

# NOUVELLES CARTOGRAPHIES AU 1 : 200 000 DU SÉNÉGAL ET AU 1 : 5 000 EN POLYNÉSIE FRANÇAISE : DEUX EXEMPLES DE PRODUCTION OPÉRATIONNELLE DE CARTES TOPO- GRAPHIQUES NUMÉRIQUES À PARTIR D'IMAGERIE SATELLITAIRE

*par Dominique Lasselin*

*IGN Espace, 6 avenue de l'Europe, 31520 Ramonville Ste-Agne  
dominique.lasselin@ign.fr*

*Franck Jaloux*

*IGN / SBI, 73 avenue de Paris, 94165 Saint-Mandé Cedex  
franck.jaloux@ign.fr*

*Mamadou Thiam*

*DTGC, route du Service géographique, Hann, BP 740, Dakar  
dtgc@orange.sn*

*Didier Lequeux*

*Gouvernement de la Polynésie Française, Service de l'urbanisme / Section topographie, BP 866, 98713  
Papeete, Tahiti  
didier.lequeux@urbanisme.gov.pf*

---

*La production de cartes topographiques à partir d'imagerie satellitaire a longtemps été limitée à des zones pilote. Elle n'a émergé de façon opérationnelle qu'avec l'arrivée sur le marché de capteurs à haute ou très haute résolution au début des années 2000. Dans ce contexte, SPOT5, lancé en 2002, est un outil unique qui répond aux besoins de production cartographique à des échelles allant jusqu'au 1 : 50 000, et même jusqu'au 1 : 25 000 dans certains pays, grâce à sa haute résolution (2.5 m ou 5 m), ses capacités d'acquisition stéréoscopique et sa large fauchée (120 km). Nous illustrerons son potentiel par la présentation du projet PCS200 de cartographie du Sénégal. Dans ce pays comme dans la majeure partie de l'Afrique centrale et de l'Ouest, la cartographie au 1 : 200 000 est l'échelle la plus grande couvrant l'intégralité du territoire. La plupart des cartes ont été publiées et, pour certaines d'entre elles, révisées entre les années 1955 et 1980. Seules quelques feuilles ont été mises à jour plus récemment. L'obsolescence et la précision (à la fois planimétrique et altimétrique) de ces cartes ne correspondent plus aux exigences modernes de qualité de l'information géographique. PCS200 est le projet de réfection complète de la cartographie au 1 : 200 000 et de production de la base de données cartographique vecteur du Sénégal. Ce projet, contracté à IGN France international au bénéfice de la DTGC à Dakar, a été financé par le Fonds européen de développement. Il a commencé en 2004 et s'est achevé en juin 2008. Il est basé, pour la planimétrie, sur l'interprétation d'images SPOT5 panchromatiques à 5 m de résolution, fusionnées à des images Landsat 7 Multispectrales à 30 m. La nouvelle altimétrie (courbes de niveau, points cotés, estompage du relief) est dérivée d'un MNE produit à partir de données HRS de SPOT5. La DTGC, en partenariat avec IGN France, a bénéficié d'une chaîne de production cartographique de qualité, efficace et économique. 27 nouvelles cartes (1°x1°) ont été publiées (impression*

offset, pliées) et la base de données vecteur correspondante est disponible sur l'ensemble du pays (environ 200 000 km<sup>2</sup>). Ce projet a donné l'opportunité de changer le système géodésique de référence des cartes pour le système WGS84 (projection MTU zone 28).

D'un autre côté, les satellites de résolution métrique ou sub-métrique (IKONOS, Quickbird, Worldview-1 & 2, Geoeye-1, Kompsat...) permettent la production de cartes topographiques jusqu'à l'échelle du 1 : 5 000. Nous présenterons une partie du projet « Topofoncier » dont l'objectif était de produire des cartes topographiques à l'échelle du 1 : 5 000 sur certaines îles de Polynésie française, à partir de couples stéréoscopiques d'images IKONOS. Dans cette région isolée, les distances entre îles ou atolls ainsi que la couverture nuageuse rendent très difficile l'acquisition de photographies aériennes. C'est pourquoi, dans le cadre du projet « Topofoncier » (2003-2008) dont l'objectif était de compléter la cartographie à grande échelle de cet immense territoire, IGN France a utilisé des couvertures monoscopiques (pour les atolls, dont le relief est quasi nul) ou stéréoscopiques (pour les îles hautes) d'images IKONOS (1 m couleur). Sur douze îles ou groupes d'îles, situés principalement dans l'archipel des Marquises (Tubuai, Rapa, Rurutu, Raivavae, Rimatara, Nuku-Hiva, Mangareva, Ua Huka, Ua Pou, Hiva Oa, Tahuata, Fatu-Hiva), et après compensation géométrique en blocs, les couples stéréoscopiques ont été restitués photogrammétriquement pour produire 114 feuilles à l'échelle du 1 : 5 000, représentant environ 1150 km<sup>2</sup> de surface terrestre.

Ces deux chantiers de production prouvent que la cartographie spatiale est entrée dans une phase de maturité. Alors que les nouveaux capteurs qui viennent ou qui sont en passe d'être lancés (WorldView2, Geoeye-2, Pleiades, SPOT6...) sont de plus en plus performants en termes de résolution, d'agilité, de fauchée et de capacité d'acquisition stéréoscopique, nous pouvons affirmer que l'usage de l'imagerie satellitaire pour la cartographie topographique va se renforcer dans les années à venir.

## Introduction

Les limitations en terme de résolution et de capacité d'acquisition ont longtemps cantonné la production de cartes topographiques à partir d'imagerie satellitaire à des prototypes ou de petites zones. Cette production n'a réussi à émerger de façon opérationnelle qu'avec l'arrivée sur le marché de capteurs à haute ou très haute résolution au début des années 2000. Dans ce contexte, SPOT5, lancé en 2002, est un outil unique pour les cartographes. Il satisfait les besoins de production cartographique (nouvelle production ou mise à jour) à des échelles allant jusqu'au 1 : 50 000, et même jusqu'au 1 : 25 000 dans certains pays. Ceci est dû à la haute résolution de son capteur HRG (2.5 m ou 5 m), aux capacités stéréoscopiques de son instrument HRS, et à sa large fauchée (120 km). Nous illustrerons son potentiel à travers la présentation du projet PCS200 de cartographie du Sénégal. D'un autre côté, les satellites à résolution métrique ou sub-métrique (comme IKONOS, Quickbird, WorldView-1 & 2, Geoeye-1, Kompsat...) permettent la production de cartes topographiques à une échelle allant jusqu'au 1 : 5 000. Nous détaillerons la partie du projet « Topofoncier » dont l'objectif était de produire, pour le compte du Gouvernement local de Polynésie française (Service de l'urbanisme), des cartes topographiques numériques à l'échelle du 1 : 5 000 à partir d'imagerie stéréoscopique IKONOS.

## 1 Nouvelle cartographie du Sénégal à l'échelle du 1 : 200 000 : le projet PCS200

### 1.1 Contexte du projet

Au Sénégal comme dans la plupart des pays d'Afrique centrale et de l'Ouest, le 1 : 200 000 est l'échelle de la cartographie de base, alors que le 1 : 50 000 ne couvre que des régions limitées. La première édition des cartes date des années 1950 à 1960. Certaines d'entre elles ont été révisées jusque dans les années 1980 et seules quelques rares feuilles ont été mises à jour plus récemment. De plus, la précision (à la fois planimétrique et altimétrique) de cette couverture cartographique ne répond plus aux exigences modernes de qualité de l'information géographique. Pour le Sénégal, les erreurs planimétriques peuvent aisément atteindre 300 à 400 m et l'équidistance des courbes de niveau n'est que de 40 m. Ce constat a poussé le Gouvernement sénégalais à décider la mise à jour de l'infrastructure géographique du pays.

PCS200 est le projet de réfection complète de la cartographie au 1 : 200 000 et de production de la base de données cartographique vecteur du Sénégal, à partir d'imagerie satellitaire. Ce projet, attribué à IGN France international, au bénéfice de la DTGC à Dakar, a été financé par l'Union européenne (Fonds ACP et FED). Il a démarré en 2004 et s'est achevé en juin 2008.

## 1.2 Objectifs du projet

L'objectif principal du projet était, selon les termes de référence, de produire, en 3 ans et en 3 phases, une cartographie numérique, à jour et homogène, du Sénégal en :

- mettant à jour et réimprimant les 27 feuilles à l'échelle du 1 : 200 000,
- produisant à partir des cartes mises à jour une base de données numérique appelée « Sen 200 », sous forme vecteur, et organisée en 5 couches :
  - administrative et toponymie,
  - réseaux routiers et ferrés,
  - hydrologie,
  - orographie,
  - végétation (occupation des sols).

## 1.3 Méthodologie générale

La méthodologie qui a été implémentée par IGN France pour ce projet consiste à :

- utiliser le produit Reference3D® disponible sur le Sénégal comme :
  - source de points d'appui, indépendante des anciennes cartes,
  - base de la nouvelle altimétrie,
- acquérir et orthorectifier (sans utiliser les anciennes cartes) une couverture d'images satellitaires,
- redessiner entièrement les nouvelles cartes en mode vecteur, par interprétation à l'écran des images satellite orthorectifiées,
- utiliser autant que possible les sources d'information externes disponibles auprès des ministères ou de compagnies privées,
- intégrer les données issues du complètement sur le terrain,
- réimprimer les nouvelles cartes en offset, en mode (Cyan, Magenta, Jaune, Noir) et sous forme pliée,
- élaborer la base de données cartographique vecteur directement dérivée des cartes.

## 1.4 Sélection et acquisition des images

Bien que l'échelle finale des cartes soit le 1 : 200 000, l'interprétation des pistes et la discrimination des zones urbaines dans le contexte d'un pays sahélien comme le Sénégal poussait au choix d'une résolution inférieure à 10 m. D'un autre côté, le besoin d'interpréter l'usage global des sols nécessitait une imagerie multispectrale. Pour des raisons budgétaires, il ne nous était pas possible de choisir l'imagerie idéale pour ce projet, à savoir le mode 5 m couleur de SPOT5. Nous avons donc opté pour une couverture de l'ensemble du pays (200 000 km<sup>2</sup>) par 93 images SPOT5 en mode pan-

chromatique (résolution 5 m), sélectionnées pour leur très grosse majorité dans l'archive récente, plus une couverture du pays par 12 images Landsat 7 ETM+, acquises à l'automne 2002 (fig. 1).

## 1.5 Traitements géométriques et radiométriques des images

Les images Landsat et SPOT ont été modélisées géométriquement ensemble, en utilisant le logiciel de spatiotriangulation développé à l'IGN (un des modules du logiciel GeoView®), qui utilise les paramètres d'orbite et de mouvement du satellite sur son orbite pendant la prise de vue. Les points d'appui sont issus de Reference3D® (MNE DTED2 et orthoimage et dérivés des données du capteur HRS de SPOT5), dont les précisions planimétrique et altimétrique sur le Sénégal sont estimées à 10 m en emq. Les anciennes cartes n'ont pas été utilisées pour cette étape et les résidus sur les points d'appui après compensation en bloc sont inférieurs à 1 pixel (fig. 2). Les images Landsat 7 (canaux 2,3,4) et SPOT Panchro ont ensuite été orthorectifiées en utilisant le MNE Reference3D® (fig. 2). Puis elles ont été fusionnées (fig. 3) en utilisant un processus de mixage P+XS identique à celui utilisé pour fusionner des images Panchro et Multispectrales acquises simultanément par le même capteur. Les images fusionnées ont ensuite été égalisées radiométriquement et assemblées par dalles de 1°x1°, correspondant à l'extension d'une feuille cartographique.

Bien qu'il y ait un ratio de 6 entre les résolutions des images multispectrales et panchromatiques et que les deux couvertures aient été acquises à des dates différentes (mais à la même saison), les images fusionnées P+XS résultantes sont très proches d'images originales SPOT5 5 m couleur et elles n'induisent pas de mauvaises interprétations.

## 1.6 Planimétrie

La planimétrie des nouvelles cartes (réseaux routier, ferré et hydrographique, occupation des sols, zones urbaines) a été interprétée sur les orthoimages fusionnées, avec l'aide des anciennes cartes scannées en fond. Nous avons également utilisé, autant que possible, les données exogènes en provenance d'autres ministères ou de compagnies privées (classification des routes, limites administratives, limites de parcs nationaux, localisation des lignes à haute tension, des centres de santé, ...). Un complètement terrain systématique a été entrepris, de l'ordre de trois semaines par feuille, pour collecter les informations complémentaires, telles que la praticabilité des routes, la toponymie, les limites administratives...

## 1.7 Altimétrie

La nouvelle altimétrie a été dérivée de la version DTED1 (taille du pixel-terrain de 3" d'arc, au lieu d'1" pour la version DTED2) du MNE Reference3D® produit à partir des données HRS de SPOT5. Elle est constituée des éléments suivants :

- ombres du relief (image d'estompement placée en fond des nouvelles cartes),
- nouvelles courbes de niveau (équidistance 20 m avec intercalaires à 10 m),
- points cotés.

## 1.8 Résultats pour le pays

Une nouvelle vision du territoire sénégalais, avec :

- 27 nouvelles cartes à l'échelle du 1 : 200 000 (fig. 4 et 5),
- une version numérique des cartes papier sous forme image,
- une base de données cartographique vecteur correspondante,
- un nouveau MNE.

Les principales caractéristiques de la nouvelle infrastructure géographique du Sénégal sont :

- une information à jour (réseau routier et sa praticabilité, étendue des zones urbaines, ...),
- une nouvelle projection MTU sur WGS84, zone 28, compatible avec le GPS,
- des cartes pliées pour une manipulation aisée,
- des légendes et présentations homogènes sur tout le pays (fig. 5),
- une précision planimétrique compatible avec les normes internationales (moins de 20 m en emq de précision absolue),
- une nouvelle altimétrie avec une précision absolue de 10 m en emq,
- des données numériques (image et vecteur) disponibles sous des formats variés : Tiff/GeoTiff, DXF, GeoConcept, Shapefile..., qui peuvent être importées directement dans un SIG,
- des données d'intérêt national qui servent de base pour de nombreuses applications et projets.

## 1.9 Transfert de technologie complet

Tout au long de ce projet, la DTGC a bénéficié d'un transfert de technologie complet de la part d'IGN France, qui a consisté en :

- une formation de longue durée en France de 5 agents,
- une formation de courte durée de 2 agents pendant 3 mois,
- l'implémentation d'une chaîne de production complète à Dakar (traitement d'images satellite, cartographie, SIG),

- les formations sur projet, assistance technique pour la production des nouvelles cartes au Sénégal, assistance téléphonique et par courriel.

## 2 Cartographie topographique à l'échelle du 1 : 5 000 en Polynésie française

### 2.1 Contexte du projet

En Polynésie française, les distances entre les îles ou atolls ainsi que la persistance de la couverture nuageuse (notamment sur les îles) rendent l'acquisition de photographies aériennes très difficile. C'est pourquoi, dans le cadre du projet « Topofoncier » (2003-2008) dont l'objectif était de compléter, pour le compte du Service de l'urbanisme, la cartographie à grande échelle de cet immense territoire, IGN France a eu recours de façon intensive à l'imagerie satellitaire. Celle-ci a été acquise par programmation, en monoscopie pour les atolls dont le relief est quasi-inexistant et en stéréoscopie pour les îles hautes. Nous ne décrivons dans cet article que la partie de ce projet concernant la production de cartes topographiques à partir d'imagerie stéréoscopique sur les 12 îles ou groupes d'îles principalement situés dans l'archipel des Marquises (Tubuai, Rapa, Rurutu, Raivavae, Rimatara, Nuku-Hiva, Mangareva, Ua Huka, Ua Pou, Hiva Oa, Tahuata, Fatu-Hiva).

### 2.2 Données d'entrée

L'imagerie du satellite IKONOS a été choisie, principalement à cause de l'agilité de son capteur en comparaison avec les seuls autres capteurs métriques sur le marché au début du projet : QuickBird. Les images ont été acquises en mode 1 m couleur, en tant que produit « Geo Ortho Kit », fourni avec des fonctions rationnelles (fichiers rpc). Pour environ la moitié des surfaces couvertes, des acquisitions multi-temporelles ont été nécessaires pour pouvoir disposer au moins d'une image non-nuageuse en chaque point-terrain.

### 2.3 Traitement géométrique

Les couples stéréoscopiques d'images IKONOS ont été modélisés en bloc (1 bloc par île), en utilisant une méthode de compensation des fonctions rationnelles. Cette méthode a été développée à l'IGN et implémentée dans le logiciel GeoView®. Les points d'appui ont d'abord été pré-identifiés sur les images brutes, et leurs coordonnées précises déterminées sur le terrain par GPS.

Dans l'exemple présenté en figures 6 et 7 sur l'île d'Hiva Oa, 7 couples stéréoscopiques (dont 2 en mul-

titemporel) ont été acquis. 30 points de liaison ont été saisis, ainsi que 13 points d'appui, pour une emq de 0,3 m en XYZ.

## 2.4 Restitution photogrammétrique 3D

Après modélisation géométrique, les couples stéréoscopiques ont été restitués photogrammétriquement (en utilisant le module photogrammétrique du logiciel GeoView®) pour produire en final 114 feuilles à l'échelle du 1 : 5 000, représentant environ 1150 km<sup>2</sup> de terres émergées. À titre d'exemple est présentée en figure 8 l'unique carte topographique couvrant l'île de Rimatara.

## 3 Conclusion

Ces deux chantiers de production prouvent que la cartographie spatiale est maintenant entrée dans une phase de maturité. Alors que les nouveaux capteurs qui viennent ou qui sont en passe d'être lancés dans les toutes prochaines années (WorldView2, Geoeye-2, Pleiades, SPOT6...) sont de plus en plus performants en termes de résolution, d'agilité, de fauchée et de capacité d'acquisition stéréoscopique, nous pouvons affirmer que l'usage de l'imagerie satellitaire pour la cartographie topographique va se renforcer dans les années à venir.

## Bibliographie

**Lasselín D., Cantou J.P., Sempere J.P.**, 2003, *Evaluation of the Geographic Information Potential of SPOT5* – IEEE IGARSS (International Geoscience and Remote Sensing Symposium), Toulouse, juillet 2003, 3 p.

**Lasselín D., Breton E., Sempere J.P., Cantou J.P.**, 2003, *Evaluation of the Geographic Information Potential of SPOT images* – ISPRS Hanover, Germany, Commission VI, WG VI/4, octobre 2003, 4 p.

**Lasselín D., Thiam M., Tapsoba C.O.**, 2007, *SPOT5 : une opportunité pour la mise à jour de la cartographie africaine : exemples de projets opérationnels* – Conférence AfricaGIS 2007, Ouagadougou, Burkina Faso, 17 au 21 septembre 2007, session 1 : Geo-information et politique nationale de l'information géographique.

## Abréviations

MNE : Modèle numérique d'élévation  
DTED : Digital Terrain Elevation Data  
DTGC : Direction des travaux géographiques et cartographiques (Sénégal)  
SIG : Système d'information géographique  
GPS : Global Positioning System  
HRG : Haute résolution géométrique (capteur de SPOT5)  
HRS : Haute résolution stéréoscopique (capteur de SPOT5)  
IGN : Institut géographique national (France)  
PCS200: Projet de cartographie du Sénégal au 1 : 200 000  
emq : erreur moyenne quadratique  
MTU : Mercator transverse universelle

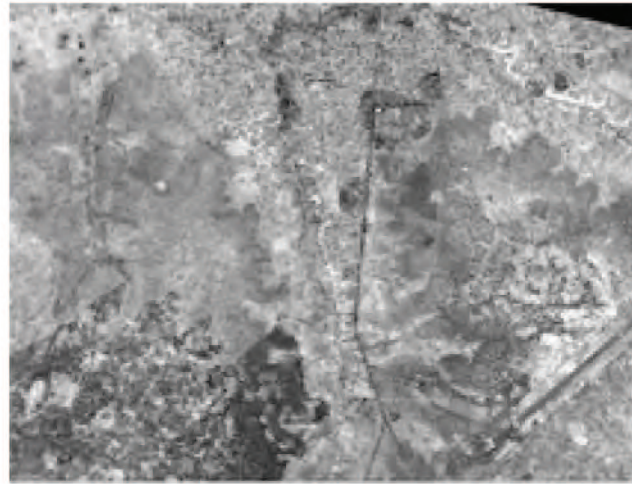


Figure 1 : Extrait d'image Landsat 7 ETM+ (Canaux 2,3,4, résolution 30m) et SPOT 5 Panchro (résolution 5m) sur la ville de Tambacounda

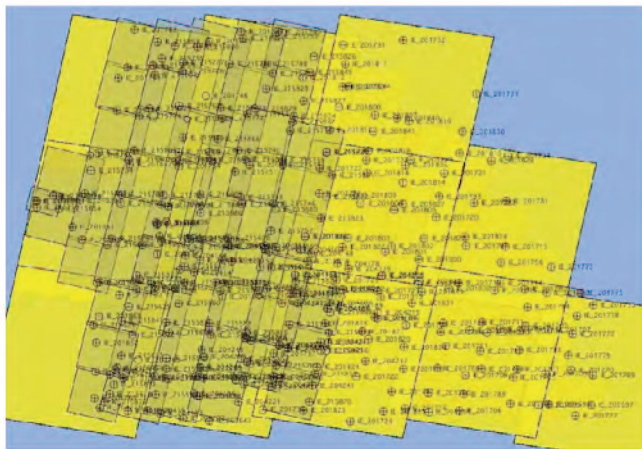


Figure 2 : Modélisation en bloc des images SPOT 5 Panchro / Landsat 7 et MNE Reference3D® sur le Sénégal



Figure 3 : Extrait d'image 5m couleur résultant de la fusion d'une image Landsat 7 ETM+ (Canaux 234) et d'une image SPOT 5 Panchro sur la ville de Tambaounda

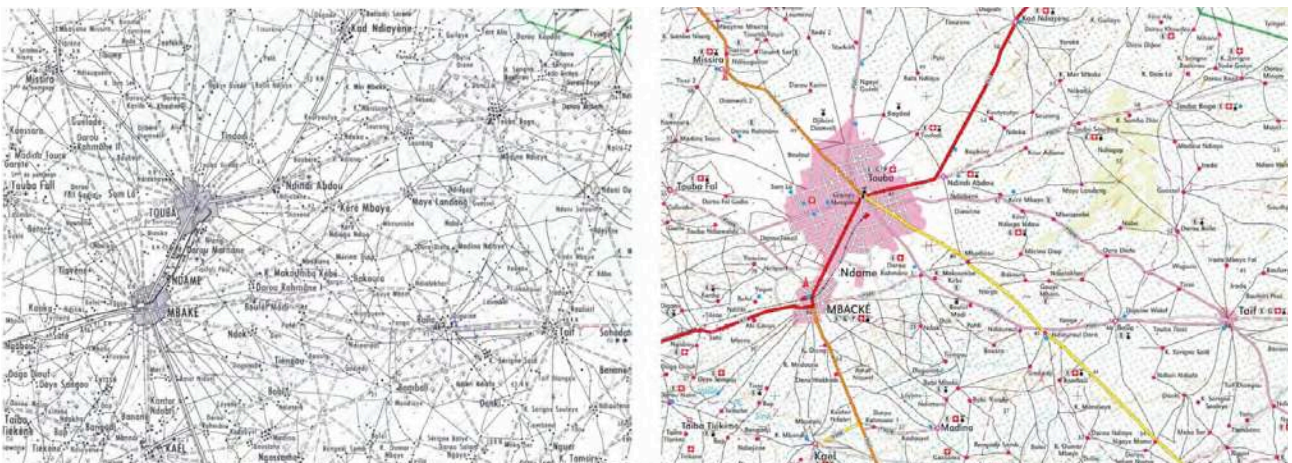


Figure 4 : Extrait de l'ancienne et de la nouvelle carte topographique de Kaffrine (ND-28-XV) sur Mbaké-Touba



Figure 5 : Assemblage des 27 cartes topographiques à l'échelle du 1:200 000 sur l'ensemble du pays

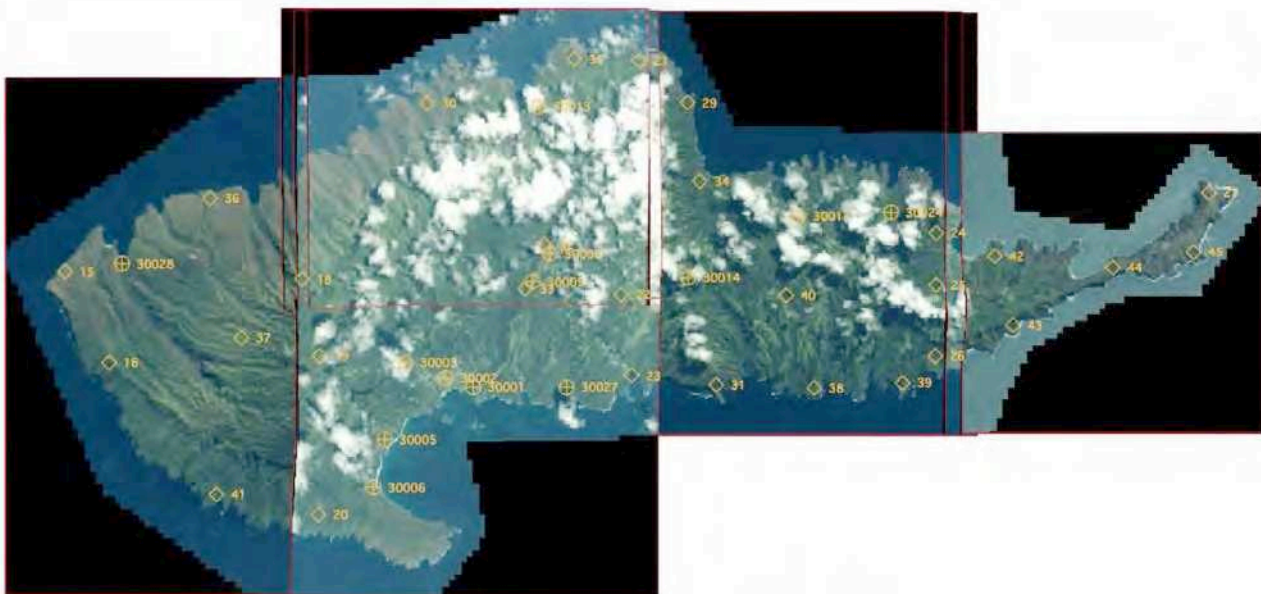


Figure 6 : Localisation des points d'appui et de liaison sur l'île de Hiva Oa

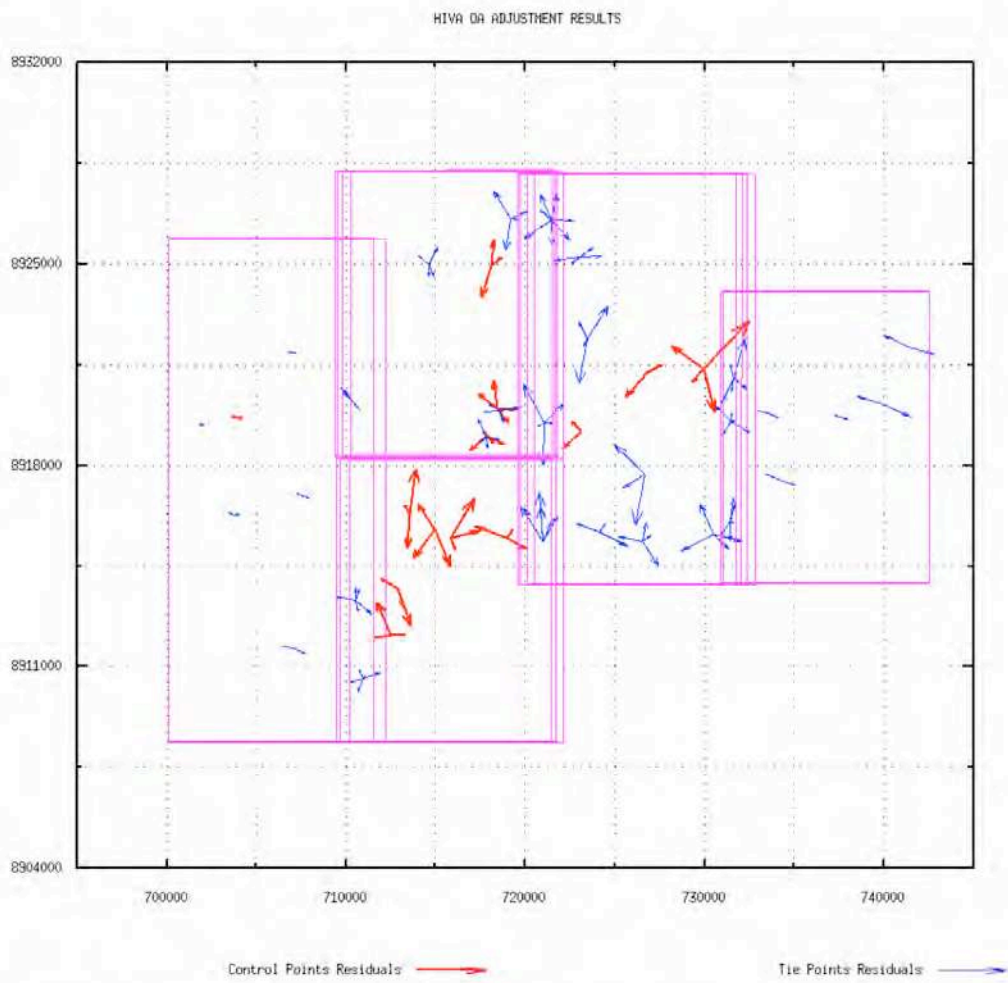


Figure 7 : Résultat de la compensation en bloc des fonctions rationnelles (fichiers RPC) sur 7 couples stéréoscopiques d'images IKONOS couvrant l'île de Hiva Oa. Échelle des résidus : 1 maille = 1m

