

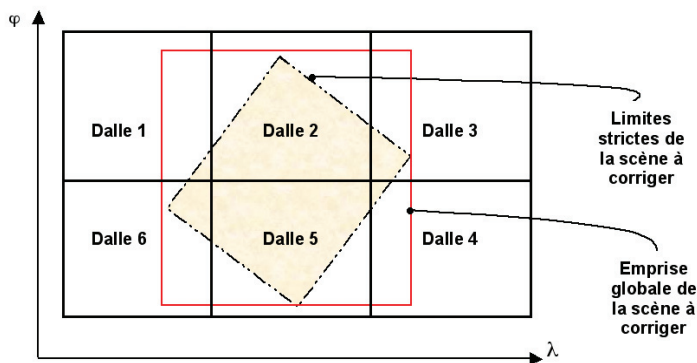
# La génération automatique de spatiocartes

■ Simon BAILLARIN et Marc BERNARD

*L'instrument HRS, qui permet d'acquérir des couples d'images stéréoscopiques quasi-simultanées sur de très vastes étendues, est l'une des innovations majeures de SPOT 5. L'exploitation de ses images (assurée conjointement par IGN et Spot Image au travers de la coédition du produit Reference3D) a permis l'avènement d'un outil entièrement automatique de production d'orthoimages d'une précision géométrique unique sur le marché: ANDORRE.*

## ■ mots clés

SPOT, HRS, ortho-rectification, processus automatique



**Figure 1 :** Emprises des différents objets géographiques mis en jeu dans le processus

**L**a fonction d'ANDORRE est d'assurer l'orthorectification automatique de toute scène SPOT, en s'appuyant sur Reference3D :

- L'orthoimage HRS incluse dans Reference3D, aussi précise qu'une carte régulière (précision horizontale de localisation absolue de 15 m CE90), est utilisée comme source de calage. L'idée est de retrouver automatiquement des points homologues dans l'orthoimage Reference3D et dans la scène SPOT à traiter, et d'en déduire un modèle géométrique de cette dernière.
- le MNE DTED2 de Reference3D intervient ensuite pour l'orthorectification de la scène SPOT.

Le cœur algorithmique d'ANDORRE, dont l'idée est née des travaux IGN sur la mission HRS, a été développé sous maîtrise d'ouvrage CNES. La première version de ces algorithmes sera intégrée fin 2004 par Spot Image dans son atelier [ANDORRE] de production d'orthoimages. Les adaptations d'ANDORRE à des sources images autres que SPOT sont envisagées.

## Principe de la méthode automatique d'orthorectification

La méthode d'ortho rectification automatique se décompose en trois étapes principales :

- Génération de l'image ramenée au plan focal de SPOT
- Calcul de la correction de localisation de la scène SPOT par corrélation multi-échelle
- Ortho-rectification de l'image SPOT

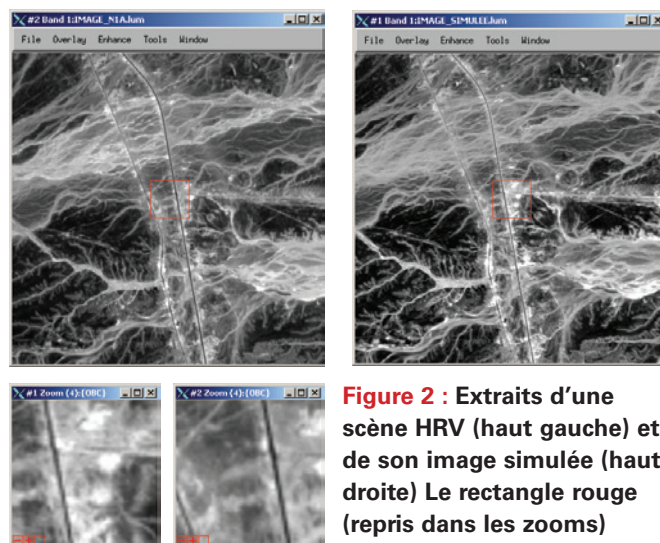
### ■ Génération de l'image "simulée"

On nomme ainsi l'orthoimage Reference3D ramenée dans la géométrie du capteur CCD au plan focal de SPOT. Les dalles Reference3D touchant la scène SPOT à corriger sont

mosaïquées de façon à obtenir une seule orthoimage et un seul MNT. Le plus souvent, cela met en jeu 1 ou 4 dalles Reference3D, puisque leur taille avoisine couramment les 10,000 km<sup>2</sup> (1° de longitude par 1° de latitude).

Ensuite, le modèle physique de la scène SPOT et le MNT issu de Reference3D sont utilisés afin de créer l'image "simulée" dans le plan focal. L'image ainsi créée prend exactement en compte les variations du relief. Ainsi le décalage mesuré entre l'image "simulée" et la scène SPOT réelle est uniquement dû à l'imprécision de localisation de son modèle physique (calculé à partir des données auxiliaires).

La Figure 2 ci-dessous représente un extrait d'une scène SPOT4 HRV (IMAGE\_N1A) et l'image simulée correspondante, le rectangle rouge délimitant une zone ayant les



**Figure 2 :** Extraits d'une scène HRV (haut gauche) et de son image simulée (haut droite) Le rectangle rouge (repris dans les zooms) représente la même zone de l'image

mêmes coordonnées dans les deux images. L'important décalage Est-Ouest parfaitement visible matérialise l'imprécision de localisation du modèle de cette image HRV.

### ■ Détermination de la correction à appliquer au modèle de localisation de la scène

La correction est calculée via un processus de corrélation multi-échelle. A chaque étape on détermine un grand nombre de points homologues entre la scène SPOT et son image "simulée". On en déduit le modèle de correction à appliquer pour ramener la scène SPOT dans la géométrie de l'image simulée. Le modèle de correction est affiné à chaque niveau de la pyramide de résolution.

Les deux images initiales sont d'abord sous-échantillonnées puis ramenées progressivement à la pleine résolution. Le facteur initial de sous-échantillonnage est calculé pour conserver une fenêtre de recherche d'une taille raisonnable (5 pixels):

$\text{Facteur\_initial} = \text{Precision\_Loc} / (\text{Ech\_image} * (\text{Taille\_Fenetre}/2))$

- Ech\_image est le pas d'échantillonnage "pleine résolution" de l'image SPOT à traiter (20 m, 10 m, 5 m). La dernière itération se fait à la résolution de Reference3D, soit environ 5 m.
- Precision\_Loc est la précision à 3 (du modèle physique de localisation pour le satellite considéré (150 m pour SPOT 5, 1500 m pour SPOT2 à 4))
- Taille\_Fenetre est la taille de la fenêtre de recherche de la corrélation (5 pixels).

Par exemple, dans le cas d'une image SPOT4 panchromatique, un niveau de dézoom initial de 1/64 est nécessaire (soit 7 niveaux de dézoom).

Pour chaque facteur de dézoom, la corrélation calcule les décalages géométriques entre les deux images. Le résultat est filtré afin d'extraire un nombre de points homologues équi-répartis sur l'ensemble de l'image et de modéliser le décalage mesuré. Ce modèle est ensuite utilisé comme prédicteur de décalage

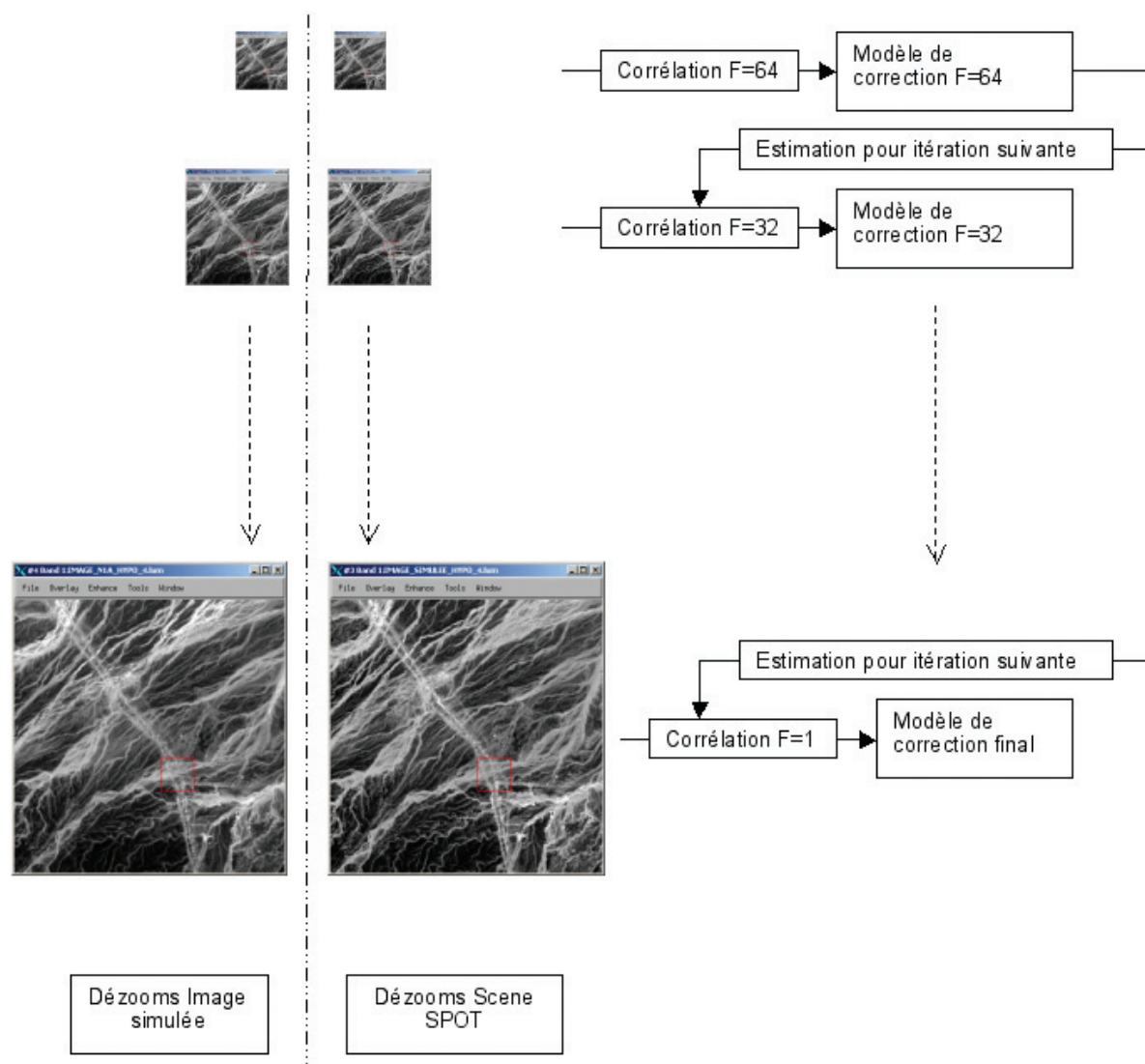
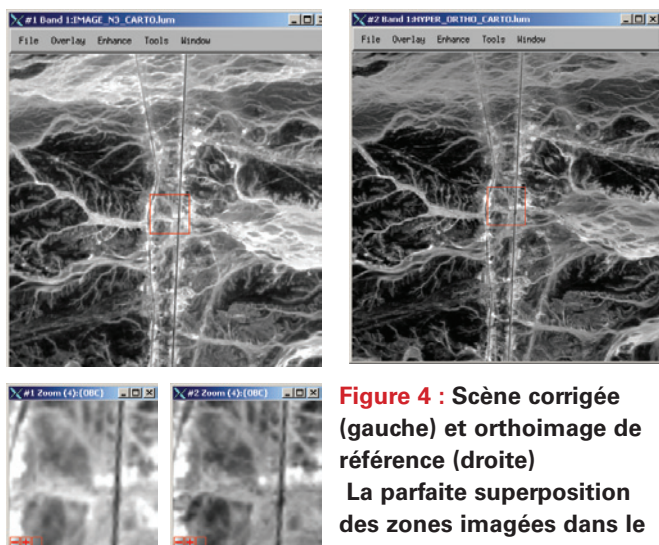


Figure 3 : Schématisation du processus multi-échelle utilisé dans ANDORRE



**Figure 4 : Scène corrigée (gauche) et orthoimage de référence (droite)**  
La parfaite superposition des zones imagées dans le rectangle (zooms) illustre la précision du processus.

pour la corrélation au niveau d'échantillonnage supérieur. Ce processus de corrélations multi-échelle converge vers un modèle de recalage. Ce modèle est affiné en pleine résolution (plusieurs itérations sont réalisées à  $F=1$  afin de s'assurer de la convergence du modèle).

Les points homologues obtenus à l'issue de cette étape sont conservés dans le cas où une image identique (ou issu du même segment de prise de vue) devrait être produite plus tard.

## ■ Ortho-rectification de l'image

La grille de rectification pour la scène SPOT est calculée en combinant le modèle précédemment calculé avec la grille de localisation associé au modèle de prise de vue inverse de l'image SPOT, dans le référentiel WGS84, éventuellement combinée avec la grille de conversion entre WGS84 et la projection cartographique finale souhaitée.

Enfin, la dernière opération consiste à orthorectifier la scène SPOT en utilisant cette grille.

La Figure 4 ci-dessous reprend la même zone illustrée Figure 2, une fois mise en projection UTM et recalée sur la dalle Reference3D(tm). Le rectangle rouge a les mêmes coordonnées dans les 2 images. On constate que les deux images sont parfaitement superposables.

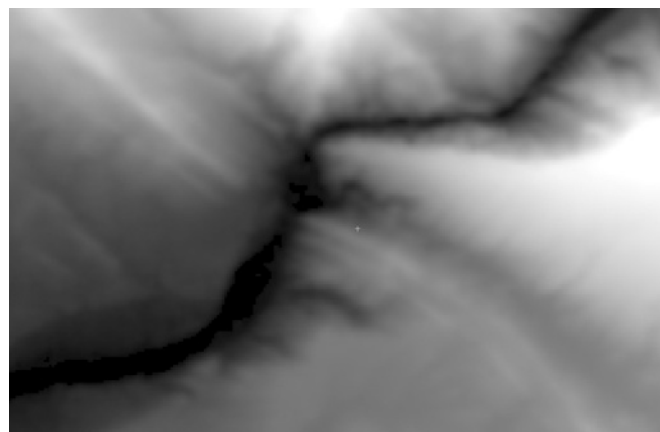
La parfaite superposition des zones imagées dans le rectangle (zooms) illustre la précision du processus.

## Conclusion

Par son fonctionnement entièrement automatique, ANDORRE ramène les coût et délai de production de l'orthoimage au niveau de ceux pratiqués jusque là pour les images brutes. C'est donc une petite révolution: grâce à ANDORRE, l'orthoimage, directement utilisable par les SIG des utilisateurs mais handicapée par un différentiel de prix, peut enfin réellement devenir le produit "image spatiale" de base. ●



**Figure 5 : Orthoimage SPOT 5m (ci-dessus) calculée sur le MNT Reference3D (ci-dessous)**



## Contact

**Simon BAILLARIN**

CNES - Toulouse

**Marc BERNARD**

Spot Image

marc.bernard@spotimage.fr

## ABSTRACT

*Following the SPOT5 launch, Spot Image and the French National Geographic Institute (IGN) have decided to design a worldwide accurate database called Reference3D™ using data from the High Resolution Stereoscopic SPOT5 instrument (HRS). Spot Image now commercializes a system called ANDORRE to automatically produce ortho-rectified images thanks to Reference3D™ data. ANDORRE has been designed to take advantage of Reference3D™ planimetric and altimetric accuracy to automatically register and rectify any image from SPOT satellites. In this framework, CNES is acting as prime contractor to realize and industrialize the algorithms following a preliminary study undertaken by IGN. This paper focuses on the algorithms and the architecture of the ANDORRE process.*