. Pour cela nous avons utilisé le modèle "5S" (Tanré et al., 1990). La quantité intégrale de vapeur d'eau a été déterminée à partir des données des radio-sondages effectués à Nîmes (40 km au nord-ouest du site). La quantité d'ozone qui a été considérée est celle qui est donnée par London et al. (1976). Compte tenu des résultats des premiers étalonnages de SPOT (Santer et al., 1992) nous avons utilisé le modèle d'aérosol continental pour les calculs. Les résultats des déterminations des différentes épaisseurs optiques pour les deux journées de mesure sont rassemblés dans le tableau 3.

**Tableau 3 :** Teneurs de l'atmosphère en vapeur d'eau et en ozone et épaisseur optique des aérosols (à 550 nm).

Dates	30/09	16/10
Vapeur d'eau (g.cm <sup>-2</sup> )	1,516	1,470
Ozone (cm.atm)	0,265	0,260
Aérosols	0,300	0,320
Visibilité (km)	20	30

#### 3.3. Méthode utilisée pour l'inter-comparaison des satellites

Les mesures effectuées sur le site de la Crau nous ont permis de déterminer les coefficients d'étalonnage absolus des capteurs SPOT-HRV et Landsat-TM et par là leurs coefficients d'inter-étalonnage.

Les visées de Landsat T.M sont verticales. La comparaison des images acquises le 30 Septembre et le 16 Octobre (Tableau 1) permet ainsi de déterminer les effets de l'évolution temporelle des caractéristiques des cibles visées. Le 30 Septembre l'images de SPOT HRV a été acquise avec une visée pratiquement

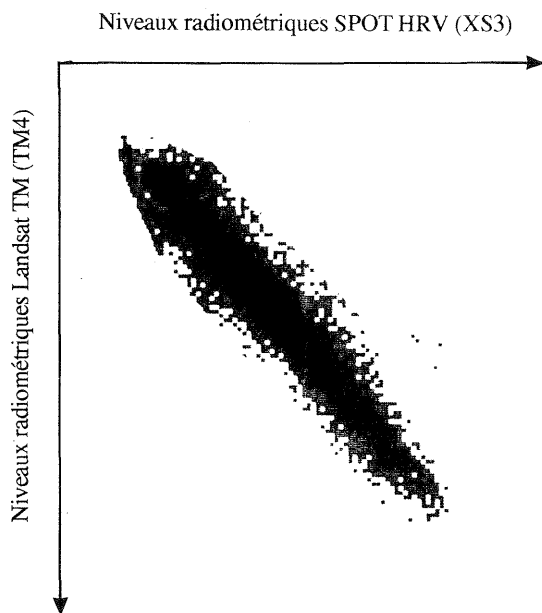
verticale (Tableau 1). La comparaison de cette image avec celle de Landsat TM acquise le même jour avec des conditions atmosphériques très stables nous permet ainsi de déterminer les effets dus à la non coïncidence des bandes spectrales. Pour déterminer les effets angulaires il est nécessaire d'utiliser les images de SPOT-HRV acquises les deux jours qui correspondent à des angles de visée différents. La comparaison directe des images permet de déterminer la combinaison des effets directionnels et temporels. Si l'on admet que l'évolution temporelle des réflectances déterminée avec Landsat TM est sensiblement la même que celle des réflectances mesurés par SPOT, il est alors possible de retrancher les effets temporels des données de SPOT et de connaître ainsi les effets directionnels, ces deux effets étant additifs.

Afin d'éliminer les effets de la FTM et de diminuer les effets de l'environnement dus à la diffusion atmosphérique, nous avons dégradé la résolution spatiale des images à 240 m (12x12 pixels de SPOT et 8x8 pixels de Landsat TM). Ce regroupement des pixels nous a permis d'obtenir également des images avec la même résolution spatiale.

#### 4 - RESULTATS ET DISCUSSION

##### 4.1. Effet spectral

La figure 3 présente l'histogramme bidimensionnel montrant la correspondance entre les valeurs numériques de l'image HRV pour la bande XS3 (axe vertical) et de son image homologue TM4 de TM (axe horizontal). Les données et les dates ont été choisies (Tableau 1) de manière à mettre en évidence la dispersion maximale des valeurs numériques.



**Figure 3 :** Histogramme bidimensionnel représentant la distribution des valeurs numériques données par Landsat TM le 16 Octobre en fonction de celles données par SPOT le 30 Septembre pour les mêmes points et pour les bandes spectrales homologues XS3 et TM4.

Afin de quantifier la différence de réflectance due à l'effet spectral, nous avons choisi 8 zones test homogènes avec différents types d'occupation du sol. Nous avons calculé pour chacune d'elles, la moyenne des valeurs numériques des pixels

correspondants. Les valeurs numériques moyennes obtenues ont ensuite été restituées en réflectance au sol après avoir corrigé les effets atmosphériques par l'inversion du modèle 5S (Tanré et al., 1990). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 4 qui donne les réflectances au sol dans les trois bandes de SPOT HRV ainsi que l'écart relatif (en %) entre ces réflectances et celles qui sont obtenues dans les bandes homologues de Landsat TM. On peut ainsi constater que ces différences peuvent être très importantes et varient en fonction du type de surface considéré. En effet, la variation de la réflectance spectrale d'une cible dans le domaine couvert par des bandes homologues, peut soit être monotone et quasiment linéaire comme dans le cas du sol nu (Figure 1), soit présenter des discontinuités (bandes d'absorption) comme dans le cas de la végétation (Figure 1). Lorsque la réflectance de la cible varie quasiment linéairement avec la longueur d'onde, il est alors possible de passer des réflectances dans les bandes du capteur 1 à celles qui sont mesurées dans les bandes homologues du capteur 2 en utilisant un simple facteur de passage multiplicatif. Par contre, lorsque le spectre de réflectance présente des discontinuités, les corrections sont beaucoup plus difficiles à réaliser. Il faut, en effet, connaître la forme exacte du spectre de réflectance de la cible et la convoluer avec la courbe de sensibilité spectrale du capteur satellitaire. Théoriquement cela est possible, mais dans la pratique, on ignore généralement la forme des spectres des surfaces naturelles. Aussi, les données de réflectance fournies par deux capteurs différents vont elles présenter des écarts dus aux caractéristiques instrumentales. Ces écarts peuvent soit être considérés comme du "bruit" (et il faudra alors que les différences à mettre en évidence soient supérieures à celui-ci), soit être utilisés pour fournir des informations supplémentaires sur les surfaces visées (différence liées à la forme des spectres de réflectance)

**Tableau 4 :** Mise en évidence de l'effet spectral par les écarts entre les réflectances au sol dans les bandes de SPOT et dans les bandes homologues de TM pour des visées quasiment verticales le 16 Octobre.

Zones test	Réflectances (%)			Ecart relatif 100(HRV - TM)/HRV		
	Vert	Rouge	P.I.R.	Vert	Rouge	P.I.R.
Crau sèche	13,1	19,0	26,7	-18	-8	-0,4
Sol nu	13,8	16,6	24,5	-4	-3	-2
Prairies	7,7	7,5	37,8	+3	+15	-4
Arbres fruitiers	8,5	12,0	28,0	-4	+8	-1
Forêt 1	5,9	7,9	21,2	+7	+14	+5
Forêt 2	5,3	6,0	19,0	+21	+22	+6
Marécages	7,5	8,6	20,2	+7	+10	+0,5
Lac	12,6	12,0	7,8	-7	-17	+40

##### 4.2. Effet de l'angle de visée et effet temporel

Les deux images SPOT-HRV correspondant à une visée pratiquement verticale et à une visée oblique (Tableau 1), permettent d'estimer l'effet de l'angle de visée (ou effet directionnel). Cependant, comme elles ont été acquises avec un intervalle de temps de 16 jours, la différence de réflectance observée est due à la fois aux effets temporels et directionnels (Tableau 5). Comme cela a été indiqué dans le paragraphe précédent, les deux images de Landsat-TM ont été utilisées pour estimer l'effet temporel seul. Ce dernier a donc été retranché de

l'effet combiné affectant les images de SPOT pour faire apparaître l'effet directionnel seul.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 5. On constate ainsi que l'effet directionnel est faible. Cela peut être dû au fait que l'angle de visée est lui-même faible (angle zénithal de visée égal à 10°), l'azimut de la visée étant proche du plan perpendiculaire à la direction des rayons solaires (117° par rapport à l'azimut du soleil). Par contre, bien que les deux images soient acquises à un intervalle assez court (16 jours) et que l'état des surfaces dans cette période soit relativement stable, l'effet temporel ne peut pas être négligé. Pour pouvoir utiliser les informations apportées par les images correspondant à des visées multidirectionnelles, il aurait fallu réduire l'intervalle entre les dates d'acquisition des images et choisir des visées dans un plan vertical proche de celui du soleil avec un angle zénithal plus important. Ces conditions ne pouvaient pas être remplies dans notre cas car il fallait disposer de visées simultanées de SPOT et Landsat TM avec de bonnes conditions atmosphériques.

**Tableau 5 :** Effets temporels et directionnels sur la réflectance des zones test. Les effets temporels sont déduits des écarts relatifs entre les données de Landsat TM du 16/10 et du 30/09. Les effets directionnels sont déduits des écarts entre les données de SPOT du 30/09 ( $\theta_v = 10^\circ$ ) et du 16/10 ( $\theta_v = 2^\circ$ ) corrigés des effets temporels.

Zones test	Effets temporels (%)			Effets directionnels (%)		
	Vert	Rouge	P.I.R.	Vert	Rouge	P.I.R.
Bandes spectrales						
Crau sèche	-2,0	+0,5	5,1	+08	+1,1	-3,1
Sol nu	0,0	+4,9	-8,3	+4,5	+0,6	-1,2
Prairies	-6,8	0,0	4,3	+2,7	+2,7	-3,7
Arbres fruitiers	+3,5	+11,1	6,8	-2,3	-3,5	-2,6
Forêt 1	-15,3	-8,1	3,6	+3,0	+4,9	-1,4
Forêt 2	-26,3	-18,0	1,1	+9,7	+9,2	-1,0
Marécages	-10,2	-3,8	-2,4	+5,1	+2,2	-2,4
Lac	-10,0	-22,8	-60,5	-10,9	+3,7	+11,1

### 4.3. Les effets combinés

Lorsque les écarts entre deux images sont dus à la superposition de plusieurs effets, on peut alors observer des différences qui peuvent être inférieures ou supérieures à celles que l'on observerait avec un seul d'entre eux. C'est ce que montre le tableau 6 où apparaissent les écarts dus à la combinaison des trois différents effets (spectral, temporel, directionnel) que l'on peut comparer aux écarts donnés dans les tableaux 4 et 5. Comme les réflectances sont généralement faibles dans le domaine du visible, les écarts exprimés en valeurs relatives sont alors beaucoup plus importants que dans le proche-infrarouge.

Pour dresser le bilan des écarts constatés, nous avons introduit la notion de distance moyenne à la réflectance de référence (DMR) telle que :

$$DMR = \frac{\sqrt{\sum(\Delta R)^2}}{N}$$

avec :

$\Delta R$  : écart avec la réflectance moyenne de la scène

N : nombre total de zones prises en compte dans le calcul

**Tableau 6 :** Ecarts dus à la superposition des différents effets exprimés en réflectances (%) et en valeurs relatives par rapport à la réflectance mesurée par SPOT le 16/10 (visée verticale).

Zones test	Ecarts en réflectance (%)			Ecarts relatifs (%)		
	Vert	Rouge	P.I.R.	Vert	Rouge	P.I.R.
Bandes spectrales						
Crau sèche	+2,1	+1,8	+0,6	+16	+9	+3
Sol nu	+1,2	+1,3	-1,1	+9	+8	+4
Prairies	-0,5	-1,9	+1,4	-7	-25	-4
Arbres fruitiers	+0,4	-0,3	+1,5	+5	-3	+5
Forêt 1	-1,1	-1,3	-0,9	-19	-16	-4
Forêt 2	-2,0	-1,8	-1,6	-38	-30	-8
Marécages	-0,9	-1,0	-1,1	-12	-12	-5
Lac	-1,2	-4,0	-8,8	-10	-73	-113

Les données du tableau 7 ont été obtenues en considérant 7 zones. La zone 8 a été éliminée car elle correspond à une surface d'eau ayant une réflectance instable probablement à cause de l'effet des vagues produites par un vent local violent: le Mistral. Dans le tableau 7, on peut constater que l'effet spectral est le facteur principal qui perturbe l'inter-comparaison de données satellitaires, et que la moyenne des écarts de réflectance au sol varie entre  $\pm 0,34\%$  et  $\pm 1,32\%$  en réflectance. Cela veut dire que la variation temporelle de la réflectance d'une surface, obtenue à partir des images provenant de différents capteurs, devra dépasser ces valeurs pour être considérée comme une variation due à un changement d'état de la surface étudiée.

**Tableau 7 :** Caractérisation des différentes perturbations par la distance moyenne à la réflectance de référence (DMR). Les valeurs sont exprimées en écarts absolus de réflectances (%).

Perturbations	Canaux		
	Vert	Rouge	P.I.R.
Spectrale (S)	1,03	1,10	0,81
Temporelle (T)	0,79	0,69	1,07
Directionnelle (D)	0,39	0,34	0,71
S + D	1,03	1,03	0,90
T + D	0,53	0,47	0,65
S + T + D	1,32	1,30	1,22

## 5 - CONCLUSION

De nombreux facteurs affectent la comparaison des images provenant de deux capteurs dans des bandes homologues. Certains peuvent être aisément corrigés comme l'inter-étalonnage des capteurs, l'éclairement solaire équivalent, la hauteur du soleil, les effets atmosphériques etc... D'autres, comme les effets spectraux, directionnels et temporels, sont plus difficilement maîtrisables et vont induire des différences dans les valeurs radiométriques correspondant à une même cible.

Les écarts qui viennent d'être mis en évidence et qui peuvent être considérés comme équivalant à un bruit de fond, limitent ainsi les possibilités de discrimination de deux états différents d'une même cible. Dans toute interprétation de données multi-capteurs,

multitemporelles et/ou multi-angulaires il est donc nécessaire d'introduire un seuil de signification des écarts observés qui est fonction des caractéristiques des instruments et des cibles visées.

## REFERENCES

- Bildgen P., Boulegue J., Geroyannis H., Gilg J. P., 1989; Essai d'utilisation simultanée des données Landsat MSS, TM et SPOT pour la comparaison des valeurs radiométriques des pixels. *Bul. S.F.P.T.* n° 115 : 11-13
- Cicone R.C., Metzler M.D., 1984; comparison of Landsat MSS, Nimbus-7 CZCS, and NOAA-7 AVHRR features for land-use analysis. *Remote Sens. Environ.* 14 : 257-265.
- Civco D.L., 1989; Topographic normalization of Landsat Thematic Mapper digital imagery. *Photogram. Eng. Remote Sens.*, 46 : 643-647.
- Colwell R.N., Poulton C.E., 1985; SPOT simulation imagery for urban monitoring : A comparison with Landsat TM and MSS imagery an with high altitude colour infrared photography. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 51(8) : 1093-1101.
- Crist E.P., Cicone R.C., 1984; Comparisons of the dimensionality and features of simulated Landsat-4 MSS and TM data. *Remote Sens. Environ.* 14 : 235-246.
- Dave J.V., Bernstein R., 1982; Effect of terrain orientation and solar position on satellite-level luminance observations. *Remote Sens. Environ.* 12 : 331-348.
- Gu X.F., 1991; Etalonnage et intercomparaison des données satellitaires en utilisant le site test de la Crau (Appliqué aux images SPOT1-HRV, LANDSAT5-TM, NOAA11-AVHRR). Thèse de Doctorat, Méthodes Physiques en Télédétection, Université de Paris VII : 260 pp
- Gu X.F., 1992; Analyse et correction des effets de la FTM sur les images SPOT-HRV. In XVII Cogress of ISPRS, August 2-14, 1992, Washington, DC. (in the same volume).
- Gu X.F., Guyot G., Verbrugge M., 1990; Analyse de la variabilité spatiale d'un site test - Exemple de la Crau (France). *Photo-Interprétation 90-1*, Fasc. 5: 39-52
- Gu X.F., Guyot G., Verbrugge M., 1992; Evaluation of measurement errors on ground surface reflectance for satellite calibration. *International Journal of Remote Sensing* (In press)
- Gu X.F., Verbrugge M., Guyot G., 1991; Inter-étalonnage de SPOT1-HRV, LANDSAT-TM et NOAA11-AVHRR dans les domaines du visible et du proche infrarouge. In Cinquième Coll. Int. Mesures Physiques et Signatures en Télédétection, 14-18 Jan. 1991, Courchevel (France) Ed. ESA Publ. Div. ESA SP-319: 45-48.
- Guyot G., GU X., Verbrugge M., 1990; Caractérisation des propriétés optiques du site de la Crau. Rapport final Marché N° 833/CNES/87/4891/00, INRA Bioclimatologie Montfavet (France) : 79p.
- Guyot G., Hanocq J.F., Buis J.P., Saint G., 1984; Mise au point d'un radiomètre de simulation de SPOT. In C.R. 2e Coll. Intl. Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection, Bordeaux, 12-16 Septembre 1983 (Ed. INRA Publ.), Les Colloques de l'INRA N° 23 : 233-242
- Guyot G., Malet P., Baret F., 1980. Analyse des indicatrices de réflexion de l'orge et du blé, possibilités de la stéréoradiométrie. In *Proceedings International Symposium ISP Hamburg, (Germany)*, International Archives of Photogrammetry, 22 : 372-381.
- Hugli H., Frei W., 1983; Understanding anisotropic reflectance in mountainous terrain. *Photogram? Eng. Remote Sens.*, 49 : 671-683.
- Kawata Y., Ueno S., Kusaka T., 1988; Radiometric correction for atmospheric and topographic effects on the Landsat MSS images. *Int. J. Remote Sens.*, 9 : 729-748.
- London J., Bojkov R.J., Oltmans S., Kelley J. I., 1976; Atlas of the global distribution of total ozone July 1957-June 1967. NCAR Technical Note No 113+STR
- Le Men H., 1989; Correction d'éclairément et calibration absolue des images SPOT; effets de la stéréoradiométrie. In C.R. Journées Télédétection, Images, Satellites et Milieux Terrestres en Régions Arides Tropicales, 14-17 Novembre 1988, Bondy (France) : 51-55.
- Proy C., 1986; Intégration du relief au traitement d'image de télédétection. Thèse de Docteur-Ingénieur de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 173pp.
- Ranson K.J., Daughtry C.S.T., Biehl L.L., 1986; Sun angle, view angle, and background effects on spectral response of simulated balsam fir canopies. *Photogram. Eng. Remote Sens.*, 52 : 649-658.
- Royer A., Charbonneau L., Brochu R., Murphy J.M., Teillet P.M., 1987; Radiometric comparaison of the LANDSAT-5 TM and MSS sensors. *Int. J. Remote Sens.*, 8(4): 579-591.
- Santer R., Gu X.F., Guyot G., Deuzé J., Devaux C., Vermote E., Verbrugge M., 1992; SPOT Calibration on the test site "La Crau" (France). *Remote Sens. Environ.* (In press)
- Tanré D., Deroo C., Duhaut P., Herman M., Morcrette J.J., Perbos J., Deschamps P.Y., 1990; Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: The 5S code. *Int. J. Remote Sens.*, 11(4): 659-668.