



Université d'Oran 2
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

THESE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences
En Sciences de la Terre

**CADASTRE ET AMENAGEMENT PAR SPATIOCARTOGRAPHIE DANS
UNE ZONE SUB-ATLASIQUE : CAS D'EL BAYADH.**

Présentée et soutenue publiquement par :

BOUKERCH Issam

Devant le jury composé de :

<i>SOUIAH Sid Ahmed</i>	Professeur	Université d'Oran 2	Président
<i>HADEID Mohamed</i>	Professeur	Université d'Oran 2	Rapporteur
<i>GHODBANI Tarik</i>	Professeur	Université d'Oran 2	Examineur
<i>KAHLOUCHE Salem</i>	Directeur de recherche	Centre des Techniques Spatiales - Arzew	Examineur
<i>FIZAZI Hadria</i>	Professeur	Université des Sciences et de la Technologie d'Oran	Examineur
<i>SI MOHAMED Arezki Mohamed</i>	Directeur de recherche	Centre de développement des Satellites - Oran	Examineur

Année 2018

« Cadastre et aménagement par spatio-cartographie dans une zone sub-atlasique : Cas d'El bayadh »

Résumé :

La superficie de l'Algérie et la croissance économique rendent difficile le suivi et la mise à jour des données cadastrales, essentiellement cartographiques, par les méthodes photogrammétriques et les levés terrestres jusque-là considérées comme les principales sources d'informations géométriques cadastrales. Il est donc impératif de trouver une solution adéquate pour cadastrer le pays en un temps raisonnable et avec une précision acceptable.

Dans le présent travail on propose une approche basée sur des moyens non conventionnels pour permettre une couverture cadastrale propre aux zones steppiques et sahariennes, en s'appuyant sur l'utilisation des images satellitaires et le GPS. Les résultats ont été satisfaisants et nous ont permis de produire des orthoimages dont la qualité géométrique est conforme au standard de réalisation des plans au 1/10.000 sur les zones d'intérêt où l'activité est dense à partir des images SPOT5 et d'une couverture totale par des images ETM+ équivalente au 1/200.000. La méthodologie d'obtention de ces documents a été validée sur la wilaya d'El Bayadh et approuvée par l'Agence Nationale du Cadastre (ANC) pour le cadastre steppique et saharien.

Après le lancement du satellite Alsat-2A avec une résolution de 2.5 m, il a été décidé de généraliser la couverture cadastrale sur les régions steppiques et sahariennes en utilisant les images de ce dernier. Pour ce faire, il était indispensable de développer un modèle géométrique rigoureux propre à ces images permettant une exploitation photogrammétrique assurant une précision géométrique adéquate pour le cadastre. Les résultats obtenus prouvent que l'on peut atteindre une précision subpixelaire sur les images panchromatiques et multispectrales.

Mots clés : Cadastre steppique et saharien, El Bayadh, Alsat-2, modèle géométrique rigoureux

« Cadaster and development by spatiomapping in sub-atlasic zone : El Bayadh case »

Abstract :

The large extent of Algeria and the economic growth make the monitoring and update of the cadastral data difficult, essentially cartographic data. Previously the photogrammetric methods and land surveys were considered as the main sources of cadastral geometric information. It is therefore imperative to find an adequate solution to register the country in a reasonable time and with an acceptable accuracy.

In the present work, we propose an approach based on unconventional resources to allow a cadastral coverage specific to the steppe and Saharan areas, relying on the use of satellite images and GPS. The results were satisfactory and allowed the production of orthoimages where the geometric quality is in conformity with the standard of realization of the 1 / 10.000 plans on the zones of interest where the activity is dense. This production is based on the SPOT5 images and a total coverage by ETM + images equivalent to 1 / 200,000. The methodology for obtaining these documents was validated on the wilaya of El Bayadh and approved by the National Cadastre Agency (ANC) for the steppic and Saharan cadastre.

After the launch of the Alsat-2A satellite with a resolution of 2.5 m, it was decided to generalize the cadastral coverage on the steppic and Saharan regions using the images of the latter. To do this, it was essential to develop a rigorous geometric model specific to these images, which allow a photogrammetric operation ensuring geometric accuracy adequate for the cadastre. The results show that subpixel accuracy can be achieved using panchromatic and multispectral images.

Key words : Steppic and Saharan cadaster, El Bayadh, Alsat-2, Rigorous geometric modelling

" المسح و التهيئة بالخرائط الفضائية في المناطق تحت أطلسية : حالة البيض "

المخلص :

لقد صعبت مساحة الجزائر الشاسعة و النمو الاقتصادي المستمر من مهمة متابعة و تحديث معطيات مسح الأراضي- خصوصا الخرائطية منها- عن طريق استعمال التصوير الجوي و المسح الأرضي اللذان يعدان لحد الآن أهم مصادر المعلومات الهندسية المساحية. لقد صار من الضروري إيجاد حلول ملائمة لاستكمال أعمال المساحة على المستوى الوطني في وقت معقول و بدقة مقبولة.

في هذه الرسالة نقتراح منهجية تعتمد على استعمال وسائل غير تقليدية للوصول إلى تغطية مساحية خاصة بالمناطق السهبية و الصحراوية بالإعتماد على صور الأقمار الصناعية و نظام التوقيع العالمي. النتائج المتحصل عليها كانت مرضية و سمحت بإنتاج صور مصححة ذات نوعية هندسية مطابقة لمعايير المخططات ذات المقياس 1/10.000 لتغطية المناطق المهمة حيث يكون النشاط أكثف انطلاقا من صور الساتل SPOT5 و تغطية أخرى شاملة تستعمل فيها صور ETM+ بـ 1/200.000. هذه المنهجية المستعملة لاستخراج هذه الخرائط تمت تجربتها و إثباتها على ولاية البيض حيث صودق عليها و اعتمدت من طرف الوكالة الوطنية لمسح الأراضي في إطار تغطيتها للمناطق السهبية و الصحراوية.

بعد إطلاق القمر الصناعي Alsat-2A بدقة 2,5م. تقرر تعميم التغطية المساحية باستعمال الصور الفضائية لهذا الساتل على كامل المناطق السهبية و الصحراوية. لأجل هذا و جب تطوير نموذج هندسي دقيق خاص بصور هذا القمر. وذلك للسماح باستغلال الأمثل مع ضمان دقة هندسية ملائمة لأعمال المساحية. النتائج المتحصل عليها أثبتت أنه بالإمكان الوصول إلى دقة دون البكسل على الصور الأحادية و المتعددة الأطياف.

مفتاحية كلمات : مسح المناطق السهبية و الصحراوية. البيض. ألسات 2، النموذج الهندسي الدقيق

Remerciements

*Je voudrais tout d'abord exprimer ma profonde gratitude au directeur de ma thèse Pr. **Hadeid Mohamed**, Professeur à l'Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, sa qualité scientifique et humaine ainsi que son expérience dans le domaine de la recherche a représenté de réels atouts pour mener mes travaux de cette manière durant ces années de thèse.*

*Mes remerciements vont aussi au Pr. **Souiah Sid Ahmed** pour avoir accepté de présider ce jury, Pr. **Fizazi Hadria**, Dr. **Kahlouche Salem**, Dr. **Si Mohamed Arezki Mohamed**, Pr. **Ghodbani Tarik**, pour leur participation dans mon jury de soutenance.*

*Mes remerciements vont à M. **Ouseddik Azeddine** PDG de l'Agence Spatiale Algérienne qui m'a offert l'opportunité de piloter le projet « Cadastre steppique et saharien par Spatio-cartographie » et avoir accès aux premières images du satellite Alsat-2A et toute la logistique et les moyens techniques qui ont permis l'aboutissement de ce travail. Je tiens aussi à remercier M. **Benhamouda Fethi** pour son aide et soutien durant la thèse.*

*Je remercie tous mes collègues du CTS, en particulier **Mahmoudi Redouane** et **Takarli Bachir** pour leurs remarques et encouragements et l'ambiance de travail qu'ils ont su créer.*

Un grand merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans cette thèse, et qui m'ont permis de mener mes travaux dans un environnement agréable et dans des circonstances idéales.

Dédicace

*Je dédie particulièrement ce travail à la mémoire de mon père à qui je dois
tout simplement tout,*

Aussi, je dédie ce travail à ma chère mère, ma chère femme et à mon fils,

A mon frère et à mes sœurs,

A tous ceux qui me sont chers

Sommaire

SOMMAIRE	1
INTRODUCTION GENERALE	4
PREMIERE PARTIE : UN CONTEXTE GEOGRAPHIQUE PARTICULIER QUI NECESSITE UN CADASTRE PARTICULIER	16
Chapitre I Présentation de la zone d'étude	17
1 Situation Géographique	17
2 Milieu physique	17
3 Cadre climatique	20
4 Cadre Géologique et Géomorphologique	28
5 L'occupation des sols	33
6 Cadre socio-économique	38
7 Le cadre foncier et les réserves foncières de la wilaya	47
8 Conclusion du premier chapitre	49
Chapitre II L'analyse du cadastre Algérien	50
1 Quelques définitions du cadastre	50
2 L'historique du cadastre	51
3 But et missions du cadastre	52
4 Les usages de l'information cadastrale	53
5 L'historique du cadastre en Algérie	57
6 Le cadastre en Algérie	63
7 Le bilan du cadastre algérien avant et après le lancement du cadastre steppique et saharien	80
8 Les objectifs internationaux et l'initiative « Cadastre 2014 »	84
9 Conclusion du deuxième chapitre	91
DEUXIEME PARTIE : L'IMAGERIE SATELLITAIRE AU SERVICE DU CADASTRE	93
Chapitre II L'imagerie spatiale comme source de l'information géographique	94
1 Historique de l'imagerie	94
2 Caractéristiques des images satellitaires	95

3 Les satellites Landsat	98
4 Satellite pour observation de la terre - SPOT:	99
5 Le programme ALSAT	102
6 Conclusion du premier chapitre	106
Chapitre II L'image satellitaire au service de la cartographie cadastrale	107
1 La production cartographique et l'image satellitaire	107
2 L'imagerie spatiale au profit du cadastre	108
3 Le contenu informatif de l'image	110
4 Orthorectification et spatiocartographie	115
5 La modélisation géométrique des systèmes spatiaux	123
6 Les procédures de l'orthorectification	134
7 Evaluation de la qualité géométrique	135
8 Conclusion du deuxième chapitre	144
TROISIEME PARTIE : LE CADASTRE STEPPIQUE ET SAHARIEN	
D'EL BAYADH ET LA PROBLEMATIQUE DE GENERALISATION	146
Chapitre I Étude pilote sur la commune d'El Bayadh	147
1 Introduction	147
2 Processus suivi pour la réalisation de la spatiocarte	147
3 Description des données utilisées	149
4 La mission GPS pour la collecte des points d'appui	151
5 Prétraitement des données	152
6 Génération du modèle numérique de terrain	152
7 Génération des orthoimages	153
8 Contrôle de la qualité géométrique des orthoimages	157
9 Résultats et discussion	157
10 Transformation en couleurs pseudo-naturelles	159
11 Propositions pour la conduite des travaux de cadastre	161
12 Conclusion du premier chapitre	164
Chapitre II La couverture cadastrale de la willaya d'el Bayadh	165
1 Introduction	165
2 Stéréopréparation	167
3 Génération des orthoimages SPOT-5	170
4 Le mosaïquage	186
5 Traitement des images ETM+	190
6 Édition et tirage	194

7 La généralisation de l'étude sur la willaya aux zones steppiques et sahariennes algériennes	197
8 Conclusion du deuxième chapitre	203
Chapitre III Alsat-2A comme une alternative technico-économique	205
1 Introduction	205
2 La modélisation géométrique	206
3 Tests et résultats sur la modélisation géométrique	223
4 Conclusion du troisième chapitre	242
CONCLUSION GENERALE	246
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	253
ANNEXE 1: VALIDATION DE L'ORTHORECTIFICATION SUR LA COMMUNE D'EL BAYADH	261
1 Vérification par des mesures ponctuelles	261
2 Vérification des surfaces	262
3 Vérification des distances	263
ANNEXE 2: L'EVALUATION POSTPRODUCTION DE LA COUVERTURE DE LA WILLAYA D'EL BAYADH	265
1 Résultats sur les images ETM+	265
2 Résultats sur les images SPOT-5	267
ANNEXE 3: PUBLICATIONS ET TRAVAUX SCIENTIFIQUES	270
TABLES DES MATIERES	354
LISTE DES FIGURES	362
LISTE DES TABLEAUX	367

Introduction Générale

Selon la position de l'utilisateur de l'Information Géographique (IG) en tant que chercheur, expert ou décideur, le champ d'action peut varier entre récolter des données, extraire des informations pertinentes au regard de l'application concernée, traiter ces informations, les interpréter et en fin les rendre opérationnelles.

L'utilisation et la production de l'IG connaissent un grand bouleversement ces dernières décennies. Initialement l'IG telle que l'on connaît aujourd'hui à été strictement réservée aux applications militaires. Vers les années 1980 le champ d'application de l'IG en générale et des images satellitaires en particulier a commencé à être élargi vers le secteur de recherche civile pour alimenter les besoins des applications des grands secteurs publiques. L'ouverture d'internet a ravivé la démocratisation de l'IG, pour passer de l'ère de la visualisation de simples images satellitaires météorologiques animées montrant le mouvement des nuages sur un écran de télévision à l'ère de *Google Earth* et *Street View* qui ont rendu l'IG disponible sur tout le globe, accessible à tout moment par tout le monde, même les enfants on pris leur part de cette effervescence à travers des jeux basés sur l'utilisation de l'IG réelle comme c'est le cas de *Pokémon Go*. Ces évolutions modifient les métiers, la façon de produire mais aussi celle de diffuser cette information. Toutes ces « applications » allant de la météorologie, la géologie, en passant par l'aménagement du territoire, le cadastre et arriver enfin aux jeux d'enfant, ont un point commun, elles sont le résultat d'une science relativement récente, la télédétection spatiale. Cette science trouve sa légitimité dans le domaine de la géographie mathématique telle que définie par exemple par Sylvestre François Lacroix dans son traité de 1811 « Introduction à la Géographie mathématique

et critique, et à la Géographie physique »¹ dont nous reprenons à l'identique une partie de son introduction :

*« La Géographie, ou la description de la terre, se partage en deux branches distinctes : l'une, dont la connaissance est le plus généralement répandue, et que l'on pourrait nommer **géographie narrative**, semblable aux récits des voyageurs, décrit , par la voie du discours , la connexion des différents pays , leurs principales circonstances physiques , la forme de leurs gouvernements, leur division politique, leur commerce , les mœurs de leurs habitants , et enfin rappelle les principaux traits de leur histoire.*

*Ces descriptions, rendues dans le langage commun, appropriées aux notions les plus familières, ont nécessairement des formes un peu vagues; c'est pourquoi on a imaginé d'y Joindre des **dessins** ou **cartes**, non-seulement dans l'intention de rendre sensibles à l'œil, les situations respectives des divers lieux de la terre, mais encore pour donner à ces situations, et aux relations de forme et d'étendue qui en résultent, la plus grande précision que l'on puisse atteindre, et dont on a souvent besoin dans la navigation, l'art militaire, la construction des routes, des canaux, et pour d'autres objets aussi importants à la société.*

*La construction de ces cartes forme une seconde branche non moins utile que la précédente, mais beaucoup moins connue; et quoique les principes sur lesquels elle repose tiennent à la géométrie et à l'astronomie, elle est souvent ignorée de ceux mêmes qui sont initiés dans ces sciences. Cela vient peut-être aussi de ce que , faute d'un nombre suffisant de déterminations précises, l'application des principes mathématiques ne sert, dans beaucoup de circonstances, qu'à tracer ce qu'on appelle le **cadre de la carte**, et que pour y placer les détails il faut alors recourir à la combinaison et à la discussion des relations des voyageurs , ou des récits des historiens.*

*Ce genre de travail , étant plutôt dirigé par la sagacité de celui qui l'exécute que par des règles générales, a paru sans doute peu susceptible d'analyse ; et on n'a pas cru pour cette raison devoir en parler dans l'instruction générale : mais ce pendant il n'est pas impossible de montrer le fil qui a conduit dans leurs recherches , les savants géographes du siècle passé et du nôtre, et de compléter ainsi les traités de géographie, en y joignant les éléments de la partie **mathématique** et **critique** de cette science, qui a principalement pour objet la construction des cartes. D'ailleurs, comment peut-on se servir avec sûreté de ces dessins, et en apprécier l'exactitude, lorsqu'on est absolument étranger aux procédés qu'on emploie pour les composer ? »*

¹ Ce livre est disponible en accès publique sous le même titre à <https://books.google.com/>

Le développement de ces sciences annexes, comme l'astronomie, les mathématiques, l'électronique et l'informatique, a permis une évolution des techniques d'acquisition et de gestion de l'IG. Aujourd'hui l'un des plus grands défis est que chacun demande à obtenir la «meilleure» information, c'est-à-dire l'information la plus adaptée à ses besoins, à moindre coût.

Le développement économique d'un pays est directement lié à l'accessibilité et à la qualité de l'IG, laquelle est considérée comme une information indispensable pour divers domaines tels que l'exploitation des ressources naturelles, l'aménagement du territoire, l'urbanisme, la gestion des catastrophes. C'est pour cette raison que la tendance actuelle va vers l'IG libre et ouverte. Les données géospatiales ouvertes constituent un paradigme de plus en plus important qui offre la possibilité de promouvoir la démocratisation de l'information géographique, la transparence des gouvernements et des institutions, ainsi que les opportunités sociales, économiques et environnementales. Comme exemple de cette ouverture, il existe le Géoportail de l'Institut Géographique National Français, qui est décrit par l'IGN comme : *« Le site Géoportail facilite l'accès à l'information géographique de référence, c'est-à-dire une information publique et de source officielle sur le territoire national. Disposer de données fiables et complètes, remises à jour en permanence, est indispensable à la mise en œuvre des politiques publiques environnementales et d'aménagement du territoire. Il répond aussi bien aux simples besoins de localisation (localiser une parcelle, rechercher une adresse...), qu'aux besoins de co-visualisation d'informations sur le territoire »*¹

De nos jours, l'acquisition et la gestion de l'information géographique est un champ de recherche très actif. En effet, on est constamment appelé à développer des outils de plus en plus performants en matière d'acquisition de cette information et efficaces pour sa gestion. Ces aspects restent la pierre

¹ <https://www.geoportail.gouv.fr/>

angulaire dans tout effort de développement. Comme exemple de défis actuels de la recherche portant sur l'IG, on trouve la masse importante de données existantes (le Bigdata), les entrepôts de données (datawarehouse). Le matériel actuel permet d'acquérir une très grande masse de données en très peu de temps comme les lidars qui permettent de scanner avec une cadence de 500.000 pts/seconde.

La connaissance précise et détaillée du territoire national est l'une des conditions essentielles pour garantir un progrès économique durable. Elle est pour ce fait, la base de tout effort d'aménagement durable du territoire. Le cadastre chargé de délivrer *l'identité foncière* est le premier producteur de l'information sur la propriété (information géographique et juridique). Sa réalisation reste un des plus grands défis nationaux.

Si le processus d'établissement du cadastre est en cours de réalisation pour les régions du nord du pays, le problème se pose avec acuité pour les zones steppiques et sahariennes. En effet, pour des raisons socioéconomiques et climatiques, la répartition de la population à travers le territoire national continue à soulever des problèmes en matière de gestion, du territoire en général, et de la propriété foncière en particulier. En effet, avec 90% de la population concentrée dans moins de 12 % du territoire national et une densité de population variant de 240hab/Km² à 1.4hab/Km², l'opération de cadastrer l'Algérie continue de soulever des questions méthodologiques et techniques.

Les choix faits jusque-là pour cadastrer le pays, en matière de moyens classiques (photogrammétrie, levé terrestre et GPS) avec les échelles de représentation du 1/500ème, 1/1000ème pour les zones urbaines et 1/2500ème - 1/5000ème pour les régions rurales, s'avèrent adaptés pour le Nord du pays, mais inadéquats pour la partie sud (hauts plateaux et grand-sud).

L'immensité du territoire à cadastrer et la non homogénéité de la distribution des zones d'intérêt (zones urbaines, agricoles, industrielles ...), en

plus des coûts et des délais de réalisation, rend indispensable l'adoption d'une nouvelle stratégie qui tient compte des derniers progrès en matière d'acquisition et de gestion de l'information géographique.

À cet effet, l'Agence Nationale du Cadastre en partenariat avec l'Agence Spatiale Algérienne ont décidé d'explorer les potentialités de l'imagerie satellitaire pour la couverture cadastrale. L'approche consiste à utiliser l'imagerie satellite de haute résolution (ALSAT-1, Aster ou ETM+) et très haute résolution (SPOT-5, ALSAT-2 et Quickbird) dans une approche multi-échelle pour aider le cadastre Algérien à définir un troisième type de couverture appelé 'Cadastre steppique et saharien', qui s'ajoutera aux deux premiers types déjà existants, à savoir le 'cadastre urbain' et le 'cadastre rural'.

L'avènement des satellites imageurs à très haute résolution (THR) géométrique dans le marché de la géoinformation comme une alternative à la photographie aérienne, ouvre un large champ d'applications cartographiques. La résolution géométrique de ces satellites qui va de cinq mètres à des valeurs sub-métrique permet la génération des spatiocartes et des spatioplans à moyenne et grande échelle. Les avantages qu'offre cette nouvelle technologie, comme la vue synoptique, la couverture de grandes étendues, la génération des documents cartographiques avec des coûts et des délais relativement réduits, nous confirment l'usabilité de ces produits dans le domaine du cadastre des zones steppiques et sahariennes.

Cependant, le processus de passage d'une image satellite brute à un document cartographique reste intimement lié au type d'image à utiliser et au contexte de l'application. Il est plus précisément question dans ce processus, d'une part, d'une modélisation géométrique du système imageur afin d'avoir une connaissance précise de la qualité géométrique des documents cartographiques et d'autre part, de la qualité sémantique (contenu informatif) de ces documents.

Dans cet ordre d'idées, il est important de rappeler que pour le cadastre des régions steppiques et sahariennes, ces aspects restent une problématique d'actualité. La généralisation de l'utilisation des spatiocartes est donc tributaire d'une phase de contrôle et de validation. Là encore, il est à noter que les normes de validation et de contrôle, relatives à ce genre d'applications, adaptées aux spécificités de notre pays sont inexistantes.

Problématique, objectif et démarche de recherche

Cette recherche s'insère dans le cadre de l'évaluation de l'apport des images satellites comme source d'Information Géographique pour le cadastre Algérien dans les milieux steppiques et sahariens.

Le manque de couverture cadastrale dans les zones steppiques et sahariennes représente une entrave à toute initiative de développement local, du moment que la projection et l'installation du moindre équipement nécessite une information « fiable » sur le propriétaire du foncier afin de minimiser l'incidence financière qu'engendre les opérations d'expropriation, par exemple, et qui peuvent inverser les avis des décideurs dans certains cas.

Le saut technologique survenu après l'apparition des images satellitaires à très haute résolution a amené l'Agence Nationale du Cadastre (ANC) à poser des questions sur les potentialités d'utilisation de ce type d'imagerie pour la couverture cadastrale dans les zones steppiques et sahariennes. De part leurs paysage spécifique, ces régions accusent un retard énorme en matière de couverture cadastrale. Ce retard provient d'une combinaison de deux causes potentielles :

- Les étendues très importantes relativement aux moyens de production déployés, or ces mêmes moyens ont été suffisants pour la production au nord du pays.
- Les services de production ne peuvent pas suivre l'évolution technologique en matière d'acquisition de l'IG, ceci est due, d'une part,

au manque de formation continue du personnel et d'autre part aux procédures de production fixées par la législation ainsi que l'aspect « bureaucratique » qui caractérise l'organisation de l'ANC. Cette attitude est justifiée dans le but de maintenir la qualité de la couverture cadastrale au nord du pays. Ces procédures doivent être revues et adaptées pour les zones steppiques et sahariennes.

L'analyse des besoins et des problèmes du cadastre nous amène à émettre les questionnements suivants :

Quel est la spécificité des régions qui pose des problèmes pour le cadastre ?

Comment le cadastre organise t-il sa production actuellement ?

Quels sont les contraintes législatives qui bloquent l'utilisation des images satellitaires par le cadastre ?

Est-ce qu'il existe des ancrages internationaux permettant d'orienter la vision stratégique du cadastre algérien de manière à rester dans le cadre international ?

Quels sont les potentialités de l'imagerie satellitaire pour la production cartographique et cadastrale ?

Est-ce que cette nouvelle manière de produire l'IG cadastrale nécessite la révision des procédures de travail ?

Est-ce que cela n'implique pas une formation spécifique permettant le transfert de savoir faire aux agents du cadastre pour qu'ils s'approprient cette nouvelle technologie?

Quel est la précision géométrique qu'on peut atteindre en utilisant les images satellitaire ?

Comment procède le cadastre actuellement pour contrôler et valider sa production ?

Quels sont les normes et les standards utilisés à travers le monde pour la validation des productions faites sur la base des images satellitaires, et laquelle est adaptée pour nous ?

Est-ce qu'on peut établir une procédure de production généralisable pour l'ensemble des zones steppiques et sahariennes de l'Algérie ?

Si les tests sont concluants, est-ce que l'imagerie du satellite algérien Alsat-2A est utilisable en l'état pour la couverture cadastrale ?

Le présent manuscrit résume le fruit d'un travail de recherche fait dans la perspective de donner des réponses aux questions précédentes. Ce travail, qui a été cadré par les besoins des plus grands utilisateurs/producteurs de l'IG en Algérie à savoir l'ANC, a été initié après une requête émise à l'ASAL par l'ANC, pour vérifier l'usabilité des images SPOT5 à des fins cadastrales. La démarche adoptée a été de faire, initialement, un état de l'art sur l'utilisation de l'imagerie THR pour le cadastre, chose qui a montré que seulement quelques expériences internationales « timides » ont été faites sur ce sujet mais aucune n'est faite sur des étendues tels que la steppe et le Sahara algérien, d'où l'intérêt et la nouveauté de ce travail. Ceci nous a amené à développer une approche méthodologique de production et de la valider sur la commune d'El-Bayadh. Cette production a été examinée par les services du cadastre de la wilaya d'El-Bayadh sur le plan de la qualité géométrique et celui de la qualité informationnelle ainsi que l'intégrabilité sous leurs SIG. Les résultats ont été jugés satisfaisants lors d'un atelier organisé en juillet 2007, ce qui a abouti à la signature d'un contrat entre l'ASAL/CTS et l'ANC pour financer l'étude des possibilités de couverture de l'ensemble de la wilaya par le même type d'images dans une perspective de généralisation et en assurant le transfert du savoir-faire pour permettre l'indépendance de l'ANC en matière de production et validation basée sur l'imagerie satellitaire. L'ANC avait toujours ce souci économique lié à la couverture de l'ensemble du territoire steppique et saharien par des images SPOT5 dont le coût avoisine les 03 millions de dollars,

mais le lancement des opérations de généralisation a coïncidé avec la mise en orbite du satellite algérien Alsat-2A. L'ASAL nous a chargé d'investiguer les potentialités géométriques des images de ce satellite. La question était « quelle est la précision géométrique maximale qu'on peut atteindre en utilisant les images de notre satellite ? ». Les méthodes de calage ordinaires, par transformations polynomiales, donnent des erreurs résiduelles en dehors des tolérances acceptables pour le cadastre. Pour un nouveau satellite, et afin d'avoir une précision subpixellaire, il est indispensable de développer un modèle géométrique rigoureux. Ceci a été fait, chose qui représente le deuxième point d'innovation dans cette thèse, malgré l'apparence purement mathématique et photogrammétrique avec une touche de mécanique spatiale, le développement de ce modèle géométrique à une incidence directe sur l'aspect financier de l'acquisition de l'IG et par conséquent des profit qui en découlent.

Structure de la thèse

La thèse s'articule autour de trois parties avec un total de sept chapitres

La première partie dont le titre est « Un contexte géographique particulier qui nécessite un cadastre particulier » pose le cadre général de la problématique.

Le *chapitre 1* décrit la zone de la wilaya d'El-Bayadh sur les aspects géographique, physique, climatique, géologique, l'occupation des sols, socio-économique et foncier.

Le *chapitre 2* vient pour définir le cadastre, notamment en Algérie, en retraçant son historique et son mode de fonctionnement, particulièrement l'aspect production de l'IG. Dans ce chapitre, on dresse un bilan de l'état du cadastre avant et après le lancement du cadastre steppique et saharien, ainsi que la situation du cadastre algérien envers les objectifs internationaux dans le cadre de l'initiative « Cadastre 2014 ».

Le bilan du cadastre dans ce deuxième chapitre donne un avant-goût du résultat et de l'objectif ultime de ce travail, qui est de convaincre les décideurs au niveau de l'ANC d'adopter une approche non conventionnelle. Cette approche basée sur l'utilisation de l'outil spatiale permettra de remédier au manque de couverture cadastrale dans les zones steppiques et sahariennes, qui représente une entrave à toute initiative de développement local.

Les parties suivantes viennent appuyer scientifiquement l'approche technique et les procédures de production suivies et de démontrer l'usabilité de l'imagerie THR à des fins cadastrales.

La *deuxième partie* intitulée « l'imagerie satellitaire au service du cadastre » est organisée en deux chapitres :

Le chapitre 1 « L'imagerie spatiale comme source de l'information géographique » décrit en général l'historique de l'imagerie spatiale et les caractéristiques majeurs de ce type de données, ainsi que la description des systèmes imageurs utilisés pour la réalisation de ce travail.

Le chapitre 2 « L'image satellitaire au service de la cartographie cadastrale » met l'accent sur les possibilités cartographiques en utilisant l'imagerie spatiales. Ceci passe par un recensement des rares expériences internationales en matière de couverture cadastrale fondée sur l'imagerie satellitaire. Par la suite discuter les éléments clés de la production de l'IG par le biais de l'image THR qui sont :

Le contenu informatif de l'image qui indique le niveau de détail lisible sur l'imagerie satellitaire et les éléments cartographiques que l'utilisateur peut extraire.

La précision géométrique du document qui se base sur la modélisation géométrique. Cette dernière, nécessite la compréhension du mécanisme de la prise de vue et de la production d'orthoimage pour comprendre les erreurs

géométriques entachant les images brutes et limitant la précision de positionnement.

Après l'élimination de toute erreur réduisant la qualité de positionnement sur l'image, pour avoir ainsi un Orthoimage, il est légitime de poser la question « Est-ce que ce document est valable et utilisable ? », du moment que le cadastre algérien ne possède aucune norme pour la validation de ce type de document. La dernière partie de ce chapitre dresse un état général des normes et standards en matière de control et de validation de qualité des orthoimages.

La troisième partie intitulée « Le cadastre steppique et saharien d'El-Bayadh et la problématique de sa généralisation » est organisée en trois chapitres.

Le chapitre 1 porte sur une étude pilote qui est la couverture de la commune d'El-Bayadh par une orthoimage issue du satellite SPOT5. Cette étude permet de dégager et valider l'approche méthodologique en passant par le choix de données à utiliser, le choix du modèle géométrique, le contrôle de la qualité et la transformation des couleurs permettant la visualisation de l'image en couleurs naturelles, chose que SPOT5 ne permet pas par défaut. Et pour conclure ce chapitre des propositions pour la conduite des travaux de cadastre avec ce produit seront présentées.

Dans *le deuxième chapitre* on passe à une unité géographique plus grande qui est la wilaya. L'ANC a fixé dans son cahier des charges des points à satisfaire telle la résolution, la vraie couleur, le système de projection et le découpage. L'étendue de la zone de travail soulève d'autres problèmes et le choix de plusieurs variantes à étudier notamment sur le plan de la stéréopréparation d'où la possibilité d'utiliser le GPS ou le produit français Référence alpha. Pour le MNT deux variantes se présentent le SRTM ou le GDEM. Pour le logiciel à utiliser pour produire des orthomosaïques on a le choix entre ERDAS LPS ou Geoview. Une comparaison exhaustive des

différentes variantes est faite, permettant ainsi de faire un choix optimal dans une perspective de généralisation de la méthodologie sur l'ensemble du territoire. La dernière partie de ce chapitre porte sur la généralisation de cette méthodologie de production, jugée très satisfaisante par l'ANC, avec l'estimation des étendues, la proposition d'organisation des équipes du cadastre (terrain et bureau) et leurs productivités ainsi qu'un schéma organisationnel général de production afin d'optimiser la distribution des ressources logistiques permettant de réduire le temps des opérations.

Le troisième chapitre présente une alternative technico-économique à SPOT5, ce sera l'apport du satellite algérien Alsat-2A dont le lancement a coïncidé avec le début de la généralisation sur le territoire. L'étude et le développement du modèle géométrique d'Alsat-2A est un préalable. Notre satellite répond aux exigences du cadastre en matière de résolution géométrique et de vraies couleurs.

Première partie : Un contexte géographique particulier qui nécessite un cadastre particulier

*Première partie : Un contexte géographique
particulier qui nécessite un cadastre particulier*

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

1 Situation Géographique

La Wilaya d'El Bayadh s'intègre dans un espace délimité par la longitude 0° (Greenwich) et la longitude 2°Est, et par la latitude 31° Nord et la latitude 34° Nord. Elle fait partie de la région des hautes plaines de l'Ouest, elle s'étend sur une superficie de 7 169 670 ha, soit 3% du territoire national.

La Wilaya d'El Bayadh est délimitée :

- Au nord par deux wilayas : Saida et Tiaret.
- A l'ouest par la wilaya de Nâama.
- A l'est par les wilayas : Laghouat et Ghardaia.
- Au sud par les wilayas : Adrar et Bechar.

Au plan administratif, la wilaya est constituée de 08 Daïrates et 22 communes.

2 Milieu physique

2.1 Les ensembles morphologique

Le territoire de la wilaya s'inscrit dans trois grandes bandes géographiques successives du Nord vers le Sud :

Les Hautes Plaines Steppiques : Cette entité physique représente, 22% de la surface totale de la wilaya (1.577.327,4ha) et concerne six communes de la partie nord et nord ouest à savoir Bougtob, EL Kheiter, Tousmouline, Rogassa, Kef Lahmar et Cheguig et une partie du territoire de la commune d'El Mehara.

Elle constitue un immense bassin fermé dans lequel les eaux de pluie s'écoulent vers le Chott Chergui ou les dayas (Benbakkar, 2012). Les altitudes varient entre 900 m à Bougtob et 1400 m à Hassi Ben Hadjem. Les Hautes plaines à climat semi-aride, sont le domaine des grandes étendues de la steppe à Alfa (Hartani, 2009).

L'Atlas Saharien : L'Atlas saharien représente 18% de la surface de la wilaya, soit 1 290 540.6 ha, avec une altitude moyenne de 1300 m, où les altitudes culminent à Djebel Ksel 2000 m. Il est composé de 13 communes:

- El Bayadh, Boualem, Sidi Amar, Sidi Tiffour, Sidi Slimane, Stitten, Ghassoul, Krakda, Arbaouet, Ain El Orak, Chellala, Mehara, et Boussemgoun

Dans cette entité physique, existent des dépressions, ce qui explique que 93% des surfaces irriguées de la wilaya se localisent dans cette zone (Hartani, 2009).

En outre, les conditions bioclimatiques (semi-aride froid) ont favorisé le peuplement humain. En effet, 50% de la population totale de la wilaya se concentre dans cette zone à travers une série d'agglomérations (Hartani, 2009).

Zone présaharienne : Elle représente 60% de la superficie totale de la wilaya, soit 4 301 802 ha, composée des communes de Brézina, El Abiodh Sidi Cheikh et Bnoud. Sur le plan topographie, cette zone se divise en deux parties:

- La partie nord : le piedmont sud de l'Atlas Saharien, est un ensemble de glacis assurant la jonction entre la plateforme saharienne et l'Atlas Saharien.
- La partie Sud : une plateforme saharienne sous forme de grandes étendues fortement disséquées par de nombreux cours d'eaux intermittents.

Les altitudes décroissent du Nord au sud de 1000 m à 500 m environ au niveau de la partie extrême sud de la wilaya. Dans la partie Nord, l'activité agricole est limitée au niveau des oasis notamment à Brezina.

L'espace géographique se divise en général comme suit:

- 60% des superficies de la wilaya sont constituées de dunes de sable, constituant ainsi un milieu naturel défavorable à tout développement.
- 22% des superficies sont caractérisées par l'existence de ressources hydriques importantes, où sont concentrées des agglomérations importantes avec une certaine fragilité des parcours.
- 18% également caractérisée par l'existence des ressources hydriques et la concentration des agglomérations dans la partie nord.

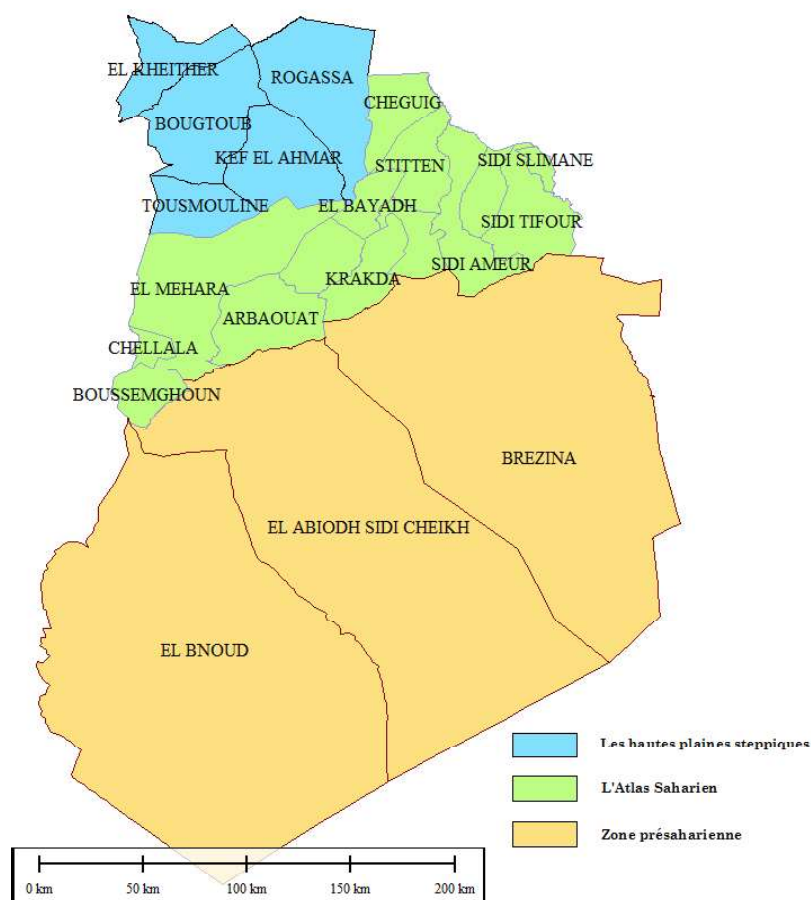


Figure 2-1 Les ensembles physiques du territoire d'El Bayadh

3 Cadre climatique

On peut diviser l'année climatique en deux grandes saisons assez différentes. Une saison froide ou fraîche et donc relativement humide, s'étend du mois de novembre à celui d'avril. La deuxième saison est chaude et sèche et s'étend de mai à octobre. Ce partage de l'année en deux parties assez égales qui représente un élément de base de la vie végétale, découle des conditions atmosphériques générales. Il faut noter que la zone steppique dans sa partie occidentale est très peu touchée par les pluies provenant de l'ouest ou du nord-ouest en opposition aux steppes centrales et orientales. La situation géographique de la région en est la cause. En effet, la steppe occidentale se trouve bien abritée des influences atlantiques par le Moyen Atlas marocain et des influences méditerranéennes par l'Atlas tellien, alors qu'elle est en relation directe avec les influences sahariennes, dans la mesure où l'Atlas saharien offre de larges passages (Hadeid, 2006).

3.1 Les précipitations

Historiquement, et selon les données enregistrées au niveau de la station météorologique de la ville d'El Bayadh, les mesures de 1882 à 1998, soit 108 années d'observations (avec des insuffisances de données pour la période de 1919 – 1921 et de 1962 – 1976), la phase humide du cycle le plus pluvieux enregistré dans la région, est celui qui s'étale de 1895 à 1915 : la pluviométrie avait dépassé les $\frac{3}{4}$ de la norme annuelle, une autre phase pluvieuse mais moins humide a eu lieu entre 1949 et 1957 ; cette seconde phase humide était survenue après une période de sécheresse exceptionnelle qu'avait connue la région.

Les dernières décennies (dès 1980) ont été marquées par une diminution notable de la pluviométrie. La moyenne annuelle des précipitations est

relativement faible (247,5 mm), tandis que la moyenne annuelle de 113 années est de 314mm¹.

Tableau 2-1 Les quantités annuelles des précipitations de la station d'El Bayadh (1980 – 2004)
(Source : ANRH Oran 2008)

ANNEE	TOTAL		
1980	251,0	1992	235,3
1981	295,8	1993	157,8
1982	209,7	1994	306,0
1983	155,6	1995	391,8
1984	189,7	1996	276,8
1985	344,9	1997	254,9
1986	279,0	1998	173,2
1987	220,4	1999	164,7
1988	237,9	2000	142,0
1989	298,9	2001	111,4
1990	312,4	2002	171,1
1991	379,3	2003	304,6
		2004	268,5

La pluviosité annuelle est comprise entre 400 et 100mm. Les pluies sont concentrées durant la saison froide. La fréquence de répartition annuelle de la pluie, indique que les nombres de jours pluvieux sont enregistrés en hiver et les plus fortes pluies sont enregistrées au printemps.(Hartani, 2009)

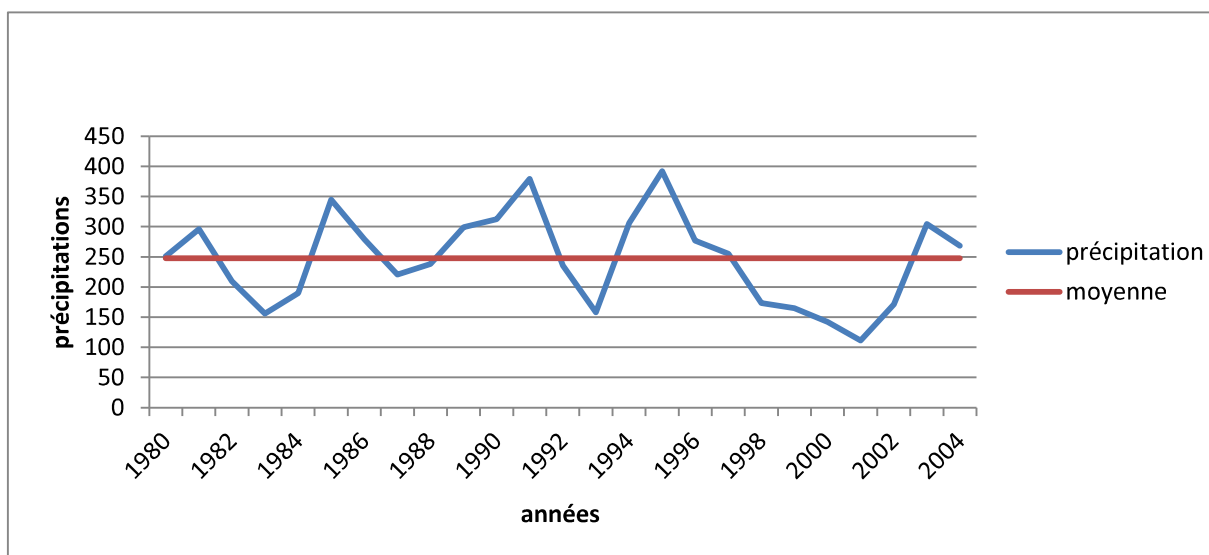


Figure 2-2 Les précipitations moyennes annuelles 1980 – 2004 (station El Bayadh)

¹ <http://www.weatherbase.com>

Première partie : Un contexte géographique particulier qui nécessite un cadastre particulier

Pour le mois de janvier, on enregistre le maximum de précipitations (40.6mm), le minimum étant de 10.2mm pour le mois de juillet. La moyenne annuelle des jours de pluies est de 67.1 avec un maximum en février de 7.4 et un minimum de 2.9 en juillet (Source : <http://www.weatherbase.com>).

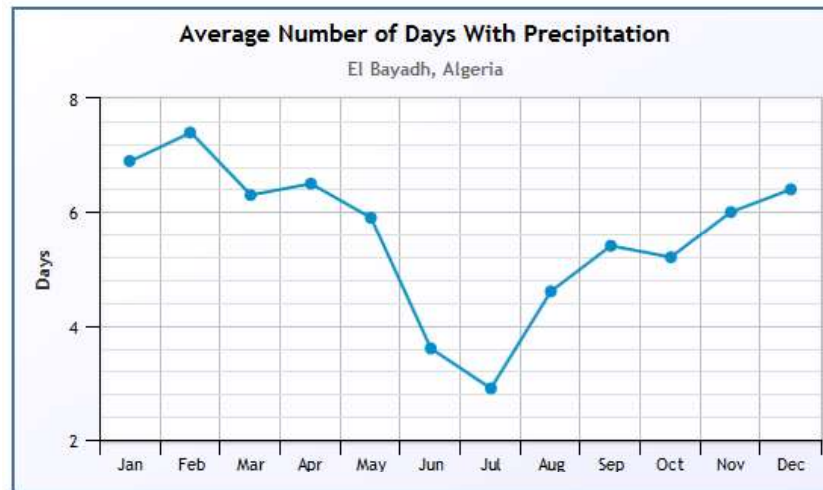


Figure 2-3 Nombre de jours de pluies (moyenne mensuelle) (Source : <http://www.weatherbase.com>)

3.2 Les Températures

Les températures moyennes annuelles ont une influence considérable sur l'aridité du climat (Benbakkar, 2012). La moyenne des minimas du mois le plus froid, est de -0.7°C (janvier) avec un nombre de jour de gelé considérable (16.9), alors que la moyenne des maximas du mois le plus chaud est de 33.8°C (juillet) (source : FAO ¹)

1

<http://geonetwork3.fao.org/aglw/climatex.php?xcoord=1.04370&ycoord=33.67864&dddms=dd>

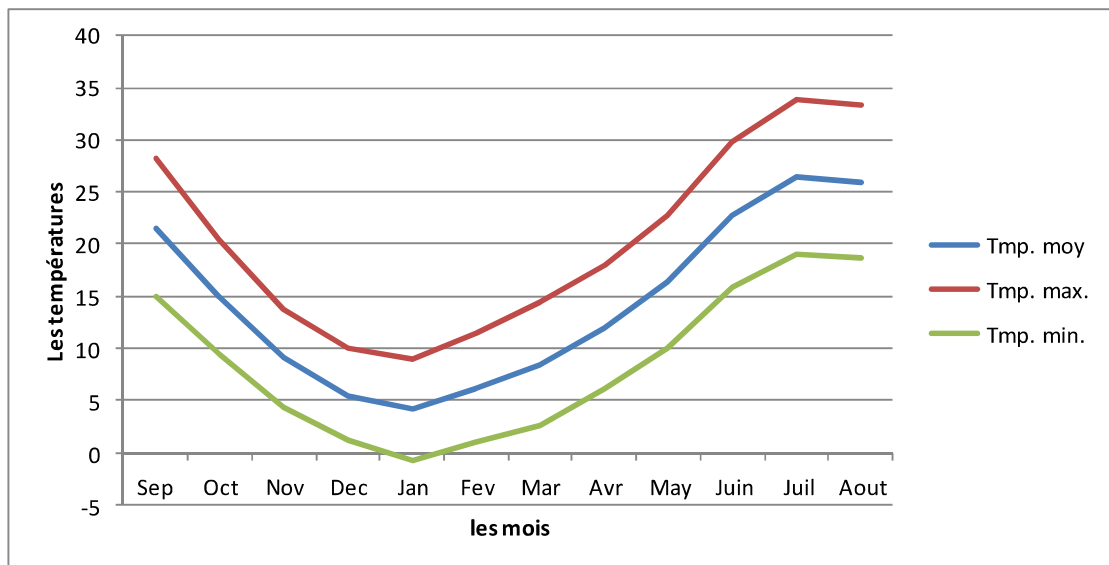


Figure 2-4 Les températures max, min et moyenne 87 – 2004 (station El Bayadh)

3.3 L'humidité relative

L'humidité relative mensuelle moyenne (en %) enregistrée dans la saison d'El Bayadh, varie entre 47.8% pour le mois de juillet (saison sèche) et 64.9% pour le mois de décembre (saison humide) (Source : <http://www.weatherbase.com>).

Tableau 2-2 L'humidité relative mensuelle moyenne (%) enregistrée À El Bayadh

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillt	Août	An
%	55.3	59.6	63.5	64.9	64	63.2	61.2	60.4	59.4	54.1	47.8	49.9	58.6

3.4 La synthèse bioclimatique

3.4.1 Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953)

Avec cette méthode, on détermine les périodes sèches et les périodes humides. Pour ces deux chercheurs Bagnouls et Gaussen, le climat est sec lorsque les précipitations moyennes exprimées en (mm), sont inférieures ou égales au double des températures enregistrées durant la même période ($P \leq 2T$) (Benbakkar, 2012).

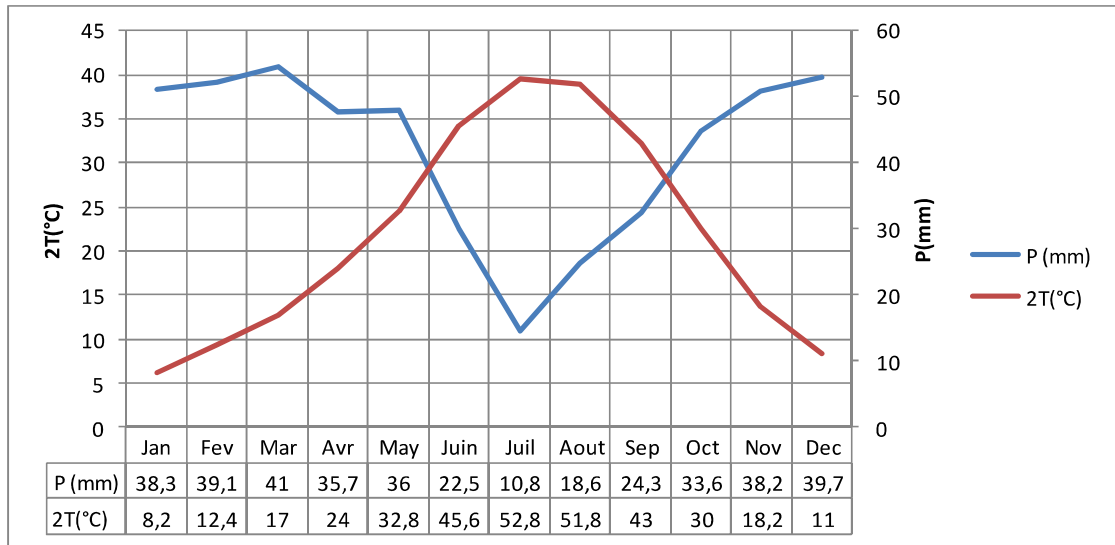


Figure 2-5 le diagramme Ombrothermique (Station El Bayadh) (Source : <http://www.weatherbase.com>)

On remarque bien d'après ce diagramme que le nombre des mois secs est de quatre s'étalant entre Juin et Septembre. Ces résultats sont obtenus sur la base des données de weatherbase et la FAO qui considèrent des observations sur une durée de 113 années. Il est important de mentionner que dans le travail de Hartani, qui a traité des données entre 1987 et 2004, la période sèche est de 8 mois entre avril et novembre (Hartani, 2009). Aussi, pour Benbakkar qui a utilisé les données entre 1980 à 2010, on retrouve le même constat avec une période sèche entre avril et octobre (Benbakkar, 2012).

3.4.2 Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger

Emberger (1955) s'intéresse aux extrêmes thermiques M et m entre lesquelles se déroule la période végétative et qui peuvent constituer des seuils écologiques pour les différentes espèces végétales (Benbakkar, 2012).

$$Q_2 = 2000 P / (M^2 - m^2)$$

avec :

Première partie : Un contexte géographique particulier qui nécessite un cadastre particulier

P : précipitation moyenne annuelle

M : moyenne des max du mois le plus chaud (K)

m : moyenne des min du mois le plus froid (K)

P (mm)	M (k)	m (k)	Q ₂
314	306.95	272.45	31.4

Le coefficient Q₂ qui égale à 31.4 ce qui montre que la commune d'El Bayadh s'intègre dans l'étage bioclimatique aride supérieur à hiver froid.

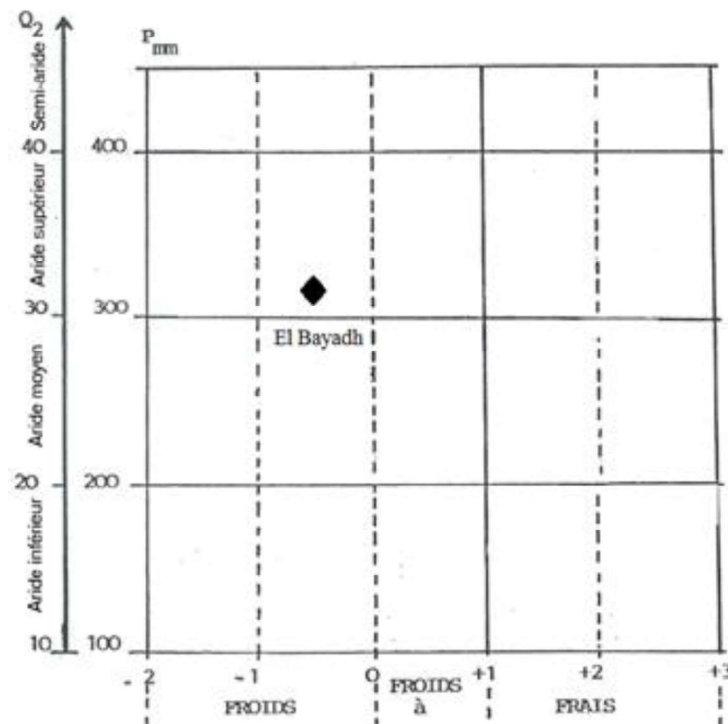


Figure 2-6 Climagramme pluviothermique d'EMBERGER

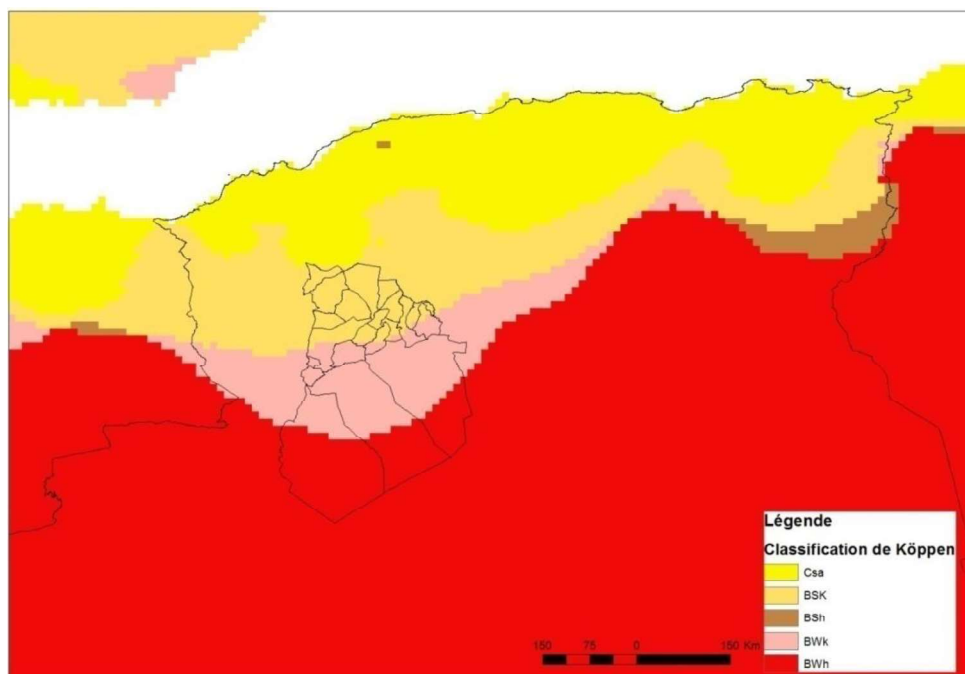
3.4.3 Le Classement climatique de Köppen-Geiger

La classification de Köppen est une classification des climats fondée sur les précipitations et les températures. C'est le botaniste Wladimir Peter Köppen qui l'a inventée en 1900 en combinant la carte mondiale de la végétation publiée en 1866 par Griesbach et la division du climat en cinq zones par Candolle (Peel et al., 2007).

C'est la plus courante des classifications climatiques dans sa version présentée par Rudolf Geiger en 1961. Un très grand nombre d'études climatiques et de publications ont adopté une des versions de ce système. La carte de Köppen-Geiger reste aujourd'hui une référence, grâce à ses mises à jour fréquentes, tant dans les domaines de l'hydrologie, de la géographie, de l'agriculture, de la biologie et de la climatologie¹.

Un climat, selon cette classification, est repéré par un code de deux ou trois lettres où la première lettre représente le type de climat, la deuxième lettre indique le régime pluviométrique et la troisième lettre montre le type de variations de température.

La carte de classification de Köppen-Geiger a été recalculée et validée dans plusieurs études comme l'indique (Peel et al., 2007), qui a mis à jour la carte mondiale de Köppen-Geiger sur la base de longues séries d'observations mondiales des données météorologiques mensuelles. La carte produite à une résolution de $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$, est accessible gratuitement sur internet².



¹ https://fr.wikipedia.org/wiki/Classification_de_K%C3%B6ppen

² <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/hess-11-1633-2007-supplement.zip>

La wilaya d'El Bayadh appartient au type de climat B qui est le climat sec où l'évaporation annuelle est supérieure aux précipitations annuelles. Le nord de la wilaya est de type **BSk** qui est un climat de steppe (semi-aride) sec et froid. La partie centrale est de type **BWk** qui représente un climat désertique sec et froid, tandis que l'extrême sud de la wilaya appartient à la classe **BWh** qui est un climat désertique sec et chaud. Deux autres classes existent dans le nord de l'Algérie et qui sont le **BSh** (climat de steppe sec et chaud) et le type **Csa** (climat tempéré chaud avec été sec et chaud (méditerranéen)). Le reste du sud algérien est de type **BWh**.

3.4.4 Synthèse du cadre climatique

Le climat d'El Bayadh est en général un climat de steppe. Les précipitations sont relativement faibles. La carte climatique de Köppen-Geiger classe le climat de la majorité des communes comme étant de type **BSk** (climat de steppe, semi-aride, froid). El Bayadh affiche une température annuelle moyenne de 14.45 °C. La moyenne des précipitations annuelles atteints 314 mm sur 113 années avec une diminution importantes dans les dernières décennies. 10.8 mm font du mois de Juillet le plus sec de l'année. En mars, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 41 mm, ces dernières décennies se caractérisent par une diminution de la moyenne annuelle des précipitations et un étalement de la période sèche ((Benbakkar, 2012; Hartani, 2009)). Juillet est le mois le plus chaud de l'année. La température moyenne est de 26.4 °C à cette période. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 4.1 °C à cette période. Une différence de 30.2 mm est enregistrée entre le mois le plus sec et le mois le plus humide. 22.3 °C de variation sont affichés sur l'ensemble de l'année.

4 Cadre Géologique et Géomorphologique

4.1 La géologie

La géologie régionale d'El Bayadh chevauche sur trois domaines géologiques, comme nous l'avons déjà cité, structurellement dominants. Du Nord au Sud, nous distinguons :

- Les Hautes Plaines Steppiques.
- L'Atlas Saharien.
- La plateforme Saharienne.

4.1.1 Les Hautes Plaines Steppiques

Ce sont d'immenses étendues depuis la frontière marocaine à l'Ouest jusqu'aux confins de la Tunisie

Les Hautes Plaines Steppiques s'individualisent au cours du secondaire par un comportement tectonique différent des régions voisines.

En effet, pendant le jurassique, le sillon atlasique au Sud est affecté par une sédimentation active, continue et régulière tandis que les Hautes Plaines apparaissent comme un môle enduré et stable, caractérisé par une sédimentation qui devient essentiellement gréseuse.

Ainsi, une puissante sédimentation gréseuse, affecte l'Atlas Saharien depuis le port Landier jusqu'à l'Albien. L'émersion des hautes plaines, s'achève avec l'apparition des bancs de gypse à la fin du sénonien.

Les plissements tertiaires, engendrent une structure en vaste synclinal faible vers le Sud, sur lequel s'inscrit le chott chergui. Ainsi, les traits structuraux majeurs des Hautes Plaines Oraïses, se caractérisent par l'existence d'un haut fond rigide et stable faiblement tectonisé (ANAT, 2003).

4.1.2 L'Atlas Saharien

C'est une importante chaîne de montagne, constituée par une série de plis orientés SW – NE qui sépare les Hautes Plaines de la plate forme saharienne. Les reliefs sont constitués par les anticlinaux, des failles et décrochements, parfois très importants, perturbent la régularité des reliefs.

Les mouvements post-turonien n'ont pu être datés par l'absence de stratigraphie tertiaire. On remarque bien qu'au niveau de l'accident Sud atlasique, les dépôts de poudingues de base du tertiaire continental sont redressés à la verticale.

Les anticlinaux, présentent des flancs très redressés parfois verticaux formant un genou très brutal avec une voûte plane, horizontale quelque fois même légèrement inclinée (anticlinaux coffrés).

Sur les flancs, les couches redressées (souvent des grès infra-crétacés) forment de magnifiques chevrons imbriqués en écailles.

Les synclinaux perchés coiffés de la dalle turonienne revêtent la forme classique «en tombeau» bien visible dans le kebeur Es Saguia et Djebel Rhoundjaia à l'ouest de Brezina.

Là où l'érosion a enlevé complètement le Turonien et le cénomanien, les grès continentaux apparaissent en vastes synclinaux empilés (ANAT, 2003).

4.1.3 La plate forme saharienne

Au sud de l'Atlas saharien, les grands espaces du désert s'étendent à perte de vue. Dans ce domaine, la tectonique a très peu joué, ce qui caractérise la plate forme saharienne comme étant une zone calme.

L'ensemble des terrains appartient aux dépôts continentaux du tertiaire et du quaternaire qui recouvrent en discolorance les dépôts du supérieur.

L'espace de la wilaya d'El Bayadh, est géologiquement constitué par les formations suivantes :

Tableau 2-3 synthétique des unités stratigraphiques

Unités stratigraphiques		DESCRIPTION LITHOLOGIQUE
Quaternaire		<ul style="list-style-type: none"> -Gypse passe par un enrichissement en argile et sable gypseux : <ul style="list-style-type: none"> -Des dunes de sable, occupent les dépressions des chotts. -Alluvions actuelles et récentes affleure dans les vallées d'Oueds et les basses terrasses. Elles sont formées d'éléments fins argilo – sableux. -Dépôts calcairo– gypseux anciens, affleure en dehors des dépressions des chotts. -Alluvions anciennes formées d'un dépôt argilo – sableux avec cailloutis, <ul style="list-style-type: none"> -Carapace calcaire
Tertiaire continental		<ul style="list-style-type: none"> -Couches argilo–sableuses, intercalées de gypse de quelques décimètres la puissance dépasse 350 m. -Calcaire lacustres à silex couvre la couche des argiles rouge. La puissance de ces calcaires et aux alentours de 15 m.
Crétacé	Sénonien	Calcaire très fissuré avec au sommet du dépôt détritique calcaire. Il a été atteint par les puits de captage au niveau du Chott Chergui.
	Turonien	Constitué de calcaire à cassure blanche et à grains fins et cristallin. Ces calcaires souvent dolomitiques, l'épaisseur varie de 200 à 300 m.
	Cénomanién	Il est formé de calcaire et marne surmontée d'argile grise puis de calcaire marneux jaune et rose. L'épaisseur, varie de 150 à 200 m.
	Albien aptien barrémien	Formés des grès continentaux tendres. L'épaisseur peu atteindre les 1000 m
	Hauterivién	<ul style="list-style-type: none"> -Calcaire jaune et argiles gypseux, l'épaisseur varie de 100 à 300 m. -grès continentaux d'une puissance de 150 m.
	Valanginién	<ul style="list-style-type: none"> -Il est formé de haut en bas : -150 m environ de calcaire gris bleuâtre ou jaune -200 m environ d'argile à gypse. -150 m environ de calcaire gris ou jaune.
	Infra – crétacé	-Grès en gros bancs d'une épaisseur qui varie de 500 à 600 mètres séparant les calcaires kimméridgiens des calcaires bleu valanginiens.
Jurassique	Kimméridgien	Calcaire bleu foncé très dur, s'intercale avec des bancs de grès, la puissance atteinte 100 m.
	Lusitanien	<ul style="list-style-type: none"> -Il est constitué par plusieurs centaines de mètres de grès. -Des bancs de calcaire jaune et de dolomie cristallin, s'intercalent dans les grès.
	Callovien inférieur	-Au-dessous de la série gréseuse lusitanienne apparaissent des bancs schisteux, marno – calcaires avec quelques dalles calcaires.
	Bajo_bathonien	-C'est le substratum marin de la région. Il forme, un synclinal constitué essentiellement par des calcaires, calcaires dolomitiques, et dolomies avec des intercalations marneuses. Il a été atteint par des forages d'eau au niveau du Chott Chergui.
Trias	Trias	Constitué par des argiles gypsifères et salifères rouges, violettes ou multicolores, surgissant brusquement au sein de formation plus récente à la suite de phénomènes liés au diapirisme.
		-Roches éruptives, le trias diapir est en général accompagné de venues éruptives constituées par des roches vertes.

4.2 La géomorphologie

La géomorphologie est considérée comme une expression synthétique de l'interaction entre les facteurs climatiques et géologiques. Ainsi, les principaux cycles climatiques du quaternaire ont donné à la région steppique une physionomie particulière en relation avec la nature du substrat géologique et la tectonique d'ensemble (Bensaid, 2006).

La wilaya d'El Bayadh est constituée par un ensemble d'unités différentes du point de vue de leur forme structurelle, leur genèse, leur lithologie et leur morphogenèse (Benbakkar, 2012). Les principales unités géomorphologiques de la wilaya d'El Bayadh sont :

4.2.1 Les djebels, collines et sommets

Ils constituent essentiellement l'atlas saharien. Ils sont issus de l'évolution d'un relief plissé, formé par la succession spatiale plus ou moins régulière de bombements convexes (anticlinaux) et de creux concaves (synclinaux).

4.2.2 Les surfaces plus ou moins planes

Ces surfaces correspondent aux glacis, qu'ils soient d'accumulation ou de dénudation, entourant les montagnes. Plusieurs formes de glacis peuvent être distinguées :

- *Les hauts glacis* : datant du Quaternaire ancien et incisés par des dayas de taille variable
- *Les glacis de raccordement du Quaternaire moyen* : plus récent reliant les reliefs avec les hauts glacis. Ils représentent des accumulations calcaires sous forme d'encroûtement. Ces glacis sont recouverts de végétation psammophile.
- *Les glacis du Quaternaire récent* : constitués par des dépôts alluviaux et colluviaux tels les chenaux et les terrasses d'oueds. L'accumulation

calcaire, moins importante se présente sous forme de nodules et parfois d'encroûtement

4.2.3 Les dépressions

Les eaux de ruissellement empruntent les lits d'oueds à fond plat largement encaissé pour s'accumuler finalement dans des dépressions endoréiques. Dans la wilaya d'El Bayadh, nous distinguons les dépressions salées (Chott Chergui) et les dayas.

- Les dayas sont de petites dépressions peu profondes. Elles se forment surtout au niveau des hauts glacis (surface Moulouyenne) par un phénomène de dissolution de l'épaisse croûte calcaire.

- Les chotts, il s'agit du Chott Chergui d'altitude moyenne de 100m. C'est un vaste système endoréique du Quaternaire moyen qui couvre plusieurs dizaines de km².

5 L'occupation des sols

La superficie de la wilaya d'El Bayadh se répartie inégalement entre les secteurs où on constate une dominance des terrains de parcours avec un pourcentage de 80 % ; les terrains désertiques représentent 14 % alors que l'agriculture, les forêts et les zones alfatières occupent respectivement, 1 %, 2% et 3 % de la superficie générale de la wilaya (ANAT, 2003; Benbakkar, 2012).

Les principales unités de végétation présentes dans la wilaya d'El Bayadh sont :

5.1 Les groupements forestiers et pré-forestiers

Les groupements forestiers et pré-forestiers de la région steppique algérienne sont composés d'une flore assez diversifiée sur le plan biologique. Le patrimoine forestier de la wilaya d'El Bayadh se divise entre maquis

naturels et reboisements dans le cadre de la lutte contre la désertification (Benbakkar, 2012).

Tableau 2-4 Répartition de la superficie forestière et alfatière (Wilaya d'El Bayadh, 2014)

Zone Géographique	Superficie Forestière (ha)			Superficie Alfatière Totale
	Communes	Totale	Dont Barrage Vert	
Hautes Plaines	Bougtob	520		8840
	El Kheiter	220		9431
	Tousmouline	330		25403
	Rogassa	490		353
	Kef Lahmar	325		13486
	Cheguig	20		1531
Total Hautes Plaines		1905		59044
Atlas Saharien	El Bayadh	16 507	6 700	2 912
	Boualem	22 181	3 730	277
	Sidi Amar	3 340	1 240	28 080
	Sidi Taiffour	20 300		551
	Sidi Slimane	130		777
	Stitten	4 584		8 031
	Ghassoul	4 369	1 883	2 634
	Krakda	130		430
	Ain El Orak	120		592
	Arbaouet	100		946
	Chellala	100		270
	Mehara	325		20 559
	Bousseghoun			1 280
Total Atlas Saharien		72 186	13 553	67 339
Prés-Saharienne	Brezina	1 450		115
	El Abiodh Sidi Cheikh	46 570		113 753
	Bnoud			
Total Prés Saharienne		48 020		113868
Total Wilaya		122 111	13 553	240 251

La zone géographique des hautes plaines est couverte par 1905 Ha. La zone de l'Atlas Saharien est couverte par 72186 Ha dont 13553 Ha du barrage vert répartie entre les communes de Boualem, El Bayadh, Sidi Amar et Ghassoul. La zone présaharienne est couverte par 48020 Ha selon la monographie de la wilaya d'El Bayadh (Wilaya d'El Bayadh, 2014).

Tableau 2-5 Les essences dominantes des forêts(Wilaya d'El Bayadh, 2014)

Espèces	Superficie (ha)	%
Pin d'Alep (reboisement de protection)	26 886	22,02
Chêne Vert (Maquis en état dégradé)	48 780	39,95
Genévrier (Maquis en état dégradé)	26 269	21,51
Atriplex (Plantation pastorale)	17 326	14,19
Tamarix (Plantation de protection fixation de dunes)	2 850	2,33
Total	122 111	100

Les essences dominantes sont le Pin d'Alep et le Chêne Vert qui forment ensemble 61,96 % du couvert végétal.

5.2 Les formations steppiques

Comme dans toute la région des Hautes Plaines sud oranaises, le climat de la wilaya d'El Bayadh, caractérisé par son aridité, ne permet pas le développement d'une couverture végétale capable de protéger le sol. La plupart des espèces, en ce milieu aride, ont acquis des caractéristiques biologiques et morphologiques particulières leurs permettant de surmonter toutes les conditions défavorables du milieu (Bensaid, 2006).

La steppe sud oranaise est dominée par les formations végétales steppiques suivantes :

5.2.1 Steppes à alfa (*stipa tenacissima*)

Elle est constituée principalement d'alfa et de sparte. L'alfa résiste bien à la sécheresse, au froid et à la neige, mais il représente un mauvais aliment pour les ovins du fait de la difficulté de sa digestion, par contre son utilisation à des fins industrielles est très demandée (fabrication de papier et des produits artisanaux)(Hadeid, 2006).

Les steppes d'alfa occupaient 4 millions d'hectares en Algérie mais elles peuvent recouvrir presque toute la surface des étages semi arides et arides, fraîche et froide, avec des précipitations s'étendant de 100 à 400 mm/an, sur tous les substrats géologiques de 400 à 1800 m d'altitude(Djebaili et al., 1989). Selon (Benbakkar, 2012; Bensaid, 2006; Djebaili et al., 1989), la production de l'alfa

peut atteindre 10 tonnes de matière sèche par hectare (MS/ha) mais la partie exploitable est de l'ordre de 1000 à 1500 kg de MS/ha, La productivité pastorale moyenne de ce type de steppe a été estimée à 130 UF/ha/an.

Actuellement, du fait de leur difficulté à se régénérer, ces steppes régressent rapidement et cette diminution rapide de la couverture végétale entraîne une accélération de la désertification et notamment les nappes alfatières de la wilaya d'el Bayadh qui passent de 1.200.000 ha à 417.000 ha (dont 65.000 ha de nappes exploitables) (Benbakkar, 2012; Mederbal et al., 2009).

5.2.2 Steppes à armoise blanche (Artemisia herba alba)

Les steppes d'armoise ou Chih (*Artemisia herba alba*), auxquelles correspondent deux groupements, et sont situées dans les étages arides et semi-arides frais, avec des précipitations variant de 100 à 300 mm, souvent sur des croûtes plus ou moins profondes, mais avec une pellicule de glaçage en superficie (Djebaili et al., 1989).

L'armoise blanche s'étale dans les zones humides (zone d'épandage) et sur un substrat plus ou moins limoneux ou sur un sol argileux dans les fonds des dépressions non salées. Elle se trouve sur les dayas, les dépressions et les secteurs relativement humides. Elle constitue un moyen de lutte contre l'érosion et la désertification (Benbakkar, 2012). La production primaire de la steppe d'armoise varie de 500 à 4 500 kg MS/ha avec une production habituelle de 1 000 kg MS/ha; la production annuelle peut être estimée à 500 kg/MS/ha/an, soit une productivité pastorale moyenne estimée de 150 à 200 UF/ha/an (Djebaili et al., 1989).

5.2.3 Steppes à sparte (Lygeum spartum)

Les steppes de sparte ou le « Sennagh » (*Lygeum spartum*) peut supporter des sols plus argileux et un peu salés. Tout comme l'alfa, le sparte ne constitue qu'un maigre pâturage en plus de sa digestion difficile (Hadeid, 2006). Sont

localisées dans les étages semi-arides frais et surtout arides frais ou froid, souvent sur des croûtes calcaires plus ou moins profondes. Le sparte constitue des parcours d'assez bonne qualité avec un pouvoir de régénération et une productivité relativement élevée. Il produit en moyenne 65 % de sa phytomasse sur pied (Benbakkar, 2012). Sa productivité pastorale moyenne a été évaluée à 150 UF/ha/an (Djebaili et al., 1989).

*5.2.4 Steppes à Drinn (*Aristida pungens*)*

Les steppes à Drinn (*Aristida pungens*) sont localisées sur les dunes. Les sols sableux sont essentiellement caractérisés par la dominance d'*Aristida pungen*, elle représente à elle seule plus de 80 % des taux de fréquence et de recouvrement, constituant, ainsi de très vastes steppes homogènes (Benbakkar, 2012). Le Drinn s'adapte bien aux accumulations sableuses. Il est capable de s'accrocher aux dunes grâce à ces longues racines (Hadeid, 2006).

5.2.5 La steppe halophile

Les étendues salées couvrent de vastes superficies dans la steppe : chott, sebkha... Si la partie la plus salée est dépourvue de végétation, le pourtour constitue un pâturage de choix. Parmi cette végétation halophile, le guettaf ou l'Atriplex constitue un pâturage médiocre, mais il a une valeur considérable : il contient beaucoup d'eau (70 à 80 %) et une production de matière verte importante (100 quintaux à l'hectare). Toutefois, la végétation halophile dans la steppe est très demandée par les éleveurs, elle permet d'engraisser rapidement les ovins en particulier, les plus productifs à base d'Atriplex halimus, avec 130 à 200 UF/ha/an (Djebaili et al., 1989).

5.3 Les jachères et les cultures

Il s'agit de cultures annuelles en sec (céréales) avec des jachères pâturées relativement anciennes. Certaines jachères se présentent comme des peuplements assez denses de *Peganum Harmala* ou de *Stipa Retorta*. Dans les

zones plus humides, il existe des pelouses à *Aegilops Triencialis* (Hartani, 2009).

6 Cadre socio-économique

6.1 Démographie

La population de la Wilaya d'El Bayadh a fortement évolué durant les différents recensements de la population effectués depuis l'indépendance. C'est ainsi que la population qui était de l'ordre de 47.590 habitants au recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) en 1966, est passée à 114.800 habitants au RGPH 1977, soit une évolution globale de 67.210 habitants, représentant un taux d'accroissement annuel moyen de 7,52 %. Au RGPH de 1987, la population atteint 151.757 habitants, soit une évolution de 36.957 habitants, représentant un taux d'accroissement annuel moyen de 2,77%. Le RGPH de 1998, la Wilaya comptait une population de 226.845 habitants, soit une évolution de population de 75.088 habitants, représentant un taux d'accroissement annuel moyen de 3,61 %. Par contre en 2008, le volume d'accroissement de la population a sensiblement diminué puisque selon le recensement réalisé à cette date, le taux d'accroissement est descendu à 1,41 %. Ainsi, en valeur absolue, la population de la wilaya d'El Bayadh a atteint 261.286 habitants au RGPH 2008.

La population de la Wilaya à la fin 2014 est de 305.600 habitants, cette situation traduit une évolution importante de la population dans la mesure où sur une période de 48 ans, elle a doublé à un rythme moyen annuel absolu de 6.367 habitants. L'importance démographique des communes varient de 1.901 habitants à Ain El Orak et 116.191 habitants à El Bayadh. Cinq communes englobent plus de 200.000 habitants, il s'agit des communes : El Bayadh - El Abiodh Sidi Cheikh - Bougtob - Brézina et Mehara.

Le rapport population superficie donne une densité de 4,26 habitant / km², inférieur à la moyenne nationale qui est de 15,65 habitants / km². Les zones

des hautes plaines et l'atlas saharien présentent une densité nettement supérieure à la moyenne de la Wilaya qui est entre 6,91 et 15,89 habitants / km². Tandis que dans la zone présaharienne elle est de 1.11 habitants / km² ; néanmoins cette densité varie de 0,23 habitants / km² à El Bnoud à 2,06 habitants / km² à El Abiodh Sidi Cheikh.

Tableau 2-6 Répartition de la population par dispersion territoriale en 2014
(source: Monographie d'El Bayadh, 2014)

Communes	Population				
	ACL %	AS %	Zone Eparsée %	Nomade %	Totale %
El Bayadh	93,0	1,1	5,5	0,5	116 191
Boualem	53,5	20,4	12,9	13,2	9 874
Sidi Amar	38,0	8,0	34,1	19,8	4 773
Sidi Taiffour	70,6	-	10,5	18,9	7 206
Sidi Slimane	91,5	-	7,3	1,1	1 948
Stitten	39,2	-	58,1	2,8	6 368
Brezina	68,4	2,5	3,9	25,2	19 150
Ghassoul	56,1	13,5	25,0	5,4	8 748
Krakda	38,9	18,6	25,8	16,7	2 874
Bougtoob	81,1	2,2	7,3	9,5	24 513
El Kheiter	63,2	11,7	14,8	10,4	8 068
Tousmouline	62,8	-	2,2	35,0	5 162
Rogassa	70,1	-	13,4	16,5	9 665
Kef Lahmar	53,3	7,2	21,3	18,2	9 611
Cheguig	64,0	14,1	14,3	7,6	3 678
biodh Sid Cheikh	90,1	-	0,6	9,3	33 035
Bnoud	38,5	-	0,9	60,5	4 535
Ain El Orak	53,2	-	27,9	18,9	1 903
Arbaouet	57,7	20,6	6,3	15,3	5 211
Chellala	57,6	19,7	3,0	19,6	6 040
Mehara	9,4	6,1	11,1	73,4	12 762
Boussemgoun	82,1	-	17,9	-	4 285
Total Wilaya	75,2	3,8	9,2	11,9	305 600

La population de la Wilaya d'El Bayadh est fortement agglomérée. Les agglomérations chefs-lieux de communes et les agglomérations secondaires concentrent 80% de la population totale, où les agglomérations chefs-lieux des communes (ACL) totalisant près de 230 milles habitants et les agglomérations secondaires (AS) comptent 11.574 habitants (Wilaya d'El Bayadh, 2014).

6.2 Population et activités

La population active est l'ensemble des personnes en âge de travailler et occupant un emploi (population occupée), ou en recherche d'emploi (population au chômage). Cette notion regroupe donc la population active occupée, qui comprend les personnes qui exercent effectivement une activité professionnelle et les chômeurs. Elle exclut les inactifs qui par convention, regroupent à la fois les enfants, les étudiants, les personnes âgées, les femmes au foyer et les jeunes du service national.

Tableau 2-7 Répartition de population active et occupée en 2014

Communes	Population			
	Totale	Active	Occupée %	Chômeur %
El Bayadh	116 191	35 294	91,9	8,1
Boualem	9 874	4 178	91,3	8,7
Sidi Amar	4 773	1 883	92,3	7,7
Sidi Taiffour	7 206	2 895	87,7	12,3
Sidi Slimane	1 948	1 090	92,2	7,8
Stitten	6 368	2 398	90,3	9,7
Brezina	19 151	6 414	88,0	12,0
Ghassoul	8 748	3 901	86,3	13,7
Krakda	2 873	1 805	94,1	5,9
Bougtob	24 514	9 156	91,7	8,3
El Kheiter	8 067	4 754	96,8	3,2
Tousmouline	5 161	3 042	90,0	10,0
Rogassa	9 664	4 912	88,2	11,8
Kef Lahmar	9 612	4 156	89,2	10,8
Cheguig	3 678	2 919	90,7	9,3
Abiodh Sid Cheik	33 038	13 987	91,6	8,4
Bnoud	4 535	2 193	92,0	8,0
Ain El Orak	1 902	1 517	91,4	8,6
Arbaouet	5 210	2 703	95,3	4,7
Chellala	6 039	2 768	91,8	8,2
Mehara	12 763	5 387	87,6	12,4
Bousseghoun	4 285	2 228	87,3	12,7
Total Wilaya	305 600	119 580	91,0	9,0

La population active continue d'augmenter à un rythme élevé, elle est estimée à la fin 2014 à 119 580 personnes, la population occupée est de l'ordre

de 108 816 personnes. Le taux d'occupation étant défini comme étant le rapport de la population occupée sur la population totale qui est de 35,61 %. Ainsi, le taux de chômage enregistré dans la Wilaya est de l'ordre de 9%.

Tableau 2-8 Répartition de la population occupée par branches d'activités en 2014

Communes	Répartition des occupées par branches d'activités				
	Agriculture et Elevage %	B.T.P.H %	Industrie %	Autres Secteurs %	Total
El Bayadh	18,1	17,1	2,6	62,2	32 426
Boualem	25,3	14,9	1,7	58,0	3 813
Sidi Amar	48,1	14,8	1,3	35,7	1 738
Sidi Taiffour	55,8	14,2	1,4	28,6	2 539
Sidi Slimane	15,5	15,8	1,5	67,2	1 005
Stitten	45,7	15,2	1,7	37,4	2 166
Brezina	41,0	15,6	2,3	41,1	5 646
Ghassoul	38,3	14,1	1,6	46,0	3 366
Krakda	65,5	12,5	1,5	20,5	1 698
Bougtob	47,3	13,4	1,9	37,4	8 392
El Kheiter	57,4	14,1	2,1	26,4	4 600
Tousmouline	54,4	13,8	2,0	29,8	2 738
Rogassa	64,0	14,1	1,6	20,3	4 332
Kef Lahmar	54,3	13,7	1,8	30,2	3 707
Cheguig	73,0	10,1	1,2	15,6	2 647
El Abiodh S.C	48,2	15,5	2,4	33,9	12 816
Bnoud	71,0	8,2	1,0	19,7	2 017
Ain El Orak	33,2	13,6	1,8	51,5	1 387
Arbaouet	43,9	11,7	1,8	42,6	2 575
Chellala	34,9	16,2	2,8	46,1	2 542
Mehara	82,3	5,7	0,7	11,3	4 721
Boussemghoun	26,8	12,1	2,8	58,3	1 945
Total Wilaya	40,7	14,6	2,1	42,6	108 816

La répartition de la population occupée par branches d'activité montre d'une façon générale, une bonne répartition de l'emploi entre trois branches à savoir l'agriculture, l'élevage, les services et les bâtiments et travaux publics (BTPH) et une faiblesse de l'emploi industriel.

En égard à la vocation naturelle de la Wilaya, le secteur de l'agriculture prédomine avec 41 % de l'emploi global, les services occupent aussi une part importante avec 43 %, ainsi que les bâtiments et les travaux publics qui

occupent 15 % de l'emploi global, l'emploi dans le secteur de l'industrie demeure très faible avec seulement 2 %, car la Wilaya est dépourvue de zones ou entreprises industrielles (Wilaya d'El Bayadh, 2014).

6.3 L'habitat

La dynamisation de secteur de l'habitat reste liée aux progrès attendus dans la maîtrise de l'outil de réalisation et la disponibilité des matériaux de construction.

Le problème du logement reste crucial dans la Wilaya d'El Bayadh, malgré les efforts consentis dans ce domaine par le biais des différents programmes de développement qui se sont succédés. A ce titre, la Wilaya est parvenue à améliorer le Taux d'Occupation du Logement (TOL) passant de 10,16 en 1970 et 5,04 en 2008 à 4,26 en 2014, ce qui à permit d'atténuer le problème du logement au niveau de la Wilaya avec un parc logement atteignant 71.612 logements à fin 2014 (Wilaya d'El Bayadh, 2014).

Selon le même bilan, la Wilaya d'El Bayadh est dotée d'un Programme En Cours (P.E.C) de 23 180 logements tous programmes confondus, dont 11 653 logements sont en cours de réalisation et 11.527 logements non lancés, se répartissant comme suit :

Tableau 2-9 Répartition du programme de logement en 2014

Programmes	Etat des programmes (fin 2014)			Réalisation Année 2014	
	P.E.C	En cours	Non lancés	Livraisons	Lancement
Social Locatif	9 482	8 284	1 198	1 196	4 502
Social Participatif	710	468	242	10	222
Logements Ruraux	11 194	2 718	8 476	2 961	3 478
Logements de Fonction	94	23	71	0	0
Autres (FNPOS)	100	100	0	0	0
Logements Public Pro.	800	60	740	0	0
Logements Location Vente	800	0	800	0	0
Total	23 180	11 653	11 527	4 167	8 202

6.4 Les infrastructures de communications

Tableau 2-10 Le réseau routier et son état

Réseau	Bon		Moyen		Mauvais		Total	
	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%
R.N	390,45	46,29	211,6	25,08	241,5	28,63	843,55	100
C.W	0	0	62	100	0	0	62	100
C.C	368,65	33,02	478	42,8	270,05	24,18	1 116,70	100
Total	759,1	37,54	751,6	37,16	511,55	25,3	2 022,25	100

Le réseau routier de la wilaya d'El Bayadh long de 2022.25Km en fin 2014, se décompose en 42% de routes nationales (RN), 3% de chemin de wilaya (CW) et 55% de chemin communaux (CC) (Wilaya d'El Bayadh, 2014), 93 ouvrages d'art, maintenu par 08 maisons cantonnières. Ce réseau en 2010 été composé de 1404Km soit une augmentation de 30%(ANDI, 2013).

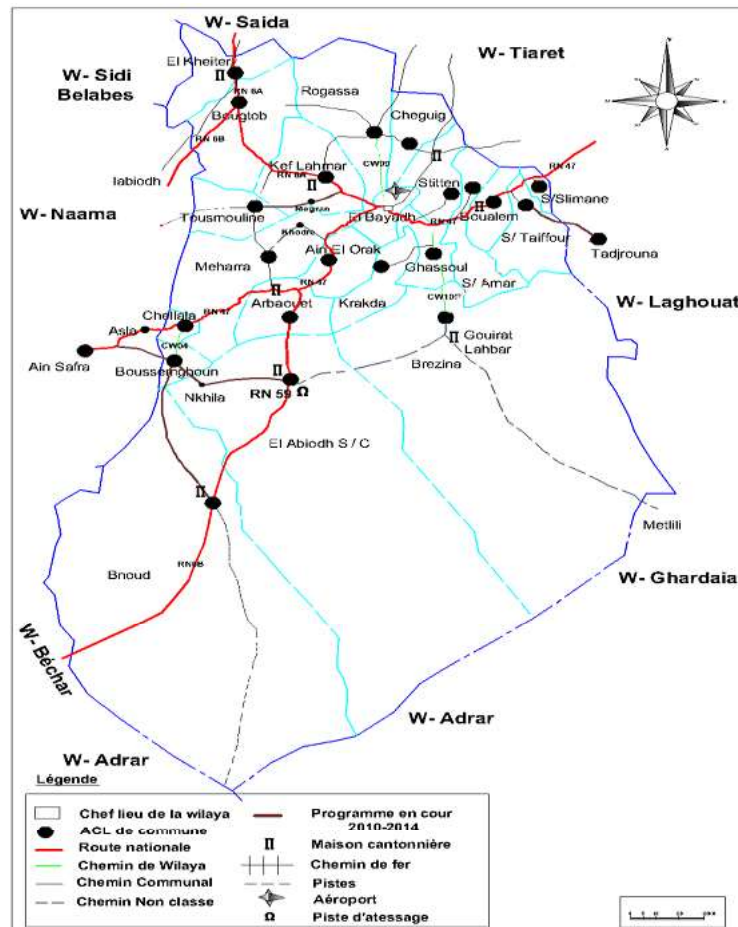


Figure 2-9 L'infrastructure de communication de la wilaya d'El Bayadh (source : (ANDI, 2013))

La Wilaya d'El Bayadh se caractérise par un territoire très vaste d'une superficie de 71 697 km² et dont l'élongation, entre l'extrémité Nord et l'extrémité Sud, dépasse 400 km, de ce fait et malgré un important réseau, la densité au km² est de 0,03 km et 6,62 km pour 1.000 habitants.

Concernant les chemins de fer, la seule voie ferrée existante traverse la Wilaya dans sa partie Nord sur une longueur de 49,30 kms. La wilaya possède aussi un aéroport dans la région dite Ksel à 12km en Nord-est de la ville d'El Bayadh.

6.5 L'industrie

Le tissu industriel est quasiment inexistant, l'emploi industriel ne représente que 2% de la population occupée de la Wilaya. La wilaya d'El Bayadh comporte une seule unité industrielle publique à savoir GAO (ex ONAB) à Bougtob, 1895 entreprises de réalisation dont deux sont publique (ENCTREB et ENTHE), ainsi que 06 unités d'agrégats (Wilaya d'El Bayadh, 2014).

6.6 Le potentiel agro-pastoral

6.6.1 L'agriculture

Sur un total de 71.169.670 ha, la surface agricole utile compte 71.702 soit un ratio de 0,29 ha/hab alors qu'au niveau national ce ratio est de 0,25 ha/hab et 0,78 ha/hab au niveau de la région hautes plaines de l'ouest.

Cette superficie agricole utile est surtout localisée au niveau des oasis de l'Atlas, les mises en valeur agricole et les nouveaux périmètres irrigués. Le potentiel agricole en irrigué est évalué à environ 4.000 hectares. Ces terres donnent la prédilection aux plantations fruitières 3.039 hectares.

Tableau 2-11 Terres utilisées par l'agriculture (source : (Wilaya d'El Bayadh, 2014))

Spéculations				Superficie	
Superficie Agricole Totale (S.A.T)	Superficie Agricole Utile S.A.U	Terres Labourables	Cultures Herbacées	28 756	
			Jachères	31 329	
		Cultures Permanentes	Prairies Naturelles	00	
			Vignobles	50	
			Plantation Fruitières	11 567	
		Total de la superficie agricole utile (S.A.U)			71 702
		Pacages et parcours			5 693 495
Total des terres utilisées par l'agriculture (S.A.T)			5 765 747		
Autres Terres	Terres ou zones alfatières		240 251		
	Terres ou zones forestières		122 111		
	Terres improductives non affectées à l'agriculture		1 041 558		
Total de la superficie de la Wilaya			7 169 670		

Les terres labourables d'une superficie de 60.085 hectares représentent 84% de la S.A.U, dont 43,69 % est occupé par les jachères en 2014. Ce taux a diminué en passant de 60.3% en 2003 pour s'approché du taux national de 40% (ANAT, 2003; Wilaya d'El Bayadh, 2014).

Selon les services de la DSA en 2002, la superficie des cultures herbacées a passée de 1.166Ha (ANAT, 2003) à 28.756Ha en 2014 (Wilaya d'El Bayadh, 2014). Aussi, la plantation fruitière a connue une augmentation remarquable en passant de 3.039Ha en 2002 à 11.567Ha en 2014 selon les mêmes sources.

Tableau 2-12 Répartition des exploitations agricoles

Type	Nombre	Superficie (ha)
Ferme Pilotes	01	9 997
Exploitations Agricoles Individuelles (EAI)	130	2 285
Exploitations Privés	296	1 168
Exploitation Programmes A.P.F.A	2 639	13 150
Exploitation Programmes (ex G.C.A)	338	2 352
Exploitations A. I : Arches, Communales	4 098	58 580
Total	7 502	87 332

En 2014 le nombre total des exploitations agricoles est de 7.502, disséminées sur le territoire de la Wilaya avec une superficie globale de l'ordre de 87.332 hectares. On note que la Wilaya est dépourvue des exploitations agricoles collectives (EAC) (Wilaya d'El Bayadh, 2014).

Tableau 2-13 La production agricole

Espèces	Superficie Utilisées (ha)	Production (Qx)
Céréaliculture	4 853	21 940
Maraîchage	2 494	393 421
Cultures fourragères	1 150	25 122
Arboriculture	8 103	53 798
phœniciculture	639	4 940
Oléiculture	4 806	5 328
Viticulture	50	545

Selon le rapport (Wilaya d'El Bayadh, 2014) l'arboriculture occupe 8.103Ha et produit 53.798Qx alors qu'en 2003 (ANAT, 2003) la surface occupée était de 3.078Ha avec une production de 19.473Qx. Quant à l'oléiculture, cette branche a connu une évolution importante ces dernières années en passant de 1.700Ha plantés entre 2002 et 2012 ¹ à environ 5.000Ha en fin 2014, dont 600ha est productif actuellement, ce qui a permis de passer de 5500 Qx à 14000 Qx en 2014 avec un rendement de l'ordre de 25Qx/Ha ².

6.6.2 L'élevage

La majeure partie de la d'El Bayadh est occupée par des espaces de pacages et parcours steppiques atteignant 5.693.495 hectares, ce qui représente environ 80% de la superficie totale (7.169.670ha). La majeure partie de ces espaces est à vocation pastorale couvrant les communes de Bougtob, Tousmouline, Rogassa, Kef El Ahmar, Cheguig et El Kheiter, le reste étant une zone pastorale hivernale appartenant à la région présaharienne. C'est une zone de transhumance de l'élevage ovin, caprin et camelin, à cause de la végétation spontanée arbustive et la végétation saisonnière diversifiée qui la caractérise et ceci est dû aux épandages des crues des grands Oueds (ANAT, 2003).

Avec plus d'un million huit cent mille têtes d'ovins (Wilaya d'El Bayadh, 2014), la Wilaya renferme un cheptel parmi les plus importants du pays et il constitue l'activité économique de base d'une grande partie de la population locale (Wilaya d'El Bayadh, 2014). De part son adaptation aux conditions du milieu,

¹ Journal ennahar al jadid, Selon Service de support technique, DSA, 23/06/2012.

² Journal akhbar el youm, interview avec le Directeur DSA, 29/11/2014

ce cheptel occupe une place prépondérante dans l'économie de la région et représente un capital estimé à plus de 17 milliards de dinars (estimé selon (ANAT, 2003)). 80 % de la population vit directement ou indirectement de cette activité d'élevage, d'engraissement et du marché à bestiaux(ANAT, 2003) avec 17.340 éleveurs en 2013 ¹.

7 Le cadre foncier et les réserves foncières de la wilaya

La superficie utile (cadastrable) dans les zones rurales est de 67.486 Ha et elle est de 4.937Ha en urbain, ce qui représente 1% de la superficie de la wilaya. Ces chiffres sont annoncés dans le bilan effectué à la fin 2007 sur l'état d'avancement du cadastre des zones utiles dans la wilaya d'El Bayadh (Chaib and Mezner, 2008). Selon le même bilan, aucune couverture rurale dans le cadre du cadastre général n'est achevée ou en cours (Chaib and Mezner, 2008), d'après les services du cadastre local, il y'a moins d'une dizaine de parcelles dont les actes sont délivrés et qui ont été cadastrés à titre privé. Concernant l'urbain, 23 agglomérations ont été achevées avec une couverture de 3.739Ha, ce qui représente 76% des zones urbaines à couvrir. Le plan de la commune chef lieu comporte 102 sections achevées à 100% et dont 97 sections (95%) remises à la Conservation Foncière (CF) alors que ce taux est de 81.9% pour les autres agglomérations. Quant à la densité, elle est de 12.8 ilot/Ha et 9.8 propriétaires/Ha en urbain, cette densité est 7.95 et 6.94 successivement pour le territoire national à la même date. Dans la partie urbaine cadastrée, on trouve que 79% des propriétés sont privées, 12% sont publiques et 9% sont enregistrées comme inconnues.

A la fin 2007, un projet portant sur la faisabilité d'un cadastre spécifique aux zones steppiques et sahariennes sur la base de l'imagerie spatiale a été initié par l'Agence National du Cadastre (ANC) et l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL), les détails de ce projet seront présentés dans la dernière

¹ APS le 13/06/2013

partie du manuscrit. Ce qui a permis un saut qualitatif traduit dans le bilan de juin 2015.

Ce bilan annonce que le total des surfaces urbaines cadastrées est de 4.258Ha. Parmi les 670 sections que compte la wilaya 649 sections sont cadastrées, les 21 restantes sont dans la commune d'El Bayadh. Le nombre des sections remises à la CF est de 643 sections contenant 62.609 ilots avec 34.599 propriétaires et dont la superficie est de 4.176Ha permettant de délivrer 26.819 livrets fonciers et 209 certificats provisoires.

Au niveau de la couverture rurale, la surface totale cadastrée est de 16.747Ha distribuée sur 11 communes. L'ensemble de la couverture est remis à la CF sauf 881Ha appartenant aux 3 sections de la commune de Chellala. La superficie remise englobe 4.805 Ilots appartenant à 1574 propriétaires. Quant aux dates des remises, 7.838Ha dans la commune d'El Bayadh est remis en avril 2011, El Kheiter avec 3.628Ha en mai 2014 et pour le reste des communes, la remise est faite entre juillet et novembre 2013. Les livrets fonciers sont délivrés à 122 propriétaires dont 114 à El Bayadh seulement.

La couverture dans le cadre du cadastre steppique et saharien totalise 7.138.230Ha selon le même bilan. Cette superficie regroupe 79 sections remises à la CF dans les 22 communes de la wilaya ; la commune chef lieu compte 29 sections, pour les autres communes cela varie entre 1 et 5. Dans ce même cadre, 468 Ilots sont recensés dont 304 dans la commune d'El Bayadh, pour les autres communes, le nombre varie entre 3 et 19. Le nombre total des propriétaires est de 109 dans la commune d'El Bayadh, dans les autres communes il varie entre 1 et 9 avec un total de 168 propriétaires. Les livrets fonciers délivrés dans le cadre de cette couverture est de 331 livrets dont 235 à El Bayadh.

8 Conclusion du premier chapitre

La wilaya d'EL BAYADH présente des potentialités de développement important, elle occupe une superficie de 7.169.670 ha, elle fait partie de la région des hautes plaines steppiques, ce milieu a une position charnière entre le tell au nord et le Sahara au sud. La steppe représente la base économique indispensable à la pratique de la principale activité des wilayas des hautes plaines, qui est l'activité pastorale (ANAT, 2003).

Le règlement du problème foncier en milieu steppique constitue un préalable à la mise en œuvre de toute politique d'aménagement du territoire visant à dynamiser l'activité tant pastorale qu'industrielle. Les problèmes liés à la gestion du foncier représentent une entrave à toute initiative d'investissement à grande échelle dans les activités pastorales, industrielles ou d'agriculture. Ces problèmes ne peuvent être résolus sans un cadastre général permettant un recensement détaillé de l'assiette foncière de la wilaya.

Le chapitre suivant permet de comprendre le fonctionnement du cadastre algérien, ainsi que les problèmes qui ont amené à la situation cadastrale difficile des régions steppiques et sahariennes.

Chapitre II

L'analyse du cadastre Algérien

1 Quelques définitions du cadastre

Le rôle du cadastre varie d'une société à une autre selon sa mission qui varie du juridique et foncier au technique et documentaire. Par conséquent sa définition varie aussi.

Selon L'encyclopédie Universalis « On désigne du nom de cadastre à la fois l'ensemble des documents cadastraux établis en vue de l'assiette de l'impôt foncier, ou cadastre proprement dit, et le service administratif du cadastre, chargé des différents travaux cadastraux »¹.

Le dictionnaire LAROUSSE définit le cadastre comme : « Ensemble des documents établis à la suite de relevés topographiques et d'opérations administratives, et destinés à permettre la détermination des propriétés foncières d'un territoire, la constatation de la nature de leurs produits et l'évaluation de leur revenu »².

L'Agence Nationale du Cadastre (ANC) définit le cadastre comme étant « l'ensemble des documents établis méthodiquement sur la base de levés topographiques et destinés à déterminer les bien-fonds d'un territoire entier ». Son but est de déterminer toutes les parcelles du territoire pour permettre la protection des droits y afférant. En d'autres termes, faire un cadastre consiste d'une part à représenter graphiquement tous les immeubles (bâti ou non bâti) en vraie grandeur et de les orienter sur un plan. D'une autre part, il consiste à préciser toutes les informations concernant la consistance physique

¹ L'encyclopédie Universalis.

² Le dictionnaire LAROUSSE.

ou matérielle des immeubles, de la nature d'occupation du sol, du mode d'exploitation, les propriétaires et les titulaires apparents de droits réels.

2 L'historique du cadastre

L'origine du terme cadastre n'est pas claire. Les auteurs semblent avoir beaucoup d'opinions différentes. Pour certains, cette origine appartenait à Rome, dans l'Antiquité, et a constitué la contraction des mots latins « capidustra », ce qui signifie la mise en place de registres indiquant la liste des propriétaires et de leurs propriétés foncières. Alors que d'autres ont supposé que cela pourrait venir du terme grec « Katastikhon » qui signifie liste (Merriam, 1998). Les premiers signes de cadastre étaient trouvés sur une tablette d'argile datant de 2300 avant J.-C. et donnant le plan coté, la superficie, la description d'un groupe de parcelles. Cette tablette a été retrouvée à Telloh dans le désert d'Arabie¹. D'autres traces ont été trouvées en Égypte et en Chine (El Ayachi et al., 2003). Les anciens systèmes de cadastre ont été élaborés à des fins fiscales. Ils étaient basés sur le principe que toute personne qui cultive une terre devait payer des impôts comme une forme de loyer. Les premières formes de cadastre dans la société islamique ont été introduites dans le 7e siècle par le prophète Mohamed (que la paix et le salut soient sur lui) (El Ayachi et al., 2003). Intéressé à mieux gérer les terres, il a procédé par:

- La délimitation par des pierres de la zone de " Khaybar » (des terres collectives autour de la ville de La Mecque en Arabie Saoudite): ce fut la première forme de démarcation dans l'Islam,
- Encourager l'activité agricole en revivant les terres mortes de (mawat), sur les terres inutilisées et à qui aucune revendication d'utilisation n'est identifiée.

En règle générale, le cadastre ou le système cadastral est la base utilisée pour la protection de la propriété par le biais de procédures d'enregistrement

¹ Cadastre sur www.wikipedia.org

de titres et de plans cadastraux. Chaque parcelle ou propriété et ses propriétaires sont enregistrés. Toutes les structures spatiales sont graphiquement décrites dans un plan cadastral ou stockées numériquement dans une base de données.

3 But et missions du cadastre

Le cadastre permet l'établissement d'un système d'enregistrement, bien conduit, entraînant la sécurité et la clarté du statut légal de la terre, des personnes concernées et des tiers. En Algérie, le cadastre a les missions suivantes :

- *Juridique et foncière* : l'ordonnance n° 75-74 du 12 novembre 1975, et le décret n° 76-62 du 25 Mars 1976 modifié et complété par le décret n° 92-134 du 7 Avril 1992, confèrent au cadastre le caractère juridique, Le cadastre définit et identifie la consistance physique des immeubles et sert de base matérielle au fichier immobilier (livre foncier), Le livre foncier établit la situation juridique des immeubles, tenu sous la forme d'un fichier immobilier, faisant preuve des droits publiés.
- *Technique* : Le cadastre, pour accomplir sa mission juridique et foncière, dispose d'un instrument fondamental qui est le plan cadastral, support direct et indispensable de toute identification et description physique de la propriété foncière. La confection et la maintenance du plan cadastral constituent donc la première des missions techniques du cadastre. Cela s'ajoute à d'autres travaux ponctuels comme la délimitation cartographique intercommunale, l'assainissement du secteur agricole, l'accession à la propriété foncière et les travaux topographiques divers.
- *Documentaire* : représentant une source d'informations foncières et économiques d'une richesse exceptionnelle, le cadastre est appelé à jouer un rôle documentaire important face à un nombre croissant

d'utilisateurs comme l'agriculture, l'habitat, l'équipement et les collectivités locales.

Le cadastre garantit une très grande sécurité à l'investisseur ou au propriétaire. Par conséquent, il encourage les institutions financières à accorder des prêts. La sécurité légale contribue à la réduction des conflits en spécifiant les limites de chaque propriété pour l'instauration de relations de bon voisinage. L'imposition est rendue plus facile, la terre étant considérée comme une source de revenus, et pour en collecter légalement, le cadastre est indispensable. Par sa nature cartographique initiale, le plan cadastral connaît une utilisation importante comme support à la localisation de bon nombre d'informations, notamment dans le champ de la gestion du territoire et son aménagement, facilitant l'exécution de travaux d'importance nationale, tels, remembrement, planification, statistique, urbanisme et autres ...

4 Les usages de l'information cadastrale

La vision et le besoin en information géographique (IG), en générale, diffèrent selon la catégorie d'utilisateurs, ces derniers appartiennent à trois groupes selon leur degré d'expertise (ou de compétence) en termes de manipulation de l'IG dans les domaines de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme(Puissant, 2003).

La première catégorie regroupe les utilisateurs experts qui se caractérisent par leur grande capacité d'intégration et de traitement des données géographiques. Ils manipulent et gèrent des volumes importants de données géographiques, dans des bases de données urbaines adaptées à la gestion quotidienne du territoire (gestion technique des réseaux, du mobilier urbain,...). Ces utilisateurs experts, les techniciens de l'IG interviennent sur le territoire à un niveau « opérationnel » (Puissant, 2003).

Dans la deuxième catégorie on trouve *les utilisateurs initiés* qui ont une connaissance moyenne de la manipulation et de l'exploitation des données

géographiques. Ils ne s'y intéressent que dans leur domaine de compétence propre. Ils ont une connaissance de base des outils SIG. Leurs compétences sont liées à la planification urbaine, l'urbanisme pré-opérationnel, les études d'impact, les observatoires et les prospectives. Ces *utilisateurs initiés* interviennent sur le territoire à un niveau « *tactique* » (Puissant, 2003).

Dans la troisième catégorie, Les utilisateurs « *grand public* » n'ont pas de connaissances précises sur les données géographiques et ne connaissent pas les outils pour les exploiter. Cette catégorie regroupe à la fois les décideurs, qui assurent les prises de décisions à un niveau « *stratégique* », dans une problématique urbaine (à travers la présentation de documents finaux, par exemple les cartes) ; et la population qui doit être informée sur la politique menée en terme d'Aménagement du territoire (Puissant, 2003).

Quel que soit le processus de planification, gestion et de décision, les différents acteurs et les utilisateurs ont besoin de disposer d'informations précises sur le territoire administré, tant pour répondre aux demandes des habitants, que pour prévoir les aménagements futurs ou encore assurer la maintenance et l'entretien des infrastructures.

Dans la dernière décennie, les systèmes cadastraux ont fait l'objet d'une modernisation conceptuelle importante et sont devenus, avec les progrès réalisés dans le secteur de la géomatique, de véritables infrastructures informationnelles de gouvernance territoriale. En effet, l'information cadastrale est dorénavant utilisée à des fins aussi diverses que, la planification de l'aménagement, le contrôle de l'utilisation du sol, la prévention des risques naturels et le développement durable.

4.1 Les besoins des différents acteurs en information cadastrale

La documentation cadastrale permet d'aider les autorités à planifier et aménager le territoire, et aider les professionnels à élaborer des variantes d'aménagement et de gérer les limites des infrastructures. De nombreux

Première partie : Un contexte géographique particulier qui nécessite un cadastre particulier

services techniques sollicitent les services du cadastre pour l'acquisition de cette documentation. Malgré la richesse en information de cette documentation, son utilisation n'a jamais dépassé le volet juridique et la notion de superficie ; ceci est à cause de la méconnaissance des institutions de l'offre et le contenu de la documentation cadastrale. Par exemple dans l'étude de (Ben Aldjia and Siyoucef, 2015) tous les acteurs ont exprimés leurs besoin d'une information (graphique et attributaire) numérique pour un SIG qui est un produit qu'offre le cadastre mais il n'est demandé que par la Conservation Foncière (CF) et le domaine lors de la remise de la documentation. Donc l'Agence Nationale du Cadastre (ANC) doit travailler plus sur la vulgarisation du contenu de la documentation cadastrale afin de la faire sortir de la vision simplificatrice surface/nature juridique, en plus la simplification de l'accès à travers la publication sur internet. Cela s'ajoute aux soucis de quelques acteurs sur la qualité et la mise à jour afin d'atteindre un cadastre multifonctionnel.

Tableau 2-14 Les informations cadastrales recherchées par les différentes directions(Ben Aldjia and Siyoucef, 2015)

Directions	Nature du sol	situation	ilot	bâti	rue	végétation	Plan cadastrale	Matrice cadastrale	BD cadastrale
Urbanisme	*	*	*	*	*	*	**	*	
Hydraulique	*	*	*	*	*		**	*	
Transport		*			*		**	*	
Travaux publique		*			**		**	*	
Agriculture	**	*	*		*	**	**	*	
Mines	**	*	*		*		**	*	
Tourisme		*	*	*	*		**	*	
Conservation cadastrale		*	*	*	*		*	*	*
Environnement		*	*	*	*	*	*	*	
APC/APW	*	*	*	*	*	*	**	*	
Affaires religieuse		*	*	*	*	*	**	*	
Domaines	**	*	*	*	*	*	**	*	*

Tableau 2-15 Exploitation de la documentation cadastrale (Ben Aldjia and Siyoucef, 2015)

Organisme	Dans quel contexte l'information cadastrale est utilisée ?
Assemblées populaires	<p>Pour la délivrance de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permis de construction • Permis de démolir • Permis de lotir • Certificat de morcellement • Certificat d'urbanisme
Direction de l'agriculture	<ul style="list-style-type: none"> • Pour la délimitation des parcelles (à la demande de la DSA) • La localisation de la parcelle • Pour régler la situation juridique de l'attributaire (pour que le propriétaire soit légal devant la loi 87/19 du 08/12/87) • Constitution du dossier (dans le cadre de la loi 10/03 du 15/10/2010, parmi les documents constituant le dossier on trouve le plan du cadastre et le plan de bornage)
Direction de l'hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> • Connaitre la superficie irriguée • Identification des grands équipements hydrauliques tels que les barrages • La localisation des stations de traitement, branchement et station de pompage
Direction de l'urbanisme	<ul style="list-style-type: none"> • Situer des parcelles cadastrales avec le POS, PDAU • Connaitre la nature juridique des biens pour toute opération d'acte d'urbanisme • Consultation des plans cadastraux pour extraire les limites, les routes et les servitudes.
Direction de l'environnement	<ul style="list-style-type: none"> • Connaitre la nature juridique des biens • La localisation des biens • Bornage de littoral (servitude 300m de la mer) • Les études d'aménagement
Direction des affaires religieuses	<ul style="list-style-type: none"> • Localisation des biens wakf • Récupération de leurs biens • Régler la situation juridique avec la conservation foncière et les domaines (dans le cas ou les biens wakf est mentionné comme inconnue)
Direction de travaux publique	<ul style="list-style-type: none"> • La nature juridique pour l'expropriation
Direction de l'énergie et des mines	<ul style="list-style-type: none"> • La localisation du site avec la nature juridique • L'exécution des projets (l'acte et le plan sont demandés par la Sonelgaz pour éviter les litiges et confirmer le propriétaire)
Direction du transport	<ul style="list-style-type: none"> • Représentation graphique du réseau routier • Les limites des infrastructures (avec servitudes)
Direction du tourisme	<ul style="list-style-type: none"> • Localisation et vérification des terrains (appartenance eu ZET) • Etudes d'aménagement (levé cadastrale et enquête foncière)

5 L'historique du cadastre en Algérie

En Algérie, Avant la colonisation, il existait en terre algérienne un régime foncier assez complexe mais stable, classant les terres en plusieurs catégories à savoir Arch, Melk, Habous, Beylik et Meghzen. Entre 1830 et 1962 la politique foncière coloniale française visait essentiellement à dégager par tous les moyens, les superficies de terre cultivable nécessaire à l'installation des colons Français et européens(Aloui, 1993).

En France, l'origine du cadastre parcellaire français, dit napoléonien est la loi du 15 septembre 1807. Son objectif est de dénombrer et classer les terres selon leurs degrés de fertilité dans le but d'évaluer équitablement le produit imposable de chaque parcelle. Les travaux ont commencé en 1808 et achevés en 1850 pour la France continentale à l'exception de Paris, et plus tardivement pour les territoires d'annexion récente ou nouvelle. Les plans sont édités au format 105cm par 75cm, à des échelles comprises entre 1/500 et 1/5000. Cette loi avait aussi pour objectif de créer un instrument juridique pour l'établissement de la proceSSION du sol. La loi du 16 avril 1930 a prévu une rénovation cadastrale. Cette rénovation a pour objet de substituer au plan napoléonien, une documentation cadastrale (plan et matrice) appelée à être tenue à jour annuellement. Cette opération, entreprise en 1930, s'est étalée sur 60 ans. La loi du 17 décembre 1941 vient pour réorganiser le service du cadastre, en lui attribuant les trois missions fiscale, technique et foncière (CERTU, 1995).

Les lois portant sur le foncier en Algérie, durant la période coloniale, ont été adoptées dans le but d'asseoir une législation foncière coloniale. En effet, le législateur français a tenté de rapprocher le régime de la propriété Algérienne du régime Français, mais en se contentant de réaliser un rapprochement superficiel, dépourvu de toute valeur économique (étant donné que le cadastre français est à caractère fiscale). Pour assurer la sécurité des nouveaux détenteurs, diverses lois furent promulguées et avaient pour la plupart

l'objectif principal de soumettre la propriété algérienne à la législation française, dans le but d'éliminer son caractère collectif et la soumettre aux transactions.

Parmi les plus importants textes :

- L'ordonnance du 1^{er} octobre 1844 : levait l'opposition sur les biens HABOUS aux acquéreurs européens et déclarait les litiges opposant les européens aux autochtones sous l'autorité des tribunaux français et leur législation.
- L'ordonnance du 21 juillet 1846 : déclarait domaine de l'Etat Français tous les biens jugés sans maître (les biens dont les titres sont considérés comme insuffisants étaient classés comme tel).
- Loi du 16 juin 1851 : les ordonnances de 1844 et 1846 n'ayant pas eut l'effet attendu (les pièces exigées n'étant pas en usage parmi la population musulmane), la loi du 16 Juin 1851 est venue séparer les intérêts des européens de ceux des musulmans et caractériser l'inviolabilité de la propriété sans distinction du possesseur.
- Loi du 22 avril 1863 : dite du SENATUS CONSULTE inspirée par l'empereur Napoléon III, elle procédait à la répartition des terres entre les tribus dans un but évident de leur individualisation. Des terres collectives "ARCH" sont ainsi transformées en "MELK" assurant leur transfert aux colons par l'intermédiaire des transactions.
- Loi du 26 juillet 1873 : dite WARNIER portait sur la francisation pure et simple de toutes les terres de l'Algérie. Cette loi a l'effet d'abolir tout recours au droit musulman, cette loi prévoyait en outre (à l'aide de recensement des autochtones) la constitution de la propriété privée sur les territoires divisés par le SENATUS CONSULTE.

Première partie : Un contexte géographique particulier qui nécessite un cadastre particulier

- Loi du 16 février 1897 et du 4 Août 1926 : La première consistait en une sorte de purge des terres "ARCH" et "MELK" avec pour finalité la délivrance de titres (les enquêtes partielles). La seconde complétant la première et la généralisait à tout le territoire, y compris le sud. Elle avait pour base le SENATUS CONSULTU et était dénommée "enquêtes d'ensembles".
- Décret du 26 mai 1956 : avait pour objectif l'aménagement foncier, encourageant les échanges amiables afin d'organiser la propriété et appliquer les remembrements sur les exploitations rurales.
- Ordonnance du 3 janvier 1959 : ordonnait la délimitation de la propriété selon une méthode cadastrale : constatation et constitution des droits de propriété (droits réels et charges) et l'établissement des plans.

Après l'indépendance, L'examen des changements intervenus dans les données du problème foncier nous amène à distinguer entre deux périodes, celle marquée par la politique de socialisation de l'économie nationale et qui court jusqu'à l'avènement de la Constitution de 1989 et celle qui a suivi, caractérisée par d'importantes mutations politiques et économiques à caractère libéral (Brahiti, 2008).

Dans le cadre de l'économie sociale qui a marqué la période avant 1989, l'Etat a incorporé progressivement tous les biens constituant des moyens de production à son domaine. Mais les responsables ne semblent pas avoir perçu la nécessité de faire consigner tous les nouveaux biens relevant du domaine national ; donc aucun inventaire général descriptif et estimatif, de ce patrimoine n'a pu être constitué aggravant ainsi la situation foncière, déjà très confuse, dont l'Algérie a hérité de la période coloniale (Brahiti, 2008). Les plus importants textes parus durant cette période sont :

- L'ordonnance N° 62-20 du 24 août 1962 : prise comme mesure d'urgence, Cette ordonnance a été adoptée afin, d'empêcher les

ventes de biens vacants et d'instaurer un contrôle des transactions intervenues au lendemain de l'indépendance.

- L'ordonnance n°71-73 du 08 novembre 1971 portant révolution agraire : qui visait une réorganisation du secteur agricole selon des principes rationnels, équitables et modernes. Les opérations de la révolution agraire ont porté sur une assiette foncière agricole où à vocation agricole de l'ordre de 1,44 million d'hectares dont 920.000 hectares au titre de la 1ère phase qui a concerné les terres publiques (domaniales, communales, habous publics) et 521.400 hectares au titre de la 2ème phase qui a touché les terres arch ainsi que les terres privées (melk), outre la nationalisation de près de 671.000 palmiers. Ce texte contenait des éléments propres à doter l'Algérie d'un système foncier cohérent, en mettant fin à la diversité des statuts juridiques des terres, ce qui devait préparer le terrain à la mise en œuvre d'un cadastre général.
- L'ordonnance n°74-26 du 20 février 1974 relative à la constitution des réserves foncières communales : qui visait à assurer une utilisation rationnelle de l'espace par l'institution d'un monopole foncier au profit des communes, à l'intérieur d'un périmètre d'urbanisation dont elles devaient se doter en vue de définir les possibilités d'expansion urbaine à court, moyen et long termes.
- Loi n°84-16 du 30 Juin 1984 relative au domaine national qui a eu pour objet d'adapter le contenu et la notion de domanialité, en conformité avec les options fondamentales du pays, plus particulièrement avec les principes qui concernaient la propriété d'Etat et sa fonction, énoncés dans la Constitution du 22 Novembre 1976.
- Loi n°87-19 du 8 décembre 1987 déterminant le mode d'exploitation des terres agricoles du domaine national et fixant les droits et obligations des producteurs. Cette loi a pour but de démembrer la

plupart des DAS (Domaines Agricoles Socialistes) en exploitations agricoles collectives (EAC) et en exploitations agricoles individuelles (EAI).

Après le recouvrement de la souveraineté nationale, les terres des anciens colons avaient été érigées en *domaines autogérés* totalisant une assiette foncière de l'ordre de 2,3 millions d'hectares.

Les terres agricoles versées au *Fonds National de la Révolution Agraire* (1,4 million d'hectares environ) avaient donné lieu, dans la généralité des cas, à la constitution de coopératives agricoles de production de la révolution agraire (CAPRA) (5828 unités) et accessoirement à des attributions individuelles sur les terres dites marginales (14.187 attributions).

Entre 1981 et 1985 a été opérée une restructuration des unités existantes en fusionnant les deux systèmes de gestion (autogestion, coopératives agricoles) dont le résultat s'est traduit par la création de près de 3400 *Domaines Agricoles Socialistes* (DAS) totalisant 3 millions d'hectares environ.

Un changement d'orientation majeur intervient avec l'adoption de la Loi portant accès à la propriété foncière agricole (APFA). Si la loi portant APFA (loi 83-18 du 13 août 1983) concernait explicitement les terres sahariennes, elle fut dans la pratique étendue aux terres de parcours steppiques. Près de 30 ans après l'adoption de la loi sur l'APFA, en 2012, plus de 700 000 ha auraient été affectées à plus de 100 000 bénéficiaires¹.

Après 1987, une centaine des DAS ont été érigés en fermes-pilotes d'Etat ayant le statut d'EPIC, mais la majorité sont transformé en exploitations agricoles collectives (EAC) et en exploitations agricoles individuelles(EAI) au nombre de près de 90.000 sur lesquelles l'Etat octroie aux bénéficiaires des droits réels immobiliers, consacrés par un acte administratif publié à la conservation foncière.

¹ <http://www.foncier-developpement.fr/pays/algerie/>

L'adaptation des législations foncière et domaniale aux réformes économiques ainsi qu'à la Constitution du 1989 s'est traduite par l'abrogation des ordonnances portant la révolution agraire (1971), les réserves foncières communales (1974) et la loi relative au domaine national. Ces lois sont substituées par la loi n°90-25 du 18 novembre 1990, modifiée et complétée par l'ordonnance n°95-26 du 25 septembre 1995, portant orientation foncière et la loi n°90-30 du 1er décembre 1990 portant la loi domaniale. De ces deux lois essentiellement, de nouvelles règles de politique foncière résultent dont les principales sont dans les lois suivantes :

- Loi 91-10 du 27 avril 1991 et Loi 01-07 du 22 mai 2001 sur les biens wakf, Parmi les différents modes d'exploitation introduits par ces lois, beaucoup sont nouveaux dans le droit positif algérien notamment les formules de location. Les biens wakf —dont les terres agricoles— sont exploités, fructifiés et développés à travers différents types de contrats.
- Loi 07-02 du 27 février 2007 portant sur les nouvelles procédures d'obtention d'actes authentiques pour les propriétaires sans papiers, dite loi d'enquête foncière ; Cette loi révisé un texte antérieur de 1983. Elle vise à faire de la prescription acquisitive, nommée à l'article 14 de la loi, une voie d'accès à l'immatriculation de la propriété plus rapide que la voie du cadastre général et de la délivrance d'un livret foncier par la Conservation foncière.
- La loi 08-16 du 3 août 2008 portant loi d'orientation agricole, Cette loi a pour but de valoriser le foncier agricole et de mieux le faire contribuer au développement économique et social du pays, introduit un concept nouveau, celui de précision de l'organisation foncière (art. 4) et fait de l'outil SIG l'instrument d'une connaissance du patrimoine foncier agricole, traduit par un nouveau fichier (fichier

des potentialités du patrimoine agricole) et par une carte de délimitation des terres agricoles ou à vocation agricole (art. 13).

- Loi 10-03 du 15 août 2010 fixant les conditions et modalités d'exploitation des terres du domaine privé de l'État, Cette loi fixe la forme de la concession de terres domaniales consentie à un agriculteur pour une durée de 40 ans (renouvelable). Le but est de responsabiliser et sécuriser l'exploitant.

6 Le cadastre en Algérie

L'ordonnance N° 75-74 du 12 novembre 1975 portant établissement du cadastre général et institution du livre foncier donne au cadastre la définition suivante :

"Le cadastre général définit et identifie la consistance des immeubles et sert de base matérielle au livre foncier qui établit la situation juridique des immeubles et indique la circulation des droits immobiliers".

L'ordonnance N° 75-74 du 12 novembre 1975 a prescrit l'établissement du cadastre général et l'institution du livre foncier. Les conditions d'application de ce texte législatif ont été fixées par le décret N° 76-62 du 25 mars 1976 en ce qui concerne les dispositions relatives à l'établissement du cadastre général, et par le décret N° 76-63 du 25 mars 1976, concernant les dispositions relatives à l'institution du livre foncier.

Cependant, la conduite des opérations dans le cadre de ce dispositif législatif, a fait apparaître des difficultés quant à l'avancement des travaux, ce qui a conduit à l'amendement de ces textes par le décret exécutif N° 92-134 du 7 avril 1992, modifiant et complétant le décret N° 76-62 du 25 mars 1976. Ce décret a ramené le dépôt de la totalité de la commune à une ou plusieurs sections et le décret exécutif N° 93-123 du 19 mai 1993, modifiant et complétant le décret N° 76-63 du 25 mars 1976. Dans ce décret, la durée de l'immatriculation foncière qui a été ramenée de 5 ans à 4 mois lorsque

l'immeuble enquêté fait l'objet d'une possession ayant atteint la durée légale de prescription acquisitive et à 2 ans lorsque le propriétaire apparent ne dispose pas de titres justificatifs suffisants.

Les modalités de conduite des opérations du cadastre sont fixées par l'instruction n° 16 du 24 mai 1998 relative à la conduite des opérations cadastrales et d'immatriculation foncière. Cela se fait en cinq phases :

La première phase est la phase des travaux préparatoires, elle comporte essentiellement l'ouverture de l'opération, la création de la commission cadastrale, la publicité de l'opération et la réunion des documents et plans existants. Elle comporte les étapes suivantes :

- Réunion des documents existants,
- Dotation en orthophotoplans et en restitutions photogrammétriques,
- Découpage de la commune en sections,
- Préparation du plan de délimitation, jeux de terrain et de bureau,
- Prise de l'arrêté d'ouverture des opérations cadastrales par le Wali,
- Publicité de l'opération dans les journaux et avis de passage des brigades du cadastre ainsi que la convocation des propriétaires,
- Création de la commission cadastrale de délimitation par arrêté de Monsieur le Wali.

La deuxième phase consiste à l'opération de délimitation qui comporte les étapes suivantes :

- Délimitation du territoire communal (bureau et confirmation sur le terrain),
- Délimitation des lieux-dits (bureau et confirmation sur le terrain),
- Délimitation des îlots de propriété,
- Délimitation des parcelles cadastrales,
- Délimitation des dépendances du domaine public,
- Représentation des servitudes,

- mise au net des travaux de terrain.

La troisième phase est l'enquête foncière. Dans cette phase les agents du cadastre remplissent les renseignements des fiches de personne, d'enquête foncière, d'ilot et la fiche descriptive de l'immeuble bâti. Cette phase comporte les étapes suivantes :

- Identification des propriétaires et des ayants-droit,
- Constatation du droit de propriété et autres droits réels immobiliers et charges,
- Informations à caractère juridique et technique attachées à l'ilot de propriété,
- Prise en charge des mutations foncières intervenues au cours des opérations cadastrales,
- Constatation des autres droits réels immobiliers et charges
- Dépôt réglementaire d'un mois au siège de la commune
- Instruction des réclamations

La quatrième phase est la réunion de la commission cadastrale de délimitation présidée par un magistrat.

La cinquième phase est la remise des documents cadastraux à la Conservation Foncière (CF) pour immatriculation et remise d'un livret foncier au propriétaire.

6.1 Organisation de la documentation cadastrale

La multiplicité des missions du cadastre et la précision du plan cadastral, rendent indispensable de saisir toute information relative aux objets représentés sur le plan, servant à l'identification du bien et son propriétaire. Pour cela, le cadastre en Algérie procède au remplissage des fiches terrain à des modèles différents (T4, T5, T7, T10...), ce qui donne la particularité au plan cadastral d'avoir à la fois la rigueur métrique et la précision sémantique.

6.1.1 Le plan cadastral

Le plan cadastral est le document fondamental du cadastre. C'est un plan général au sens qu'il couvre la totalité du territoire de la commune, divisé en section. Il donne la représentation graphique du territoire de la commune dans tous les détails de son morcellement en ilots de propriété et en parcelles (Instruction, 1998).

Les indications principales portées sur le plan sont les suivantes :

- Les limites communales, de sections, de lieux-dits, des parcelles ;
- La matérialisation des limites (mur, haie, clôture, fossé, talus ...) ;
- L'emprise des voies de communication (chemin, route, pont, voie ferrée) ;
- L'hydrographie (lac, étang, cours d'eau, puits ...) ;
- Les constructions (bâtiments, édifices publics, calvaires ...) ;
- Les signes de mitoyenneté ;
- Le quadrillage de la feuille, les points de canevas et leurs coordonnées ;
- Les bornes et repères (points géodésiques, bornes de propriété ...) ;
- La toponymie (nom de commune, sections, lieux-dits, rues, cours d'eau...) ;
- Les numéros de section, d'ilots et des parcelles.

a) La section

La section est l'unité de découpage cadastral. C'est une partie du territoire communal déterminée dans le but de faciliter l'établissement, la consultation et la tenue des documents cadastraux. Son périmètre est constitué dans la mesure du possible par des limites présentant un caractère suffisant de fixité (Instruction, 1998; Journal Officiel, 1976).

Première partie : Un contexte géographique particulier qui nécessite un cadastre particulier

L'article 15 du décret N° 76-62 du 25 mars 1976 définit la section comme une portion du territoire communale déterminée de telle sorte qu'elle puisse être rapportée sur une feuille du plan cadastral (Journal Officiel, 1976). L'instruction n° 16 du 24 mai 1998 (Instruction, 1998) fixe le format du plan cadastral.

Le service du cadastre peut utiliser des échelles différentes pour dessiner les diverses sections d'une commune. Le choix de l'échelle est dicté par le degré de morcellement du parcellaire et par la nature des zones à lever.

- Zones urbaines : 1/500 (zones urbaines très denses)
 1/1000 (zones urbaines peu denses)
- Zones rurales : 1/2000 ou 1/2500 (zones rurales très morcelées)
 1/5000 (zones rurales peu morcelées)

b) Le tableau d'assemblage

Le tableau d'assemblage est une image du territoire communal représentant les principaux éléments topographiques et la division du plan cadastral en sections. Il est établi à partir des cartes à l'échelle du 1/25000 ou au 1/50000. Il sert à identifier la section sur laquelle sont représentés les îlots de propriété ou la parcelle dont on désire connaître la désignation, la délimitation et toute autre information cadastrale.

c) L'îlot de propriété

L'article 23 du décret du 25 mars 1976 définit l'îlot de propriété (l'unité foncière) comme un ensemble des parcelles contiguës frappées des mêmes droits et des mêmes charges, appartenant à un même propriétaire ou à une même indivision dans un même lieu dit et formant une unité foncière indépendante selon l'agencement donné à la propriété (Instruction, 1998).

Première partie : Un contexte géographique particulier qui nécessite un cadastre particulier

La parcelle cadastrale est une portion de l'îlot de propriété d'un seul tenant, présentant une même nature d'occupation ou d'affectation du sol.

Les îlots de propriété sont identifiés par un numéro attribué par section dans un ordre continu à partir de l'unité. Les parcelles cadastrales, sont désignées au plan cadastral par une lettre minuscule a, b, c...

Les îlots de propriétés primitifs sont ceux qui figurent à l'origine sur le plan minute et qui ont fait l'objet du numérotage initial.

Lors de l'apparition de nouveaux îlots au plan cadastral, lesquels reçoivent un numéro pris à la suite du dernier numéro attribué dans la section, l'indication de l'îlot primitif permet de retrouver facilement la position de ces nouveaux îlots sur le plan cadastral.

d) Le dessin et le format

L'instruction (Instruction, 1998) fixe le format du papier et le format utile comme suit :

Le format utile : (76 x 51,4) cm

Le format extérieur : (84 x 59,4) cm

Les directions du cadastre utilisent des supports plastiques transparents stables découpés au format réglementaire et pré-équipés du cadre (format utile) et de certaines écritures.

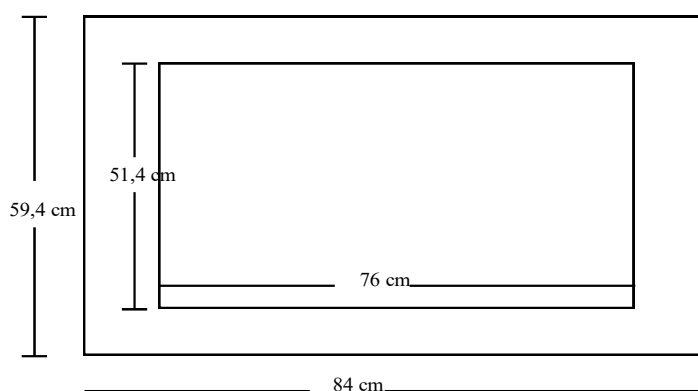


Figure 2-10 Format papier et format utile

6.1.2 Les registres

a) La matrice cadastrale

La matrice cadastrale est un registre qui donne par compte de propriétaire, la nomenclature des îlots lui appartenant sur le territoire d'une commune, avec pour chaque îlot, la désignation de la section, du numéro d'îlot détaillé en parcelles et leurs contenances respectives.

Les feuilles de la matrice sont classées dans l'ordre alphabétique des propriétaires. La matrice cadastrale fournit par ailleurs des informations à caractère économique concernant le sol, son occupation et les objets qu'il supporte (Instruction, 1998).

Wilaya : BLIDA		Commune : SIDI MOUSSA		Numéro de compte : 00353	
Nom ou raison sociale :	HAOUCHINE	HOCINE		Numéro national :	0000000000
Né ou constitué le :	14/03/08			Nature ou profession :	AGRICULTEUR
A :	SIDI MOUSSA	BLIDA		Prénom du père :	MOHAMED
Adresse ou siège :	SIDI MOUSSA	BLIDA		Prénom du grand père :	HOCINE

Mutations				Sect.	Ilot	Par	Nj	Ex	Contenance			Nature d'occupation du sol	Nature du sol	
Entrée		Sortie							H	A	A			CA
Année	Tire	Année	Porte											
26/04/94	00353			05	0028	A			8	03	25	CULT MARAICHERE	ARGILE IRRIGUEE	
26/04/94	00353			05	0031	A			3	80	00	VERGER	ARGILE IRRIGUEE	
									7	62	50	AGRUMES	ARGILE IRRIGUEE	

Figure 2-11 Exemple de la matrice cadastrale.

La matrice cadastrale comprend également la table des comptes qui donne la liste des propriétaires avec leurs numéros de compte correspondant dans l'ordre des numéros de compte.

b) L'état de section

L'état de section est un registre où les états sont classés dans l'ordre topographique, c'est-à-dire l'ordre des sections et des numéros d'îlots, et où est indiqué, pour chaque îlot, le numéro de compte du propriétaire (Instruction, 1998).

ETAT DE SECTION				23/05/2001
WILAYA : ALGER				
COMMUNE : CASBAH				
SECTION : 004				PAGE N° 1
Ilot	Lot	N° Compte	Tire de	
0007		160700000600161		
000		160700000600162		
0010		160700000600160		

Figure 2-12 Exemple de l'état de section

6.2 L'orthophotoplan

L'un des documents essentiels pour la réalisation du cadastre est l'orthophotoplan. Une des étapes de la première phase est la dotation en orthophotoplans et en restitutions photogrammétriques.

Plusieurs pays à travers le monde utilisent l'orthophotographie comme document de base pour l'enregistrement foncier, dans grand nombre de pays, l'orthophotographie numérique constitue une base pour l'enregistrement foncier ou la cartographie régulière (Ettarid et al., 2003).

- En Angleterre, the Ordonance Survey utilise les orthophotoplans (1/1000 pour l'urbain et 1/2000 ou 1/5000 pour le rural) comme base pour l'enregistrement foncier.
- En Afrique du Sud, les mappes cadastrales sont obtenues par restitution, ou par délimitation des parcelles sur les orthophotoplans.
- En Bulgarie, deux types de cadastres sont adoptés (le cadastre urbain et le cadastre rural). Le cadastre rural est basé sur les orthophotoplans au 1/5000 et 1/10000. Ce choix est justifié par la volonté de généraliser le cadastre.
- À Madagascar, le pays a favorisé la généralisation du cadastre, plutôt que la recherche de la haute précision, en adoptant l'orthophotoplan comme document de base.

- En Bavaria, l'organisme chargé de la production de données cadastrales pour l'état de Bavaria en Allemagne a initié un programme d'orthophotos numériques depuis 1995.
- En Slovénie, les autorités ont entamé un programme d'établissement du cadastre numérique utilisant les orthophotos pour créer la mappe digitale.
- En Slovaquie, un projet de SIT a été initié dans lequel ce système est basé sur la numérisation de la mappe cadastrale (au 1/1000 et 1/2000) qui sera superposée sur l'orthophoto numérique générée à l'échelle 1/5000.

6.2.1 Définition

On appelle orthophotographie ou plus communément orthophoto (orthoimage) une image obtenue par traitement d'un cliché aérien numérique ou argentique dont la géométrie a été redressée de sorte que chaque point soit superposable à une carte plane qui lui correspond. En d'autres termes, une orthophotographie semble être prise à la verticale de tous les points qu'elle figure, ces points étant situés sur un terrain parfaitement plat.

Trois opérations de rectifications sont à considérer lors du calcul de l'orthophotographie à partir d'un cliché aérien stéréoscopique :

- Corriger les erreurs dues aux déformations optiques des objectifs, à la réfraction atmosphérique et la courbure terrestre.
- Corriger l'inclinaison de la prise de vue,
- Aplanir le terrain, c'est-à-dire rectifier l'inclinaison des objets due aux pentes (relief),

6.2.2 Les avantages de l'orthophoto

Les orthophotos ou les orthoimages présentent des avantages significatifs comparés aux cartes conventionnelles :

Première partie : Un contexte géographique particulier qui nécessite un cadastre particulier

- les orthoimages ont la même qualité géométrique des cartes, mais elles sont plus riches en information.
- L'utilisateur peut mesurer des distances et dessiner sans stéréorestituteur.
- Coût de production relativement bas.
- Leur génération est automatique.
- Une couche importante dans les SIG.
- Plus présentable et plus facile à lire que la carte.



Figure 2-13 L'utilisation d'orthoimage sur terrain

6.2.3 vérification des orthophotoplans

La vérification des orthophotoplans s'effectue par le chef de brigade selon le plan suivant(Instruction, 1998):

a) zone couverte

Contrôler que les orthophotoplans couvrent la totalité de la région.

b) netteté de l'image:

Les orthophotoplans doivent être nets, contrastés et sans masque (nuage, brume) permettant, dans le cadre du dessin, l'établissement aisé des sections cadastrales.

c) décalage entre deux bandes de projection

La tolérance relative aux décalages entre les images d'un même détail projeté (cassures) est de 0.3 mm.

d) Précision

- Contrôle à faire au bureau:

À ce sujet, il y a lieu de préciser qu'en ce qui concerne la vérification des orthophotoplans, en l'absence de carroyage. Les feuilles consécutives sont assemblées deux à deux sur une table lumineuse au moyen de deux ou trois détails communs nettement identifiables: route, oued, construction, limite de parcelle..., situés aux deux extrémités de la zone de recouvrement.

On relève les écarts constatés dans la coïncidence des détails dans la zone de recouvrement.

- Contrôle effectué sur le terrain:

La tolérance « Tr » relative aux écarts constatés entre des mesurages de terrain et les longueurs correspondantes relevées graphiquement sur l'orthophotoplan est donnée par une formule générale qui, pour l'échelle du 1/5.000 et 1/2.500 devient:

$$\text{Tr (en cm)} = 200 + (D/10).$$

Où D est la longueur réelle du mesurage exprimé en m. Pour les distances supérieures à 800 m, on retiendra pour D la valeur constante de 800 m. Les

Première partie : Un contexte géographique particulier qui nécessite un cadastre particulier

résultats de ce contrôle sont reportés sur l'imprimé de classement des écarts constatés (modèle V1).

Cette formule de calcul de tolérance est fixée par l'arrêté interministériel du 23 juillet 1989, dans le journal officiel n° 40 du 20 septembre 1989.

Remarque importante: Avant d'être comparées aux lectures graphiques, les longueurs des mesurages de terrain devront être:

1 - réduites au niveau de la mer.

2 - corrigées des altérations propres au système de projection UTM.

Le chef de brigade rédige un rapport précis sur la réception et la vérification des orthophotoplans. Ce rapport est destiné au Directeur local du cadastre qui en adresse copie au Directeur régional du cadastre.

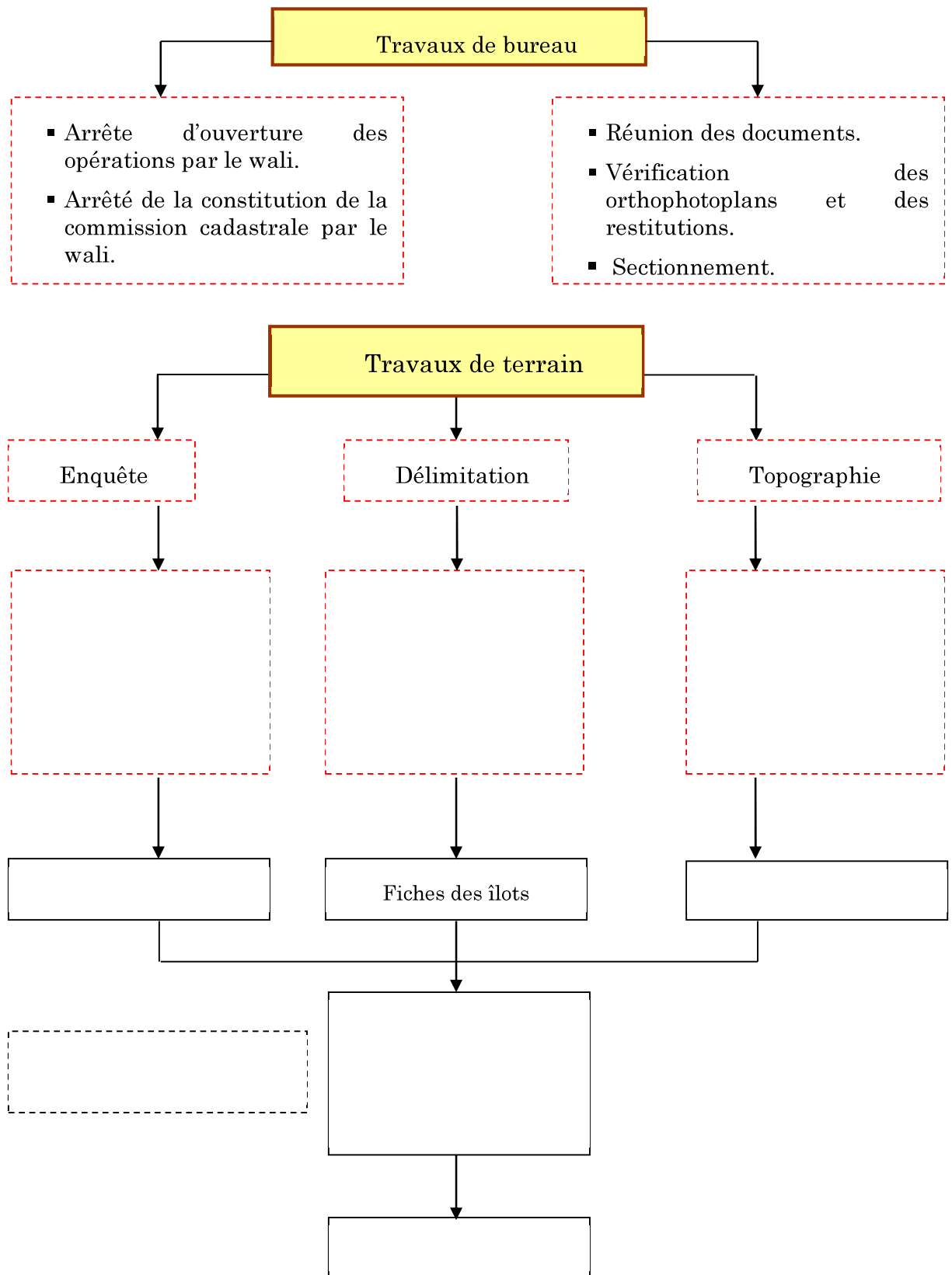


Figure 2-14 Procédure d'établissement du cadastre général

6.3 Définition du rural et de l'urbain dans le cadastre

L'article 21 du décret N° 76-63 du 25 mars 1976 donne la définition des immeubles urbains : « sont considérés comme immeubles urbains et donnent lieu à la création de fiches d'immeubles visées à l'article 20 ci-dessus les immeubles bâtis et non bâtis qui sont situés sur les voies régulièrement numérotées des parties agglomérées des communes de plus de 2.000 habitants.

Ces immeubles sont identifiés dans les bordereaux, extraits, expéditions ou copies déposés, par l'indication de la rue et du numéro.

Tous les autres immeubles sont considérés comme ruraux »(Journal Officiel, 1976).

Donc le territoire communal est divisé en deux parties « urbaine » et « rurale ». Chacune de ces parties est prise en charge par le cadastre en suivant une méthodologie à part, ce qui définit le cadastre urbain et le cadastre rural.

6.4 Les zones non cadastrables

Selon l'instruction n° 16 du 24 mai 1998 relative à la conduite des opérations cadastrales et d'immatriculation foncière (Instruction, 1998), annexe 1, section 1.1, Le Directeur du Cadastre de Wilaya est responsable du bon déroulement des opérations d'établissement du cadastre. L'une de ces tâches est de « prendre en charge l'étude fixant les zones non cadastrables ».

Dans la section 1.1.2 de l'annexe 1, le chef de Bureau du Cadastre doit « prendre en charge l'étude aboutissant à la délimitation des zones non cadastrables ». C'est au directeur régional d'approuver l'étude portant sur la déclaration de zones non cadastrables.

Selon la même instruction, « le plan croquis de délimitation est obtenu par production sur papier héliographique des orthophotoplans ou des restitutions

photogrammétriques. Ce plan sera par la suite annoté des limites relevées sur les anciens documents ». Parmi ces limites qui sont annotées on trouve (Instruction, 1998) :

- des limites effectuées dans le cadre de la délimitation cartographique de la commune,
- des limites des terrains ex-domaniaux et ex-communaux délimités en application de la loi du sénatus-consulte,
- des limites connues des forêts et autres dépendances du domaine public,
- des limites des groupes arch,
- *des limites des zones non cadastrables,*

La procédure de délimitation de ces zones « non cadastrables » est annoncée dans la section 1.1.5 « Identification des zones susceptibles de présenter des difficultés pour l'avancement des travaux » (Instruction, 1998):

« Une étude tendant à situer sur un plan régulier, les zones présentant des difficultés risquant d'entraver l'avancement normal des opérations cadastrales doit être entreprise par le service du cadastre.

Ces zones dites "non cadastrables" seront après avis du service régional du cadastre, écartées dans un premier temps, des opérations cadastrales pour faire l'objet, le moment venu, d'un traitement approprié ».

Ces zones « non cadastrables » sont composées essentiellement des terrains nus et des terres pastorales dans les régions steppiques et sahariennes qui appartiennent au domaine privé de l'État (DPE).

6.5 Le domaine privé de l'État

Selon la loi n° 90-30 du 1er décembre 1990 portant loi domaniale, article 18 (Journal Officiel, 1990) :

« Art. 18. - Le domaine privé de l'État comprend notamment :

- l'ensemble des constructions et terrains appartenant à l'Etat, affectés à des services publics et organismes administratifs, qu'ils soient ou non dotés de l'autonomie financière, non classés dans le domaine public ;
- l'ensemble des constructions et terrains acquis, dévolus, appropriés ou réalisés par l'État, ses services ou organismes administratifs, demeurés propriété de l'État, et non classés dans le domaine public ;
- les immeubles à usage d'habitation, professionnel ou commercial ainsi que les fonds de commerce, demeurés propriété de l'État ;
- *les terrains nus non affectés, demeurés propriétés de l'État ;*
- les biens affectés au ministère de la défense nationale et constituant des moyens de soutien;
- les objets mobiliers et matériels utilisés par les institutions, administrations et services de l'État, et les établissements publics à caractère administratif de l'État ;
- les biens affectés ou servant aux missions diplomatiques et postes consulaires accrédités à l'étranger ;
- les biens reçus ou dévolus à l'Etat par dons et legs, les successions en déshérence, les biens vacants et sans maître, les épaves et trésors;
- les biens saisis ou confisqués acquis définitivement au Trésor ;
- les droits et valeurs mobilières acquis ou réalisés par l'Etat, représentant la contre-valeur des apports ou dotations qu'il fait à des entreprises publiques, ainsi que les droits et valeurs mobilières énumérés à l'article 49 de la présente loi ;

Première partie : Un contexte géographique particulier qui nécessite un cadastre particulier

- les terres agricoles ou à vocation agricole, les terres pastorales ou à vocation pastorale propriété de l'État ;

- les titres et valeurs mobilières représentant la contre-valeur des biens et droits de toute nature apportés par l'Etat au titre de sa participation à la constitution de sociétés d'économie mixte, conformément à la loi. »

Les terrains nus, les terres agricoles ou à vocation agricole et les terres pastorales ou à vocation pastorale sont caractérisés par leur grande étendue. Dans une commune saharienne, par exemple, toutes les zones en dehors du périmètre urbain et les régions d'activité agricole appartiennent au domaine privé de l'Etat, donc elle constitue un îlot de propriété unique (une unité foncière) puisqu'elle est composée des parcelles contiguës frappées des mêmes droits et des mêmes charges et appartenant à un même propriétaire qui est l'État dans ce cas.

Ces grandes superficies de l'unité foncière posent un problème pour le cadastre quant à leur représentation dans le format utile (selon (Instruction, 1998)) à une échelle 1/5.000 (puisque'elle est considérée comme zone rurale selon le décret N° 76-63).

6.6 Délimitation des dépendances du domaine public

l'instruction n° 16 du 24 mai 1998 relative à la conduite des opérations cadastrales et d'immatriculation foncière (Instruction, 1998), section 1.2.6 stipule : « La délimitation des dépendances du domaine public doit être effectuée soit en présence et sur les indications des représentants des services techniques ayant en charge la gestion de ces dépendances soit en conformité de plans communiqués par ces services.

À défaut d'indication précise ou de plans, le délimitateur procède à la délimitation en se référant aux limites de jouissance des fonds riverains, sauf s'il s'agit du rivage de la mer, des routes nationales, des chemins de wilaya et

des cours d'eau permanents dont la délimitation nécessite l'intervention des services techniques concernés ».

Dans le cas des terrains nus ou pastorale qui représentent la plupart des terrains appartenant au domaine privé de l'Etat, la délimitation est faite en se référant aux limites de jouissance des fonds riverains à cause de l'absence de plan et indication fixant les limites de ces territoires. Pour les terres agricoles ou à vocation agricole on dispose de plus d'informations et documentation vu leurs intérêts économiques directs et les opérations de révolution agraire et la loi d'orientation foncière qui focalise sur ce type de terrains.

Les numéros de compte qui sont attribués pour les terrains domaniaux sont fixés dans l'instruction (Instruction, 1998) dans la section 4.6 comme suit :

Domaine privé de l'État	100 001 à 199 999,
Domaine privé de la Wilaya	200 001 à 299 999,
Domaine privé de la Commune	300 001 à 399 999.

7 Le bilan du cadastre algérien avant et après le lancement du cadastre steppique et saharien

La superficie du territoire national est de 238.2 millions d'hectares. Cette surface est composée essentiellement (95 %) du domaine public et privé de l'état d'une superficie de 226.4 M Ha, cette superficie regroupe terres forestières et alfatières 2 à 3 %, terres de parcours, terres haute montagne, terres steppiques et sahariennes et le domaine public. Le reste est considéré comme des zones utiles à cadastrer en priorité (population, activité économique, activité agricole...) d'une superficie de 11.8 M.Ha. Dans ces zones on trouve 11.4 M.Ha rurales et 0.4 M.Ha urbaines, ce qui représente successivement 4.8% et 0.2% de la superficie totale du territoire algérien (Chaib and Mezner, 2008).

La Surface Utile Agricole (SAU) représente 75 % des zones utiles à cadastrer en priorité et 85 % de la SAU sont concentrées dans 24 Wilayas (nord et hauts plateaux). Sur un territoire de 200 M Ha à cadastrer dans le sud, il n'y a que 476 000 Ha de zones utiles à cadastrer, le reste est désertique (Adrar , Béchar , Biskra , El Bayadh , El Oued , Ghardaia , Illizi , Naama , Ouargla , Tamanrasset , Tindouf) (Chaib and Mezner, 2008).

A la fin octobre 2006 le ministre des finance M. Medelci a annoncé que¹ : « A ce stade, 59% des zones rurales programmées, soit 6,5 millions d'hectares, ont été achevés. En zone urbaine, le taux de couverture par le cadastre se situe à 30%....de même qu'une coopération a été engagée, permettant, par le recours à des procédés techniques modernes, d'accélérer le système de production cadastrale, particulièrement dans les régions sahariennes et steppiques».

En février 2007, M. Benmeradi, le directeur général du domaine national, a déclaré² que sur la base du bilan du cadastre général en fin 2006, à peine 60 % des 12 millions d'hectares qui constituent la bande côtière du territoire national où est concentré l'essentiel de la propriété sont cadastrés, et qu'avec le rythme de production actuel de l'ANC, soit 500.000Ha/an il nous faudra 15 à 20 ans pour terminer les opérations de cadastre des 12 millions d'hectares. Pour rattraper ce retard, les services du cadastre ont élaboré une stratégie basée notamment sur un programme de sous-traitance avec les géomètres-experts fonciers. Il a annoncé aussi que «Nous sommes également en train de réfléchir dans le cadre de la coopération internationale, au recours à la photo-satellite et à de nouveaux moyens pour aller très vite dans le Sahara et les zones steppiques».

Le bilan des travaux de cadastre du 31/12/2007 (présenté dans (Chaib and Mezner, 2008) lors du séminaire régional sur le foncier à Biskra) montre que la

¹ Auditionné par le président Bouteflika, Medelci s'attaque au problème du foncier. Publié dans El Watan le 30 - 10 - 2006

² Il faut 15 à 20 ans pour achever les opérations du cadastre, Publié dans Le Maghreb le 04 - 02 - 2007 / voir aussi Info Soir le 04 - 02 - 2007

Première partie : Un contexte géographique particulier qui nécessite un cadastre particulier

surface totale cadastrée est de 7 M.Ha. Cela représente environ 60 % des superficies cadastrables (zones utiles), mais ne représente que 3 % de la superficie du territoire national (Chaib and Mezner, 2008).

Lors de ce même séminaire des tests sur la couverture par des orthoimages dans les régions steppiques et sahariennes sont présentées par le CTS et l'ANC. Ci-après une figure présente le résultat sur une section de la commune de Kaf Lahmar, avec une feuille au 1/10.000 et les zones à exclure, les résultats sont jugés satisfaisants et la procédure sera généralisée sur l'ensemble du territoire national dans la procédure du Cadastre Steppique et Saharien.

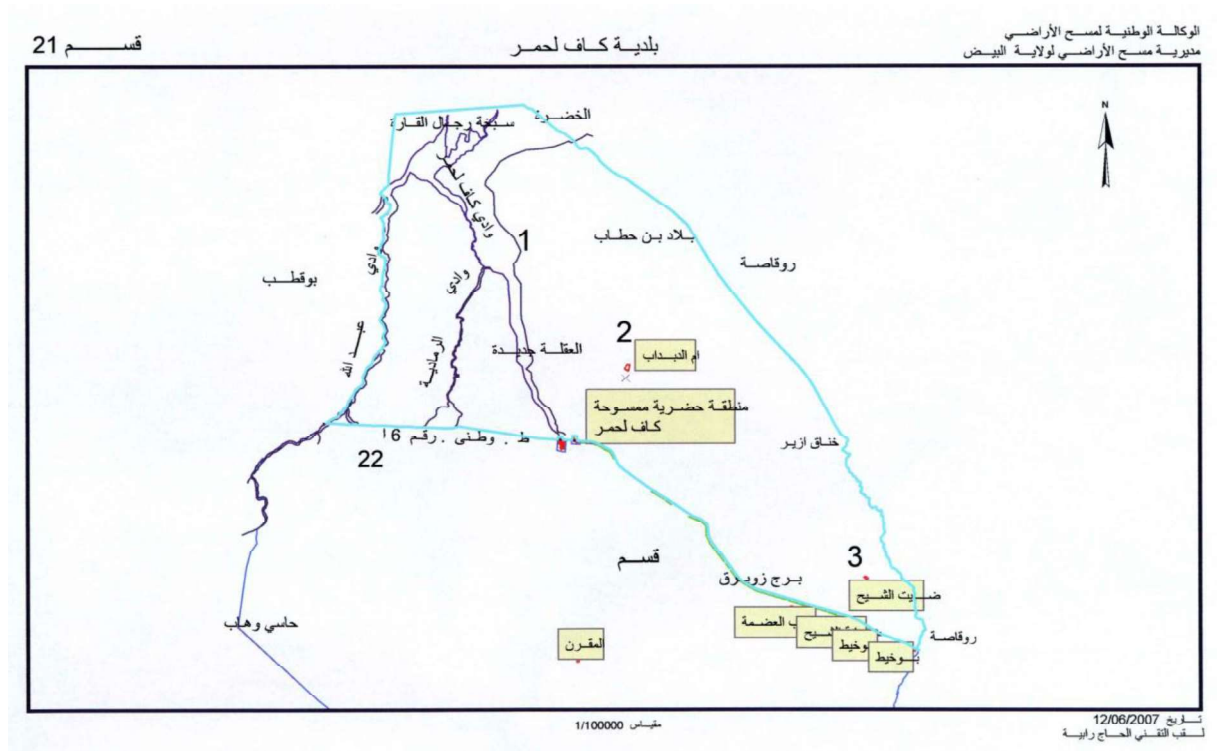


Figure 2-15 La coupure de la section 21 de la commune de Kef Lahmar.

Lors d'une rencontre consacrée à la sous-traitance de travaux cadastraux avec les géomètres experts fonciers, le directeur général de l'ANC, M. Aloui, a indiqué que *seulement 8% de la superficie des zones rurales ont été cadastrés alors que les zones urbaines l'ont été à hauteur de moins de 0,001%.* « Les travaux des consultants n'ont malheureusement pas donné les résultats

attendus »¹. Cela vient pour conclure quatre ans d'expérience après la convention cadre qui a été signée entre l'Agence Nationale du Cadastre (ANC) et l'Ordre des Géomètres Experts Fonciers (OGEF) en 2004.

Le ministre des Finances, Karim Joudi, en répondant à une question d'un membre du Conseil de la nation sur le déroulement du cadastre général en juillet 2008 ², a annoncé que *"l'opération s'achèvera en 2010 pour ce qui est des régions sahariennes et steppiques (95% du total des terres) mais se poursuivra jusqu'en 2017 pour les terres des régions Nord (5%)"*. Quant au respect des délais, le ministère procède à un cadastre numérique, sans recours à une enquête sur le terrain, commençant par un cadastre expérimental au niveau de six communes, dont quatre sahariennes dans la wilaya de Ouargla, et deux communes steppiques dans la wilaya d'El-Bayadh. Il a, dans la même déclaration, précisé que les résultats sont **"positifs"** du point de vue qualité des travaux, respect des délais et capacité de réalisation. *Ce type de cadastre sera généralisé à 21 autres communes à partir du 1er janvier 2009 pour prendre fin en 2010.*

En novembre 2009, Le ministre des Finances, M. Djoudi a fait savoir que l'opération a atteint une étape avancée à la fin du premier semestre de l'année 2009, soulignant un taux d'avancement de 63% à fin juin en milieu rural, 29% dans les zones urbaines et 33% des terres steppiques³. En Janvier 2010, le directeur général de l'Agence nationale du cadastre (ANC), Mustapha Salim Radi, a déclaré que *« Concernant la situation actuelle du cadastre, il est indiqué que 534 communes sont cadastrées en zones rurales, soit une superficie de 7,22 millions d'hectares, 400 communes en zones urbaines représentant une superficie 145.283 hectares et 207 communes en zones sahariennes et steppiques*

¹ Recensement cadastral, L'opération accuse un énorme retard, Publié dans El Watan le 13 - 03 - 2008

² Le recensement cadastral national sera achevé en 2017, Publié dans Le Maghreb le 12 - 07 - 2008

³ Conseil de la nation : Quatre ministres devant les sénateurs, Publié dans Horizons le 13 - 11 - 2009

Première partie : Un contexte géographique particulier qui nécessite un cadastre particulier

représentant 149,87 millions d'hectares. Au total, les 1141 communes cadastrées représentent 157,24 millions d'hectares »¹.

Dans un écrit de l'APS ², le directeur général de l'Agence Nationale du Cadastre, Mustapha Radi annonce que « *Cette opération qui a été déjà **bouclée dans les zones steppiques et sahariennes** totalisant une superficie de 220 millions d'hectares, a touché 19 millions d'hectares en zones rurales et 400.000 ha en zones urbaines, soit un taux national de 45% ... trois millions d'hectares étaient cadastrés entre 2008 et 2010 avec une moyenne annuelle d'un million d'hectares, tandis que 1,5 million d'hectares l'ont été en 2011 et 1,2 million sont projetés pour 2012, **Le cadastre des zones steppiques et sahariennes, d'une superficie totale de 220 millions d'hectares, a été achevé grâce à l'utilisation de l'imagerie satellitaire** ».*

Le directeur général du domaine national, selon l'APS³ en novembre 2015, a déclaré que « Le recensement de tous les terrains relevant du domaine privé de l'Etat et la définition de la vocation de ces terres, doit être finalisé en 2016, ce cadastre a déjà permis d'identifier 250 millions d'ha de terres sahariennes et steppiques et 17 millions d'ha de terres rurales en 2015 ».

8 Les objectifs internationaux et l'initiative « Cadastre 2014 »

Au XXe Congrès FIG 1994 à Melbourne, en Australie, la Commission 7 (Cadastre and Land Management) décida d'initier trois groupes de travail pour la période de quatre ans allant jusqu'au prochain congrès en 1998. Conformément aux objectifs de la Commission, les groupes de travail étaient chargés d'étudier différents aspects de la gestion du cadastre et du territoire (Kaufmann and Steudler, 1998).

¹ Un cadastre national d'ici 2014, Publié dans Le Temps d'Algérie le 09 - 01 – 2010.

² Le cadastre général achevé à 45%, l'échéance de 2014 maintenue, Publié par Algérie Presse Service le 17 - 12 – 2012.

³ Foncier industriel: l'absence d'une banque de données compromet l'octroi des terrains, Publié dans Algérie Presse Service le 11 - 11 – 2015.

Sur la base de l'étude des systèmes de cadastre existants à travers le monde, le Groupe de Travail 7.1 de la Fédération International des Géomètres (FIG) a annoncé les six déclarations et la vision pour un « Cadastre 2014 » qui visent à donner une idée sur la manière dont les cadastres devraient fonctionner et de quoi ils devraient avoir l'air dans vingt ans à dater de la perspective de l'année 1994. Deux éléments étaient à considérer dans le détail par ce groupe de travail: l'automatisation permanente des cadastres et l'importance croissante du cadastre en tant que partie intégrale d'un système plus large d'informations du territoire.

Ces déclarations ont traité le cadastre dans ses concepts, sa relation avec les autres établissements, les développements techniques ainsi que la couverture des frais des opérations du cadastre. Pour cela ces déclarations sont considérées comme de grandes lignes pour la définition du « CADASTRE 2014 ».

8.1 Définition

Le Cadastre 2014 est un inventaire public, arrangé de manière méthodique, de données concernant tous les objets légaux du territoire dans un certain pays ou district, sur la base d'un relevé d'arpentage de leurs limites. Des objets du territoire de ce genre sont identifiés de manière systématique au moyen d'une désignation distincte. Ils sont définis soit par le droit public, soit par le droit privé. Les limites de la propriété, l'identificateur conjointement avec les données descriptives, peuvent indiquer, pour chaque objet du territoire séparé, la nature, la taille, la valeur et les droits légaux ou les restrictions associés aux objets du territoire (Kaufmann and Steudler, 1998).

En sus de cette information descriptive définissant les objets du territoire, le Cadastre 2014 contient les enregistrements officiels des droits relatifs aux objets légaux du territoire. Le Cadastre 2014 peut fournir les réponses aux questions où, combien, qui et comment (Kaufmann and Steudler, 1998).

Le Cadastre 2014 peut remplacer les institutions traditionnelles du « cadastre » et de « l'enregistrement foncier ». Il représente un système d'inscription foncier complet (Kaufmann and Steudler, 1998).

8.2 Les six déclarations de l'initiative Cadastre 2014

Déclaration 1

Le Cadastre 2014 indiquera la situation légale complète du territoire, y compris les droits et les restrictions de droit public (Kaufmann and Steudler, 1998; Steudler, 2014).

Commentaire : La population du monde est en pleine croissance. La consommation du territoire est en augmentation. Le contrôle absolu de l'individu et/ou des entités foncières légales est en train d'être restreint d'une manière croissante par l'intérêt public. Pour garantir la sécurité du titre de propriété, tous les faits relatifs au territoire doivent être mis en évidence par le système cadastral de l'avenir.

Conséquences : Un nouveau modèle thématique est nécessaire. Les géomètres doivent prendre en considération le droit public.

Déclaration 2

La séparation entre les « cartes » et les « registres » sera abolie (Kaufmann and Steudler, 1998; Steudler, 2014).

Commentaire: La séparation était nécessaire parce que la technologie disponible (papier et crayon) ne permettait pas la mise en œuvre d'autres solutions.

Conséquences: La division entre les devoirs du géomètre et du notaire dans le domaine du cadastre sera sérieusement modifiée.

Déclaration 3

La cartographie cadastrale sera remplacée par le modèle cadastral (Kaufmann and Steudler, 1998; Steudler, 2014).

Commentaire: Les plans cadastraux ont toujours constitué des modèles, mais la technologie disponible ne permettait pas d'utiliser ces modèles d'une manière souple. C'est pourquoi la souplesse en mensuration cadastrale devait être introduite par l'utilisation d'échelles différentes. Les différentes échelles devaient être représentées par des modèles différents de données. La technologie moderne permet la création de plans et de cartes à des échelles différentes ainsi que de registres sous des formes différentes à partir du même modèle de données.

Conséquences: En 2014, il n'y aura plus aucun dessinateur ou cartographe dans le domaine du cadastre.

Déclaration 4

Le cadastre « papier et crayon » aura disparu (Kaufmann and Steudler, 1998; Steudler, 2014).

Commentaire: La technologie géomatique sera l'outil normal mis en œuvre pour le travail cadastral. Des solutions à très bas coût sont seulement possibles si cette technologie est utilisée conjointement avec des procédures administratives allégées.

Les pays développés, en voie de développement et en phase de transition ont besoin de modèles de la « situation existante » afin de résoudre les problèmes relatifs à la population, à l'environnement et à une utilisation foncière raisonnable.

Conséquences: Le cadastre moderne doit fournir le modèle de données de base. Les géomètres du monde entier doivent être capables de penser en

termes de modèles et d'appliquer une technologie moderne destinée à la manipulation de modèles de ce genre.

Déclaration 5

Le Cadastre 2014 sera fortement privatisé, le secteur public et le secteur privé travailleront en collaboration étroite (Kaufmann and Steudler, 1998; Steudler, 2014).

Commentaire: Les systèmes publics tendent à être moins souples et moins axés sur la clientèle que ceux appartenant à des organisations privées.

Les économies libres exigent une souplesse dans les marchés fonciers, dans la planification foncière et dans l'utilisation foncière. La souplesse peut être mieux fournie par des institutions privées. Pour ce qui est de la sécurité nécessaire, un engagement du secteur public est toutefois indispensable.

Conséquences: Le secteur privé gagnera en importance. Le secteur public se concentrera sur la supervision et le contrôle.

Déclaration 6

Le Cadastre 2014 procédera au recouvrement des coûts (Kaufmann and Steudler, 1998; Steudler, 2014).

Commentaire: Les systèmes cadastraux exigent des investissements considérables. Mais les propriétés foncières documentées et garanties par le cadastre représentent un multiple considérable de l'investissement correspondant. Les coûts d'investissement et de fonctionnement doivent être remboursés au moins partiellement par ceux qui tirent profit du système.

Conséquences: Une analyse coûts/bénéfices sera un aspect très important de la réforme et de la mise en œuvre du cadastre. Les géomètres auront plus à faire à l'avenir dans le domaine des questions d'ordre économique.

8.3 La situation des déclarations du Cadastre 2014 en Algérie

Déclaration 1 : le cadastre algérien a initié l'opération du cadastre steppique et saharien pour la couverture de l'ensemble du territoire national. Se qui vise à la délimitation et la protection du domaine de l'Etat, donc l'élimination des « zones non cadastrables », et par conséquent avoir la situation légale complète du territoire conformément à la première déclaration.

Déclaration 2 : selon le rapport 61 de la FIG (Steudler, 2014), l'application du principe de séparation entre les plans et les registres (cadastre et conservation foncière) sera abolie est généralement accepté par les pays émergents. Pour certains pays ces deux services utilisent un registre électronique unifié au lieu de procéder à l'unification physique de ces services.

L'ANC a avancé vers l'établissement de son propre système informatique de gestion de l'information littérale du cadastre appelé « Gestion d'Information Cadastre (GIC) ». Mais la conservation foncière (CF) accuse un retard dans ce sens. L'unification des deux services nécessite une décision politique ; mais si ce système (GIC) est étendu vers la gestion des opérations de la CF pour alimenter une seule base de données, la déclaration 2 sera en partie appliquée.

Déclaration 3 : l'ANC a procédé à l'installation d'un système d'information géographique (SIG) sous Arcgis dans chaque agence locale et régionale du cadastre ; ainsi qu'à la formation des agents à la manipulation de ce système. Ce système n'intègre que l'information cadastrale pour le moment, mais vu la richesse et la précision de l'information cadastrale ce système peut être enrichi par d'autres couches d'information et utilisé par d'autres acteurs et intervenant pour la gestion du territoire.

Déclaration 4 : au début des années 90, le cadastre a acquis le logiciel de dessin « Demeter », qui leur permettait de faire du plan cadastral informatisé, sans qu'il y ait encore les outils suffisants pour faire la gestion informatisée du plan. Mais le cadastre, jusqu'à aujourd'hui, procède par la suite au tirage de

ces plans pour le dépôt à la CF et l'archivage, puisque la législation n'a pas envisagé le dépôt numérique. Actuellement, le cadastre a procédé à la numérisation de tous les plans papier et l'import des plans Demeter (se qui n'était pas évident vu que sont format n'est pas ouvert) pour les intégrer dans le SIG du cadastre, néanmoins un grand travail sur la normalisation et la gestion des métadonnées doit être fait.

Déclaration 5 : l'arrêté du 13 mars 1999 relatif à l'exécution, par des géomètres experts fonciers, des opérations nécessaires à l'établissement du cadastre général, pour le compte de l'agence nationale du cadastre montre que sur le plan légal cette déclaration est appliquée où le cadre juridique prévoit la participation des géomètres experts dans les opérations du cadastre général. Mais l'intervention du géomètre reste en réalité limitée à la modification et la mise à jour des limites des parcelles. La prise en charge des sections dans le cadastre général par des géomètres experts à commencer dans certaines willayas, mais vu le manque des moyens des géomètres, la rentabilité et la lourdeur bureaucratique des agences du cadastre à fait que les géomètres experts ont tourné le dos au cadastre et préfèrent les travaux topographiques dans les autres domaines.

Déclaration 6 : cette recommandation n'est pas prise en considération par le cadastre algérien, qui reste toujours financé par l'État. Les tarifs sont fixés par l'arrêté du 15 janvier 1992, publié au JO n°22 du 22 mars 1992, fixant le tarif des reproductions et extraits de documents cadastraux délivrés par l'agence nationale du cadastre et Arrêté du 15 janvier 1992, publié dans le JO n° 21 du 18 mars 1992, fixant les redevances applicables aux travaux topographiques exécutés par les services de l'agence nationale du cadastre ; ces tarifs ne sont pas revus depuis la date de leurs publications dans le journal officiel.

9 Conclusion du deuxième chapitre

Le cadastre ou le système cadastral est la base utilisée pour la protection de la propriété par le biais de procédures d'enregistrement de titres et de plans cadastraux. En Algérie, le cadastre a les missions : juridique, foncière, technique et documentaire. Le cadastre garantit plus de sécurité à l'investisseur ou au propriétaire, par conséquent, il encourage les institutions financières à accorder des prêts.

De nombreux services techniques sollicitent les services du cadastre pour l'acquisition de cette documentation. Malgré la richesse en information de cette documentation, son utilisation n'a jamais dépassé le volet juridique et la notion de superficie ; ceci est à cause de la méconnaissance des institutions de l'offre et le contenu de la documentation cadastrale, ce qui oblige l'ANC à travailler plus sur la vulgarisation du contenu de la documentation cadastrale pour la faire sortir de la vision simplificatrice surface/nature juridique.

Le cadastre en Algérie accuse un retard très important. Cela est dû essentiellement à deux facteurs, la complexité de la situation juridique du foncier algérien d'une part, et la rigidité et la lourdeur du système cadastrale d'autre part.

Avant la colonisation, il existait en terre algérienne un régime foncier assez complexe mais stable, classant les terres en plusieurs catégories à savoir Arch, Melk, Habous, Beylik the Meghzen. Durant la période coloniale, pour assurer la sécurité des nouveaux détenteurs, diverses lois furent promulguées et avaient pour la plupart l'objectif principal de soumettre la propriété algérienne à la législation française, dans le but d'éliminer son caractère collectif et la soumettre aux transactions. Après l'indépendance, on distingue deux périodes, celle marquée par la politique de socialisation de l'économie nationale et qui court jusqu'à l'avènement de la Constitution de 1989, et celle qui a suivi, caractérisée par d'importantes mutations politiques et économiques à

caractère libéral. La première période est caractérisée par l'incorporation progressive, par l'Etat, de tous les biens constituant des moyens de production à son domaine et les textes les plus importants sont les ordonnances portant la révolution agraire (1971), les réserves foncières communales (1974) et la loi relative au domaine national (1984). Ces lois sont substituées par la loi n°90-25 modifiée et complétée par la loi n°95-26 portant l'orientation foncière et la loi domaniale n°90-30, pour permettre l'adaptation des législations foncière et domaniale aux réformes économiques et à la Constitution du 1989 qui accorde une garantie à la propriété privée.

Le cadastre doit être complet et à jour pour qu'il soit fiable. Dans ce cadre une initiative de la FIG appelé « Cadastre 2014 » est annoncée en 1998. Actuellement le cadastre algérien tente d'être à jour avec les six déclarations de cette initiative, mais cela nécessite des efforts sur les plans légale, matériel et humain afin d'intégrer les techniques de production et d'organisation de données disponibles actuellement dans le processus du cadastre.

La couverture cadastrale des régions steppiques et sahariennes nécessite une approche non conventionnelle de part son étendue, la spécificité de son paysage et son occupation du sol. Une nouvelle méthodologie sera mise en œuvre car celle actuellement suivie a montré ses limites.

Une des solutions proposées pour remédier au problème de manque de couverture cadastrale est l'utilisation de l'imagerie spatiale. Néanmoins, l'utilisation de cette « nouvelle » source de données cadastrale reste contrainte par la compréhension du mécanisme de prise de vue afin de pouvoir atteindre un niveau acceptable de qualité géométrique de positionnement et par l'instauration d'une norme, non disponible actuellement, permettant de valider cette qualité. Ceci sera développé dans la seconde partie de ce manuscrit.

Deuxième partie : l'imagerie satellitaire au service du cadastre

*Deuxième partie : l'imagerie satellitaire au service du
cadastre*

Chapitre I

L'imagerie spatiale comme source de l'information géographique

1 Historique de l'imagerie

L'origine de la télédétection est la photographie aérienne permettant d'avoir des informations sur la surface terrestre sans contact direct. Le développement des techniques d'acquisition (capteurs et vecteurs) et de traitement de données a accéléré l'évolution de la photogrammétrie. Dès la Première Guerre mondiale, l'utilisation de la photographie aérienne a pris un essor considérable. Sa première utilisation civile était l'archéologie et la géologie. La guerre froide est venue ouvrir de nouvelles perspectives grâce à la possibilité de la prise de vue à très haute altitude (au niveau de vecteur avec le développement de l'aviation) et au niveau des capteurs dans deux nouveaux domaines l'infrarouge et le Radar (Puissant, 2003).

C'est au début des années 60 que l'ère spatiale conduit au développement de la télédétection spatiale ainsi la généralisation d'une informatique performante autorisant le traitement d'une masse considérable de données recueillies grâce aux satellites de plus en plus performant.

Cette nouvelle technique a montré à de nombreux utilisateurs l'intérêt d'observer la terre de l'espace. Les premières images apportent de nouvelles données dans les domaines de la météorologie, la géologie, l'océanographie et la cartographie des phénomènes à très grandes étendues. Les caractéristiques telles que la couverture étendue, homogène et le synoptique qu'offre cette nouvelle technique, nous permettent d'avoir des documents que l'on ne peut obtenir avec les photographies aériennes (Puissant, 2003).

Les satellites à haute résolution sont apparus au début des années 70 tels les satellites Landsat (USA) avec le capteur MSS (Multi Spectral Scanner) offrant une résolution de 80m. La 2^e génération de ces satellites vient avec l'apparition en 1982 du capteur TM (Thematic Mapper) de résolution 30m, SPOT XS (France) de 20m et HRV de 10m en 1986, cette résolution est suffisante pour plusieurs applications dans l'agriculture, la foresterie, l'environnement..., mais d'autres domaines comme l'urbanisme, l'aménagement du territoire ou le cadastre nécessitent une échelle plus grande ce qui implique une résolution plus fine qui reste le monopole des militaires à cette époque.

En septembre 1999, le satellite IKONOS (USA) est lancé, c'est le premier satellite civil capable de fournir des images à une résolution de 1m, ce qui rend les images spatiales un sérieux concurrent de la photographie aérienne. Après cette date, plusieurs satellites à très haute résolution sont lancés comme EROS-A1 (USA, Israel) en 2000, QuickBird (USA) en 2001 avec la résolution de 0.6m, worldview 1 et 2 de résolution 50cm en panchromatique et 2m en 8 bandes multispectrales et GEOEYE-1 (USA) avec une résolution de 0.41m en panchromatique et 1.65m en multispectrale¹. Le 13 août 2014 DigitalGlobe a lancé worldview-3 (USA) qui offre la plus haute résolution dans le marché avec 0.31m en panchromatique et 1.24m pour les 8 bandes multispectrales.

2 Caractéristiques des images satellitaires

L'imagerie satellitaire, comparée à d'autres moyens tels que la photographie aérienne, les relevés de terrain ou les cartes géographiques, a certains avantages (Ettabaa, 2007):

- Elle est obtenue de manière numérique et ne nécessite donc pas de conversion de données;

¹ <http://www.eurosense.com/documents/our-expertise/spaceborne/satellite-data-sources/very-high-resolution-optical-imagery.xml?lang=en-gb>

- Elle est universelle : elle ne connaît pas de frontière géographique ou politique.
- Elle est aussi synthétique, flexible, précise et actuelle (renouvellement de l'information, automatique ou à la demande).

Selon l'application que l'on souhaite obtenir, on dispose de plusieurs types d'images optiques :

- L'imagerie panchromatique : Elle est acquise par un capteur numérique qui mesure la réflectance dans une large bande électromagnétique. Les données panchromatiques sont représentées sous forme d'images en noir et blanc. Elle sert principalement à obtenir des informations de type " géométrique " comme la forme, la dimension et la surface.
- L'imagerie multibande : Elle est acquise par un capteur numérique qui mesure la réflectance dans de nombreuses bandes spectrales (typiquement, une dizaine). Ces multiples valeurs de réflectance se combinent pour créer des images couleur. Elle sert principalement à obtenir des informations à caractère " qualitatif " (ex. classification des types de végétation sur des parcelles).

Une image satellitale est caractérisée par sa résolution spatiale, sa résolution spectrale, sa résolution temporelle, sa résolution radiométrique et sa résolution numérique. Dans un système de mesure, on appelle résolution l'aptitude d'un instrument à discriminer deux objets ou deux valeurs proches l'une de l'autre. Dans le cas d'une image, il est aussi employé pour désigner l'aptitude à rendre distincts deux points voisins (Ettabaa, 2007).

2.1 Résolution spatiale

La résolution spatiale ou géométrique est la plus petite distance permettant de discriminer deux objets voisins. Cette résolution s'exprime en mètres ou en kilomètres et mesure le côté d'un pixel. Ainsi une résolution grossière (plusieurs centaines de mètres voire plusieurs kilomètres) ne permettra pas de

distinguer des objets spatiaux de petites tailles comme des bâtiments ou des petites parcelles agricoles. Une résolution plus fine (quelques dizaines de mètres au submètre) permet par exemple l'identification des réseaux de communication les plus fins (routes, chemins...) (Ettabaa, 2007).

2.2 Résolution spectrale

La résolution spectrale décrit la capacité d'un capteur à utiliser de petites fenêtres de longueur d'onde. L'eau ou la végétation par exemple ne nécessitent pas une résolution spectrale fine, à l'inverse des roches et des minéraux qui exigent une résolution beaucoup plus grande. Si la résolution spectrale est trop grossière, il n'est pas possible de bien différencier les différents minéraux.

2.3 Résolution temporelle

La résolution temporelle du système de télédétection est égale à la période de passage au nadir d'un satellite sur le même lieu, qui est le temps mis par un satellite pour effectuer un cycle orbital complet. Cette période est généralement de quelques jours. Il faut donc quelques jours à un tel satellite pour qu'il puisse observer de nouveau exactement la même scène à partir du même point de l'espace.

2.4 Résolution radiométrique et résolution numérique

La résolution radiométrique d'un système de télédétection décrit sa capacité de reconnaître de petites différences dans le spectre électromagnétique. Plus la résolution radiométrique d'un capteur est fine, plus le capteur est sensible à de petites différences dans l'intensité de l'énergie reçue.

La résolution numérique est très liée à la résolution radiométrique. Chaque quantité d'énergie mesurée en kilojoules est transformée en compte numérique ou valeurs radiométriques. Plus la gamme des comptes numériques est étendue, plus la résolution numérique est grande (Ettabaa, 2007).

Dans ce qui suit nous détaillons les caractéristiques des systèmes satellitaires utilisées dans cette thèse.

3 Les satellites Landsat

Le programme d'observation de la surface terrestre "Landsat" est le plus ancien des Etats Unis. Sept satellites Landsat ont été lancés depuis juillet 1972. Landsat 7, marque une nouvelle orientation dans le programme, afin de réduire le coût des données et d'augmenter la couverture globale de la Terre, ceci dans la perspective de recherches concernant le changement global ("Global Change").

Les satellites Landsat 4, 5 et 7 évoluent à une altitude moyenne de 705 km, sur des orbites circulaires quasi polaires caractérisées par une inclinaison de 98,2° (ce qui permet l'héliosynchronisme). Un tour de la Terre leur prend 98,9 min, si bien qu'ils décrivent 14,5 révolutions par jour. Un cycle orbital complet dure 16 jours.

Ces caractéristiques orbitales ont deux conséquences sur l'acquisition des images, la première est que la couverture est complète entre les parallèles 81° nord et sud et la deuxième est que le recouvrement des images s'accroît avec la latitude (7% à l'équateur, 54% par 60° de latitude).

L'instrumentation embarquée a évolué au fil des satellites, depuis la caméra RBV (Return Beam Vidicon) et le radiomètre multispectral MSS de 1972 jusqu'au radiomètre ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) de 1999.

La résolution spatiale est passée de 80 m à 30 m (ou 15 m en mode panchromatique) et les domaines spectraux explorés concernent le visible, l'infrarouge proche et moyen ainsi que l'infrarouge thermique. Le radiomètre ETM+ permet ainsi d'offrir des images couvrant un champ d'observation de 185 km * 185 km, avec une résolution spatiale de 30 m en mode multispectral.

En février 2013, le satellite Landsat 8 est lancée, avec deux instruments OLI et TIRS, OLI observe la terre sur 9 bandes dont 7 sont identiques a ceux de Lansat ETM+, TIRS est un capteur avec deux canaux infrarouge thermiques à une résolution de 100m.

Tableau 3-1 Les caracteristiques des images LandSat 1-8

Satellite	date de lancement	altitude moyenne	Cycle orbital	Fauchée	Capteurs, canaux et résolution spatiale
Landsat 1	juillet 1972	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (4 canaux, 80 m)
Landsat 2	janvier 1975	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (4 canaux, 80 m)
Landsat 3	mars 1978	910 km	18 jours	185 km	Caméra RBV (3 canaux, 80 m) Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m)
Landsat 4	juillet 1982	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m) Radiomètre TM (7 canaux, 30 m)
Landsat 5	janvier 1984	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre MSS (5 canaux, 80 m) Radiomètre TM (7 canaux, 30 m)
Landsat 6	oct. 1993	détruit après lancement			
Landsat 7	avril 1999	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre ETM + (7 canaux, 30 m, plus canal panchro, 15 m)
Landsat8	Fev. 2013	710 km	16 jours	185 km	Radiomètre OLI (8 canaux 30m, panchro 15m) Radiomètre TIRS (2 canaux 100m)

4 Satellite pour observation de la terre - SPOT:

L'un des plus importants satellites à très haute résolution spatiale est le satellite français SPOT-5. Les satellites SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre ou Satellite Pour l'Observation de la Terre) sont une série de satellites civils d'observation du sol terrestre¹.

Décidé en 1978 par la France, le programme SPOT est réalisé par le CNES, en collaboration avec la Belgique et la Suède. Il est composé d'une série de satellites et d'infrastructures terrestres pour le contrôle et la programmation des satellites, ainsi que pour la production des images.

¹ <http://www.spotimage.fr>

4.1 Première génération SPOT 1, 2, 3

La résolution des images de l'instrument HRV (Haute Résolution Visible) est de 10 mètres en panchromatique (canal couvrant le domaine visible du spectre électromagnétique), et de 20 mètres dans le multispectrale (trois bandes dans le vert, le rouge et le proche infrarouge).

4.2 Deuxième génération SPOT-4

La résolution des images de l'instrument HRVIR (Haute Résolution Visible et Infrarouge) est 10 mètres en mono spectral, dans le canal rouge (SPOT-4 ne dispose pas d'un véritable panchromatique). 20 mètres en multispectral (quatre bandes dans le vert, le rouge, le proche infrarouge et le moyen infrarouge)

4.3 Troisième génération SPOT-5

SPOT-5 est le satellite de troisième génération qui a été lancé le 03 mai 2002. Il possède les caractéristiques suivantes :

- 2,5 mètres de résolution en super mode panchromatique ;
- Une résolution de 5 mètres en panchromatique et de 10 mètres en couleur.
- Capacités d'acquisition de couples stéréoscopiques améliorées, grâce à l'instrument HRS (Haute Résolution Stéréoscopique) ;
- Altitude à l'équateur : 822 km ;
- Inclinaison sur l'équateur : 98,7° ;
- Durée du cycle orbital : 26 jours ;
- Champ de vue : 2x60 km ;

4.4 Niveaux de traitement des images SPOT-5

Niveau 1A : L'image est de forme carrée. Les données auxiliaires (coordonnées du centre de la scène et des quatre coins) permettent de localiser l'image au sol avec une précision supérieure à 500 m (EMQ). D'autres

informations (éphémérides, attitude, directions de visée) peuvent être lues pour entreprendre des traitements géométriques précis (modèle physique).

Niveau 1B : Au niveau 1B, les données sont ré-échantillonnées et des corrections géométriques sont réalisées afin de compenser les effets systématiques : rotation et courbure de la Terre, déformations induites par les angles de prise de vue, etc.

Niveau 2A : Produit d'entrée dans la gamme des produits cartographiques, la scène est livrée dans une projection cartographique standard. Les corrections radiométriques sont les mêmes que pour le niveau 1A.

Les niveaux 2B (Précision) et 3 (Ortho) sont les produits appelés SPOTVIEW. Ces produits subissent des traitements géométriques et une amélioration visuelle de l'image (couleurs pseudo-naturelles en option) pour être ensuite édités comme une spatiocarte.

La scène entière de SPOT couvre 60 Km mais SPOTIMAGE autorise aussi l'acquisition de 1/2, 1/4 et 1/8 d'une scène pour le mode panchromatique 5 et 2.5m.

Le mode couleur à 5 et 2.5m n'est disponible qu'avec une scène entière et avec le niveau 1A et 2A.

Tableau 3-2 Les prix des produits de SPOT-5

	Scène entière	1/2 Scène	1/4 Scène	1/8 Scène
5m N&B	2700 €	2025 €	1350 €	1020 €
5m Couleur	5400 €	-	-	-
2.5m N&B	5400 €	4050 €	2700 €	2040 €
2.5m Couleur	8100 €	-	-	-

La différence de prix entre les produits programmés et archivés est de 800 €. Les prix incluent une licence pour un utilisateur, mais pour plusieurs

utilisateurs il y'a une majoration de 30% pour 2 à 3 utilisateurs et de 40% de plus pour 4-10 utilisateurs¹.

5 Le programme ALSAT

Le programme spatial national (PSN) est adopté par le Gouvernement le 28 novembre 2006 et s'étale sur 15 ans (2006 – 2020) avec une révision tous les 5 ans, le PSN est l'instrument de référence en matière de politique spatiale.

Le programme ALSAT est une famille de satellites artificiels algériens. Tous les satellites sont gérés par l'Agence spatiale algérienne (ASAL).

5.1 ALSAT-1

ALSAT-1 est le premier satellite artificiel algérien. C'est un microsatellite de cartographie. Il a pour objectif principal la gestion des ressources naturelles du territoire algérien. Il fait partie de la famille de satellites Disaster Monitoring Constellation (DMC) développé par la société Surrey Satellite Technology Ltd (SSTL) pour satisfaire les programmes nationaux de prévention des catastrophes naturelles.

Il a été placé en orbite par un lanceur Cosmos-3M de la base russe de Plesetsk, le 28 novembre 2002. Son orbite est héliosynchrone et il a été placé à une altitude approximative de 700 kilomètres avec une inclinaison de 98 °.

Après la période de réglages, les premières véritables images d'ALSAT-1 ont été reçues le 17 décembre 2002, dans la station de réception se trouvant dans le Centre National des Techniques Spatiales (CNTS) d'Arzew.

Le satellite se présente sous la forme d'un cube de 60 centimètres de côté, pour une masse totale d'environ 92 kilogrammes. La puissance totale des panneaux solaires est d'approximativement 240 watts.

¹ <http://www.spotimage.fr>

Le système d'imagerie couvre le vert, le rouge et le proche infrarouge, pour une résolution de 32 mètres, avec une fauchée de 2*300km, ce qui rend ce système très intéressant pour le suivie des catastrophes naturelles (feux de forêt, Tsunami...).

5.2 ALSAT-2A

Le 12 juillet 2010, le satellite algérien d'observation de la Terre Alsat-2A, développé en collaboration avec Astrium et le CNES (France), a été lancé avec succès depuis le site de Sriharikota à Chennai (Sud -Est de l'Inde), à 04 h 53' heure algérienne. Alsat -2A est le deuxième satellite d'observation de la terre du PSN mis en orbite après Alsat-1 le 28 novembre 2002. L'exploitation des données images issues du satellite Alsat-2A répond aux besoins et aux préoccupations des différents secteurs utilisateurs, notamment l'environnement et l'aménagement du territoire, le cadastre, les ressources naturelles, l'urbanisme et les infrastructures de base, les risques majeurs, dans le cadre de projets d'applications spatiales inscrits au titre du Programme Spatial National (PSN) horizon 2020.¹

5.2.1 Caractéristiques du satellite Alsat-2A

Tableau 3-3 Caractéristiques techniques du satellite ALSAT-2A

Masse du satellite	116 kg
Gestion des données	Mémoire de stockage : 79 Gbit downlink sur la bande X: 60 Mbit/s
Attitude et contrôle d'orbite	capteurs magnétiques détermination d'attitude Gyro-stellar détermination de position par GPS contrôle d'attitude 3-axes
Altitude	680km
Type d'orbite	Héliosynchrone
Période orbitale	98.2 minutes
Cycle orbital	29jours pour réaliser 425 révolutions orbitales
Type d'instrument	imageur Pushbroom
bande spectrale (Pan)	0.45-0.9 μm
MS (4 bandes multispectrales)	B1: 0.45-0.52 μm (bleu) B2: 0.53-060 μm (vert) B3: 0.62-0.69 μm (rouge)

¹ <http://www.asal.dz/Alsat%20A.php>

	B4: 0.76-0.89 μm (PIR)
Résolution spatiale	2.5 m Pan au nadir 10 m MS au nadir
Détecteurs	Barrette de 7000 pixels Pan, 1750 pixels sur chaque bande MS
Largeur de fauchée	17.5 km au nadir
Agilité (Field of Regard)	$\pm 30^\circ$ (inclinaison de la plateforme en tangage et roulis pour la réduction du temps de revisite)
Résolution radiométrique	12bit (codage en 10 bit pour downlink)

L'orbite de Alsat-2A est héliosynchrone et quasi-circulaire sur une altitude de 680km ; la période orbitale est de 98.2 minutes et un cycle orbital de 29 jours pour compléter 425 cycles orbitaux (Boukerch and El Maouheb, 2011) (Kameche et al., 2011).

La résolution spatiale des images Alsat-2A est de 2.5 m en mode panchromatique et de 10 m en mode multispectrale couvert par les 04 bandes spectrales suivantes : le bleu, le vert, le rouge et le proche infrarouge (Boukerch and El Maouheb, 2011).

Alsat-2A acquiert des images à haute résolution avec une répétitivité de 03 jours, cela est possible à travers la plateforme qui offre une agilité de $\pm 30^\circ$ en tangage et roulis permettant une visée dépointée. La largeur de la fauchée est de 17.5 Km et une possibilité de longueur de la bande jusqu'à 300 km.

ALSAT-2A est capable de prendre 100 scènes par jour ($> 30\,000\text{ km}^2$), ainsi que la capacité d'avoir des images en mode stéréoscopique.

5.2.2 Niveaux de traitements des images Alsat-2A

Les images Alsat-2A sont fournies en deux niveaux de traitement. Le premier est le niveau 1A. Les images de ce niveau sont corrigées radiométriquement, à travers l'égalisation de la réponse relative des détecteurs et la suppression des anomalies radiométriques. L'image PAN et la bande multispectrale B3 appelée « la bande de référence » sont géométriquement brutes. Les autres 3 bandes MS sont décalées par un nombre

entier pour la compensation des décalages bande à bande due à leurs positions sur le plan focal. Pour le deuxième niveau 2A, les images sont corrigées radiométriquement de la même manière que les images de niveau 1A, en plus elles sont géocodées et donc rééchantillonnées sur une grille cartographique.

Les valeurs radiométriques des images sont en unité arbitraire (16 bits par pixel, mais en 10bits d'information) en relation linéaire avec la radiance de la cible.

Pour le produit 1A, les lignes de scan sont perpendiculaires à la trace du satellite dont la première ligne est vers le nord (du fait que le satellite prend les images du nord vers le sud).

Le produit 2A est rééchantillonné de sorte qu'on aura une image géocodée, donc les lignes de l'image sont orientées est-ouest. La résolution de ce produit est de 2.5m pour le PAN et 10m pour le MS. La projection utilisée pour ce produit est l'UTM sur WGS84.

La structure physique des produits est la suivante :

<OE>.PDF
README.HTM
LOGO.JPG
<OE> (directory)
 METADATA.DIM
 IMAGERY.TIF
 PREVIEW.JPG
 ICON.JPG
 STYLE.XSL

Tel que :

<OE> est un numéro d'identification unique de produit

README.HTM est le fichier lisez-moi,

LOGO.JPG est le logo de l'ASAL,

METADATA.DIM contient les métadonnées du produit, sous le format XML

IMAGERY.TIF contiens l'image GEOTIFF en pleine résolution

PREVIEW.JPG est le Quicklook (1000x1000)

ICON.JPG un Thumbnail (128x128)

STYLE.XSL une XML style-sheet utilisée pour l'affichage des métadonnées les plus importantes

OE.PDF c'est le XML style-sheet sous le format PDF.

6 Conclusion du premier chapitre

Dés le début des années 70, et avec le lancement du satellite à haute résolution Landsat MSS et TM ainsi que SPOT XS pendant les années 80, un très large champ d'application de la télédétection est ouvert, comme pour l'agriculture, la foresterie et l'environnement. Mais pour d'autres utilisateurs qui ont des applications nécessitant une grande échelle graphique, la photogrammétrie aérienne reste la seule technique permettant de satisfaire leurs exigences en matière de résolution géométrique. Avec le lancement d'IKONOS, depuis la fin 1999, l'imagerie spatiale est devenue un sérieux concurrent de la photographie aérienne. Actuellement avec worldview-3, une résolution de 0.31m peut être atteinte. Les images satellitaires sont caractérisées par leurs résolutions spatiales, spectrales, temporelles et radiométriques. Ces caractéristiques permettent de choisir un satellite pour une application donnée. Les satellites américains Landsat offrent gratuitement des images couvrant le globe terrestre depuis 1972 à ce jour avec Landsat 8, ces images offrent des avantages considérables pour la couverture à petites échelles pour diverses applications. SPOT-5 est un des premiers satellites qui offre des images en couleur à très haute résolution en supermode, son plus grand avantage est la largeur de la fauchée pour les applications sur de grandes étendues donnant l'avantage de réduire considérablement le nombre de points d'appui. En fin 2010, Alsat-2A est lancé avec une résolution effective de 2.5 m, ce satellite ouvre un large champ d'application aux utilisateurs nationaux en réduisant le coût d'acquisition des images spatiales. Ces images viennent avec leurs métadonnées sous format ouvert XML, donnant l'avantage du traitement rigoureux de ces images permettant d'atteindre une précision sub-pixellaire.

Chapitre II

L'image satellitaire au service de la cartographie cadastrale

1 La production cartographique et l'image satellitaire

L'avènement des nouvelles techniques comme le GPS, INS, LIDAR et les cameras numériques ont beaucoup amélioré certaines étapes de la réalisation des cartes du point de vue coût et rapidité d'exécution. Le lancement de nouveaux satellites à très haute résolution spatiale pouvant atteindre la résolution décimétrique a fait en sorte que l'imagerie spatiale est devenue une vraie source pour la rédaction cartographique en intégrant les outils photogrammétriques, c'est l'ère de la spatiophotogrammétrie concurrente de la photogrammétrie aérienne.

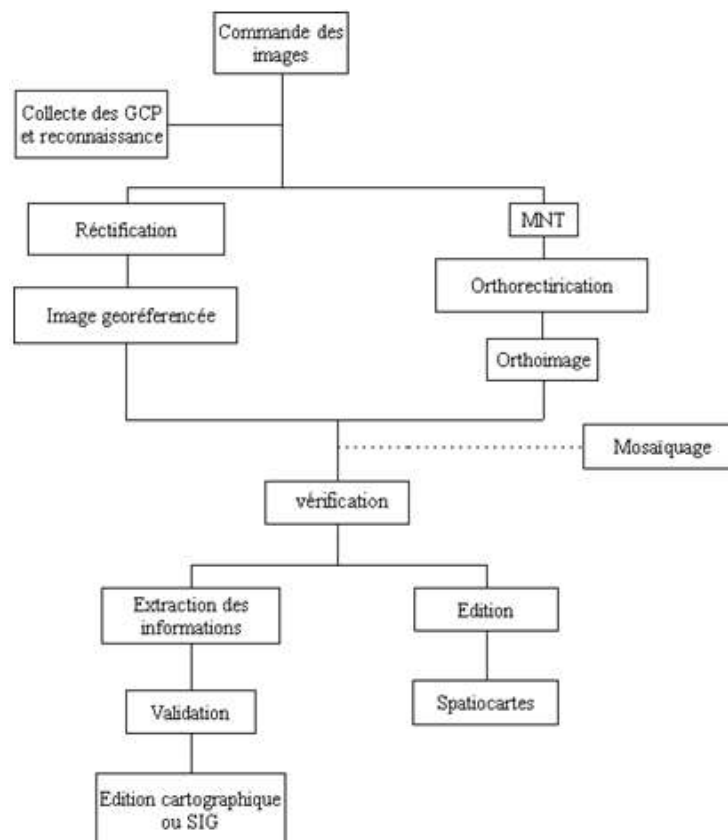


Figure 3-1 La cartographie par image satellitaire.

En se basant sur cet organigramme, la première étape nous amène à poser la question suivante : Quel genre d'image faut-il commander ou utiliser pour une application bien définie ?

Généralement, il faut considérer deux aspects :

Le premier concerne *la précision géométrique* à obtenir ainsi que le modèle de prise de vue.

Le deuxième concerne *la lecture de l'image* et le *niveau des détails* que l'on peut voir sur cette nouvelle génération d'image. D'où la nécessité d'étudier le contenu informatif des images THR.

2 L'imagerie spatiale au profit du cadastre

Les techniques existantes pour l'acquisition de l'information cadastrale sont pluridisciplinaires et se basent sur la topographie, la géodésie et la photogrammétrie. Toutes ces techniques nécessitent des moyens humains conséquents, un temps d'exécution important et des coûts très élevés. Ces tâches sont réalisées par des services indépendants ce qui peut induire des incohérences et des surcoûts à cause du manque de coordination entre eux. Il est essentiel d'intégrer ces techniques pour acquérir l'information cadastrale, la mettre à jour et (re)produire des plans cadastraux d'une façon efficace. Pour réduire le coût et le temps de ces opérations plusieurs études sont faites pour développer des approches intégrant le GPS, télédétection, photogrammétrie et les données cadastrales existantes pour la réalisation d'un cadastre fiable et actualisé.

Au Pakistan, des études ont été réalisées sur l'intégration des images satellitaires, le GPS et les données cadastrales existantes pour pouvoir mettre à jour le cadastre (Ali et al., 2012). Dans cette étude, les images SPOT-5 et Quickbird ont été utilisées, ce qui a permis d'extraire les limites des parcelles actuelles sous un environnement SIG participatif (PGIS). Cette approche a

permis une réduction de 50% en temps et coût de collecte d'information cadastrale et la génération des plans cadastraux.

En Inde, une étude a été conduite sur les potentialités de l'imagerie Ikonos pour l'actualisation des plans cadastraux qui sont à l'échelle de 1/4000 pour la majorité des villages. L'étude couvre 5 villages sur 28 km². La vérification de la qualité est faite par rapport aux coordonnées, la longueur des périmètres, les superficies et l'actualisation de l'information. La précision des orthoimages est de 50cm, 52% des parcelles ont été mises à jour. Les périmètres et les surfaces extraits ont présenté des pourcentages d'écart très faibles après la comparaison avec des mesures faites sur terrain (Jayaprasad et al., 2006).

Le CSIR (centre des applications satellitaires sud-africain) a été sollicité par le centre national de cartographie et télédétection de Mozambique (CENACARTA) pour la production d'imagerie nécessaire à la réalisation des plans cadastraux pour le support des services de cadastre et conservation foncière. L'imagerie SPOT-5 est choisie pour la réalisation de ce projet, la précision de 3.4 m est jugée acceptable vu que le besoin est d'avoir une couverture globale avec le minimum de temps et de moyen (Meyer, 2009).

Au Guatemala un projet est initié dont l'objectif principal est d'étudier les potentialités d'usage des images SPOT-5 comme source principale pour l'identification des limites des parcelles. Le projet a été réalisé par l'UTJ-ProTierra l'établissement guatémaltèque en charge de la mise en œuvre du cadastre. Les différentes zones d'étude ont été choisies pour leurs caractéristiques géographiques distinctes et leurs intérêts cadastraux. Deux types de données ont été intégrés pour alimenter la base de données, à savoir SPOT-5 orthoimage et des levées de parcelles faites par GPS et des stations totales. L'étude a conclu que ces images sont utilisables dans les zones où le terrain n'est pas trop accidenté, pour les parcelles d'une superficie moyenne et grande, aussi pour un fond de planification des activités cadastrales (Corlazzoli and Fernandez, 2004).

3 Le contenu informatif de l'image

La génération ou la mise à jour des cartes topographiques à l'aide de l'imagerie spatiale ou aérienne nous amène à considérer la relation entre la résolution spatiale et l'échelle de la carte, en tenant compte, en plus de la précision géométrique, le niveau de lecture ou de la généralisation de la carte en sortie.

Généralement, ce n'est pas la précision géométrique de l'image qui pose problème, mais la limite réelle reste le contenu informatif de l'image ; Quel objet peut-on voir sur l'image ? Il faut donc considérer la différence entre la détection et le pouvoir d'interprétation.

Exemple : On peut détecter une ligne blanche sur l'image. Mais est-ce que cette ligne blanche est une route, un sentier ou simplement une limite de parcelles agricoles ? Il y'a alors un problème d'interprétation.

Pour rappel, l'OTAN a développé le concept d'analyse de l'interprétabilité de l'image, où l'interprétation des objets est organisée en quatre niveaux hiérarchiques (Le Blanc, 2000)

Détection : c'est la découverte d'un objet sans reconnaissance. ex : il existe un objet linéaire blanc dans cette partie de l'image.

Reconnaissance : c'est la capacité de fixer l'identité d'un objet dans un groupe. Ex : cet objet linéaire blanc est une route.

Identification : c'est la capacité d'identifier l'objet comme type précis. Ex : cette route est à deux chaussées.

Analyse technique : c'est la capacité de décrire avec précision les attributs de l'objet. Ex : les deux chaussées sont séparées par un mur.

3.1 La relation résolution - échelle

La télédétection est un moyen très commode pour la création des données planimétriques et de les introduire dans un SIG, d'où les images satellitaires à très haute résolution spatiale présentent un excellent support pour la cartographie.

Mais avec cette cartographie se rattache la notion d'échelle, qui est liée directement à la résolution spatiale des images utilisées. La relation est simple : une résolution spatiale élevée permet d'obtenir une plus grande échelle.

La relation de base qui relie la résolution spatiale à l'échelle de la carte est la taille du pixel tel que: "La taille du pixel varie de 0.05 à 0.1mm sur la carte", c'est-à-dire pour une carte au 1: 25,000, sur le terrain, elle varie entre 1.25 m à 2.5m. Aussi comme à partir d'une résolution de 5 m on peut produire des cartes de 1:25,000 à 1:50,000.

Les études menées par (Jacobsen, 2003, 2002, 1998; Puissant, 2003; Topan et al., 2004) ont prouvé qu'à partir des images ikonos et quickbird, nous pouvons avoir des cartes topographiques à l'échelle du 1:10.000 et 1:6.000 respectivement. Pour les orthoimages, la résolution à l'impression est de 8pixels/mm, ce qui est équivalent à une échelle du 1:8.000 et 1:5.000 pour les deux capteurs.

Nous prenons aussi comme exemple un tableau établi par le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES, France) en 1999, et qui donne une idée sur la meilleure échelle possible à obtenir pour différentes résolutions spatiales, sans perte de clarté ni de la qualité.

Tableau 3-4 Relation résolution spatiale / échelle cartographique.

Résolution image (mètre)	Echelle cartographique
1000	1/1500 000
30	1/80000
20	1/50000
10	1/24000
5	1/12000
1	1/2000

Un autre exemple donné par le GDTA en 1993, mais cette fois-ci, basé sur l'erreur graphique du document cartographique qui correspond à 0.2 mm, et la taille du pixel. La relation entre ces grandeurs est exprimée par :

$$1/E = 2 \times 0.2/r$$

1/E : Facteur d'échelle.

r : Taille du pixel, en mm.

Ainsi, nous établissons le tableau suivant, qui donne les échelles cartographiques permises en fonction de la taille du pixel :

Tableau 3-5 Relation résolution spatiale / échelle cartographique, basée sur l'erreur graphique.

Taille du pixel	Echelle cartographique
20 m	1/50 000
10 m	1/25000
5 m	1/12500
1 m	1/2500

À chaque résolution spatiale correspond des applications cartographiques, dont le tableau ci-dessous présente quelques-unes :

Tableau 3-6 Résolutions spatiales et les applications thématiques, qui peuvent en être tirées.

Résolution image (mètre)	Application cartographique
1000	Evaluer les éléments de végétation au niveau d'une province. Détecter des événements régionaux (sécheresse, désertification, invasion, etc.).
80	Cartographier les structures géologiques régionales. Evaluer la santé de la végétation dans une région relativement vaste.
20-30	Localiser les aéroports, centres-villes, banlieues, centres commerciaux complexes sportifs et industriels, couverts forestiers et terres agricoles de grande superficie. Opérer une classification générale des terrains.
10	Localiser et cartographier les bâtiments, cours d'eau, routes, terrains de sport, terrains agricoles et rues transversales. Opérer une classification des terrains de faible superficie.
1	Identifier et cartographier les éléments de plus d'un mètre carré : (Plaque d'égouts, bancs, voitures, abris de bus, routes nationales, trottoirs, équipements publics, clôtures, arbres et buissons isolés. Différencier les types de bâtiments.

La figure suivante proposée par H.Topan résume la relation entre la résolution et l'échelle en se basant sur une erreur graphique de 0.1mm sur la carte (Huixian, 2005).

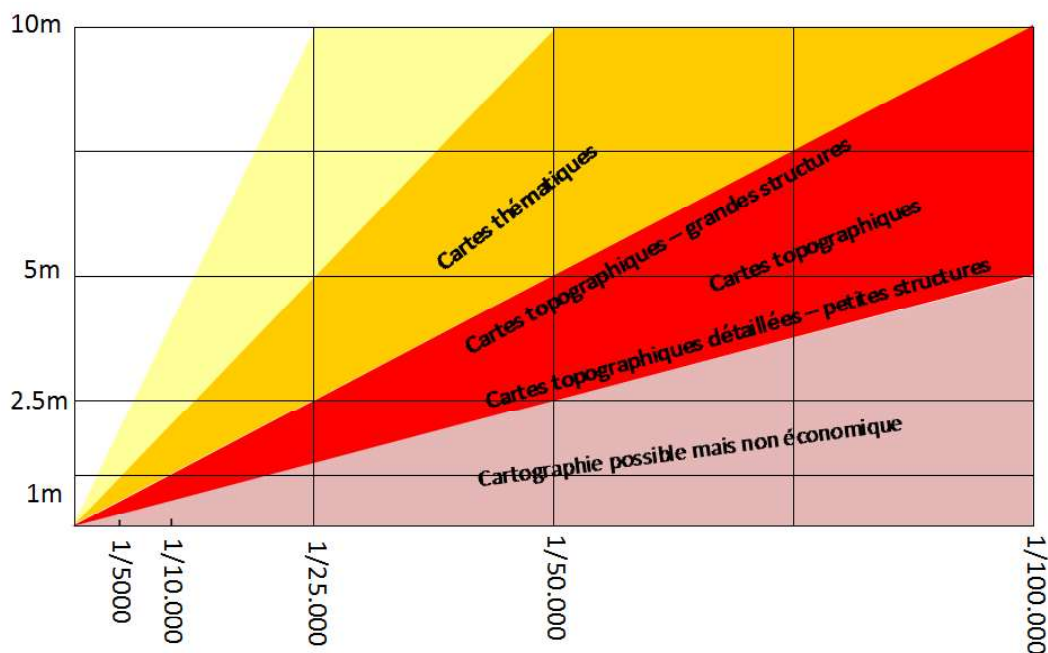


Figure 3-2 La relation entre la taille du pixel et l'échelle carte pour les images panchromatiques.

3.2 Autres facteurs influant sur l'interprétation

La taille du pixel n'est pas le seul critère de la qualité de l'image, mais d'autres critères qui sont liés au système de prise de vue et aussi à la zone à cartographier sont à considérer tels que :

- le contraste qui reste un facteur très important
- la résolution spectrale et radiométrique
- les conditions atmosphériques
- l'angle d'élévation du soleil
- le niveau de détail existant sur la scène
- Les normes cartographiques à prendre en considération (exemple entre la Suisse et les USA : pour une carte de même échelle, celle de la suisse contient plus de détails par contre celle des USA est plus généralisée) (Topan et al., 2004)

La résolution spectrale a une grande influence sur la qualité de la lecture de l'image parce qu'elle constitue une autre base d'identification d'objet. Selon les tests faits par (Topan et al., 2004), pour un même niveau de lecture d'image, la résolution de l'image en couleur exigée est de 1.5 fois plus grande que le panchromatique. Par exemple pour l'édition d'une carte au 1 :50,000 la résolution en panchromatique demandée est entre 2.5 et 5m tandis que pour une image en couleur, elle est de 3.75 à 7.5m.

Les possibilités des différents produits IKONOS pour la cartographie au 1:10.000 (Huixian, 2005), ont montré que:

- Les images IKONOS peuvent être utilisées pour la cartographie topographique au 1:10,000 tout en nécessitant le complètement sur terrain (zones d'ombre, occlusion...)
- L'interprétation en mode stéréo, avec une vision 3D stéréoscopique, est meilleure que sur les orthoimages.

- L'interprétation sur des images stéréoscopiques pan-sharped est meilleure que sur les images stéréo panchromatiques.
- Sur les orthophotos pan-sharpened et panchromatiques, nous pouvons distinguer tous les objets qui figurent sur la carte sauf ceux contenus dans les zones d'ombre.

4 Orthorectification et spatiocartographie

La photographie aérienne et l'image satellitaires ont l'inconvénient de ne pas présenter les objets dans leurs vraies positions à cause des déplacements essentiellement dus aux inclinaisons du système de prise d'image et l'effet du relief (voir la Figure suivant).

En vue de leurs utilisations, il faut donc les corriger des différentes distorsions afin de pouvoir les manipuler au même titre qu'une carte. En éliminant ces effets, on obtient un document qui est passé d'une projection centrale à une projection orthogonale (voir Figure 3-4).

Actuellement, on constate un effort de développement considérable dans la fabrication des orthoimages. La richesse d'information qu'elles présentent, comparée à une cartographie vectorielle, est en fait leur avantage principal.

L'orthorectification est le processus de transformer la projection centrale (qui est l'image) en une vue orthogonale de l'espace objet avec une échelle constante. Cela est fait par l'élimination des différentes distorsions existantes sur l'image (Xu, 2004).

L'orthophotographie et l'orthoimage sont des mosaïques qui allient la précision géométrique de la carte à la richesse de la photographie, elles sont obtenues respectivement à partir de photographies aériennes ou d'images satellitaires rectifiées géométriquement et égalisées radiométriquement. Elles peuvent être géoréférencées dans n'importe quel système de coordonnées. Ce

sont des fonds d'image idéale pour un SIG car ils permettent un enrichissement et une mise à jour facile de l'information géographique.



Figure 3-3 Superposition d'une restitution sur une ortho (droite) et l'image brute (gauche)¹.

4.1 Les distorsions

Sur une photographie ou une image, l'échelle n'est pas constante, à cause de l'effet du relief et de l'attitude du capteur/vecteur.

Avant d'expliquer le passage de la photographie ou l'image vers un document orthorectifié, il faut comprendre la différence entre la photographie, l'image spatiale et la carte.

4.1.1 La projection conique et orthogonale

La principale différence entre une carte et une photographie ou l'image est le type de projection. Pour la première, la projection est orthogonale alors que pour la deuxième, c'est une projection perspective ou sub-cylindro-conique (l'équation de colinéarité peut décrire les deux cas).

Pour une projection perspective (Figure 3-4) si $D1=D2$ et le terrain n'est pas plat $d1 \neq d2$, mais pour la projection orthogonale si $D1=D2 \Rightarrow d1=d2$ et $D_i = e \cdot d_i$.

¹ Cours de photogrammétrie (ENGO 573), université de Calgary.

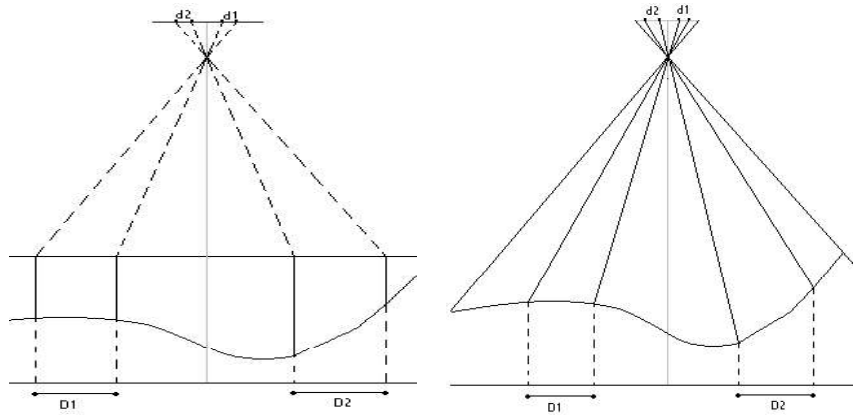


Figure 3-4 La projection perspective et la projection orthogonale

4.1.2 La différence entre l'image et la photographie

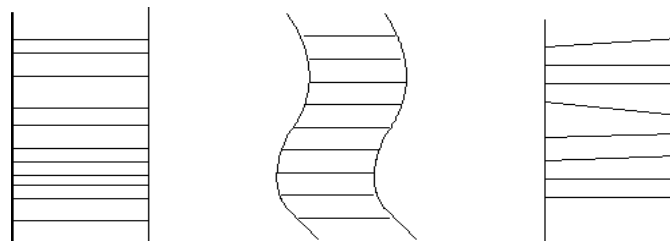
Chaque ligne de l'image brute correspond à une perspective conique à partir de(s) barrette(s) de détecteurs. À la différence de la prise de vue aérienne qui est instantanée, le centre perspectif d'une vue satellitaire se meut le long de l'orbite du satellite. D'un autre côté, l'attitude du satellite n'est pas constante, mais varie au cours de l'acquisition (angles de roulis de lacet et de tangage). La géométrie finale de l'image est donc très différente de celle d'une photographie aérienne. On parlera de perspective subcylindro-conique.

4.1.3 Les déformations

Les plus importantes déformations qu'on trouve sur l'image et la photo sont:

a) L'attitude

Effet sur l'image :



Sur la photo :

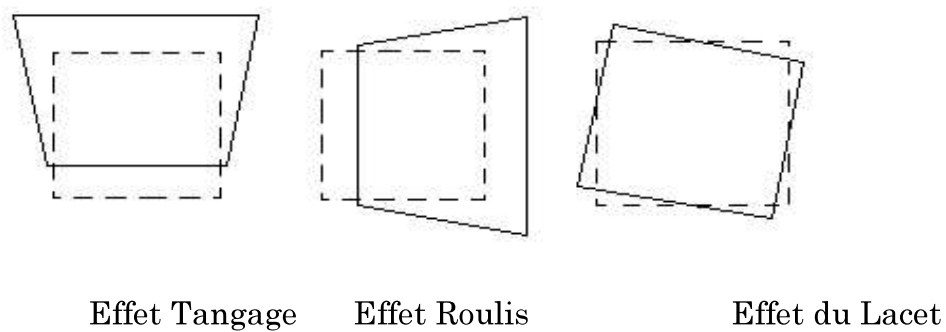


Figure 3-5 Les effets des rotations

b) Variation de l'angle de prise de vue

Ce phénomène se traduit par un effet de variation de la résolution sur l'image.

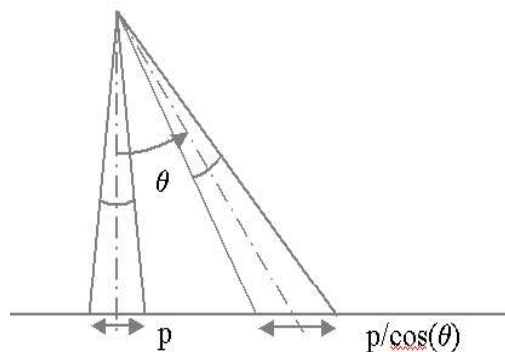


Figure 3-6 L'effet de l'angle de PDV

Dans le cas de la photographie, la correction de cet effet causé par l'inclinaison de l'axe de prise de vue est exécutée par le procédé de redressement total (Terrain plan).

c) Déplacement dû au relief

Sur l'image satellitaire acquise avec un capteur de type pushbroom, l'effet du relief a pour conséquence la création d'une parallaxe dans le sens perpendiculaire à la trace, mais sur la photographie, il cause un déplacement radial par rapport au nadir.

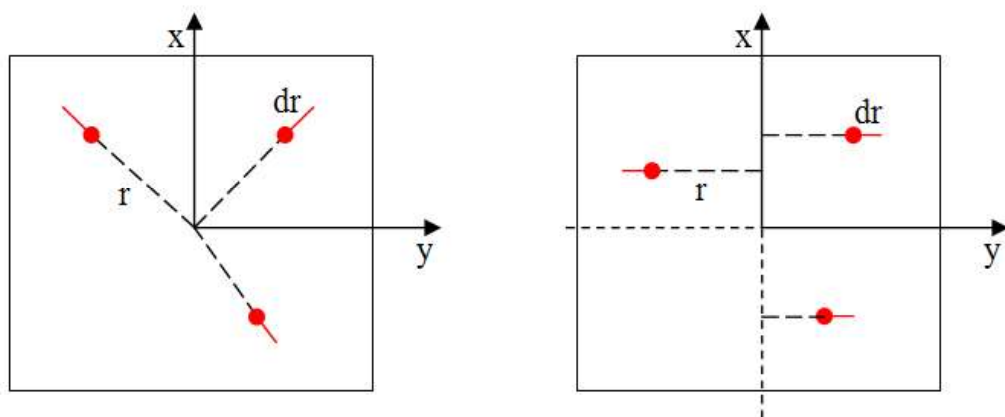
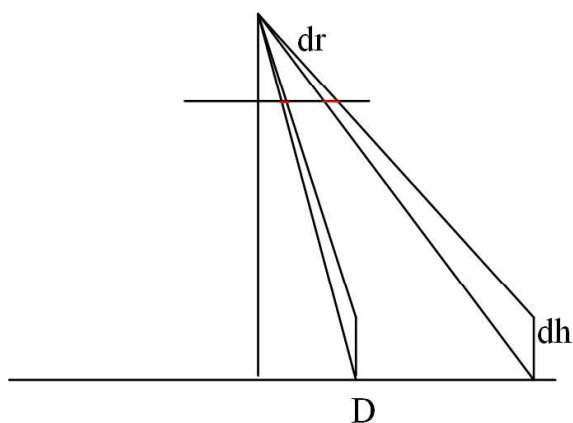


Figure 3-7 Le déplacement radial sur photo (gauche) et sur l'image satellitaire (droite)
Les caractéristiques de l'effet du relief sont:

- Il est fonction de la distance radiale (dr) et de la hauteur de l'objet (dh).



- Il est inversement proportionnel à la hauteur de vol.
- Apparition des zones d'occlusion (angles morts).

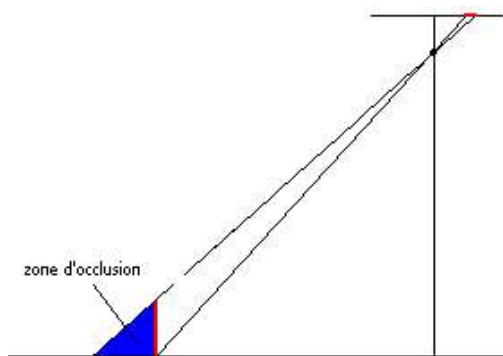


Figure 3-8 L'occlusion (les angles morts)

d) Autres déformations

D'autres déformations sont présentes sur la photo et l'image, et qui doivent être prises en compte lors des modélisations comme :

- Approximation du géoïde par un ellipsoïde.
- Projection de l'ellipsoïde sur un plan.
- Distorsions dues au système optique.
- Réfraction atmosphérique.
- Courbure terrestre.
- Rotation de la Terre (Toutin, 2004), cet effet n'est pas pris en considération pour le cas de la photographie.

En conclusion, les déformations peuvent être classées en trois catégories principales (Toutin, 2004) :

- Déformations liées à l'observateur : le système d'acquisition (plateforme et capteur).
- Déformations liées à l'observé : l'atmosphère et la terre.
- Déformations liées au système cartographique.

4.2 Chaîne de traitement en spatiocartographie

4.2.1 Acquisition des images satellitaires et stéréopréparation

Après avoir sélectionné les images (archives ou nouvelles acquisitions en programmation) et les commander, l'étape suivante est la stéréopréparation. Dans cette étape le choix des points d'appui et de contrôle est fait avec un très grand soin. Chaque point est identifié par une fiche signalétique. Ces points seront par la suite déterminés sur terrain par les techniques géodésiques convenables selon les précisions et les exigences du projet.

4.2.2 Spatiotriangulation

Dans cette phase, on identifie des points homologues entre les images dans les zones de recouvrement (points de liaison). On utilise également les mesures des points d'appui, les paramètres de la caméra embarquée, les paramètres d'orbite, les données sur la position et l'attitude du satellite, etc. Tout cela permettra de déterminer un modèle géométrique qui permettra de rectifier les images et de les rendre superposables aux cartes.

4.2.3 Modèle numérique de terrain et l'orthorectification

Les images sont orthorectifiées en utilisant un modèle numérique de terrain et le modèle géométrique, ainsi on supprime les déformations dues au relief et à l'inclinaison du relief. Les images rectifiées sont superposables aux cartes.

4.2.4 Mosaiquage des images

Dans cette phase les orthoimages sont assemblées et les différences radiométriques entre les orthoimages sont éliminées. Ces différences sont dues au fait que les images sont prises sous des angles et dates différentes ce qui induit des conditions d'éclairage variables.

4.2.5 Traitement radiométrie et amélioration des contrastes

Les traitements radiométriques qui suivent permettent d'améliorer la qualité de l'image : adaptation des dynamiques, adaptation du contraste ou de la luminosité, filtrage, etc.

4.2.6 Extraction des feuillets cartographiques

C'est une découpe de la mosaïque améliorée selon un cartogramme bien défini pour extraire des feuilles cartographiques.

4.2.7 Superposition de grille ou carroyages

Pour obtenir une spatiocarte, il faudra, ajouter un ensemble d'éléments de repérage cartographique (coordonnées, échelle, légende, index des coupures, informations relatives à la projection, légende des surcharges, index des spatiocartes, échelle graphique, etc.).

4.2.8 Evaluation de la qualité de la spatiocarte

Six critères sont retenus pour évaluer la qualité cartographique de spatiocartes qui peuvent être regroupées en deux rubriques:

a) Qualités métriques

- Exactitude et précision du traitement géométrique de l'image ou de la mosaïque servant de fond ;
- Cohérence du système de représentation cartographique : découpage, format, habillage.

b) Qualités cartographiques

- Richesse et fiabilité de l'information : information image et surcharges ;
- Mise en place de l'information, rigueur des données et des processus cartographiques ;
- Esthétique (cartographique) de l'ensemble du document ;
- Qualité de l'édition.

Les contrôles de qualité doivent intervenir à chaque étape du processus d'élaboration de la spatiocarte.

5 La modélisation géométrique des systèmes spatiaux

5.1 Introduction

Les modèles géométriques représentent la relation entre l'espace objet et l'espace image, ce sont des modèles théoriques décrivant la manière dont l'image d'un objet donné est construite par le système. Ainsi pour la photographie, le modèle de colinéarité reste le plus utilisé. Pour les systèmes imageurs à très haute résolution, il existe plusieurs modèles appartenant à deux grandes catégories.

Modèles rigoureux (explicites): des modèles basés sur les paramètres physiques du système d'acquisition.

Modèles mathématiques (implicites): qui modélisent le système d'acquisition par une transformation mathématique entre les deux espaces.

À cause de la non-existence d'une information précise sur les détecteurs (paramètres de calibrage) pour certains satellites, l'utilisation des modèles implicites ou non paramétriques s'avère indispensable, ces modèles peuvent décrire d'une manière optimale la vraie géométrie (physique) du système.

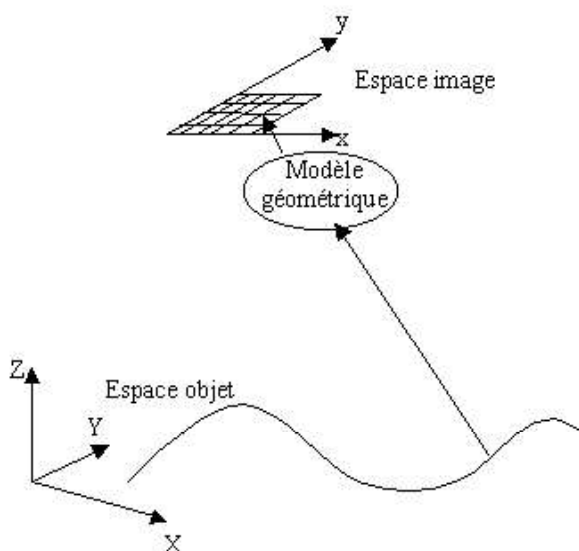


Figure 3-9 Le modèle géométrique.

Le modèle géométrique des photographies aériennes et les modèles explicites en imagerie spatiale sont basés sur la condition de colinéarité qui stipule que le point objet, le centre perspectif et le point image sont alignés.

5.2 Les modèles implicites

Dans le cas de l'inexistence de modèles explicites ou un manque de données pour les établir, on a recours aux modèles implicites dits aussi empiriques, non paramétriques ou mathématiques.

Ce type de modèle est indépendant du capteur et de la plate-forme, il ne tient pas compte du processus physique de la prise de vue, il est flexible et facile à utiliser. Le modèle le plus utilisé dans la télédétection est le modèle polynomial pour le géoréférencement.

5.2.1 Les modèles planimétriques

Cette catégorie de modèles est utilisée pour établir la relation entre les coordonnées image et les coordonnées planimétriques sur terrain, ces modèles ne tiennent pas compte du relief.

a) La transformation affine plane

C'est une transformation plane à six paramètres (translations, rotation, facteurs d'échelles différentes en u et v en plus de défaut d'orthogonalité des axes)

$$r = A_1X + A_2Y + A_3 \quad (1)$$

$$c = A_4X + A_5Y + A_6$$

b) La transformation projective plane

C'est une transformation à huit paramètres qui représente une projection entre deux plans

$$r = \frac{L_1x + L_2y + L_3}{L_7x + L_8y + 1}, \quad c = \frac{L_4x + L_5y + L_6}{L_7x + L_8y + 1} \quad (2)$$

Où r , c sont les coordonnées image et x , y les coordonnées correspondantes sur terrain ; L_i et A_i sont les paramètres des modèles.

c) Le modèle polynomial 2D

Les fonctions polynomiales 2D sont très utilisées dans la télédétection depuis les années 70, généralement elles sont utilisées en premier ordre. Des degrés plus élevés permettent la correction de certaines distorsions (Nagi Zomrawi and Eisa Eiman, 2013), mais ces fonctions risquent un surapprentissage ou surajustement (en anglais « *overfitting* »). Les fonctions polynomiales 2D s'écrivent comme suit :

$$P_{2D}(r, c) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} X^i Y^j \quad (3)$$

5.2.2 La DLT (Direct linear Transformation)

« Direct Linear Transformation » plus connu sous DLT crée par Abdel-aziz et Karara en 1971 pour des applications terrestres de la photogrammétrie.

Cette technique est basée sur la condition de colinéarité, les deux espaces image (c, r) et objet (X, Y, Z) sont liés par les équations suivantes :

$$c = \frac{L_1x + L_2y + L_3z + L_4}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1}, \quad r = \frac{L_5x + L_6y + L_7z + L_8}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1} \quad (4)$$

Les coordonnées (r , c) sont mesurées sur l'image et (x , y , z) sont les coordonnées terrain des points de calage, 06 points de calage au minimum sont requis pour la résolution du système.

Une autre version de ce modèle connue sous l'appellation de Extended DLT (EDLT), elle a été proposée pour la rectification des images SPOT en ajoutant deux paramètres (Tao and HY, 2001)

$$r = \frac{L_1x + L_2y + L_3z + L_4}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1} + L_{12}rc \quad (5)$$

$$c = \frac{L_5x + L_6y + L_7z + L_8}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1} + L_{13}c^2$$

5.2.3 Le modèle affine

Ce modèle décrit une transformation affine d'un espace objet 3D à un espace image 2D, il est formulé par :

$$c = A_1X + A_2Y + A_3Z + A_4 \quad (6)$$

$$r = A_5X + A_6Y + A_7Z + A_8$$

Ce modèle est fonction de 08 paramètres : translations (2), rotations (3), échelle non uniforme (2) et la non-perpendicularité des axes X, Y (skew distortion)(1) (Fraser and Yamakawa, 2003).

5.2.4 Le modèle perspectif parallèle

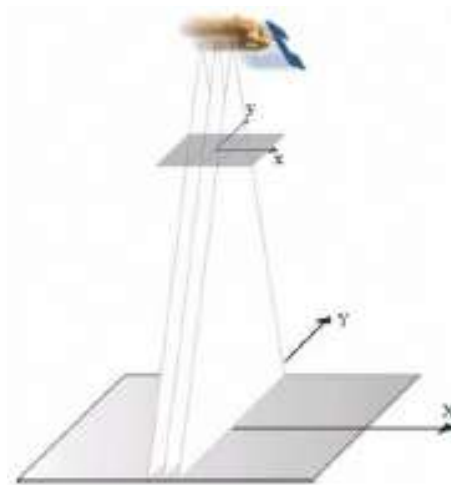


Figure 3-10 Le modèle perspectif parallèle

L'acquisition par un instrument pushbroom peut être représentée par une perspective dans le sens de Y et affine dans le sens des X (sens du vol), c'est une simplification de la DLT qui modélise les lignes de l'image comme une succession de projections centrales (Vozikis et al., 2003).

$$r = B_1X + B_2Y + B_3Z + B_4 \quad (7)$$

$$c = \frac{A_1X + A_2Y + A_3Z + A_4}{A_5X + A_6Y + A_7Z + A_8}$$

5.2.5 Le modèle polynomial 3D

Les fonctions polynomiales 3D sont une extension des polynômes de transformation 2D par l'ajout du terme Z qui représente la troisième dimension du terrain :

$$P_{3D}(XYZ) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p a_{ijk} X^i Y^j Z^k \quad (8)$$

En général l'ordre du polynôme est moins de trois (Toutin et al., 2002), utilisé avec certaines précautions pour garder une bonne précision :

- Applicable pour des petites images (zones).
- Répartition homogène des points de contrôle.
- La correction est locale (au point de contrôle).
- Très sensible aux erreurs sur les entrées.

Ces polynômes corrigent toutes les distorsions systématiques sauf celles causées par le relief ; le terme relié à l'altitude dans les polynômes 3D doit être réduit au terme de premier degré pour les images à haute résolution, quel que soit l'ordre du polynôme utilisé.

5.2.6 Le modèle RFM 3D (fonction rationnelle)

Les fonctions rationnelles 3D (RFM) ont récemment eu un regain d'intérêt pour les utilisateurs civils de la télédétection et de la photogrammétrie ; cela est dû au lancement de nouveaux satellites civils à haute résolution. La raison principale de leur intérêt est du fait que certains fournisseurs d'image comme Space Imaging ne fournissent pas d'informations sur le satellite et le capteur (Toutin et al., 2002). Ces fonctions sont utilisées pour remplacer le modèle de capteur qui reste confidentiel d'un côté et d'un autre côté pour faciliter l'exploitation de ces images par des utilisateurs non spécialistes (GICT Lab, 2004).

D'une façon générale, ce type de fonctions s'écrit sous la forme :

$$R_{3D}(XYZ) = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p a_{ijk} X^i Y^j Z^k}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p b_{ijk} X^i Y^j Z^k} \quad (9)$$

Avec :

X, Y, Z les coordonnées terrain.

i, j, k les incréments.

m, n, p des entiers qui représente l'ordre de la fonction polynomiale.

Ces fonction s'écrivent pour le géo-référencement des images sous la forme (Buyuksalih et al., 2003):

$$r = \frac{P_{i1}(X, Y, Z)_j}{P_{i2}(X, Y, Z)_j}, c = \frac{P_{i3}(X, Y, Z)_j}{P_{i4}(X, Y, Z)_j} \quad (10)$$

Tel que chaque polynôme P_{ij} est écrit comme suit :

$$\begin{aligned} P_{ij}(X, Y, Z) = & a_1 + a_2 \cdot Y + a_3 \cdot X + a_4 \cdot Z \\ & + a_5 \cdot Y \cdot X + a_6 \cdot Y \cdot Z + a_7 \cdot X \cdot Z + a_8 \cdot Y^2 \\ & + a_9 \cdot X^2 + a_{10} \cdot Z^2 + a_{11} \cdot X \cdot Y \cdot Z \\ & + a_{12} \cdot Y^3 + a_{13} \cdot Y \cdot X^2 + a_{14} \cdot Y \cdot Z^2 \\ & + a_{15} \cdot Y^2 \cdot X + a_{16} \cdot X^3 + a_{17} \cdot X \cdot Z^2 \\ & + a_{18} \cdot Y^2 \cdot Z + a_{19} \cdot X^2 \cdot Z + a_{20} \cdot Z^3 \end{aligned} \quad (11)$$

En se limitant au troisième degré, on aura pour chaque polynôme 20 paramètres à déterminer. Pour les dénominateurs le coefficient $a_1=1$, alors 78 paramètres pour le RFM (39 points de contrôle) (Kaichang et al., 2003).

En général, les distorsions créées par la projection optique peuvent être corrigées en se limitant au premier ordre. Les corrections de la courbure terrestre, de la réfraction atmosphérique, et de la distorsion de l'objectif, etc. peuvent être bien approchées en se limitant au second ordre. D'autres déformations inconnues sont modélées par des composantes d'ordre supérieur (3^e ordre) (GICT Lab, 2004).

a) La Résolution des RFM

À fin d'éviter l'introduction de quelques erreurs pendant le calcul et assurer une stabilité du système, les deux coordonnées image et les trois coordonnées terrain doivent être normalisées par une translation et un facteur d'échelle pour être dans la marge -1.0 et $+1.0$ (C Vincent Tao and Hu, 2001).

En prenant r et c comme coordonnées image lignes / colonnes, XYZ les coordonnées terrain et a_i , b_i , c_i , d_i les coefficients des polynômes (Hu and Tao, 2002; C Vincent Tao and Hu, 2001; Tao and HY, 2001), l'équation du RFM devient :

$$\begin{aligned} \mathbf{r} &= \frac{(1ZYX \dots Y^3 X^3) \cdot (\mathbf{a}_0 \mathbf{a}_1 \dots \mathbf{a}_{19})^T}{(1ZYX \dots Y^3 X^3) \cdot (\mathbf{b}_0 \mathbf{b}_1 \dots \mathbf{b}_{19})^T} \\ \mathbf{c} &= \frac{(1ZYX \dots Y^3 X^3) \cdot (\mathbf{c}_0 \mathbf{c}_1 \dots \mathbf{c}_{19})^T}{(1ZYX \dots Y^3 X^3) \cdot (\mathbf{d}_0 \mathbf{d}_1 \dots \mathbf{d}_{19})^T} \end{aligned} \quad (12)$$

L'équation du résidu peut être écrite sous la forme :

$$v_r = \left[\frac{1}{B} \frac{Z}{B} \frac{Y}{B} \frac{X}{B} \dots \frac{Y^3}{B} \frac{X^3}{B} - \frac{rZ}{B} - \frac{rY}{B} \dots - \frac{rY^3}{B} - \frac{rX^3}{B} \right] \cdot j - \frac{r}{B} \quad (13)$$

$$v_c = \left[\frac{1}{D} \frac{Z}{D} \frac{Y}{D} \frac{X}{D} \dots \frac{Y^3}{D} \frac{X^3}{D} - \frac{cZ}{D} - \frac{cY}{D} \dots - \frac{cY^3}{D} - \frac{cX^3}{D} \right] \cdot k - \frac{c}{D}$$

Tel que :

$$\begin{aligned} \mathbf{B} &= (1ZYX \dots Y^3 X^3) \cdot (\mathbf{b}_0 \mathbf{b}_1 \dots \mathbf{b}_{19})^T \\ \mathbf{j} &= (\mathbf{a}_0 \mathbf{a}_1 \dots \mathbf{a}_{19} \mathbf{b}_0 \mathbf{b}_1 \dots \mathbf{b}_{19})^T \\ \mathbf{D} &= (1ZYX \dots Y^3 X^3) \cdot (\mathbf{d}_0 \mathbf{d}_1 \dots \mathbf{d}_{19})^T \\ \mathbf{k} &= (\mathbf{c}_0 \mathbf{c}_1 \dots \mathbf{c}_{19} \mathbf{d}_0 \mathbf{d}_1 \dots \mathbf{d}_{19})^T \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} v_r' &= Bv_r = (1ZYX \dots Y^3 X^3 - rZ - rY \dots - rY^3 - rX^3) \cdot j - r \\ v_c' &= Dv_c = (1ZYX \dots Y^3 X^3 - cZ - cY \dots - cY^3 - cX^3) \cdot j - c \end{aligned} \quad (15)$$

Pour n point de contrôle, v_r dans l'équation 13 est écrite sous la forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} v_{r1} \\ v_{r2} \\ \vdots \\ v_{rm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{B_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{B_2} & 0 & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \frac{1}{B_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & Z_1 & \dots & X_1^3 & -r_1 Z_1 & \dots & -r_1 X_1^3 \\ 1 & Z_2 & \dots & X_2^3 & -r_2 Z_2 & \dots & -r_2 X_2^3 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & Z_n & \dots & X_n^3 & -r_n Z_n & \dots & -r_n X_n^3 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{j}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{B_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{B_2} & 0 & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \frac{1}{B_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_n \end{bmatrix}$$

(16)

Ou la forme condensée :

$$\mathbf{V}_r = \mathbf{W}_r \mathbf{M} \mathbf{J} - \mathbf{W}_r \mathbf{R} \tag{17}$$

Avec :

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 1 & Z_1 & \dots & X_1^3 & -r_1 Z_1 & \dots & -r_1 X_1^3 \\ 1 & Z_2 & \dots & X_2^3 & -r_2 Z_2 & \dots & -r_2 X_2^3 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & Z_n & \dots & X_n^3 & -r_n Z_n & \dots & -r_n X_n^3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{w}_r = \begin{bmatrix} \frac{1}{B_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{B_2} & 0 & \vdots \\ \vdots & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \frac{1}{B_n} \end{bmatrix} \text{ et } \mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_n \end{bmatrix}$$

\mathbf{W}_r est considérée comme matrice des poids pour les résidus v'_r de l'équation 15

L'équation 17 pourra être écrite sous la forme :

$$\mathbf{M}^T \mathbf{W}_r^2 \mathbf{M} \mathbf{j} - \mathbf{M}^T \mathbf{W}_r^2 \mathbf{R} = 0 \tag{18}$$

Si on prend W_r comme matrice unité, la solution directe des coefficients de RFM (RFC's) se présente comme suit :

$$J=(M^T M)^{-1}M^T R \quad (19)$$

De même pour les colonnes, alors le système complet est mis sous la forme :

$$\begin{bmatrix} V_r \\ \dots \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_r & \vdots & O \\ \dots & + & \dots \\ O & \vdots & W_c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M & \vdots & O \\ \dots & + & \dots \\ O & \vdots & N \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} J \\ \dots \\ K \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} W_r & \vdots & O \\ \dots & + & \dots \\ O & \vdots & W_c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ \dots \\ C \end{bmatrix}$$

Ou :

$$V=WTI - WG \quad (20)$$

La solution directe est :

$$I=(T^T T)^{-1} T^T G \quad (21)$$

La solution directe par moindres carrés est obtenue en prenant les matrices poids égales à la matrice identité donc $1/B_i = 1/D_i = 1$.

La solution itérative par moindres carrés, commence par une solution initiale $I^{(0)}$ des coefficients qui est obtenue par la méthode directe. Les autres $W^{(i)}$ et $I^{(i)}$ sont obtenus par itérations jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit vérifié.

Les deux méthodes ne diffèrent que par la multiplication par la matrice poids, chaque itération dans la deuxième méthode est proche de la solution directe. La solution itérative est plus rigoureuse, mais elle nécessite plusieurs itérations pour atteindre la solution finale (Tao and HY, 2001; Toutin, 2004).

En général les méthodes de résolution des RFM se divisent en deux groupes : la méthode *dépendante* et la méthode *indépendante* du terrain. La résolution qui dépend du terrain est la méthode normale, elle nécessite la collecte des points de contrôle sur le terrain avec des méthodes

conventionnelles. Elle exige un grand nombre de points, précis et convenablement distribués sur l'image. Elle est généralement utilisée quand le modèle de correction n'existe pas avec l'image (C Vincent Tao and Hu, 2001; C. Vincent Tao and Hu, 2001).

Si ce modèle existe, mais avec une précision faible (le produit *Reference* d'IKONOS par exemple) on a recours à la méthode *indépendante du terrain* pour améliorer la précision de celui-ci. Cette méthode utilise une grille 3D de points pour estimer les coefficients du RFM. Cette grille représente l'espace objet, elle est générée par l'intersection des rayons provenant de l'image (à travers le modèle existant) avec un certain nombre de plans d'altitudes constantes. Les points résultants sont ensuite utilisés avec d'autres points de contrôle pour l'estimation des coefficients de la RFM par moindres carrés de nouveau, ce qui améliore la précision du modèle existant (Grodecki, 2001).

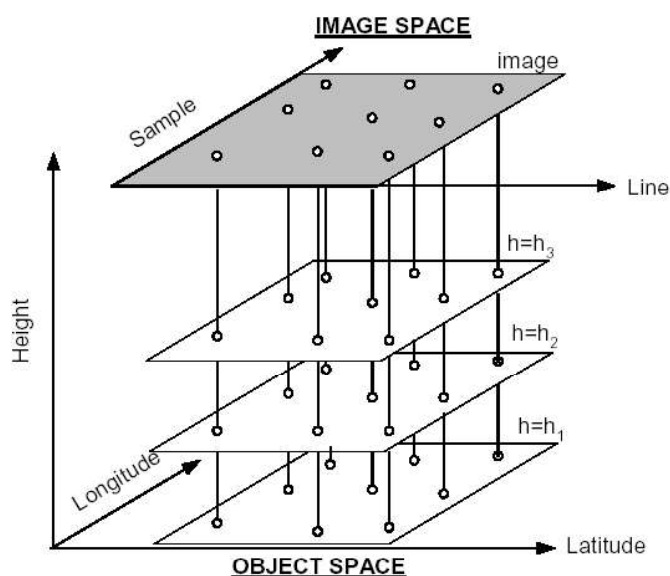


Figure 3-11 RFM (La méthode indépendante du terrain)

b) Les caractéristiques de la RFM

La RFM est considérée comme un cas général. Les autres modèles, telle la colinéarité, la transformation projective, la DLT et les polynômes 2D et 3D sont des cas particuliers de celle-ci

Exemple : la DLT est une fonction d'ordre 1 avec $P_2 = P_4$.

- La RFM supporte n'importe quel système de coordonnées objet (Terrain).
- L'augmentation de l'ordre de la RFM peut causer une instabilité et une indétermination lors de la résolution par moindres carrés.
- C'est un modèle d'ajustement très complexe et exact, mais il risque l'indétermination si le dénominateur tend vers 0.
- Difficulté de détection d'erreurs qui affecte les points de contrôle (Tao and HY, 2001).
- Les RFM ne permettent pas de modéliser les distorsions locales.
- Certains coefficients sont corrélés.
- Le manque d'un sens physique rend difficile l'interprétation des paramètres.

6 Les procédures de l'orthorectification

6.1 Le redressement différentiel

Le redressement différentiel est une technique de correction de chaque élément de l'image des effets du terrain et du capteur, elle peut être accomplie de deux manières différentes :

6.2 La méthode directe (top down method)

Dans cette approche, on part des coordonnées photographiques vers les coordonnées terrain, dans un processus itératif. Le point de départ de cet algorithme est le point image, ce point avec les paramètres de l'orientation

interne sont utilisés pour la définition de la direction de visée par un vecteur. Connaissant les paramètres externes ce vecteur détermine une droite dans l'espace objet. Cette droite sera par la suite intersectée avec un plan horizontal, généralement Z moyen du terrain, pour situer un point (X, Y) sur le terrain, pour ce point on détermine l'altitude à partir du MNT dont on dispose. Cette altitude définit le nouveau plan qui va être intersecté par la même droite. Ce processus sera répété jusqu'à la vérification d'un critère d'arrêt.

6.3 La méthode indirecte (bottom up method)

Dans cette méthode, le redressement de l'image se fait en partant de l'orthophotographie sous forme de matrice de pixels d'une taille déterminée. Ainsi, pour chaque paire de coordonnées (X_a, Y_a) de l'orthophoto, on détermine l'altitude correspondante $Z_a = f(X_a, Y_a)$ à partir du MNT dont on dispose.

Le point de coordonnées (X_a, Y_a, Z_a) est ensuite projeté sur la photographie en utilisant les équations de colinéarité pour obtenir les coordonnées photographiques correspondantes.

Ces coordonnées seront ensuite corrigées, si nécessaire, des différentes distorsions (optiques, courbure terrestre, réfraction...), avant la transformation en coordonnées images, sur la base des paramètres inverses de l'orientation intérieure.

Cette procédure peut être utilisée pour les photographies et les images. Dans certains cas de l'imagerie spatiale, les paramètres des orientations interne et externe ne sont pas connus, ce qui rend l'établissement de l'équation de colinéarité impossible. Dans ce cas on a recours à d'autres modèles géométriques de prise de vue (généralement le RFM).

7 Evaluation de la qualité géométrique

Afin d'évaluer la qualité géométrique d'un document cartographique, une norme doit être établie par les organismes compétents. Le but d'une norme est

d'établir une manière unique pour calculer et reporter les précisions, et ainsi de simplifier l'utilisation appropriée des cartes et de l'information géographique dans les applications diverses (Australian, 2009). La norme permet aux utilisateurs des cartes et des informations spatiales obéissant à cette norme de juger si ces cartes et informations sont suffisamment précises pour leurs applications ou non (Australian, 2009).

La précision des données reste une notion relative puisqu'elle dépend des objectifs arrêtés. Cependant, pour espérer des résultats fiables et pour combiner entre elles des données multisources, on doit respecter certains standards (Clavet, 1988).

7.1 Qu'est-ce que la précision de positionnement ?

Le « Glossary of the mapping sciences » définit la précision de positionnement (positional accuracy) comme : « le degré de conformité avec lequel les coordonnées d'un point déterminé sur la carte correspondent aux coordonnées déterminées par levé ou autres moyens indépendants considérés comme précis » (Committee, 1994). Les positions sur les cartes et les images géoréférencées sont exprimées par les coordonnées horizontales x et y. pour l'évaluation de leurs précisions on utilise un échantillonnage afin de mesurer les écarts entre les positions des objets sur l'image et leurs « vraies » positions sur la surface terrestre (Congalton and Green, 2008).

Ces écarts entre les deux positions sont dus à des erreurs et fautes dans le processus de production.

7.1.1 Erreurs et fautes

Les erreurs sont des inexactitudes absolument inévitables. Elles proviennent de l'imperfection des instruments utilisés, de l'imperfection des sens de l'individu. Leur valeur est faible par rapport aux fautes et de toute façon obligatoirement inférieure à la tolérance. Mais quoique petite, la somme

de ces erreurs donne aux résultats une inexactitude dont il est recommandé de se préoccuper (Milles and Lagofun, 2008).

Les fautes sont des inexactitudes grossières qui proviennent de la maladresse des opérateurs et de leurs aides ainsi que de leurs négligences, elles sont en général facilement décelables. Il s'agit d'une faute lorsque la tolérance donnée pour les observations ou l'approximation donnée pour un instrument est dépassée (Milles and Lagofun, 2008).

7.1.2 Précision et exactitude

Il est important de distinguer dès le départ la différence entre la précision et l'exactitude. L'exactitude est le degré auquel les informations sur une carte ou dans une base de données numérique correspondent aux valeurs vraies ou acceptées. L'exactitude est une question relative à la qualité des données et le nombre d'erreurs contenues dans un ensemble de données ou une carte. Elle peut être définie comme la qualité de l'accord entre l'estimation de la valeur mesurée et la valeur vraie, en dehors des erreurs aléatoires (Congalton and Green, 2008).

Dans certains cas, on répète la mesure plusieurs fois et on obtient toujours des valeurs proches, mais elles peuvent être toutes erronées si un « biais » existe à cause d'une erreur systématique. Dans ce cas on parle de la précision qui est l'accord, dans une zone définie de valeurs à mesurer, entre des mesures répétées effectuées sur un même échantillon dans des conditions constantes et déterminées (Congalton and Green, 2008).

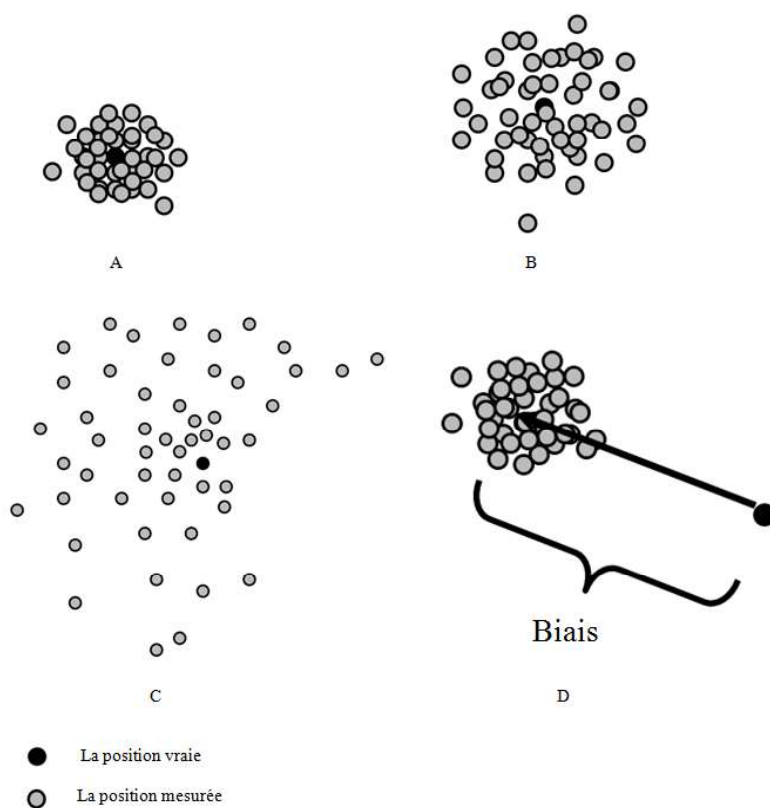


Figure 3-12 Exactitude et précision : A) la précision et l'exactitude sont fortes, B) la précision et l'exactitude sont faibles, C) mesure imprécise et inexacte, D) mesure précise et inexacte.

Certains auteurs parlent de la précision absolue ou externe pour indiquer la notion de l'exactitude et d'une précision relative ou interne quand ils parlent de la notion de précision définie précédemment.

Généralement pour la production des cartes ou orthoimages, on mesure la qualité géométrique par l'usage des points levés par GPS ou des cartes d'échelle plus grande. L'écart type ou autre indicateur de dispersion donnent une idée sur l'étendue de la variation et donc une idée sur la précision. La moyenne des écarts donne une idée sur l'existence des biais.

7.2 Normes et standard de contrôle de qualité géométrique dans le monde

7.2.1 NMAS

En 1941, le bureau du budget des Etats-Unis (maintenant le bureau de management du budget) a développé des normes d'exactitude de position pour les cartes créées par le gouvernement fédéral connu sous le nom « US National Map Accuracy Standard » (NMAS). Bien que révisé périodiquement, les normes sont toujours en service aujourd'hui, cette norme est basée sur le document de Greenwalt et Schultz en 1962 « Principles of error theory and cartographic applications » (Greenwalt and Shultz, 1962).

NMAS a été établie comme norme d'exactitude pour les cartes en papier basé sur l'échelle de publication de la carte. Cette norme représente un critère de rejet donc une carte est acceptée si et seulement si elle satisfait la norme. L'exactitude de position dans NMAS est définie par deux composants :

- L'exactitude horizontale (CE90) ;
- L'exactitude verticale (LE90).

Pour les cartes aux grandes échelles (supérieure à 1/20.000), la tolérance horizontale est 0.8466 mm (1/30in), mesurée à l'échelle de publication (erreur graphique) ;

Pour les cartes aux petites échelles (inférieur à 1/20.000), la tolérance horizontale est 0.5080 mm (1/50in), mesurée à l'échelle de publication.

Si l'erreur en composante x égale à l'erreur en composante y, le facteur 2.146 est appliqué pour calculer l'erreur circulaire au niveau de confiance de 90% (CMAS) (Committee, 1998; Congalton and Green, 2008; Greenwalt and Shultz, 1962).

La norme NMAS est basée sur le calcul de l'erreur moyenne quadratique en x et y, l'exactitude horizontale (CE90), et l'exactitude verticale(LE90), pour contrôler l'exactitude de position.

$$\text{RMSE}_x = \sqrt{[\sum (x_{\text{carte}} - x_{\text{contrôle}})^2 / n]}$$

$$\text{RMSE}_y = \sqrt{[\sum (y_{\text{carte}} - y_{\text{contrôle}})^2 / n]}$$

(x_{carte} , y_{carte}) : les coordonnées des points de contrôle dans la carte ;

($x_{\text{contrôle}}$, $y_{\text{contrôle}}$) : les coordonnées des points de contrôle d'une source indépendante de plus grande exactitude ;

n: le nombre des points de contrôle.

$$\begin{aligned}\text{RMSE}_r &= \sqrt{[\sum (x_{\text{carte}} - x_{\text{contrôle}})^2 + (y_{\text{carte}} - y_{\text{contrôle}})^2 / n]} \\ &= \sqrt{[\text{RMSE}_x^2 + \text{RMSE}_y^2]}\end{aligned}$$

- Si : $\text{RMSE}_x = \text{RMSE}_y$

$$\begin{aligned}\text{CE90} &= 2.1460 \times \text{RMSE}_x = 2.1460 \times \text{RMSE}_y \\ &= 2.1460 \times \text{RMSE}_r / 1.4142 \\ &= 1.5175 \times \text{RMSE}_r\end{aligned}$$

- Si : $\text{RMSE}_x \neq \text{RMSE}_y$

Et : $\text{RMSE}_{\min} / \text{RMSE}_{\max} \in [0,6 \text{ et } 1,0]$, Telle que :

RMSE_{\min} est la valeur plus petite entre RMSE_x et RMSE_y ;

RMSE_{\max} est la valeur plus grande entre RMSE_x et RMSE_y .

$$\text{CE90} \approx 2.146 \times 0.5 \times (\text{RMSE}_x + \text{RMSE}_y)$$

7.2.2 ASPRS

Cette norme est similaire à NMAS du fait qu'elle définit un seuil limitant l'erreur pour une échelle donnée, elle a été développée par « American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) » en mars 1990 comme une première réponse au besoin d'une norme indépendante de l'échelle .

L'ASPRS est considérée comme une mise à jour du NMAS pour les cartes à grandes échelles (supérieure à 1/20.000) dans le format numérique. l'ASPRS

utilise l'erreur moyenne quadratique RMSE pour contrôler l'exactitude des cartes (Congalton and Green, 2008).

7.2.3 NSSDA

Le National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA), mis en œuvre par le Federal Geographic Data Committee (FGDC) en 1998, présente une méthodologie statistique et des tests pour estimer l'exactitude de position des points sur les cartes et les données numériques (format raster ou vecteur) géoréférencées, dérivés à partir des photos aériennes, image satellitaire et lever terrestre, elle fournit un langage commun pour reporter l'exactitude des cartes (Committee, 1998; Congalton and Green, 2008).

Le NSSDA utilise l'erreur moyenne quadratique (RMSE) pour estimer l'exactitude de position. RMSE est la racine carrée de la moyenne de l'ensemble des différences au carré entre les valeurs des coordonnées données et les coordonnées d'une source indépendante d'une plus grande d'exactitude pour les points identiques, au minimum 20 points sont utilisés.

La norme de NSSDA n'utilise pas les tolérances pour évaluer l'exactitude des cartes, mais elle donne la précision de celle-ci.

La précision est rapportée en distances au sol à un niveau de confiance de 95 %. La précision rapportée au niveau de confiance de 95 % signifie que 95 % des positions dans l'ensemble de données aura une erreur par rapport à la position réelle au sol qui est plus petite ou égale à la valeur de précision rapportée.

La valeur de précision rapportée reflète toutes les incertitudes, y compris celles introduites par des coordonnées géodésiques de contrôle, de la compilation et calcul définitif des valeurs de coordonnées terrain dans le produit.

Le $RMSE_{x,y,r}$ sont calculés de la même manière que dans le NMAS.

- Si: $RMSE_x = RMSE_y$;

$$RMSE_r = 1.4142 \times RMSE_x = 1.4142 \times RMSE_y$$

Le facteur 2,4477 est utilisé pour calculer l'exactitude horizontale au niveau de confiance de 95%, la valeur de l'exactitude selon NSSDA, sera calculé par la formule :

$$\begin{aligned} CE_{95} &= 2.4477 \times RMSE_x = 2.4477 \times RMSE_y \\ &= 2.4477 \times RMSE_r / 1.4142 \\ &= 1.7308 \times RMSE_r \end{aligned}$$

- Si: $RMSE_x \neq RMSE_y$;

$$\text{Et: } RMSE_{\min} / RMSE_{\max} \in [0,6 \text{ et } 1,0]$$

$$CE_{95} \approx 2.4477 \times 0.5 \times (RMSE_x + RMSE_y)$$

À la fin de la vérification des produits répondants à cette norme, les métadonnées doivent comporter les mentions suivantes « Tested ____ (meters, feet) horizontal accuracy at 95% confidence level » (Committee, 1998).

7.2.4 Définition des points et leurs distributions

Pour les normes précédentes, les points doivent être bien définis et bien distribués sur la carte. Pour la raison d'objectivité et de rigueur la source des points doit être indépendante, autrement dit, ces données n'ont pas été utilisées dans le processus de création de la carte en cours de test. Cette donnée doit être plus précise, certains manuels parlent de données qui est entre une à trois fois plus précise.

Ces normes ont pris en compte la définition de ces éléments, un point bien défini est un point dont les coordonnées sont très précises dans le système géodésique en vigueur, le point est clairement identifiable sur l'image comme

l'intersection d'objets linéaires à angle droit, les arbres ou touffes isolés, identifiables avec certitude et contrastés dans leur environnement.

Le nombre de points doit être au minimum de 20, certains auteurs précisent qu'un échantillon d'au moins 100 points est nécessaire pour atteindre une confiance de 95%, mais vu le coût très élevé de la collecte de ce grand nombre de points, ces normes gardent un minimum de 20 points. Les points présentant une erreur de plus de trois fois RMSE sont considérés comme des fautes et sont rejetés du test. Afin de s'assurer de la bonne distribution des points dans la carte à contrôler. On divise le document en quadrants ; vérifier pour chaque quadrant qu'au minimum 20% des points se trouvant dans ce dernier sont bien répartis, en faisant le test suivant : la distance entre deux points quelconques doit être à $d/10$. Avec : d est la diagonale du document à contrôler (Congalton and Green, 2008).

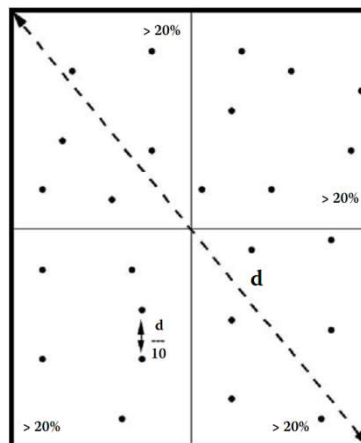


Figure 3-13 La distribution des points de vérifications.

7.2.5 AMSDAS

En Australie le « Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping » a émis en 2009 une norme (Australian Map and Spatial Data Accuracy Standard - AMSDAS) pour le contrôle de qualité des cartes et données géographiques y compris le positionnement horizontal. Elle vient pour

remplacer les « standards of map accuracy » de 1953 et 1975 (Australian, 2009). Cette norme utilise partiellement la norme NSSDA publiée par le FGDC et elle est compatible avec les standard ISO TC211 relatifs à la qualité des données (Australian, 2009).

Les précisions sont rapportées à un seuil de 95% ainsi que la méthodologie pour avoir cette précision. La précision rapportée au seuil de 95% signifie que 95 % des positions dans l'ensemble de données ou sur la carte doivent avoir une erreur par rapport à la position réelle au sol qui est égale ou inférieure à la valeur rapportée de précision. La précision est fournie relativement au sol et en unité métrique. La mesure de précision doit prendre en compte tous les objets de la carte et non pas les points bien définis seulement.

Cette norme propose trois manières pour l'estimation de la précision. La première est d'utiliser une source indépendante dans un minimum de 20 positions comme pour la norme NSSDA. La deuxième est appelée l'estimation déductive pour les cartes vectorielles issue de la digitalisation de la carte en papier, cela se fait par le cumul des erreurs dans la chaîne de création de l'information. La dernière est dite par inférence, où la précision est estimée en utilisant une autre carte d'une série à la même échelle et issue de la même chaîne de traitement, donc par l'estimation de la précision d'une carte donne une idée sur la précision des autres cartes de cette série (Australian, 2009).

Le calcul se fait de la même manière que pour le NSSDA, dans la documentation décrivant la norme (Australian, 2009) seul le cas où $RMSE_x = RMSE_y$ est décrit, mais les détails théoriques et l'origine de la méthode est expliqué dans (Greenwalt and Shultz, 1962) et (Committee, 1998).

8 Conclusion du deuxième chapitre

Le lancement de nouveaux satellites à très haute résolution spatiale pouvant atteindre la résolution décimétrique a fait en sorte que l'imagerie spatiale est devenue une vraie source pour la rédaction cartographique en

intégrant les outils photogrammétriques. Pour réduire le coût et le temps de ces opérations plusieurs études sont faites pour développer des approches intégrant le GPS, la télédétection, la photogrammétrie et les données cadastrales existantes pour la réalisation d'un cadastre fiable et actualisé. La télédétection donne l'avantage d'une vue synoptique du territoire, mais l'image acquise sous sa forme brute présente des aberrations géométriques et radiométriques, se qui nécessite une modélisation pour être éliminées afin que cette donnée soit exploitée.

Les modèles géométriques représentent la relation entre l'espace objet et l'espace image, ce sont des modèles théoriques décrivant la manière dont l'image d'un objet donné est construite par le système, ces modèles appartiennent à deux catégories, des modèles implicites (ou mathématiques) qui modélisent le système d'acquisition par une transformation mathématique entre les deux espaces, et des modèles explicites (physiques ou rigoureux) qui sont des modèles basés sur les paramètres physiques du système d'acquisition.

Après l'application de ces modèles pour l'élimination des différentes erreurs géométriques, le produit final est appelée orthoimage. Avant d'être utilisée cette orthoimage nécessite une évaluation de la précision de positionnement, ceci revient à évaluer le degré de conformité avec lequel les coordonnées d'un point déterminé sur ce produit correspondent aux coordonnées déterminées par levé ou tous autres moyens indépendants considérés comme précis. Pour ce faire plusieurs normes sont présentes à travers le monde, les plus connus sont celles des Etats-Unis à savoir NMAS et NSSDA.

La troisième partie de ce manuscrit sera consacrée à l'application des techniques déjà discutées sur la willaya d'El-Bayadh ainsi que la généralisation de la méthodologie de production et de contrôle développée, pour le reste du territoire national.

Troisième partie : Cadastre steppique et saharien d'El Bayadh et la problématique de généralisation

*Troisième partie : Le cadastre steppique et saharien
d'El Bayadh et la problématique de généralisation*

Chapitre I

Étude pilote sur la commune d'El Bayadh

1 Introduction

L'objectif recherché à travers cette étude est de fournir au service du cadastre des solutions adaptées aux spécificités des espaces steppiques en utilisant l'imagerie satellitaire. Dans le cadre de cette étude pilote, la commune d'El-Bayadh est prise comme site test afin de permettre de dégager les premières conclusions.

Pour cause des différentes sources d'altérations (mouvement du satellite, géométrie d'acquisition, topographie du terrain) affectant l'image satellite, un ensemble de traitements doit se faire afin de rendre l'image exploitable pour la conduite des opérations de cartographie.

Pour l'orthorectification, on a choisit de travailler avec deux sources différentes de MNT. La première concerne les courbes de niveaux, issues de la carte de 1/50000e de la région d'El Bayadh, et la deuxième est liée aux les données SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), SRTM est une des missions de la navette spatiale de la NASA, qui avait pour but de cartographier le relief terrestre (environ 90% de la surface mondiale émergée). Les données recueillies lors de cette mission sont mises à la disposition du public, sous certaines conditions. Ces données ont une résolution d'environ 90m (3 secondes d'arc), c'est-à-dire qu'un point de mesure donne l'élévation d'un carré de 90m de côté.

2 Processus suivi pour la réalisation de la spatiocarte

La chaîne de traitement, retenue pour la réalisation de la spatiocarte, passe donc par un certain nombre d'étapes de traitements et de contrôle. Les différentes phases suivies sont exposées dans l'organigramme suivant :

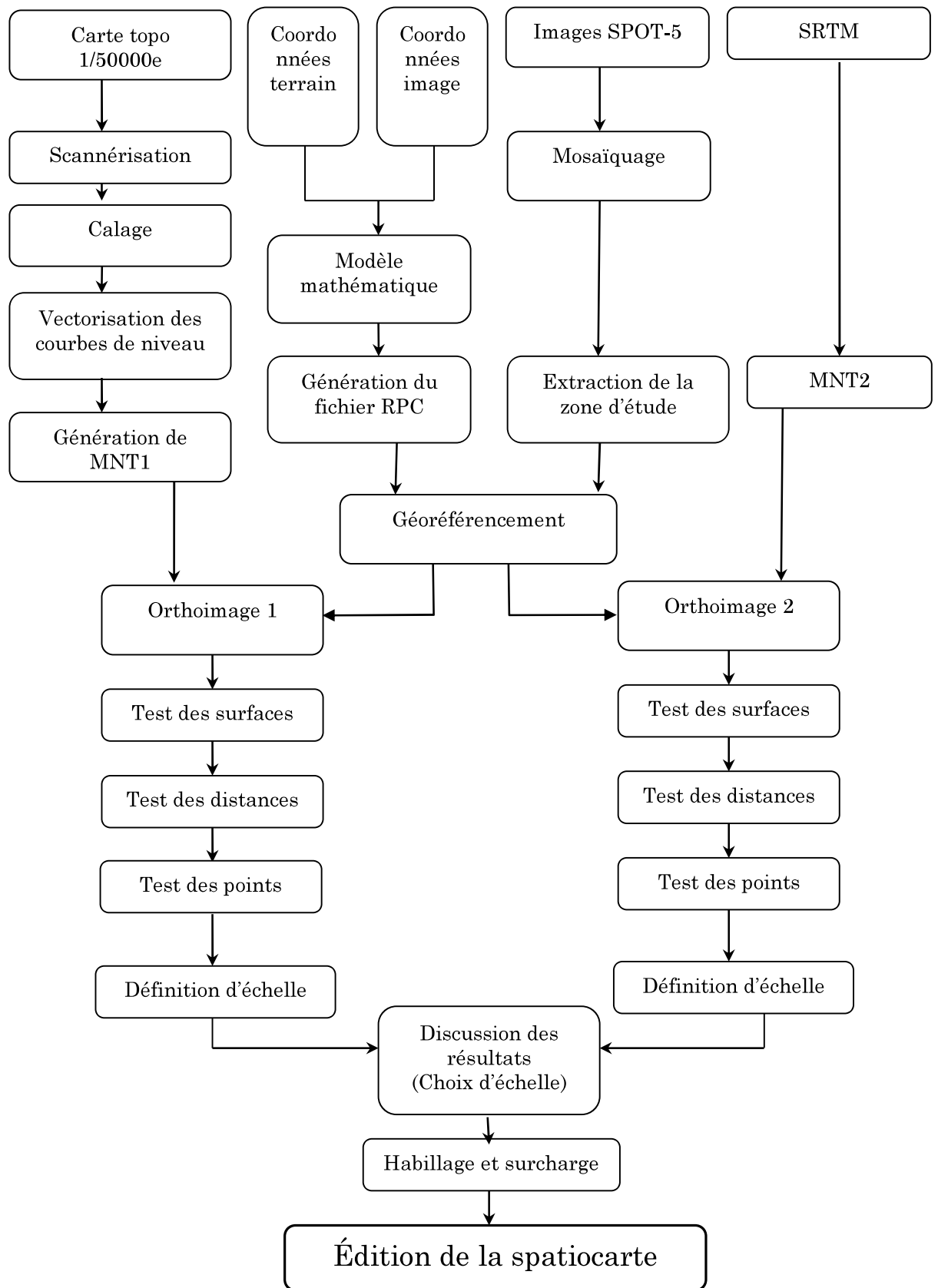


Figure 4-1 Processus élaboré pour la réalisation de la spatiocarte

3 Description des données utilisées

Dans cette étude l'imagerie SPOT-5 est utilisée, la scène couvrant la commune d'El Bayadh est composée de deux parties, nord et sud, en super mode avec une résolution de 2.5m. Les aperçus des images et leurs caractéristiques se résument dans les tableaux suivants:

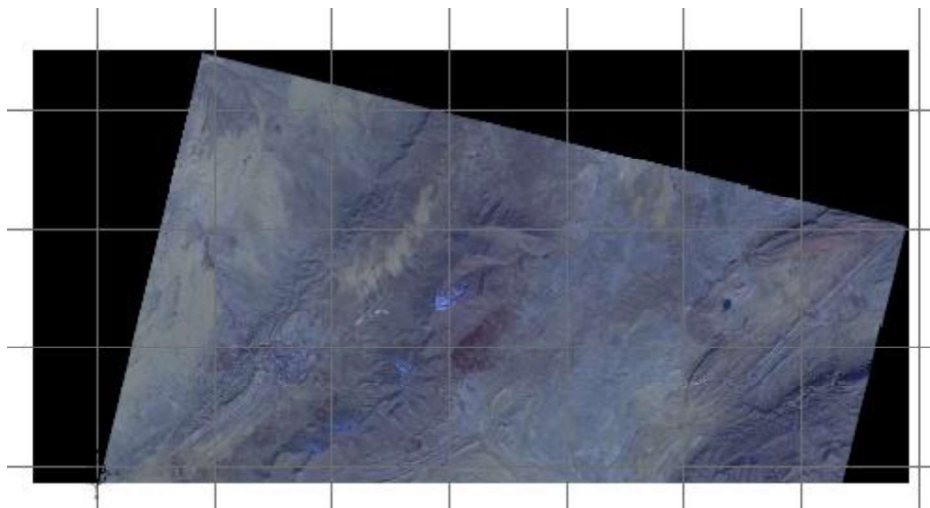


Figure 4-2 Aperçu de la partie Nord de la scène d'El Bayadh

Tableau 4-1 Caractéristiques de la partie Nord de la scène SPOT-5

Partie Nord de la scène	Caractéristiques
Nom de l'image	0_0-Algeria_050109_tx_282_6 spot view
Date	18-09-2006
Niveau de traitement géométrique	Précision 2A
Niveau de traitement radiométrique	BASIC
Nombre de colonnes	29813
Nombre de lignes	14593
Nombre de bandes spectrales	3
Table de géocodage	EPSG
Type de système de coordonnées horizontales	Projected
Nom d'identification de système de coordonnées horizontales	32631WGS84/UTM31N
Système de coordonnées géographique	WGS1984
Type de produit	SC241V20N
Résolution spatiale (mètre)	2.5*2.5
Fournisseur	SPOT IMAGE
Localisation géographique	$\lambda_{\min} = 1.5866(DEG)$ $\lambda_{\max} = 0.8451(DEG)$ $\varphi_{\min} = 33.9179(DEG)$ $\varphi_{\max} = 33.5875(DEG)$

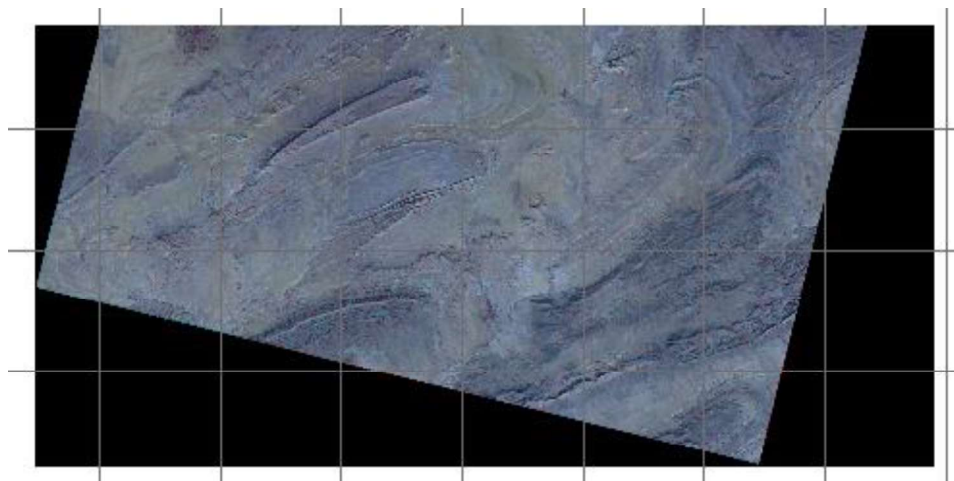


Figure 4-3 Aperçu de la partie Sud de la scène d'El Bayadh.

Tableau 4-2 Caractéristiques de la partie Sud de la scène SPOT-5.

Partie Sud de la scène	caractéristiques
Nom de l'image	1_0-algeria_050109_tx_042_282_6 spot view
Date	18-09-2006
Niveau de traitement géométrique	Précision 2A
Niveau de traitement radiométrique	BASIC
Nombre de colonnes	29813
Nombre de lignes	14593
Nombre de bandes spectrales	3
Table de géocodage	EPSG
Type de système de coordonnées horizontales	Projected
Nom d'identification de système de coordonnées horizontales	32631WGS84/UTM31N
Système de coordonnées géographique	WGS1984
Résolution spatiale (mètre)	2.5*2.5
Type de produit	SC241V20N
Fournisseur	SPOT IMAGE
Localisation géographique	$\lambda_{\min} = 1.5866(Deg)$ $\lambda_{\max} = 0.8451(Deg)$ $\varphi_{\min} = 33.9179(Deg)$ $\varphi_{\max} = 33.5875(Deg)$

Outre la donnée image SPOT-5, on a utilisé les cartes, les plans et les points d'appui suivants :

- Une carte topographique de la région d'El Bayadh, à l'échelle de 1/500000^e ;

- Un fichier de coordonnées points (x, y, z) de la zone d'étude, obtenu par des mesures GPS (mission effectuée par trois brigades sur le terrain),
- Cinq sections cadastrales rurales, obtenues de la direction du cadastre de la wilaya d'El Bayadh, à l'échelle de 1/10000^e,
- Quatre superficies de parcelles agricoles, calculées à partir d'un levé topographique,
- Et un produit MNT SRTM de la région d'El-Bayadh.

4 La mission GPS pour la collecte des points d'appui

Elle a pour but d'équiper la zone de travail de points d'appui et de vérification pour le géoréférencement de l'image. La mission a été effectuée du 28 mai au 31 mai 2007 où des moyens relativement importants ont été mobilisés, en l'occurrence, quatre récepteurs GPS bifréquences et trois véhicules tout terrain. L'ensemble des points levés ont été déterminés avec une précision centimétrique.

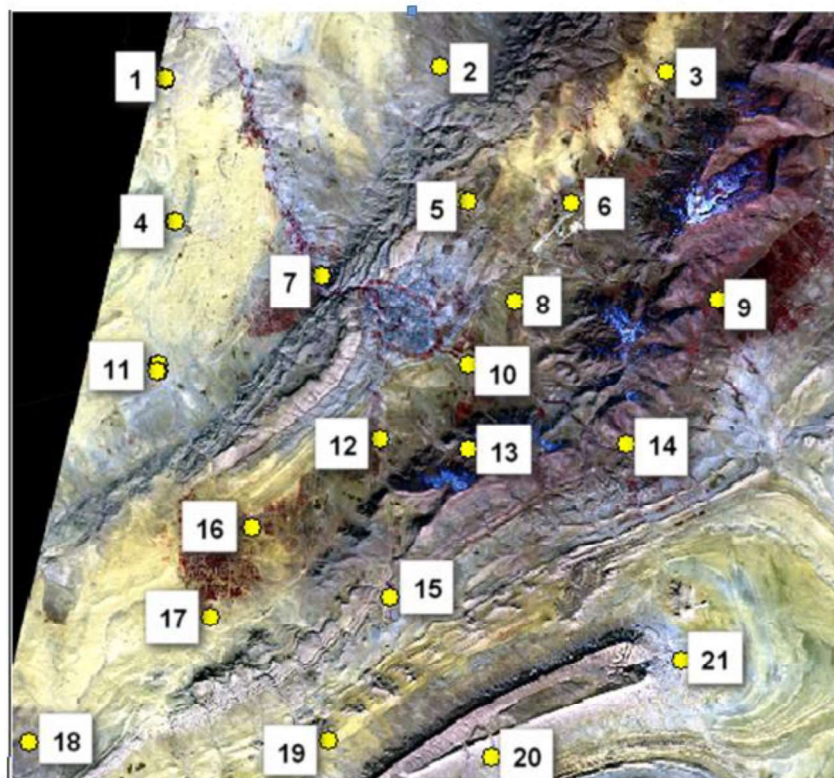


Figure 4-4 Répartition des points d'appui sur l'image

5 Prétraitement des données

On désigne par prétraitement des données, la phase qui précède la manipulation des données. Elle consiste en :

- Scannérisation des plans cadastraux et la carte topographique de 1/50.000
- Calage et digitalisation des sections cadastrales
- Transformation des coordonnées des points d'appui (des coordonnées géographiques vers UTM)
- Calage et digitalisation des courbes de niveau de la carte topo
- Génération du MNT, à partir des courbes de niveaux vectorisées
- Téléchargement et préparation du MNT SRTM.

6 Génération du modèle numérique de terrain

Vu que les erreurs géométriques présentes sur l'image sont directement liées à l'élévation du terrain, on a opté pour l'utilisation de deux sources de données, l'une issue des courbes de niveau numériques de la carte topo 1/50.000 (MNT-DCN), et l'autre est le SRTM (MNT-SRTM).

L'utilisation du MNT-SRTM, au cas où les tests seront concluants, dans les travaux de cadastre, permettra de s'affranchir des problèmes de disponibilité du MNT dans certaines régions du pays.

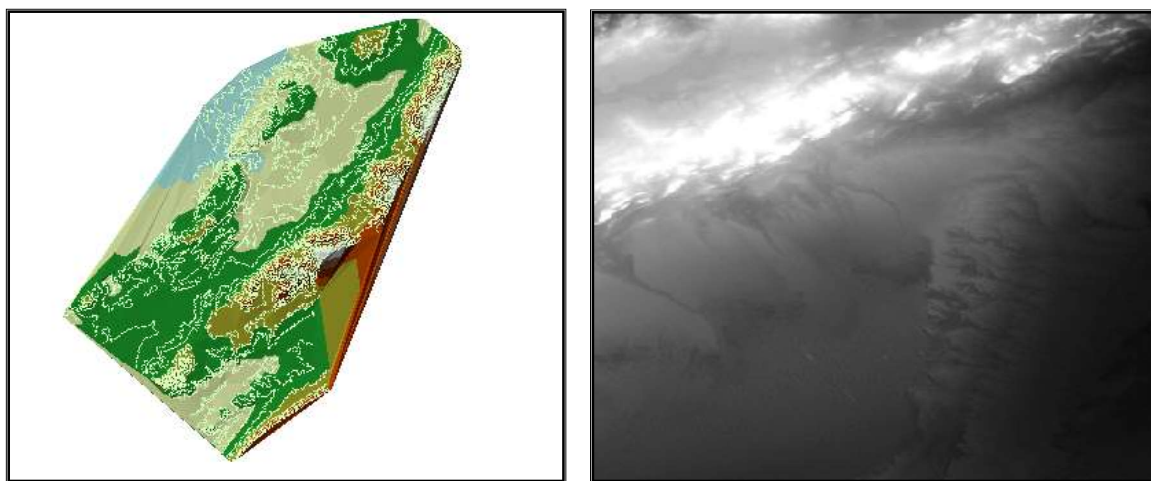


Figure 4-5 Les MNT's de la région : réalisée à partir de la carte topo à gauche et SRTM à droite.

7 Génération des orthoimages

Après avoir collecté et préparé l'ensemble de données, on passe à la création des orthoimages, Cette phase comprend deux étapes, le géoréférencement et l'orthorectification.

7.1 Le modèle de correction géométrique

Afin de garantir un maximum de précision, trois modèles de correction géométrique ont été testés et évalués selon différentes configurations et distributions des points d'appuis. Il s'agit en l'occurrence, du modèle polynomial de deuxième degré, du modèle parallèle et enfin du modèle parallèle deuxième degré, ce dernier est une combinaison des deux premiers modèles où les colonnes (X image) sont modélisées par une perspective comme dans le cas du modèle parallèle, mais les lignes sont modélisées par un polynôme de second ordre.

$$X = \frac{a_1x + a_2y + a_3z + a_4}{a_5x + a_6y + a_7z + a_8}$$

$$Y = b_1x^2 + b_2y^2 + b_3z^2 + b_4xy + b_5xz + b_6yz + b_7x + b_8y + b_9z + b_{10}$$

Où :

X, Y : coordonnées image

x, y, z : coordonnées terrain

Les statistiques calculées sur les points de contrôle, en l'occurrence une erreur moyenne de 1.66 pixel et un écart type (ET) de 1.04pixels, nous ont permis de retenir le troisième modèle pour la suite des travaux. Les résultats des statistiques des points de contrôle sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau 4-3 Résultat des modèles mathématiques sur les points de contrôle

	Statistiques en X		Statistiques en Y		Statistiques en D	
	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET
parallèle	-0.3857	1.6698	-0.4153	1.7989	2.0922	1.4029
Poly 2d deg	1.0024	2.0387	0.1833	0.9484	2.0388	1.3919
Para-2nd deg	-0.3857	1.6698	0.1833	0.9484	1.6678	1.0432

Parallèle : Le modèle parallèle.

Poly 2d deg : Le modèle polynomial de deuxième degré.

Para-2nd deg : Le modèle parallèle - deuxième degré.

Statistiques en (X, Y et D) sont données en pixels

Ces modèles sont calculés par un programme implémenté sous MATLAB, ce programme permet de résoudre les coefficients des modèles en se basant sur les coordonnées terrain et images des points d'appui, ainsi que la structuration des résultats sous le format RPC ; cette structuration est possible vu que les modèles précédents sont pris comme des cas spéciaux de la RFM en 3e ordre. L'organigramme sommaire de calcul pour chacun des modèles est le suivant :

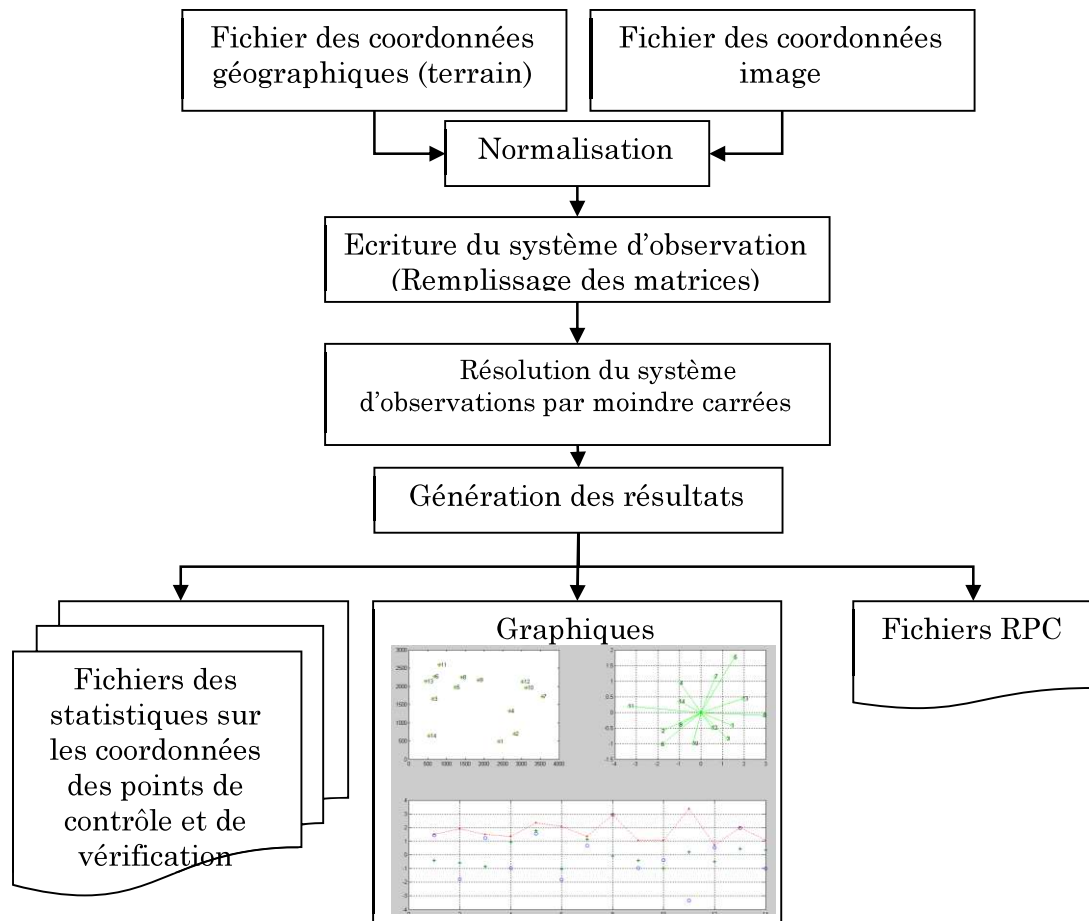


Figure 4-6 Organigramme du programme de la modélisation mathématique

Les fichiers des coordonnées sont écrits sous un format défini ; pour les points « objet » (terrain) les coordonnées sont géographiques en degrés décimaux avec le Datum WGS-84 et l'altitude en mètres et les points « image » en pixels tel que l'origine est le coin supérieur gauche de l'image.

Après la lecture des coordonnées, le programme fait appel à la routine de normalisation. Cette routine a comme entrée le fichier des coordonnées et en sortie les coordonnées normalisées avec les translations et les facteurs d'échelles (cette opération a pour but de rendre les coordonnées objet et image entre -1 et +1).

L'étape suivante consiste à remplir les matrices qui représentent le système d'observation, ce système est différent pour chacun des modèles géométriques, donc selon l'équation qui représente le modèle, une matrice de configuration (A) avec un vecteur d'observation (B) sont remplis à l'aide des coordonnées normalisées.

À ce stade, on passe à la résolution par moindres carrés pour l'extraction des paramètres des modèles.

Une fois les paramètres déterminés, les coordonnées image sont recalculées en utilisant le modèle et les coordonnées terrain. À la fin, les résultats sont générés sous trois formes, statistiques, graphiques et fichiers RPC. L'avantage que présente l'utilisation des RPC est la possibilité d'exploitation par plusieurs logiciels de traitement d'image pour la correction géométrique et l'orthorectification.

7.2 Définition des normes cartographiques

La validation des produits générés doit être faite par rapport à des normes prédéfinies. Les normes relatives à ce genre d'applications sont malheureusement inexistantes en Algérie. Les méthodes de contrôle utilisées par le cadastre pour la validation des orthophotoplans au 1/5.000 en se basant sur la mesure des distances ne s'appliquent pas dans le cas d'images satellitaires du fait de la grande superficie couverte (60x60 km² dans le cas de SPOT-5 par exemple).

Une recherche bibliographique a été effectuée afin d'avoir une idée de ce qui se fait dans le domaine des normes de contrôle à travers le monde. Le choix d'une norme donnée doit tenir compte, des spécificités de chaque pays en

termes de nature des superficies à lever (étendu et détails), moyens et délais d'exécution. Dans cet ordre d'idées, nous nous sommes basés sur les normes définies dans le "*United States National Map Accuracy Standards*" NMAS, appliquées aux USA. Cette norme est très adaptée aux grandes étendus (cas de nos régions steppiques et sahariennes). La norme NMAS se base sur le contrôle par des mesures ponctuelles. Elle utilise l'indice CE90 qui fixe une tolérance contenue dans un intervalle de confiance de 90%.

$$CE90 = 2.1460 * \sigma_c, \text{ où } \sigma_c \text{ donne l'écart type sur la position}$$

Où $CE90 = 1.8227 * CPE$ où CPE (Circular Probable Error) est la valeur de la tolérance dans un intervalle de confiance de 50%.

La norme NMAS (adoptée dans ce travail) est justement basée sur des indices liés à la probabilité de l'erreur. Concrètement, elle est dérivée des tests effectués sur les versions papiers des cartes. Ces versions papiers restent, jusque là, les plus adaptées pour une utilisation sur terrain, notamment pour les travaux du cadastre.

En ce basant donc sur des intervalles de confiance, cette norme exige que pour des cartes à publier dans des échelles plus grandes que le 1/20 000, pas plus que 10% des points mesurés dépassent la tolérance de 0.847 mm (1/30 inches) à l'échelle de la carte. Pour les cartes à une échelle plus petite que le 1/20 000e, cette tolérance est de 0.508 mm (1/50 inches) (Committee, 1998).

La norme NMAS fixe également une relation entre l'indice CE90 et l'échelle de restitution. Elle est donnée pour des échelles plus grandes que 1/20.000 par :

$$E = CE90 \times 100 / (2,54 \times 0,03333), \text{ où CE90 est donné en mètre}$$

Pour l'échelle au 1/10.000 suggérée par l'ANC dans le cadre de cette étude pilote, cette norme exige un indice de tolérance $CE90 = 8.47\text{m}$.

Le calcul du CE90 dans le cas où $\sigma_x \neq \sigma_y$ passe par le calcul du CEP (Circular Error Probable) qui est un autre indice équivalent à un intervalle de confiance de 50%. Dépendamment de la valeur du rapport $\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$, où σ_{\min} et σ_{\max} donnent respectivement le minimum et le maximum des grandeurs σ_x et σ_y , le CPE est calculé comme suit (Greenwalt and Shultz, 1962):

$$\sigma_{\min}/\sigma_{\max} \text{ entre } 1.0 \text{ et } 0.3 : \text{CPE} = 0.6142 \sigma_{\min} + 0.5632 \sigma_{\max}$$

$$\sigma_{\min}/\sigma_{\max} \text{ entre } 0.3 \text{ et } 0.2 : \text{CPE} = 0.4263 \sigma_{\min} + 0.6196 \sigma_{\max}$$

$$\sigma_{\min}/\sigma_{\max} \text{ entre } 0.2 \text{ et } 0.1 : \text{CPE} = 0.2141 \sigma_{\min} + 0.6621 \sigma_{\max}$$

$$\sigma_{\min}/\sigma_{\max} \text{ entre } 0.1 \text{ et } 0.0 : \text{CPE} = 0.09 \sigma_{\min} + 0.6745 \sigma_{\max}$$

Il reste à signaler qu'il n'est pas recommandé d'utiliser le concept d'erreur circulaire quand le rapport $\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ est inférieur à 0.2.

8 Contrôle de la qualité géométrique des orthoimages

Trois types de tests ont été retenus pour la validation des produits cartographiques. Il s'agit de mesures ponctuelles, linéaires et surfaciques (voir Annexe 1). La validation s'est effectuée par comparaison entre des mesures (ponctuelles, linéaires et surfaciques) issues du levé direct par GPS et celles issues d'une digitalisation directe sur les orthoimages générées. Pour les mesures ponctuelles, on a obtenu une localisation avec une erreur moyenne de 1.35m pour l'orthoimage générée par le MNT-DCN et une erreur de 1.34m pour celle du MNT-SRTM (Annexe 1). Les mesures des surfaces donnent un écart moyen inférieur à 1% de la surface mesurée. Les résultats détaillés sont donnés dans l'Annexe 12.

9 Résultats et discussion

9.1 Échelle de restitution

La procédure d'orthorectification appliquée, en utilisant les produits MNT-DCN et MNT-SRTM, a donné après validation, les indices de précision suivants (Annexe 1):

CE90 = 5.23m pour l'orthoimage issue MNT-DCN

CE90 = 6.32m pour l'orthoimage issue du MNT-SRTM

Comme on peut le constater, les indices de tolérance obtenus sont inférieurs au seuil exigé par une échelle de restitution au 1/10.000 (CE90 = 8.47m). Ceci nous permet de confirmer que la qualité géométrique de la spatiocarte produite permet de générer des plans cadastraux au 1/10.000.

9.2 Analyse des superficies

La validation, en termes de superficies, des deux orthoimages a été effectuée par comparaison des superficies d'un ensemble de parcelles dont la surface a été établie par levé direct sur terrain. La superficie de ces parcelles varie entre 5 à 20 hectares.

Les résultats donnés sur les tableaux 3 et 4 de l'Annexe 1 montrent une différence moyenne de moins de 1% de la superficie globale.

La validation des superficies par le cadastre s'effectue en utilisant la formule de tolérance suivante :

$$T = 4 \times \frac{E}{5000} \times \sqrt{S} \text{ Où}$$

'E' donne l'échelle de sortie (1/10.000 dans notre cas) et 'S' donne la surface de la parcelle à valider. Sur les deux tableaux 3 et 4 de l'Annexe 1, on remarque que les parcelles ont été digitalisées avec un écart inférieur à la norme cadastrale.

NB : La différence entre les termes '*moyenne*' donnés dans les tableaux 3 et 4, montre que les deux orthoimages issues respectivement des MNT-DCN et MNT-SRTM ont presque la même qualité géométrique. Cette différence n'est pas significative dans la mesure où elle est due à une erreur d'identification des limites.

10 Transformation en couleurs pseudo-naturelles

On désigne par le terme "*couleur pseudo-naturelle*" des couleurs construites à partir de bandes spectrales originales pour approximer l'apparence visuelle des objets qu'on voit dans la nature (végétation en vert, eau en bleu ...etc.). La raison principale pour la visualisation en couleur pseudo naturelle peut être l'esthétique de l'image, ou l'interprétation des documents par des utilisateurs non habitués aux images en fausse couleur.

Le principe général de la méthode consiste à utiliser des combinaisons variées des canaux disponibles pour construire trois pseudo-bandes spectrales correspondantes aux longueurs d'ondes des trois couleurs primaires (Bleu, Vert et Rouge,).

Par exemple :

Pour TM une simple composition colorée (TM1, TM2, TM3) suffit.

Pour SPOT un simple modèle linéaire utilisé ¹:

$$B = 0.75 \times V - 0.25 \times PIR$$

$$V = 0.75 \times V + 0.25 \times PIR$$

$$R = R$$

D'autres approches appliquent un algorithme équivalent à une classification supervisée. En premier lieu des zones d'apprentissage sont choisies pour chaque type d'objet, ensuite un triplet radiométrique est affecté à chaque classe.

Une autre méthode est le calcul d'une transformation linéaire entre deux espaces de couleurs.

¹ http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/opt_int.htm

10.1 Calcul de transformation par moindres carrées

Le principe est de calculer par moindres carrés une transformation entre l'image en fausses couleurs (proche infrarouge, rouge et vert) vers des couleurs pseudo-naturelles en se basant sur l'interprétation.

Notre jeu de données est composé de six zones test, en affectant le vert et le rouge à partir de l'image et en variant le bleu jusqu'à avoir la couleur recherchée :

Nature	Fausse Couleur	Couleur pseudo-naturelle
Végétation 1		
Terre labouré 1		
Terre labouré 2		
Sol nu		
Foret		
Végétation 2		

L'équation de cette transformation est :

$$CPN = L_1PIR + L_2R + L_3V \quad 22$$

PIR : La valeur de proche infra-rouge.

R = La valeur du rouge.

V = La valeur du vert.

CPN = Couleur pseudo-naturelle.

Après la résolution de ce système par moindres carrées, on a obtenu les paramètres suivants :

$$CPN-R = R.$$

$$CPN-V = V$$

$$CPN-B = -0.21 * PIR - 0.095 * R + 0.7 * V$$

Pour le cas de la transformation d'une image SPOT-5, on garde le rouge et le vert naturel et on calcule un pseudo canal qui remplace le bleu afin d'obtenir un affichage le plus proche de l'image en couleur naturelle. Avec le MODELER du logiciel ERDAS et par le modèle dans la figure suivante, on a obtenu une image très proche des couleurs naturelles.

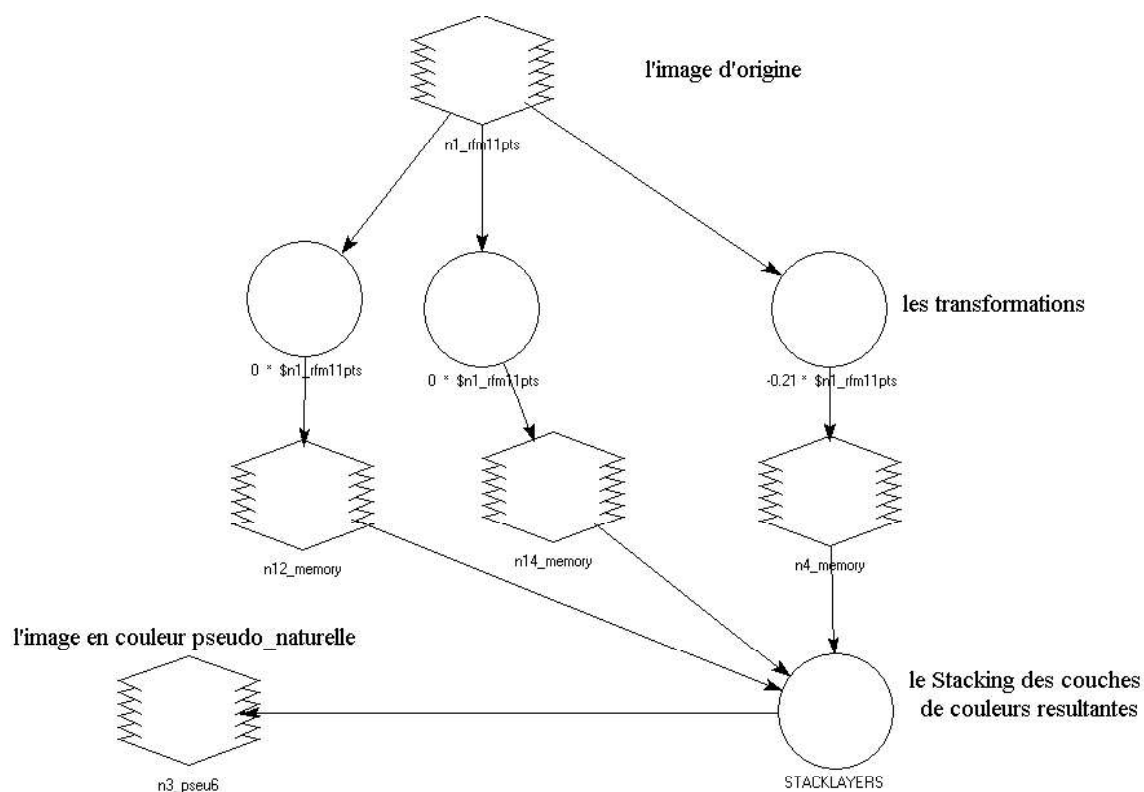


Figure 4-7 L'organigramme de la transformation en couleur pseudo-naturelle.



Figure 4-8 Echantillon d'image en fausse couleur et sa transformation en couleurs pseudo-naturelles

11 Propositions pour la conduite des travaux de cadastre

11.1 Délimitation sur produits numériques (digitalisation sur écran)

Du fait que les produits manipulés (images satellitaires) sont sous format numérique, le travail final de délimitation doit se faire directement sur écran. Cela permettra, d'une part, de garantir plus de précision lors de la délimitation (profiter du zoom) et d'avoir une documentation cadastrale numérique, d'autre part.

11.2 Edition de la spatiocarte pour les travaux de terrain

Pour des contraintes de coûts et de moyens, il n'est pas évident de travailler, directement, sur le terrain avec des produits numériques. Dans ce sens, on propose d'introduire des documents de travail sous format papier. Ces documents vont être édités (pour les besoins de cette étude pilote) sous différentes échelles, afin de tester la conduite des opérations de délimitation.

Comme premières propositions, on aura à produire, des orthoimages aux échelles suivantes :

- Un tirage au 1/50.000 pour les travaux de sectionnement.
- Des tirages aux 1/10.000 pour la conduite des travaux de terrain.

11.3 Avantages

Les avantages de la stratégie décrite dans les paragraphes précédents permettent de :

- Profiter pleinement de la qualité géométrique et sémantique de la donnée de base (orthoimage numérique).
- Possibilité de continuer de travailler avec la procédure actuelle (celle utilisant l'orthophotoplan)
- Garantir un passage évident vers un cadastre numérique.

11.4 Premières propositions

Sur la base de ces documents cartographiques, les opérations suivantes peuvent être conduites :

- Établissement d'un plan d'ensemble du périmètre urbain de la commune par digitalisation sur écran.
- Après la phase de sectionnement sur papier, report des limites sur écran.
- Sur la base des tirages papiers à l'échelle 1/ 10 000, les opérations de reconnaissance et de prédélimitation s'exécuteront sur le terrain.

Comme pour le cas du procédé classique, un complètement topographique sur terrain doit être effectué.

- Digitalisation des limites sur écran en se basant sur les documents terrain déjà établi.

11.4.1 Etablissement d'un plan d'ensemble du périmètre urbain de la commune

Après la délimitation du périmètre communal, la spatiocarte établie va nous permettre de constituer un plan d'ensemble des agglomérations de la commune. Les règles actuelles de découpage en secteurs et en sections peuvent être maintenues. Il est à noter ici, que le sectionnement débute sur un tirage papier de la spatiocarte, en utilisant le gabarit correspondant, puis le technicien du cadastre reporte ces nouvelles limites sur l'image numérique.

11.4.2 Opération de délimitation, en milieu rural

Pour le milieu rural, on suggère de reporter le maximum de détails visibles sur l'image (parcelles agricoles, oasis, terrains de parcours, réseau hydrographique, etc.), ensuite, comme dans le procédé classique, un complètement topographique sur terrain.

11.4.3 Délimitation du domaine public, en zones rurales

En plus la délimitation classique du domaine public, on propose de réaliser une nouvelle couche d'information (cartographie). Pour cela, une cellule au niveau de chaque direction de wilaya sera instaurée (les wilayas steppiques sont concernées). Elle est chargée de réaliser des plans et des cartes reportant tous les détails et les limites du domaine public, que ce soit naturel ou artificiel, et ce en zones rurales. C'est-à-dire, une cartographie prompte, afin de satisfaire les besoins nationaux en matière d'investissement économique. L'objectif est de faire la distinction entre tout ce qui est domaine de l'État de celui des propriétés privées.

11.4.4 Autres produits

Le bureau des travaux spéciaux du service du cadastre est chargé de réaliser des levés et travaux topographiques au profit des autres services étatiques (travaux publics, hydraulique, aménagement de territoire, etc.). Ces tâches peuvent être enrichies en l'occurrence :

- Des couches altimétriques ou modèles numériques de terrain. MNT (par numérisation, par couples d'images, soit par commande directe du produit). Le MNT, déjà utilisé pour l'orthorectification, ne doit pas rester dans les archives des services du cadastre, pourrait être utilisé ultérieurement ;

- Autres produits cartographiques, dérivés de l'image SPOT-5, comme la carte d'occupation du sol, carte de l'indice de végétation (NDVI), carte du risque de désertification, pour chaque commune, sa réalisation est confiée au même bureau, et ce afin de s'engager dans les programmes nationaux de développement pour lutter contre les fléaux naturels qui menacent ces zones steppiques (désertification, criquets, etc.).

Une masse considérable d'informations sera élaborée, où les techniciens du cadastre participeront d'une manière efficace dans le développement économique du pays. Le service du cadastre restera comme toujours au service d'autres utilisateurs de l'information numérique géoréférencée.

12 Conclusion du premier chapitre

Cette étude pilote sur la commune d'El-Bayadh à permis de valider la méthodologie de production notamment l'application de la norme NMAS et l'étude des limites d'utilisation des orthoimages à 2.5m de résolution à des fins cadastrales.

Les possibilités d'étendre cette étude sur des territoires plus larges sera discuté dans les chapitres suivants.

Chapitre II

La couverture cadastrale de la willaya d'el Bayadh

1 Introduction

Après l'étude pilote sur la commune d'El Bayadh, les résultats ont été jugés satisfaisants par l'ANC. Ainsi l'Agence National du Cadastre a décidé de généraliser l'utilisation de ce produit issue de l'image satellitaire à très haute résolution, en commençant par une couverture de la willaya d'El Bayadh.



Figure 4-9 Carte administrative de la willaya d'El Bayadh

El-Bayadh est une willaya steppique de superficie 71696.653 Km² comprenant 22 communes. Elle est comprise entre les longitudes $\lambda=0^{\circ}25'$ ouest et $\lambda=2^{\circ}22'$ et les latitudes $\varphi=30^{\circ}41'$ et $\varphi = 34^{\circ}27'$.

La réalisation dans les meilleurs délais possible d'une couverture cadastrale pour la totalité du territoire national constitue un objectif

stratégique. Les exigences du cadastre se portent sur quatre volets, la résolution, la couleur et qualité de l'image, l'orthorectification et les coupures.

Résolution :

L'image satellitaire doit permettre la réalisation des travaux ci-après :

- L'identification des limites des agglomérations.
- L'identification des zones d'intérêts.
- L'interprétation des textures.
- Le positionnement des détails ponctuels.
- La vectorisation des détails linéaires.
- L'édition de plans cadastraux au 1/10.000 (zones steppiques) et 1/200.000 pour les zones désertiques.
- La résolution doit être : de 2,5 m et 15 m.

La couleur

L'image doit permettre la détermination des détails sur le terrain et une bonne interprétation visuelle. L'apparence en couleurs naturelles permet une utilisation facile pour les agents de terrain du cadastre qui ont l'habitude de manipuler des orthophotos, mais pas des images en combinaison fausses couleurs.

L'orthorectification

L'image doit être orthorectifiée en utilisant un MNT adapté avec la précision requise dans le système géodésique et la représentation plane en vigueur. L'arrêté du 24 Dhou El Hidja 1423 correspondant au 25 février 2003 fixe les systèmes de référence des coordonnées géographiques, planimétriques et altimétriques relatifs au territoire national.

Tableau 4-4 les systèmes de référence officiels

Zone	Système Géodésique	Ellipsoïde Méridien origine associé	Projection	Méridien origine
Territoire national	Nord Sahara	Clarke 1880	UTM Fuseaux 29,.30,31 et 32	-9°; -3° ; +3° ; +9°
	WGS-84	IAG - GRS 80	UTM Fuseaux 29,.30,31 et 32	-9°; -3° ; +3° ; +9°

Les paramètres primaires du Clarke 1880 : Demi-grand axe a : 6378249.154 m ; Aplatissement f : 1/293.4660208.

Les paramètres primaires de l'IAG - GRS 80 :Demi-grand axe a : 6378137 m ; Aplatissement f : 1/298.257223563.

Les coupures

La livraison se fera par un découpage selon les limites communales avec la prise en compte des buffers sur ces limites de 2km pour les orthoimages de résolution de 2.5m et un buffer de 5km sur les images de 14.25m, ces buffers permettront une éventuelle correction ou changement des limites communales.

2 Stéréopréparation

Le but de cette phase est l'équipement du bloc en points d'appuis et de contrôle sur la base d'une distribution optimale. Le bloc comprend 18 scènes d'images SPOT-5 couleur à 2.5m de résolution avec des recouvrements entre les scènes.

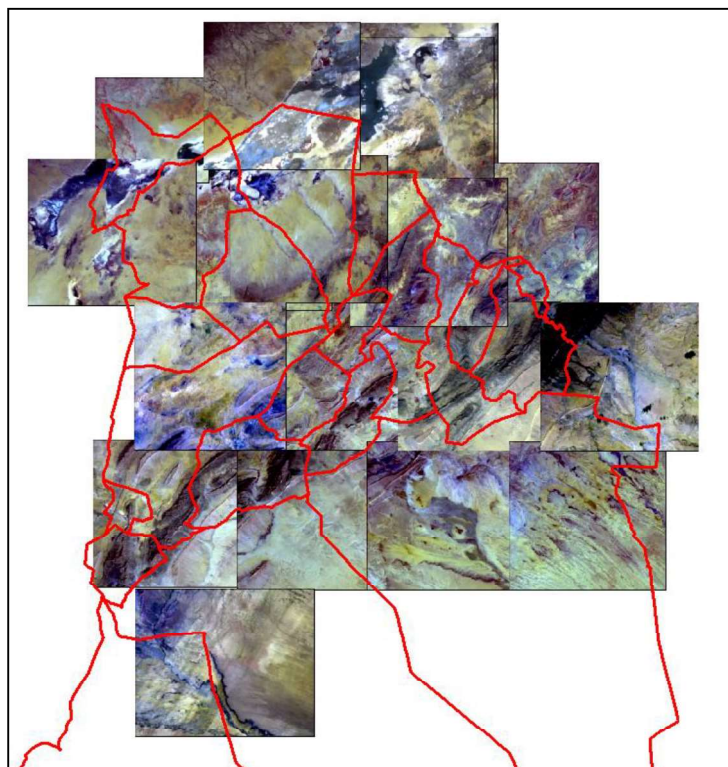


Figure 4-10 Couverture SPOT-5 de la wilaya d'El-Bayadh

La campagne GPS a été effectuée du 27 avril au 08 mai 2009 où 3 récepteurs GPS bifréquences et 2 véhicules tout terrain ont été utilisés. L'ensemble des points levés a été déterminé avec une précision centimétrique.

Tenant compte, d'une part, de la nature de la région test (relativement accidentée) et des objectifs escomptés, d'autre part, soixante-deux points ont été observés afin d'avoir un maximum de jeux de données, qui nous permettra d'optimiser la suite des travaux. Le choix de ces points répondait aux critères suivants :

- Distribution homogène couvrant l'ensemble du bloc
- Points facilement accessibles et identifiables (intersections de routes ou pistes, hangar...) sur terrain et sur les images.
- Points suffisamment dégagés afin d'éviter les éventuelles obstructions du signal GPS

Les points sont choisis de telle sorte qu'ils soient faciles à repérer sur le terrain avec un accès facile pour les observations et en même temps bien identifiables sur les scènes afin de lever toutes ambiguïtés lors des observations sur l'image au bureau. En plus de leurs tailles et de leurs formes, une bonne distribution de ces derniers est prise en compte afin de garantir une très bonne précision finale.

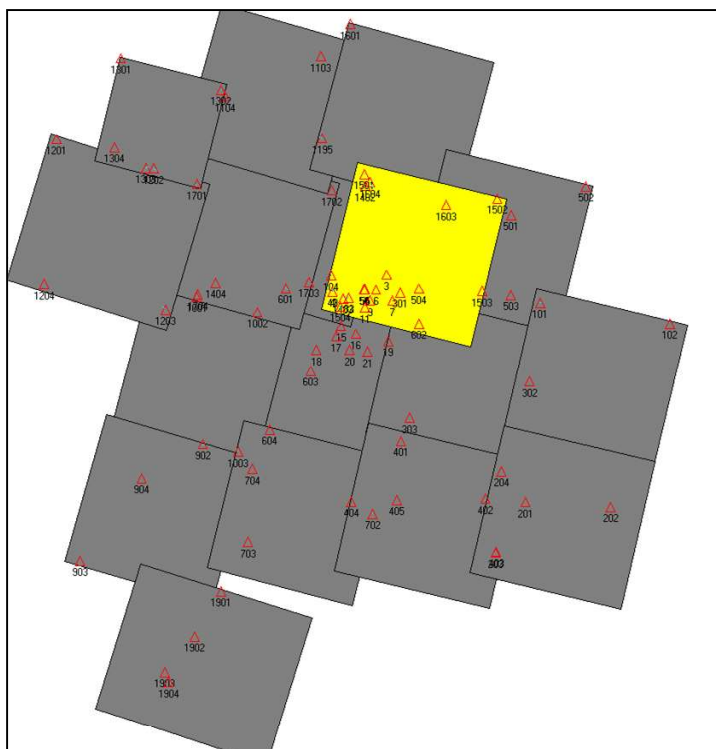


Figure 4-11 Distribution des points GPS sur le bloc d'images

La précision dictée par l'application nous a imposé le mode statique d'observation par GPS. Des sessions d'un quart d'heure à vingt minutes avec une cadence de 10 secondes ont été effectuées.

Tous les points ont été rattachés au point 305 (TYRGEONET, Arzew), pour cela, une session d'observation de sept heures a été conduite sur un point créé sur le toit du siège du cadastre de la wilaya d'El-Bayadh.

Vu l'étendue de la zone et la nature de la mission, l'utilisation d'autres points de base est indispensable. La distance maximale séparant le point d'appui observé d'un point de base ne dépasse pas 70 Km, ceci était un critère de base pour le choix de ces points. Ainsi, deux récepteurs ont été utilisés par les brigades sur terrain, le troisième récepteur reste en permanence sur le point de base le plus proche de la région ciblée dans la journée. Ces points de base sont pris dans les communes suivantes: Brézina, Bougtob, Cheguig et Arbaouate. Les points sont matérialisés sur les toits des

établissements publics afin de garantir la sécurité et l'alimentation électrique pour le récepteur.

3 Génération des orthoimages SPOT-5

Cette tâche vient après le calcul des points GPS et la rédaction des fiches signalétiques. Elle passe par la mesure des points sur les images, le calcul de la spatiotriangulation et la génération des orthoimages en se servant d'un MNT de la région.

Les données disponibles sont des images SPOT-5 couvrant la région. Concernant le MNT, il y'a deux possibilités : le MNT SRTM et le MNT GDEM. Pour les points d'appui deux variantes existent, la première variante est l'acquisition des points par GPS et la deuxième est l'utilisation du produit référence 3D Alpha. Quant aux logiciels, il est possible d'utiliser ERDAS LPS et Goeview.

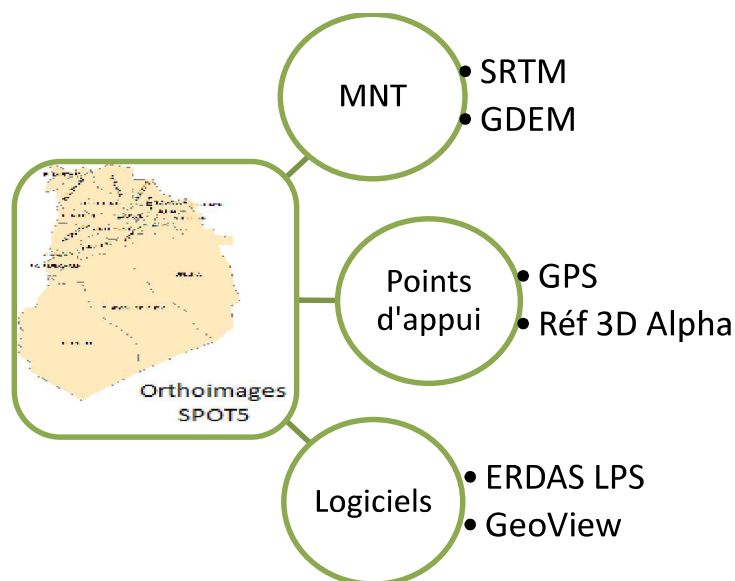


Figure 4-12 Variantes possibles pour la production des orthoimages

3.1 Comparaison des MNT

Le MNT est l'élément clé dans la chaîne de production de l'orthoimage. L'utilisation d'un MNT globale libre est un choix qui permet de réduire considérablement le coût et le temps de la production. Les modèles numériques de terrain libre à présent sont le MNT issu de la mission SRTM et le MNT

extrait par corrélation des images ASTER appelé Global Digital Elevation Model (GDEM).

3.1.1 ASTER GDEM

Advance Spaceborne Thermal Emission Radiometer (ASTER) est imageur multispectral construit par METI pour la NASA. Les images sont acquises dans 14 bandes spectrales en utilisant trois télescopes et capteurs différents. La bande proche infrarouge est acquise aussi en utilisant un télescope qui permet la visée vers l'arrière, ce qui assure une couverture stéréoscopique selon la trace (along-track). Cette stéréoscopie permet d'assurer la production des MNT à partir des images ASTER standards. La production d'ASTER GDEM est faite sur la base de traitement automatique de 1.5 millions de scènes ASTER archive, qui ont été corrélé pour produire 1264118 scènes MNT ASTER, afin de permettre la création des coupures de 1°x1° après un poste traitement. Le produit MNT ASTER a une résolution spatiale de 30m et une précision qui varie entre 10 et 25 m.

3.1.2 SRTM

Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) est un projet international chapeauté par Geospatial Intelligence Agency (NGA) et la NASA qui a pour but de couvrir 80% de la terre en MNT. La résolution du SRTM est de 3 secondes d'arc (environ 90 m à l'équateur) découpé en coupure de 1° en latitude sur 1° en longitude. Les données de base ont une résolution d'une seconde d'arc, mais cela n'est valable que sur le territoire des USA. Pour le reste du globe, seulement la donnée en 3 secondes est disponible. La précision de ce produit est de 16m sur l'échelle mondiale. Il est important de mentionner que le MNT SRTM contient des trous (des pixels dont le contenu est «no data») essentiellement sur les zones d'eau et les zones d'ombre (falaises et régions dont le relief est très accidenté), mais la majorité des logiciels de traitement propose de couvrir ces vides.

3.1.3 Résultats de la comparaison

Afin de comparer les deux MNT STRM et GDEM sur la région d'El Bayadh, 24 points GPS sont utilisés parmi l'ensemble des points, ces points sont pris au sol en assurant une distribution homogène sur la région d'étude. En affichant les deux MNT en niveau de gris, et par comparaison visuelle entre ces MNT, on peut voir que le MNT GDEM présente un aspect « granulaire » faisant signe de présence d'artéfact, tandis que pour le MNT SRTM, lors de son affichage, semble cohérent et « lisse ».

La comparaison des deux MNT est faite par rapport aux points GPS qui sont prises comme référence. Les résultats sur la différence entre les MNT GDEM et SRTM avec le GPS sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4-5 Résultats de la comparaison entre SRTM et GDEM

Points	Z gps	SRTM	GDEM	GDEM-GPS	SRTM-GPS
AB01	954.934	947	943	-11.934	-7.934
601	1271.981	1272	1270	-1.981	0.019
1002	1337.864	1340	1333	-4.864	2.136
1403	1313.742	1314	1310	-3.742	0.258
1504	1347.3	1347	1338	-9.3	-0.3
1703	1310.878	1313	1312	1.122	2.122
603	1316.794	1317	1318	1.206	0.206
604	1154.575	1156	1157	2.425	1.425
701	1139.433	1139	1136	-3.433	-0.433
704	1072.618	1076	1076	3.382	3.382
1001	1252.954	1255	1248	-4.954	2.046
1203	1213.893	1212	1216	2.107	-1.893
1404	1306.883	1307	1311	4.117	0.117
1704	1261.89	1259	1260	-1.89	-2.89
703	950.749	947	939	-11.749	-3.749
902	1202.577	1204	1198	-4.577	1.423
903	1092.281	1090	1095	2.719	-2.281
904	1136.893	1139	1133	-3.893	2.107
1003	1147.853	1148	1140	-7.853	0.147
1901	918.677	919	914	-4.677	0.323
1902	900.715	900	910	9.285	-0.715
1903	792.78	793	775	-17.78	0.22

1904	785.696	785	778	-7.696	-0.696
1204	1133.194	1133	1128	-5.194	-0.194

Moyenne	-3.298	-0.21475
---------	--------	----------

EMQ	6.059	2.358
-----	-------	-------

Au vu des résultats obtenus sur la comparaison entre GDEM et SRTM en prenant comme référence la donnée GPS, nous constatons que le SRTM s'approche de la réalité (GPS) avec une moyenne de -0.2m et un écart type de 2.4m, par contre le GDEM présente une différence moyenne de -3.3m et un écart type de 6.1m. En plus certaines anomalies sont constatées visuellement telles des trous ou des « artéfacts » sous forme linéaire causant des défauts d'altitude allant jusqu'à 50m.

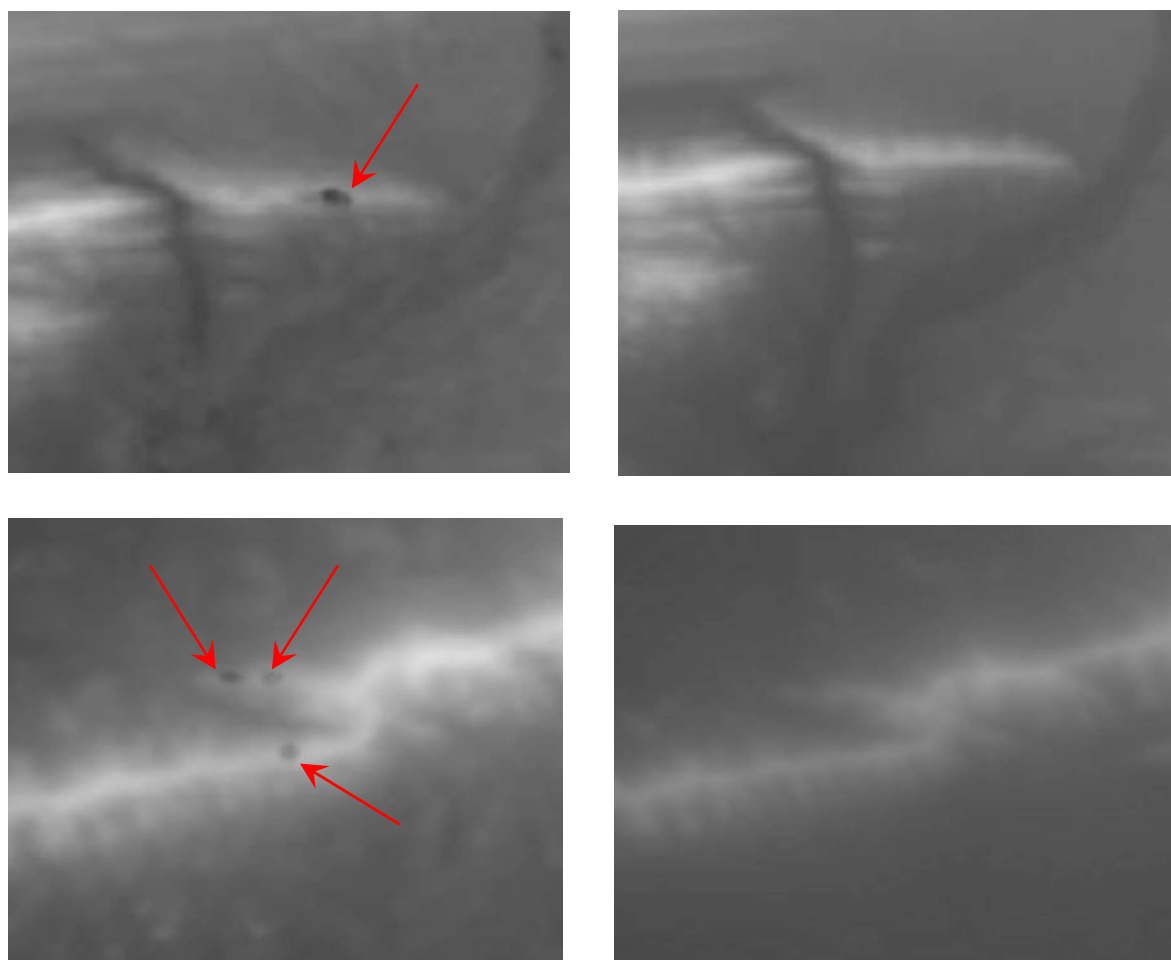


Figure 4-13 Aspect visuel des MNT
GDEM à gauche et SRTM à droite

La présence de trous injustifiable et l'aspect trop rugueux du GDEM par rapport au SRTM, se traduisent par des défauts sur l'orthoimage lors de la production.

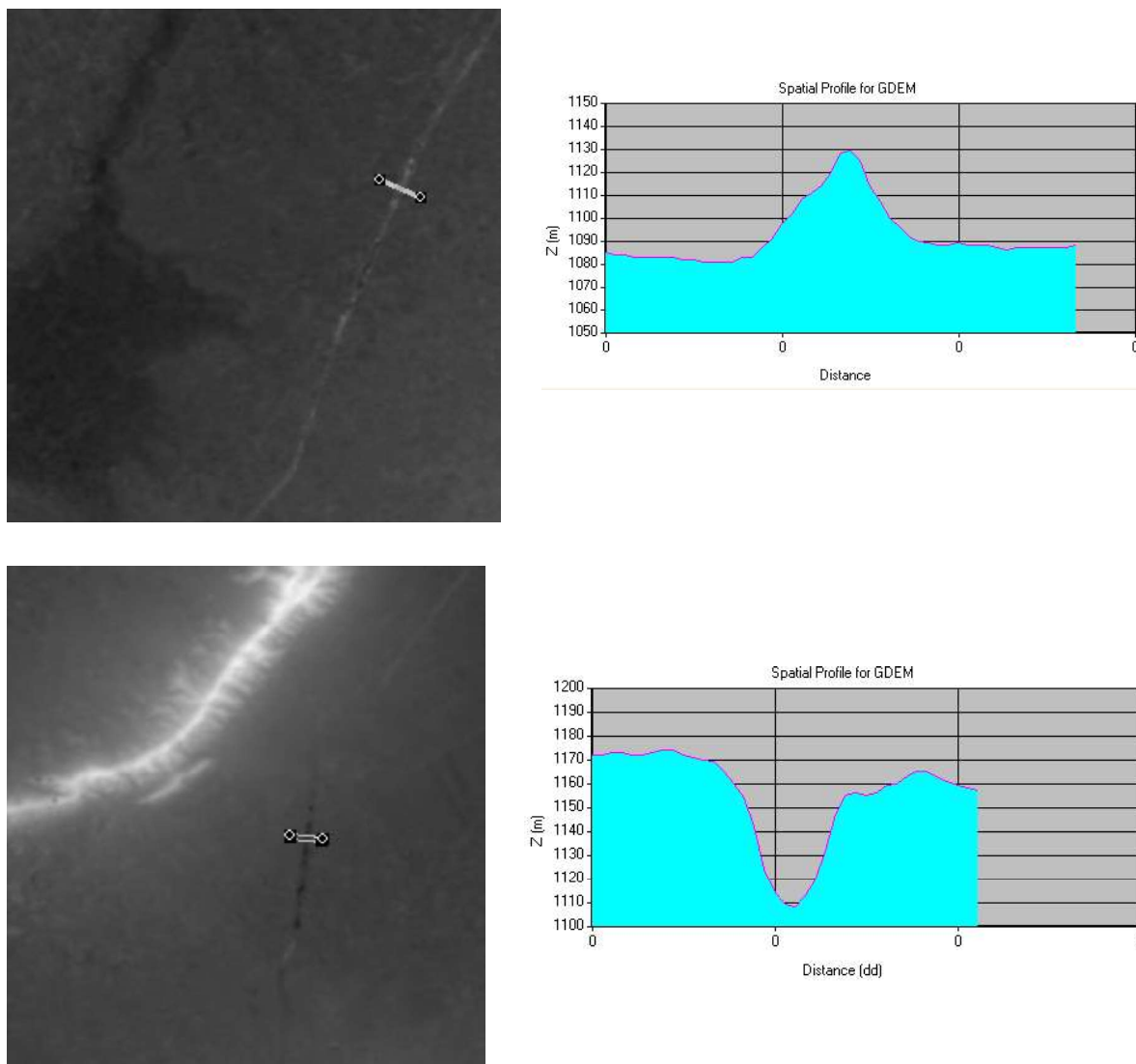


Figure 4-14 Profile sur les artéfacts présentant un aspect linéaire dans le MNT GDEM

La présence des éléments linéaires correspondant aux routes donne une différence d'altitude pouvant atteindre 50m avec le terrain environnant.

3.2 Comparaison des sources des points d'appui

L'acquisition des points d'appui est une étape importante dans la chaîne de production des spatio-cartes. Quand la région de travail n'est pas couverte par des cartes à une échelle plus grande que l'échelle de production, ou quand cette couverture est très ancienne, le moyen le plus optimal est l'acquisition des

points par GPS. Le GPS rend cette tâche plus rapide et moins coûteuse relativement aux anciennes techniques, mais la campagne nécessite une logistique importante à mettre en œuvre pour les projets de couverture des régions de grandes étendues.

Le but de l'étude sur la wilaya d'El-Bayadh est d'arrêter les choix techniques. Dans cette vision, le produit IGN « Référence 3D alpha » est testé comme une variante de saisie de points d'appui.

3.2.1 Référence 3D

Le traitement de Référence 3D a commencé en 2002, mais il a été limité à des blocs entre 10 et 50 bandes d'images SPOT HRG. Le couple de ces images peut couvrir jusqu'à 120km par 600km. En 2007 SPOT et IGN Espace ont installé un nouvel environnement de calcul, permettant de traiter des blocs plus importants. Le premier bloc est appelé « Stan » couvrant la région de l'Asie centrale sur une surface de 4.5M km². Les résultats positifs ont permis la création de 40 blocs couvrant le globe.

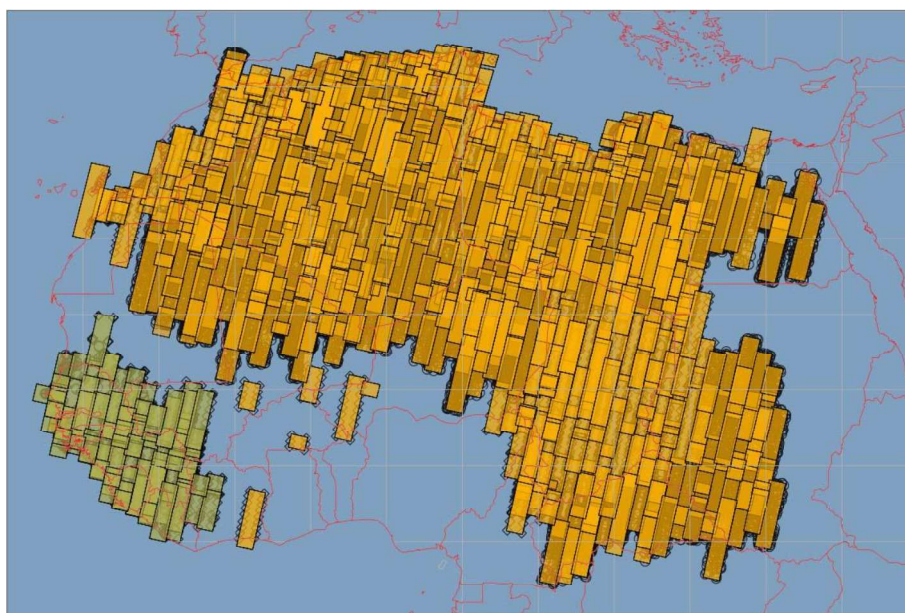


Figure 4-15 Le bloc Nord Afrique avec 600 paires d'images SPOT-5¹

¹ http://www.alaskamapped.org/dem_workshop_08/SPOT-cd/Large%20Block%20Space%20Triangulation%20July%202008.doc

La triangulation des blocs de taille importante permet de stabiliser le bloc et avoir une bonne précision en utilisant un minimum de points d'appui. Sur la base de la triangulation de ces blocs, l'IGNFI a initié la production des MNT et des orthoimages selon des coupures de 1°x1° avec une précision de 7m en altimétrie et 10 en planimétrie en couvrant 50 millions de Km² en fin 2009.

Les spécifications du produit orthoimage issue de SPOT HRG sont :

- Précision planimétrique absolue : supérieure à 15 m pour 90 % des points
- Résolution d' 1/6 seconde d'arc (~ 5 m à l'équateur - variable en latitude)
- Dalles géographiques de 1°x1°
- Orthoimages en Geotiff
- Système géodésique : WGS84.

Les avantages annoncés dans la fiche du produit sont¹ :

- Reference3D® est un produit composé des 3 couches géoréférencées de qualité : orthoimages, MNE, métadonnées
- Disponible immédiatement sur grande couverture géographique
- Homogène et de qualité maîtrisée
- MNE précis et cohérent sur tout le territoire
- Cohérence parfaite de l'information : Reference3D permet le calage des données pour constituer un référentiel cohérent sur l'ensemble du territoire
- Source illimitée de points d'appui pour les projets futurs
- L'orthoimage de Reference3D constitue une base de points d'appui pour rectifier toutes images satellites existantes ou à venir (SPOT, Landsat, Ikonos, Quickbird...).

Le produit utilisé dans cette étude est Reference3D Alpha qui est un produit comportant deux couches, un MNE issu du DEM SRTM avec une résolution de 3 secondes d'arc, et une couche orthoimage panchromatique ; les

¹ <http://www.ignfi.com/sites/default/files/Reference3D.pdf>

performances planimétriques de l'orthoimage de Reference3D Alpha sont identiques à celles de Reference3D.

3.2.2 Test sur un mini-bloc

Ce premier test vise à évaluer les deux sources de points d'appui sur un bloc de trois images couvrant la commune d'El-Bayadh (Figure 4-16).

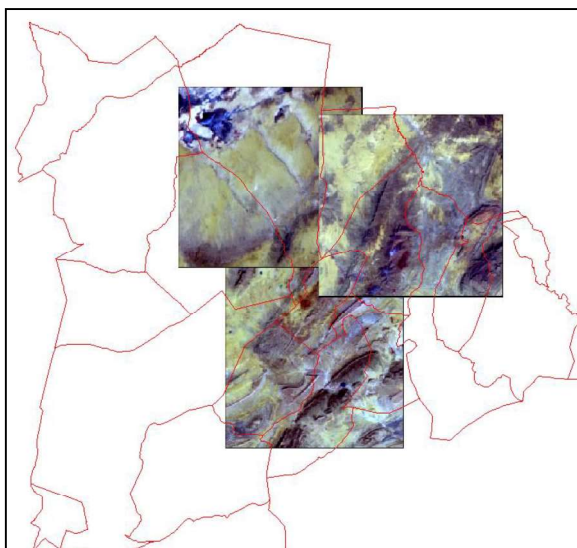


Figure 4-16 Le bloc SPOT 5 sur la commune d'El Bayadh

En utilisant le logiciel ERDAS LPS (Leica Photogrammetry Suite) qui supporte le traitement photogrammétrique des images SPOT-5, et avec 13 points GPS dont 8 points d'appui et 5 de contrôle, les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau 4-6 Résultats sur le bloc de la commune d'El-Bayadh avec PA GPS

	Emq points d'appui (m)	EMQ point de contrôle (m)
X terrain	0.442	1.962
Y terrain	1.069	2.422
Z terrain	1.861	4.940

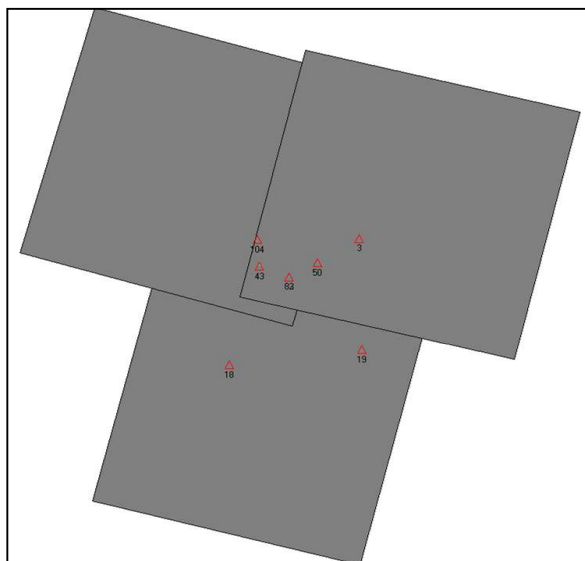


Figure 4-17 Distribution des points d'appui GPS sur le bloc

Afin d'évaluer la précision de la spatiotriangulation en utilisant le produit Reference3D alpha, 9 points d'appui sont choisis sur le même bloc, mais avec une distribution plus homogène (Figure 4-18), les 15 points GPS sont utilisés comme points de contrôle. La Reference3D alpha brute présente un biais de 3m environ ; avant d'être utilisée, cette orthoimage a subi une correction géométrique (calage) pour éliminer les biais.

Tableau 4-7 Résultats sur le bloc de la commune d'El-Bayadh avec PA Ref 3D alpha

	Emq points d'appui (m)	EMQ points de contrôle (m)
X terrain	0.484	1.538
Y terrain	0.475	1.757
Z terrain	0.832	6.819

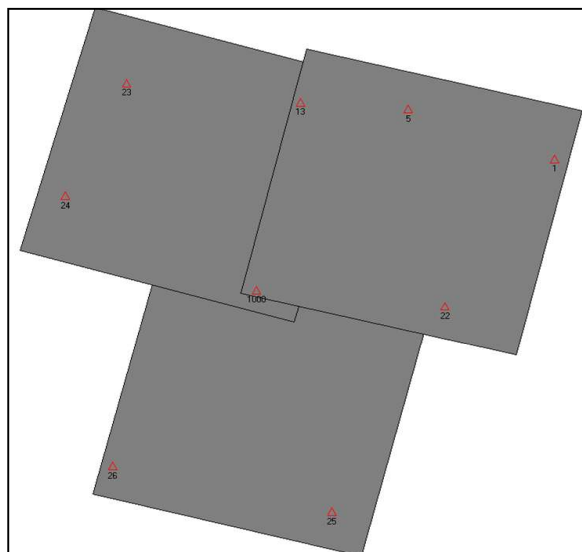


Figure 4-18 Distribution des points d'appui Référence 3D alpha sur le bloc.

Malgré la distribution non homogène des points GPS, le modèle géométrique de SPOT-5 intégré dans ERDAS LPS permet d'avoir une précision inférieure à 2.5m. À cause de la qualité géométrique de l'orthoimage de Reference3D Alpha ainsi que la possibilité d'avoir une distribution homogène des PA, la précision obtenue en utilisant ce produit est meilleure. Néanmoins, il est important de signaler que l'identification de points doit être faite avec un très grand soin vu la qualité visuelle dégradée de la Reference3D alpha.

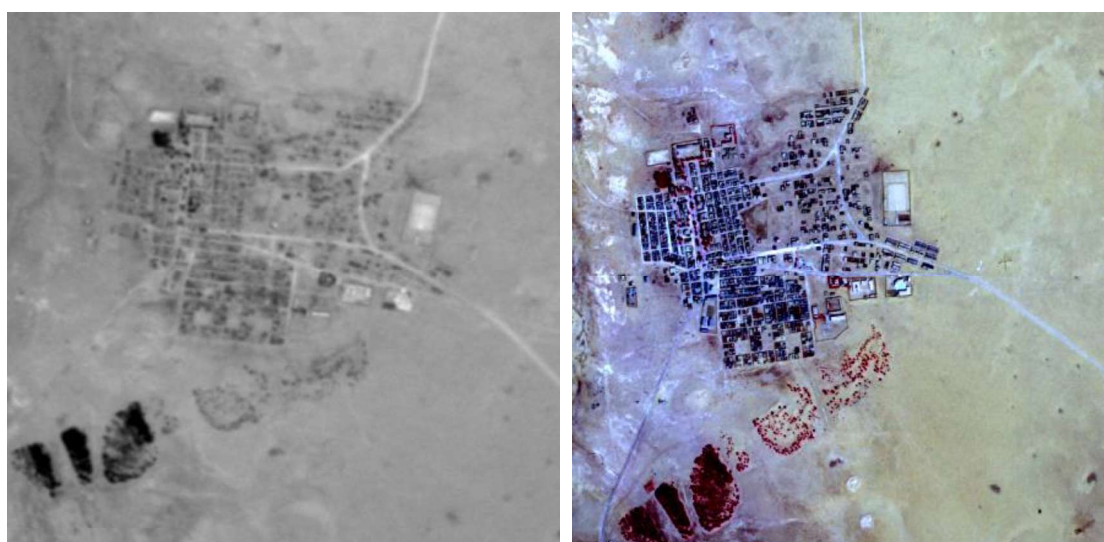


Figure 4-19 La qualité visuelle de la Reference3D Alpha

Quant à la différence entre les deux variantes du point de vue rendement, la Reference3D Alpha ne va être utilisée qu'une seule fois lors de la production

des orthoimages. Or les points GPS, s'ils sont matérialisés et observés avec un mode convenable, peuvent être intégrés dans le canevas cadastral et donc réutilisable pour d'autres actions du cadastre. Le coût des opérations d'observations GPS peut être réduit considérablement, si des brigades locales sont intégrées dans ces opérations. C'est pour ces raisons que l'Agence Nationale du Cadastre a décidé de mener la couverture générale par des points d'appui GPS, avec la formation de 42 agents appartenant aux directions régionales et locales du cadastre sur l'utilisation et le traitement des données GPS, aussi 24 agents sur le traitement d'image pour la stéréopréparation et la réalisation des orthoimages.

3.3 Comparaison entre les logiciels

L'évaluation s'est portée sur deux logiciels, à savoir ERDAS LPS 9.2 et Geoview. Le premier étant le logiciel photogrammétrique déjà utilisé par les services de production de l'ANC, Geoview est un logiciel de production maison de l'IGN.

3.3.1 ERDAS LPS

ERDAS LPS (Leica Photogrammetry Suite) actuellement appelé IMAGINE Photogrammetry est un logiciel de traitement photogrammétrique des images aériennes et satellitaires. La première version est lancée en fin 2003 sous l'appellation "Leica Photogrammetry Suite 8.7" ce qui a été le fruit d'un développement continu dans la photogrammétrie numérique qui a commencé par "Digital Ortho" sous ERDAS 7.5 en 1991¹. Ce logiciel fait jusqu'aujourd'hui le choix de l'INCT et l'ANC pour la production photogrammétrique en Algérie.

3.3.2 Geoview

Le logiciel Geoview permet de traiter des blocs d'imagerie satellitaire selon la modélisation physique et RPC lors de la spatiotriangulation. Ce logiciel a été utilisé pour la production des produits Reference3D et Reference3D Alpha².

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Leica_Photogrammetry_Suite

² <http://www.ignfi.com/sites/default/files/GEOVIEW%20OK.pdf>

Geoview est l'outil de production de l'institut géographique national français (IGN), il réunit au sein d'un même processus intégré la fonction métiers de photogrammétrie, traitement d'image et cartographie. Il permet ainsi de produire des MNT, des orthoimages et des bases de données vecteur 2D et 3D.

3.3.3 Choix entre ERDAS LPS et Geoview

Dans une vision de généralisation, l'investissement dans un logiciel de photogrammétrie est un élément qui nécessite une attention particulière. Geoview est le logiciel proposé par IGN-FI pour la spatiotriangulation des images SPOT-5, une version d'évaluation a été offerte par IGN-FI pour la réalisation du projet d'El-Bayadh. La réalisation de la spatiotriangulation et la production d'orthoimages sur cette wilaya a permis de vérifier ce logiciel avant la généralisation sur l'ensemble des wilayas. ERDAS LPS est la solution photogrammétrique utilisée par l'ANC, son utilisation dans les services du cadastre porte principalement sur l'exploitation de l'imagerie aérienne.

Le tableau suivant présente une comparaison entre les deux logiciels :

Tableau 4-8 Comparaison entre ERDAS LPS et Geoview

	ERDAS	GEOVIEW
Spatiotriangulation	bien	bien
Précision sur la Spatiotriangulation	bien	bien
Utilisation de points de sources différentes	bien	bien
Calcul distribué	non	possible
Temps	bien	bien
Enchaînement des opérations (Workflow)	bien	lourd
Prototypage	Possible (SML)	non
Help	Bien détaillé avec une large communauté d'utilisateurs	Très sommaire
Technique de Mosaïquage	Moyen	bien
Capteurs	Très riche	Restreins
Import -export	Très riche	limité
Edition	Très bonne	lourde
Environnement	Windows	Macintosh

Concernant la spatiotriangulation et sa précision ainsi que l'utilisation des points de différentes sources, les deux logiciels sont équivalents. La comparaison est faite sur la base de version monoposte des logiciels, mais Geoview offre la possibilité de l'installation sur réseau pour effectuer un calcul distribué sur l'ensemble des machines dans ce réseau ; cette option n'est intégrée dans ERDAS LPS que dans la version de 2011.

Quant aux flux de travaux (workflow) Geoview s'avère lourd où l'accès aux différentes opérations est compliquée et l'organisation des données nécessite une structuration spécifique des répertoires, l'automatisation des travaux et l'ajout de certaines fonctionnalisées par programmation n'est pas possible, mais dans la dernière version l'automatisation par scripte est incluse. Comme Geoview est un logiciel de boîte, il reste très peu documenté, et avec une communauté d'utilisateurs restreinte l'obtention d'aide est plus compliquée. Mais le plus grand inconvénient c'est le fait que Geoview marche sous le système d'exploitation MAC OS ce qui nécessite l'acquisition d'ordinateurs Macintosh et par conséquent la formation du personnel sur le système d'exploitation, qui est peu connu en Algérie, en plus de la formation sur le logiciel.

3.4 Test sur l'utilisation d'ERDAS LPS

Dans ce test la spatiotriangulation du bloc comportant l'ensemble des images couvrant la wilaya d'El-Bayadh est calculée sous ERDAS avec des points d'appui pris de la Référence Alpha (Figure 4-20), les points sont distribués à raison de quatre points d'appui par scène. L'évaluation des résultats est faite en utilisant 13 points de contrôle GPS.

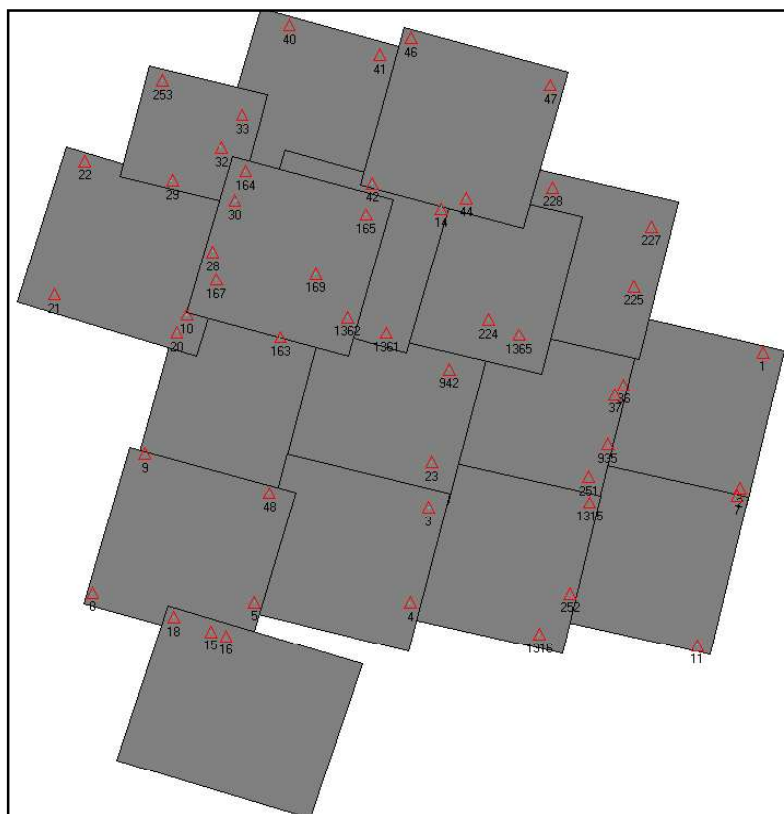


Figure 4-20 Distribution des points sur le bloc ERDAS et Référence alpha

Tableau 4-9 Résultats sur le bloc d'El-Bayadh avec PA Réf Alpha

	EMQ points d'appui (m)	EMQ point de contrôle (m)
X terrain	0.815	0.914
Y terrain	0.804	0.891
Z terrain	2.726	4.443

Ce test montre la possibilité d'utilisation du logiciel ERDAS LPS pour le calcul des blocs d'images de taille importante, ainsi que l'utilisation de la Référence Alpha avec ce logiciel pour l'acquisition des points d'appui tout en gardant une précision subpixellaire.

Un inconvénient majeur dans ERDAS LPS (et les logiciels similaires qu'on a consulté) est que ce logiciel considère les images comme indépendantes malgré que certaines images sont prises de la même trace et constituent un segment. Les points mesurés dans les recouvrements entre les images d'un même segment sont observés avec des rayons alignés et leur intersection provoque une instabilité lors de la résolution du système et donc l'impossibilité

de résoudre la spatiotriangulation, ce problème se pose pour les points d'appui et les points de liaison, ces images sont par conséquent traitées en dehors du bloc, mais sur la même référence terrain. Cette approche pose un problème quand on utilise les points GPS puisque ces points sont difficiles à acquérir et le rejet de certains points à cause de l'instabilité ne peut pas être remplacé par l'ajout des points de liaison d'où la nécessité d'acquisition d'autres points.

3.5 Test sur l'utilisation de GeoView

Après la configuration du logiciel et l'import de différentes données du bloc couvrant la wilaya d'El-Bayadh, GeoView propose l'assemblage de différentes images prises de la même trace dans des segments. Cela permet à ces segments d'images d'être traité en tant que scène unique.

Comme les données de télédétection sont acquises de façon continue, mais découpées « artificiellement » en images, il est possible de « recoller » les images acquises d'une même orbite et à la même date pour créer des segments continus dans la direction nord-sud (Toutin, 2003). Comme en photogrammétrie où l'on crée des bandes et des blocs de photographies aériennes, il paraît naturel de créer des segments à partir des images prises lors du même passage et des blocs d'images à partir de segments adjacents. Le traitement géométrique se réalise alors avec un procédé de compensation simultanée de bloc d'images et de segments au lieu d'image par image, séparément; ce qui réduit par un facteur de 10 à 20 le nombre de points d'appui (PA) (Toutin, 2003).

Il est important de mentionner que pour les images SPOT-5 la longueur d'un segment peut atteindre 600 km en mode stéréoscopique¹, pour ALSAT-2A ses segments peuvent aller jusqu'à 200 km pour une acquisition panchromatique et multispectrale².

Les points d'appui choisis sur les images SPOT-5 ont été identifiés sur la référence alpha (après la correction de la translation) puis transférés sur les images SPOT-5. Pour les points de liaison constituant le canevas qui permet

¹ <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/spot-5>

² <http://www.asal.dz/PDF/Les-specification-techniques-des-images-ALSAT-2A.pdf>

de relier les différentes scènes entre elles, ils ont été déterminés par corrélation d'images là où cette possibilité a pu être utilisée, sinon le choix de ces points s'est fait d'une manière manuelle (vu la manque de détails ou l'insuffisance de contraste pour certaines régions). Les points de liaisons sont choisis dans les parties communes entre les scènes assurant le calage relatif de celles-ci. Le modèle géométrique utilisé dans ce test est un modèle de correction géométrique rigoureux donné par GeoView conçu spécialement pour le traitement des images SPOT-5. Le MNE utilisé ici est celui acquis avec Reference3D Alpha, ce MNE est utilisé pour la détermination des altitudes des points d'appui et pour l'orthorectification.

La première évaluation est faite en utilisant les points GPS, l'ensemble des points est utilisé comme point d'appui sauf 8 points qui ont été utilisés comme points de contrôle, l'EMQ sur les points de contrôle est 1.129m en X, 1.010m en Y et 0.248m en Z.

Le deuxième test s'agit d'une évaluation postproduction, la production est faite sur la base d'utilisation du modèle rigoureux de GeoView, des points d'appui issus de la Reference3D Alpha et le MNE acquis avec ce dernier produit. La vérification est faite avec 62 points GPS utilisés comme points de contrôle, l'EMQ sur ces points est de 3.02m en X, 3.84m en Y.

Tableau 4-10 Indicateurs sur la qualité de l'orthoimage SPOT-5 couvrant la wilaya

Moyenne Er (m)	4.27
Écart type Er (m)	2.40
EMQ Er (m)	4.89
EMQ Ex (m)	3.02
EMQ Ey (m)	3.84
$\sigma_{min}/\sigma_{max}$	0.79
CE90 (m)	7.40
CEP (m)	4.06
Échelle max (NMA5)	8744
NSSDA CE95 (m)	8.40

L'indicateur $\sigma_{min}/\sigma_{max}$ est de 0.79 nous montre que l'erreur est quasi circulaire, l'indicateur CEP (circular error probable ou circle of equal probability) qui est l'erreur dans un intervalle de 50% est de 4.06m, cette valeur calculée sur la base de EMQx et EMQy nous permet d'avoir la valeur de

CE90 qui est de 7.4m, l'échelle maximale de production selon NMAS est 1/8744. Donc le document produit est suffisant pour la production à l'échelle 1/10.000 suggérée par l'ANC dans le cadre de cette couverture qui exige un CE90 de 8.47m.

L'EMQ est une mesure de qualité relative à la valeur vraie (la position GPS dans notre cas) donc il combine quadratiquement le biais et l'erreur (Deming, 1966) pour offrir une indication sur la qualité du document final. Mais le calcul de la moyenne et l'écart-type offre une indication sur l'écart à la moyenne d'erreur¹ ce qui donne une idée sur la cohérence interne du document. Pour l'orthoimage produite, la moyenne des erreurs en X est de 0.81m et celle en Y est de 2.59m, cela montre l'existence des biais dans l'orthoimage reflétant le cumule des erreurs essentiellement dues aux modèles géométriques et le MNT utilisé. L'écart type en X et en Y successivement sont 2.94m et 2.87m.

L'élimination du biais donne une moyenne nulle avec un même écart-type, mais l'écart type de l'erreur radiale devient 2.32m avec une moyenne de 3.35m ainsi que EMQx et EMQy de 2.91m et 2.84m. Cela représente un CE90 de 6.17m.

4 Le mosaïquage

Après l'orthorectification et l'obtention des images géométriquement corrigées. L'étape suivante est le mosaïquage qui consiste en l'assemblage des orthoimages selon une grille définie. Une mosaïque est une combinaison ou une fusion d'au moins deux images dans une orthoimage unifiée (Pan and Wang, 2011), cela engendre la définition et la détermination des lignes de masque (seam lines) et l'emploi des algorithmes de l'équilibrage de couleurs afin d'unifier la couleur essentiellement dans les zones de superposition et rendre la transition entre les images la plus douce possible.

Les deux logiciels, à savoir ERDAS LPS et GeoView, proposent la génération automatique des lignes de masque en se basant sur la même

¹ Cours ME345 de l'université de PENN, Basic statistics, http://www.mne.psu.edu/ME345/LECTURES/BASIC_STATISTICS.PDF

approche ; les lignes obtenues suivent les détails sur le terrain et ils sont tracés le long des détails linéaires présents sur l'image (Kerschner, 2001, 2000). Les algorithmes existants permettant l'extraction des lignes de masque en se basant sur la recherche du chemin qui permet d'avoir la différence radiométrique minimale en combinant certains critères dans la zone de recouvrement des images. Une ligne de masque le long de ce chemin offre un maximum de ressemblance entre les images (Kerschner, 2001; Pan and Wang, 2011). Ce chemin, dans ERDAS par exemple, dépend de la différence entre les valeurs radiométriques des pixels, l'éloignement du milieu de la zone de recouvrement et l'écart-type du pixel cible avec les pixels du voisinage, ce dernier critère permet de rester sur les détails linéaires qui sont caractérisés par une valeur élevée de l'écart-type¹.

Pour l'équilibrage des couleurs LPS et Geoview utilisent deux approches différentes. ERDAS dans la partie correction des couleurs commence par la définition des zones à exclure (Exclude Areas), dans cette partie l'utilisateur définit les zones des anomalies de brillance (trop brillant comme les nuages ou trop sombre comme les surfaces d'eau), ces zones seront exclues des calculs des histogrammes et les étalements de la dynamique. L'étape suivante est le traitement des images une à une par la fonction d'équilibrage (Color Balancing), cela est fait par l'utilisation d'une surface de correction pour la compensation de l'éclairage dans la scène, la méthode linéaire est pratique pour l'élimination pour la compensation d'éclairage dégradé le long de la direction de visée qui apparaît dans les prises de vue inclinées. La méthode parabolique est utilisée pour la compensation de l'effet de « vignetting » qui apparaît dans la prise de vue aérienne à très haute altitude. Ces traitements se font sur les images de façon indépendante, l'équilibrage entre images se fait par la méthode de la spécification d'histogramme « Histogram Matching », la spécification d'histogramme consiste à ajuster l'histogramme d'une image à celui d'une autre image de référence, l'image résultante aura une distribution des valeurs semblables à l'image de référence. Cette technique est utilisée afin

¹ Weighted Seamline Generation Options, ERDAS LPS, HELP

de mosaïquer des images adjacentes, prises à des moments différents et qui n'ont, par conséquent, pas la même distribution de valeurs (notamment à cause des différences de conditions atmosphériques). La spécification d'histogramme repose sur une procédure semblable à celle de l'égalisation d'histogramme, mais la droite de référence sur l'histogramme des fréquences cumulées est remplacée par l'enveloppe supérieure de l'histogramme cumulé de référence (Collet, 2001).

Geoview utilise une approche basée sur l'ajustement simultané de la radiométrie par bloc, cette technique est présentée par Falala et al. (Falala et al., 2008), la même approche est utilisée dans (Chandelier and Martinoty, 2009), mais en utilisant des modèles de correction physique, pour (Gehrke, 2010) cette technique est utilisée pour le mosaïquage des images aériennes pushbroom de Leica ADS. L'ajustement de la radiométrie par bloc est intégré sous GeoView, il a été utilisé pour la production de Référence 3D. Dans le but de réduire la différence radiométrique dans les recouvrements, cet ajustement consiste à la modification de la radiométrie de chaque pixel dans les images du bloc. Ceci permet d'avoir une cohérence visuelle et des mosaïques sans limites apparentes entre les images (Falala et al., 2008). La relation entre la radiométrie finale et initiale d'un pixel est décrite par :

$$R_{fin}(li, col) = [1 + P(li, col)] * R_{init} + Q(li, col)$$

Où P et Q sont des polynômes (le premier ordre est utilisé dans Geoview), R_{fin} est la radiométrie finale et R_{init} est la radiométrie initiale, la correction ajoutée pour réduire la différence radiométrique est fonction de la position du pixel dans l'image (li, col) (Falala et al., 2008).

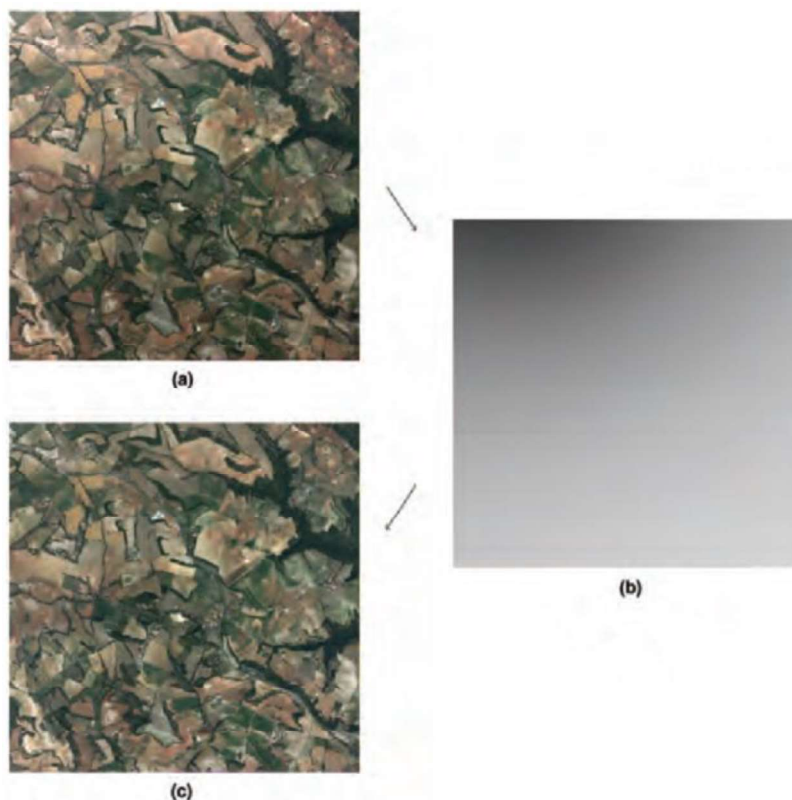


Figure 4-21 La correction par un modèle de radiométrie (a) image initiale, (b) correction radiométrique à ajouter (c) image après correction (Chandelier and Martinoty, 2009)

Un ensemble de points est choisi dans les zones de recouvrement entre images, chacun de ces points de liaison radiométrique à au moins deux valeurs radiométriques et fournies au moins une équation. L'ensemble des équations offertes par les différents points est résolu simultanément de tel sort que la radiométrie finale d'un pixel calculée à partir des deux images soit égale, donc on minimise la différence entre les radiométries calculées à partir des deux images, certaines contraintes sur l'invariance de la radiométrie initiale et l'invariance de la moyenne globale de l'image sont ajoutées pour éviter la divergence et les solutions non voulues. Les points de brillance anormale sont filtrés d'une manière automatique.

La procédure sous ERDAS nécessite beaucoup d'intervention manuelle, l'opération ce fait sur trois différentes étapes et nécessite beaucoup de paramétrage pour chaque image, elle s'avère moins robuste avec l'ensemble des images et se fait pour chaque coupure à part ou par de petits blocs homogènes. Le mosaïquage sous GeoView se fait d'une manière automatique

avec le minimum d'intervention d'utilisateurs, les images après équilibrage des couleurs s'avèrent très homogènes. Après la création des lignes de masque, les deux logiciels offrent des traitements locaux sur les lignes comme le lissage (smoothing) avec une distance et une taille de kernel, et la transition (feathering) sur une certaine distance entre les deux images. À la fin, une mosaïque de l'ensemble des images couvrant le nord de la wilaya est créée.

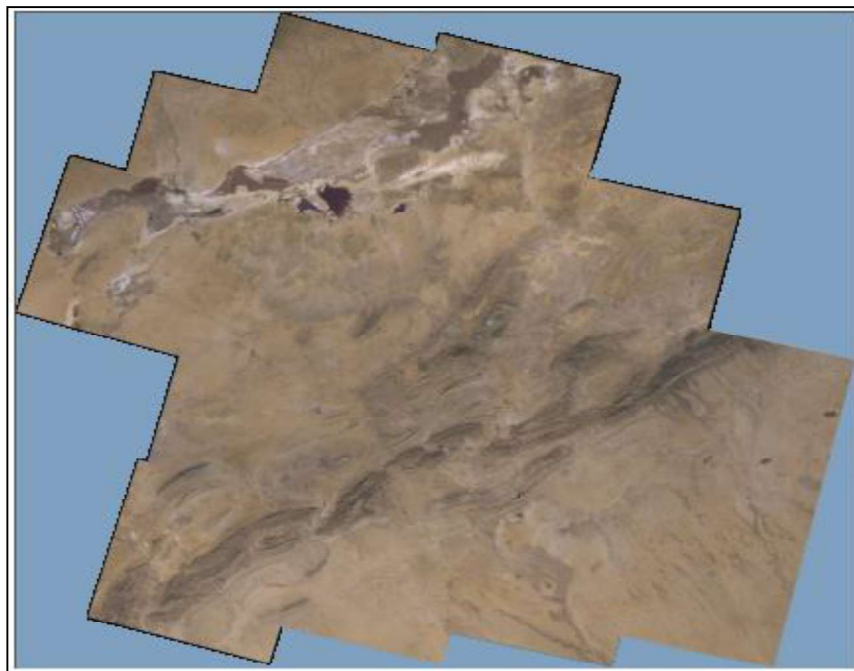


Figure 4-22 L'orthomosaique des images SPOT-5

5 Traitement des images ETM+

Afin de couvrir les zones désertiques, l'échelle arrêtée par le cadastre est le 1/200.000. La couverture sera assurée par des images d'une résolution inférieure au 15m. Le capteur choisi est Landsat ETM+, la résolution de l'image panchromatique est de 14.25m avec la multispectrale permettant d'avoir une combinaison vraie couleur et une résolution de 28.5m, les images Landsat dans l'archive de l'USGS sont utilisables et redistribuables sans restriction, à condition de spécifier la source des données.

Les images utilisées sont de niveau de traitement L1G. Ce niveau subit une correction géométrique en utilisant le modèle géométrique du capteur, des points d'appui et un MNT pour produire des orthoimages en projection UTM

sur l'ellipsoïde WGS84. La précision géométrique globale du produit varie entre 30 à 50m¹. Les images sont fournies sous la forme d'un fichier archive compressé contenant les différents canaux de l'image sous format GeoTIF ainsi qu'un fichier ASCII contenant les métadonnées sous le format MET.

5.1 Regroupement des canaux et fusion d'images

La première étape du traitement est l'empilement des canaux multispectraux (layer stacking) pour la constitution d'un fichier d'images multicanales dont la résolution est de 30m, les canaux utilisés sont le bleu, le vert, le rouge et le proche infrarouge. Dans le but d'avoir une image qui a la qualité radiométrique de l'image multispectrale et la qualité géométrique de l'image panchromatique, on a recours aux techniques de fusion d'images (Pan-sharpening), plusieurs algorithmes existent permettant la réalisation de cette tâche (Garzelli et al., 2004). Le plus connu est le passage par l'espace colorimétrique TSI (teinte, saturation, intensité). Dans cet algorithme il y a d'abord lieu de sélectionner les trois bandes à faible résolution formant une composition colorée RVB. Une première transformation est appliquée dans le sens RVB vers TSI. Le canal I ainsi obtenu révèle principalement une information sur la texture de l'image. Il est remplacé par l'image panchromatique à haute résolution spatiale après un éventuel ajustement d'histogramme. Cet ajustement consiste à rendre la distribution statistique des valeurs des pixels de l'image panchromatique la plus proche possible de celle du canal I (Muller and De Béthune, 2000). Cette méthode a l'inconvénient de ne pouvoir transformer que trois bandes formant une composition colorée RVB. Une des techniques permettant la résolution de ce problème est la fusion sur la base de l'analyse en composantes principales (ACP). L'ACP est utilisée dans de multiples applications de la télédétection, parmi lesquelles la fusion d'images. Il s'agit d'une méthode statistique qui consiste à transformer un ensemble de variables intercorrélées en un nouvel ensemble de variables non corrélées obtenues par combinaisons linéaires des variables originales. La transformation est réversible, ce qui signifie qu'il est possible de retourner

¹ http://landsat.usgs.gov/geometric_accuracy.php

dans l'espace des variables originales au départ des composantes principales sélectionnées. L'utilisation de l'ACP pour la fusion consiste à calculer les composantes principales de l'image multispectrale à faible résolution spatiale et de substituer l'image à haute résolution à la première composante (PC1) avant de réaliser la transformation inverse. Comme dans toute substitution, il est recommandé d'ajuster la variance et la moyenne du canal à haute résolution à celles de la première composante avant d'effectuer le remplacement. La substitution se justifie, car le pseudo-canal PC1 rassemble l'information commune à toutes les bandes initiales, contrairement aux autres composantes traduisant des informations de plus en plus spécifiques. En lui substituant l'image à haute résolution avant la transformation inverse, on est certain d'affecter toutes les images à faible résolution. On réalise ainsi, en une seule opération, la fusion de l'image à haute résolution dans tous les canaux de l'image à faible résolution (Muller and De Béthune, 2000). Cette technique est utilisée pour la fusion des images Landsat ETM+ lors de la couverture en 1/200.000. Les images obtenues ont une résolution spatiale de 14.25m sur quatre canaux bleu vert rouge et infrarouge.

5.2 Le mosaïquage des images ETM+

La wilaya d'El-Bayadh est couverte par huit scènes (Figure 4-23), ces scènes sont de niveau de traitement L1G, elles sont géoréférencées dans le système de projection UTM avec le système de référence WGS84. La vérification de continuité de détails entre les scènes démontre la bonne qualité géométrique relative des scènes ETM+. Les scènes sont par la suite mosaïquées en utilisant ERDAS à travers le module Mosaic Pro qui utilise la technique de la spécification d'histogramme, cette technique a donné un résultat satisfaisant vue la résolution des images et l'étendue de la scène.

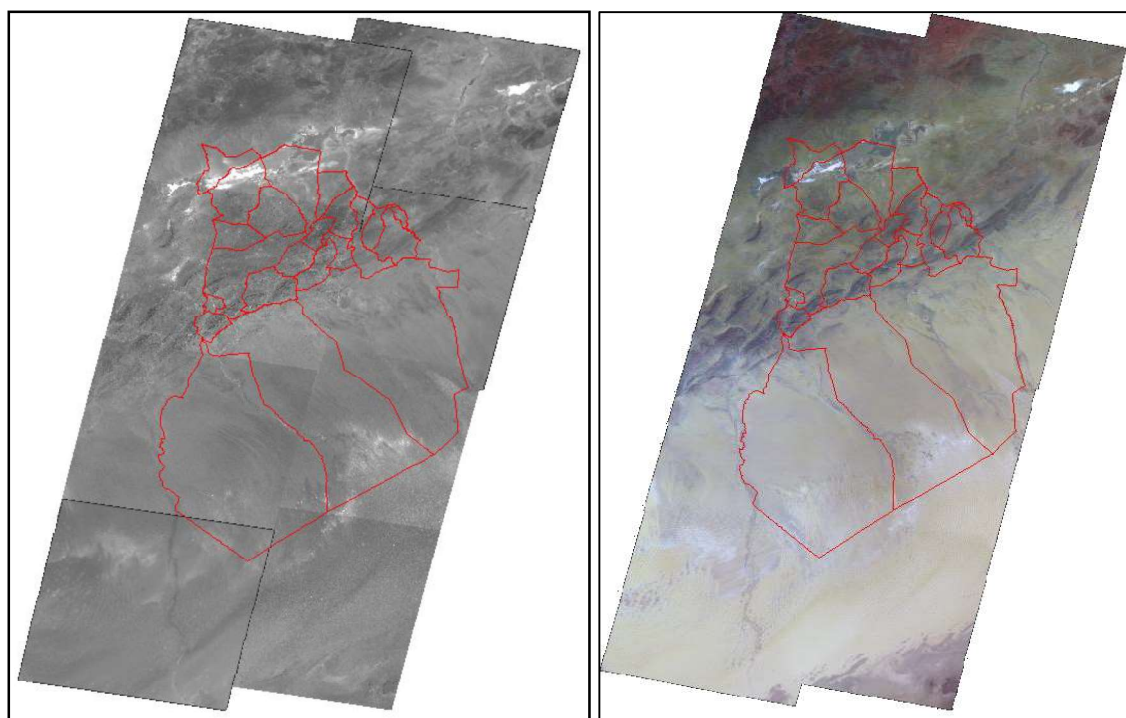


Figure 4-23 La couverture ETM+ de la wilaya d'El-Bayadh avant (droite) et après le mosaïquage (gauche)

5.3 Évaluation de la qualité géométrique

L'évaluation de la qualité géométrique de la mosaïque finale est faite à travers l'utilisation des points de vérification acquis par GPS. Parmi les points levés sur terrain, 17 points ont été mesurés sur l'image et les écarts entre les coordonnées (image et GPS) sont analysés (voir Annexe 2). Le tableau suivant résume les résultats de la vérification :

Tableau 4-11 Indicateurs sur la qualité de la mosaïque ETM+ couvrant la wilaya d'El-Bayadh

Moyenne Er (m)	35.98
Écart type Er (m)	14.21
EMQ Er (m)	38.53
EMQ Ex (m)	34.58
EMQ Ey (m)	16.99
$\sigma_{min}/\sigma_{max}$	0.49
CE90 (m)	54.52
CEP (m)	29.91
Échelle max (NMA5)	64397.21
NSSDA CE95 (m)	63.09

L'EMQ sur les points est de 34.58m et 16.99m en X et Y respectivement, L'indicateur $\sigma_{min}/\sigma_{max}$ de 0.49 montre que l'erreur est elliptique avec une

direction dominante. L'erreur circulaire à 90% (CE90) est de 54.52m dont 50% des écarts sont inférieurs à 29.91m. Cela permet la confection des cartes à une échelle pouvant atteindre 1/65.000.

Ce qui est aussi remarquable lors de l'analyse des résultats est la valeur importante des moyennes des écarts et les valeurs relativement basses des écarts-types (inférieur à un pixel), ce qui démontre l'existence des biais. L'élimination de ces biais par translation (DX-moyenneX et DY-moyenneY) permet de diminuer la moyenne des erreurs radiales de 35.98 à 15.49m et l'écart-type de 14.21m à 9.67m. Quant à l'EMQ, il passe à 11.42 en X et 14.06 en Y, ce qui rend $\sigma_{min}/\sigma_{max}$ égale à 0.81. La valeur du CEP est de 15.07m et le CE90 de 27.47m, ce résultat permet une exploitation à une échelle de 1/32.500 après l'élimination des biais en translation.

Tableau 4-12 Indicateurs sur la qualité de la mosaïque ETM+ sur la wilaya d'El-Bayadh après l'élimination des biais

Moyenne Er (m)	15.49
Écart type Er (m)	9.67
EMQ Ex (m)	11.42
EMQ Ey (m)	14.06
$\sigma_{min}/\sigma_{max}$	0.81
CE90 (m)	27.47
CEP (m)	15.07
Échelle max (NMAS)	32441.88
NSSDA CE95 (m)	31.18

Cette orthomosaïque est destinée à la production à l'échelle du 1/200.000 suggérée par l'ANC, la norme NMAS exige pour cette échelle un indice de tolérance CE90 = 101,6m. Ce qui indique que les images ETM+ de niveau L1G permettent la production même sans élimination des biais.

6 Édition et tirage

Après le contrôle et la validation des mosaïques produites, l'étape finale avant la livraison des produits est l'édition et le tirage. Vu que le produit est destiné à l'insertion et l'acquisition de données pour le SIG du cadastre. Le premier produit consiste à des couvertures en orthoimages découpées selon les limites communales, les limites ont été élargies par un buffer de 2km pour les

images à 2.5m de résolution et 5km pour les images à 14.25m. Cette opération permettra la correction des limites communales en cas d'une révision ou finalisation des PV des limites intercommunales ainsi que les erreurs possibles dans le fichier de limites à notre disposition.

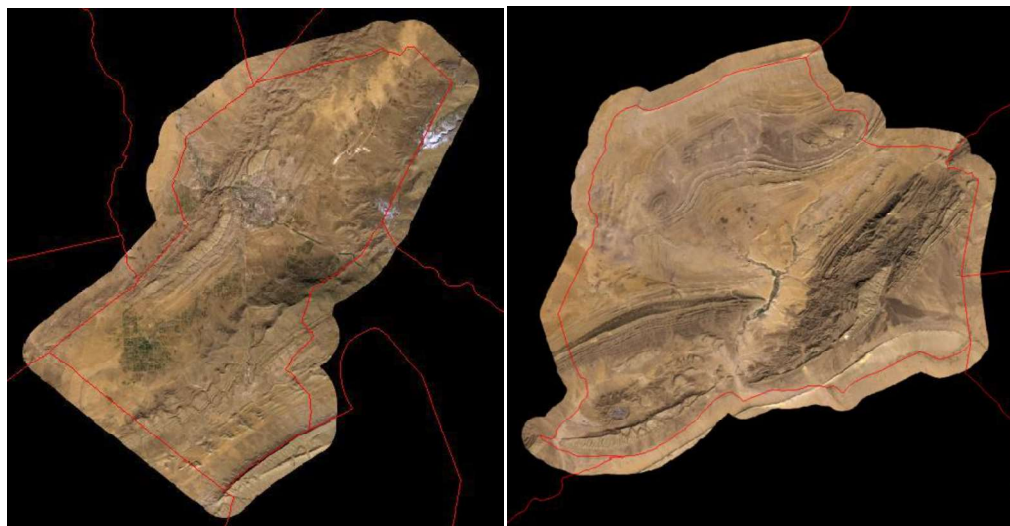


Figure 4-24 Exemple d'orthoimages à 2.5m couvrant les communes d'El-Bayadh et Arbaouet

Le deuxième produit est le tirage papier qui sera destiné aux travaux sur le terrain et au dépôt à la conservation foncière, ce tirage est fait sur des feuilles de 90*100cm selon un tableau d'assemblage défini, les images en 2.5m sont utilisées pour le tirage des cartes au 1/50.000 et ceux de 14.25m à une échelle de 1/200.000.

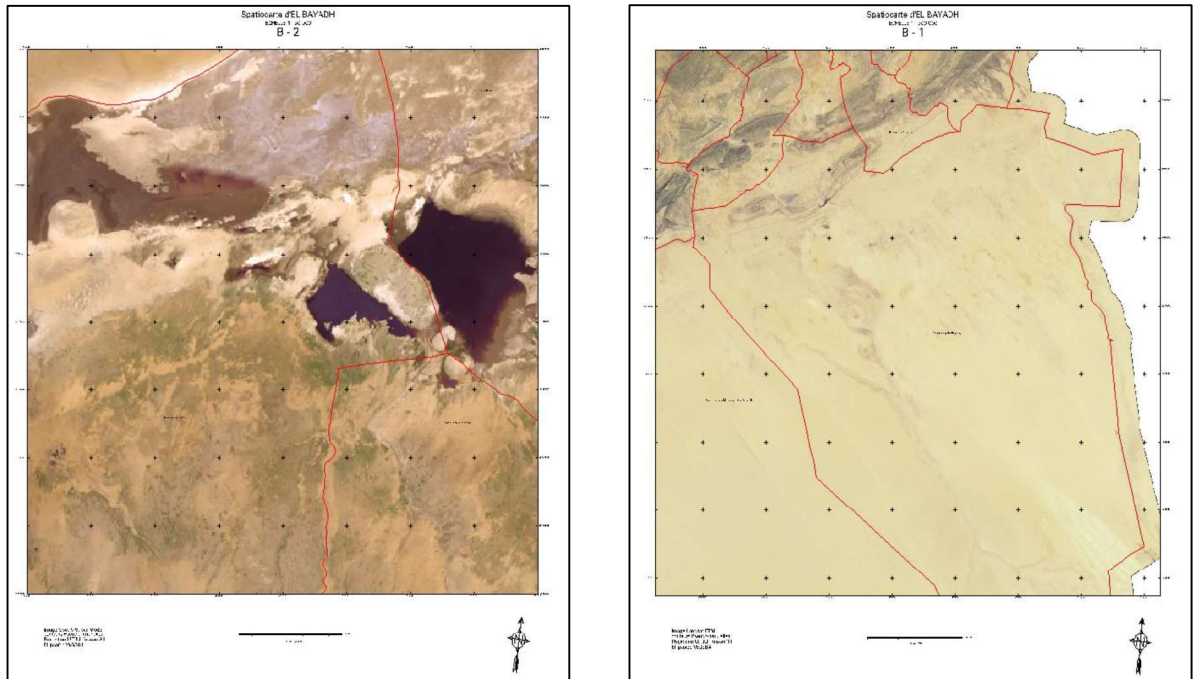


Figure 4-25 Exemple des tirages au 1/50.000 (gauche) et 1/200.000 (droite)

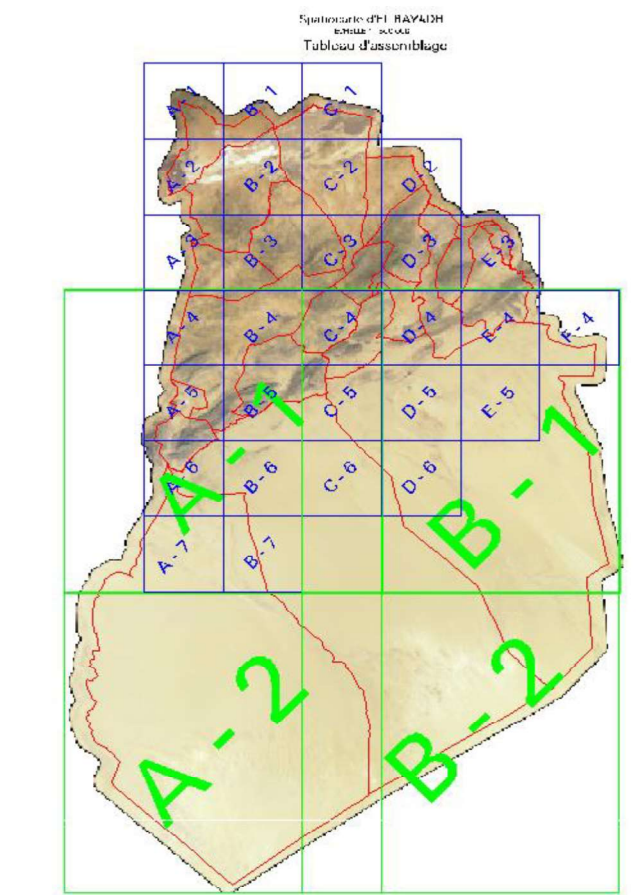


Figure 4-26 Le tableau d'assemblage des cartes 1/50.000 (29 feuilles) et 1/200.000 (4 feuilles)

7 La généralisation de l'étude sur la wilaya aux zones steppiques et sahariennes algériennes

La réalisation, dans les meilleurs délais possible, d'une couverture cadastrale pour la totalité du territoire national constitue un objectif stratégique. La réalisation de la documentation cadastrale et foncière pour les zones steppiques et sahariennes, couvrant une superficie d'environ 2.20 millions de km², a pour objectif, le renforcement, la protection et la valorisation des dépendances domaniales.

Suite à la mise en service des produits issus de l'imagerie satellitaire sur la wilaya d'El-Bayadh, et l'évaluation de ces documents par les experts du cadastre. L'ANC a décidé de généraliser cette approche sur l'ensemble des communes steppiques et sahariennes. La couverture sera assurée par l'orthoimagerie à haute (15m) et à très haute résolution (2,5m). Le territoire concerné arrêté par l'Agence Nationale du Cadastre (ANC) consiste en **198 communes** appartenant aux **vingt wilayas**:

Adrar, Batna, Béchar, Biskra, Djelfa, El Oued, Ghardaïa, Illizi, Khenchla, Laghouat, M'sila, Naama, Ouargla, Saida, Sidi bel Abbes, Tamanrasset, Tébessa, Tiaret, Tindouf, Tlemcen.

Cette opération nécessite l'engagement de très grands moyens financiers, techniques et humains. Pour cela l'ANC a lancé un plan de formation de 20 agents de niveau ingénieur en traitement d'images satellitaires et 42 pour l'utilisation du GPS pour la production des orthoimages.

La couverture sera réalisée selon un ordre de priorité défini par l'Agence Nationale du Cadastre. Les agglomérations et autres zones habitées ou comportant des exploitations agricoles (à forte densité des unités foncières) seront identifiées et considérées comme des zones à exclure, ces zones seront traitées ultérieurement selon le procédé traditionnel d'établissement du cadastre général, en suivant la procédure du cadastre steppique et saharien.

La sélection de l'imagerie satellitaire se fera dans un premier temps sur la base des images Landsat ETM+ et les données cartographiques existantes. Cette sélection fera ressortir d'une manière exhaustive la couverture en imagerie satellitaire à très haute résolution des zones d'intérêts. Ces zones d'intérêt sont localisées dans un carré de taille 80*80km centrés sur le chef-lieu de la commune.

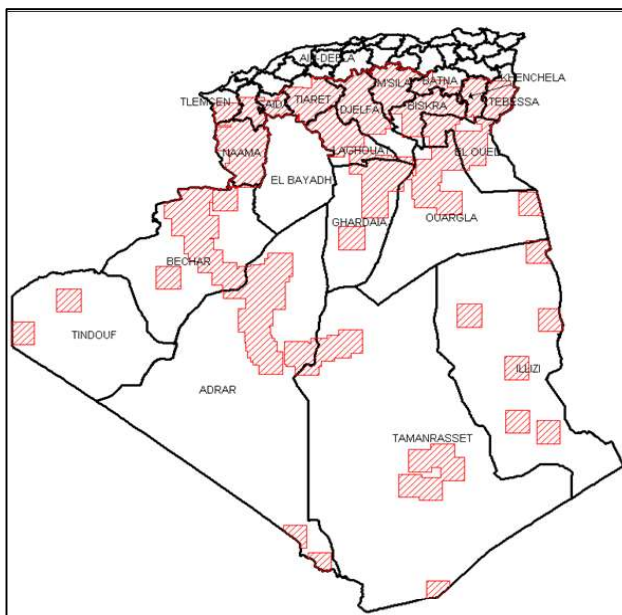


Figure 4-27 Distribution des zones d'intérêt (dans un rayon de 40km autour des chefs-lieu)

L'application de ce critère de choix des zones d'intérêt donne un grand bloc continu qui couvre la totalité des régions steppiques, avec trois autres blocs moins importants. La première couvre El oued, Ouargla et Ghardaïa, le deuxième couvre Bechar, Adrar et une partie de Tamanrasset, et le troisième qui est moins important sur Tamanrasset. Le reste des zones est couvert par 12 petits blocs indépendants qui se constituent des images couvrant les communes éloignées dans les willayas de Ouargla, Illizi, Tamanrasset, Adrar, Tindouf et Ghardaïa. La superficie totale des zones à couvrir s'élève à 478.437 Km².

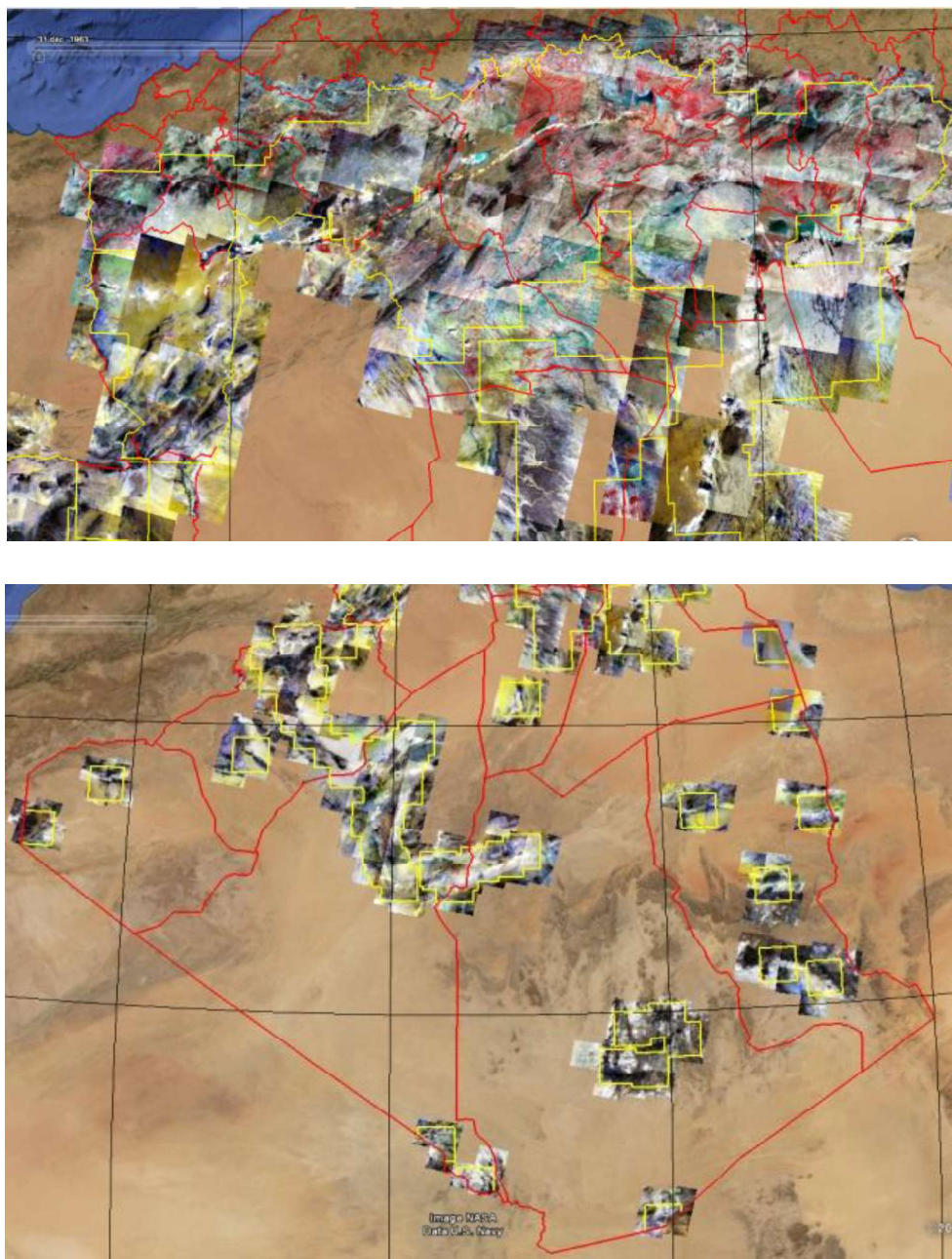


Figure 4-28 La distribution des scènes SPOT-5 nécessaires pour la couverture des zones d'intérêt

La production des orthoimages se fera sur la base d'un calendrier préalablement arrêté par l'Agence Nationale du Cadastre pour la réception des produits finaux. La livraison des images orthorectifiées se fera au fur et à mesure de l'avancement pour permettre l'ANC de lancer les opérations du cadastre steppique et saharien.

7.1 La Productivité

La productivité est le ratio obtenu en comparant les quantités produites et les moyens déployés pour y arriver. La productivité du travail, quant à elle, est orientée sur l'aspect technique et interne de l'organisation, elle établit un rapport entre le nombre de produits obtenus et le nombre d'heures de travail effectuées par le personnel pour y arriver. L'amélioration de la productivité, certes liée au progrès technique, dépend aussi du processus de production du système considéré. Une saine organisation des tâches et des opérations menées dans l'entreprise contribuent à la productivité des équipes de travail ^{1 2}.

À fin d'estimer les délais des travaux lors de la généralisation, le projet sur la wilaya d'El-Bayadh a été revu et découpé en actions indépendantes. Pour chaque wilaya/bloc, les actions suivantes sont à prévoir :

- Collecte de données sur la région et l'acquisition de la couverture en imagerie SPOT-5.
- Stéréo-préparation (Bureau):
 - ✓ Identification de la zone à couvrir et choix de(s) bloc(s).
 - ✓ Recherche des cartes et des points ainsi que toute donnée auxiliaire existante sur la région.
 - ✓ Identification des points existants sur l'image.
 - ✓ L'équipement du bloc en points d'appuis à raison de six points par image.
- Stéréo-préparation (Terrain):
 - ✓ Observation terrain.
 - ✓ Calcul des coordonnées.
 - ✓ finalisation des fiches signalétiques
- Spatio-triangulation (Bureau):
 - ✓ Observation.
 - ✓ Calcul des blocs.
 - ✓ Analyse statistique.
 - ✓ Résultats.
- Ortho-rectification (Bureau).
- Mosaiquage (Bureau).

¹ <https://www.atmanco.com/comment-calculer-productivite-equipes-travail/>

² <http://fr.wikipedia.org/wiki/Productivit%C3%A9>

- Edition (Bureau).

Les délais de réalisation du projet sur la wilaya d'El-Bayadh sont les suivants:

Tableau 4-13 Durée de réalisation de la couverture de la wilaya

description	Durée (semaine)
Recherche toutes données existantes et des points géodésiques sur la zone	2
Equipement du bloc en points (Stéréo préparation - Bureau)	1*
Levé des points par GPS	2**
Calcul et finalisation des fiches signalétiques	1
Spatiotriangulation	1*
Génération des orthoimages	1*
Mosaïquage	1*
Edition (numérique)	1*

* cette durée est estimée sur un bloc de 18 scènes/22 communes

** sur la base que chaque brigade observe 2.5 points/jour en moyenne.

Le planning d'actions est élaboré en tenant compte des délais de réalisation du projet qui a permis l'élaboration des spatiocartes à partir des images SPOT-5 sur la wilaya d'El-Bayadh. La durée est estimée en nombre de semaines par wilaya/Bloc pour l'action A1 et A4 et par station de travail pour un bloc de 18 scènes entières SPOT-5 pour les actions A2, A5, A6, A7 et A8. Concernant l'action A3, la durée de réalisation est estimée en nombre de points GPS par brigade. Les actions de A2 à A8 sont enchainées, seules les actions A1 et A2 peuvent être engagées simultanément.

Le tableau suivant précise les actions et délais de réalisation dans un ordre chronologique.

Figure 4-29 Délais de réalisation des actions de couverture

Actions	Descriptions	Durée en nombre de Semaines
A1	Collecte des données de base et préparation	2 / Wilaya
A2	Stéréo préparation (travaux de bureau)	1 / Station /Bloc
A3	Levé de points GPS	12 Points / 1 / Brigade
A4	Traitement et finalisation des fiches signalétiques	1 / Wilaya
A5	Spatiotriangulation	1/ Station /Bloc
A6	Génération des orthoimages	1/ Station /Bloc
A7	Mosaiquage et équilibrage radiométrique	1/ Station /Bloc
A8	Edition numérique	1/ Station /Bloc

Le tableau suivant présente l'estimation des délais de travaux pour certaines wilayas prévus dans le cadre de la généralisation. Cette estimation est faite sur la base d'utilisation de deux brigades pour le levé des points de stéréopréparation en GPS, les images sont équipées par quatre points par image avec l'utilisation de trois stations de travail équipées de logiciels de traitement photogrammétrique. Les actions A1-4 peuvent être enchainées sur la wilaya suivante sans avoir besoin de finaliser les actions restantes (A5-8) sur la wilaya en cours, cela peut réduire la durée de travaux des quatre wilayas prises comme exemple de 35 semaines à 30 semaines.

Figure 4-30 L'estimation des délais de travaux pour quelques willayas

Willaya	Nombre d'images	Nombre de points	Nombre de bloc	Brigades GPS	Stations de travail	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Durée (Semaines)
Tindouf	9	36	0.5	2	3	2	0.2	1.5	1	0.2	0.2	0.2	0.2	6
Bechar	34	136	1.9	2	3	2	0.6	5.7	1	0.6	0.6	0.6	0.6	12
Naama	15	60	0.8	2	3	2	0.3	2.5	1	0.3	0.3	0.3	0.3	7
Ouargla	26	104	1.4	2	3	2	0.5	4.3	1	0.5	0.5	0.5	0.5	10

L'utilisation de trois brigades avec deux stations permet une réduction de 8 semaines de travaux sur les quatre wilayas, cela est expliqué par le fait que les actions de stéréopréparation (A1-4) prennent environ 80% du temps prévu par wilaya, et les travaux du terrain (A3) occupent entre 30% et 50% du temps par wilaya. Le nombre de brigades est un élément clé dans la réduction du temps des opérations. La figure suivante représente le nombre de semaines pour les quatre willayas en fonction du nombre de brigades.

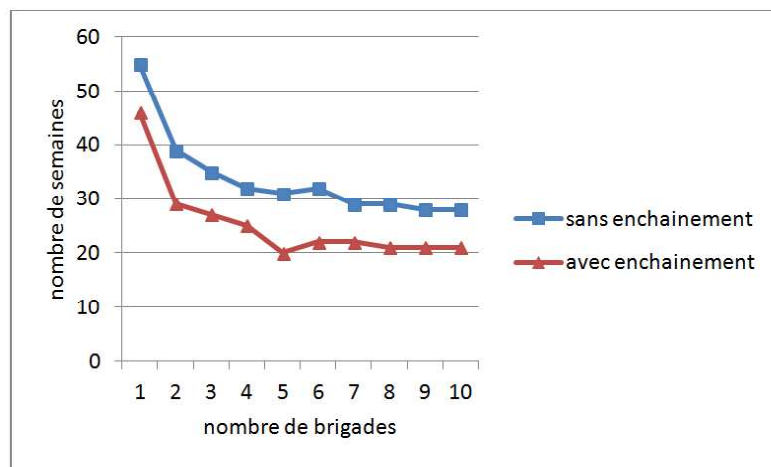


Figure 4-31 Le nombre de semaines en fonction du nombre de brigades

Il faut signaler qu'à partir de cinq brigades la durée devienne stable. L'enchaînement des actions A1-4 sur les différentes wilayas sans attendre la fin de couverture de la wilaya, permet une réduction entre 7 et 11 semaines de la durée de couverture.

8 Conclusion du deuxième chapitre

La couverture en orthoimages satellitaires pour le cadastre de la wilaya d'El-Bayadh a permis d'appréhender les problèmes liés à la production à grande échelle. L'une des premières questions à laquelle on doit répondre est la question de la qualité géométrique. Pour assurer une production fiable il faut étudier les composantes du projet influant sur cette qualité, ces composantes sont le modèle géométrique, les points d'appui et le MNT. Généralement, la modélisation mathématique, utilisée dans l'étude pilote sur la commune (le chapitre précédent), donne des résultats satisfaisant sur des territoires limités. Mais pour des zones étendues, une modélisation rigoureuse (physique) est indispensable pour assurer une qualité géométrique satisfaisante, ces modèles sont intégrées à deux logiciels à notre disposition, à savoir Erdas LPS et Geoview, une étude comparative entre ces deux variante à été faite sur l'ensemble des modules utilisés dans la chaine de production. Pour les points d'appui, il est possible de les acquérir par GPS ou à partir de la réf. Alpha. Sur ce plan le levé des points par GPS, malgré sa lourdeur, reste le choix optimal et surtout « Durable ». Quant au MNT, la comparaison entre GDEM et SRTM, montre bien l'avantage des données SRTM.

La généralisation de ce processus de production sur l'ensemble des wilayas steppiques et sahariennes représente un grand défi, non pas sur le plan technique seulement mais sur le plan organisationnel et logistique. En se basant sur cette étude qui prend la wilaya d'El-Bayadh comme exemple, le processus de production peut être scindé en plusieurs actions unitaires. Le regroupement de taches en action est basé sur les éléments basiques de production tels les blocs d'images, les points GPS, les brigades, les stations de travail. ainsi , l'ensemble du projet est découpé en 8 actions. Ces actions ne

sont pas forcément exécutées l'une à la suite de l'autre en série, mais certaines d'entre elles peuvent être réalisées en parallèle. Si ce découpage en actions parallélisables est combiné avec une utilisation optimale des ressources logistiques, les délais de production peuvent être réduites de 20 à 30%.

La généralisation sur les vingt wilayas nécessite la couverture par des images satellitaires offrant une résolution géométrique de 2.5 m. Le satellite français SPOT5 utilisé pour la couverture de la commune et la wilaya d'EL-BAYADH paraît pertinente.

La couverture des régions d'intérêt d'environ 500.000 Km² appartenant aux vingt wilayas steppiques et sahariennes nécessite l'acquisition de plus de 300 scènes SPOT-5. Avec un prix unitaire de l'image à 8000 euros, le coût d'acquisition des images s'élève à environ 3 millions de dollars. Après le lancement du satellite algérien Alsat-2A avec la même résolution géométrique que SPOT-5, l'utilisation des produits du satellite imageur national s'avère indispensable. Mais le problème qui contraint cette utilisation est l'existence d'un modèle géométrique permettant une exploitation optimale de ces images en assurant une qualité de positionnement sub-pixellaire. Le lancement d'Alsat-2A a coïncidé avec notre étude sur la généralisation de notre approche au territoire national. A ce stade le modèle géométrique rigoureux du satellite n'était pas encore étudié et intégré dans un logiciel commercial. Ceci nous a contraint à le développer afin de permettre l'utilisation des images et la dérivation des produits cartographiques. Ceci va être détaillé dans le chapitre suivant.

Chapitre III

Alsat-2A comme une alternative technico-économique

1 Introduction

Une investigation sur les différences existantes entre les deux satellites a été faite. Sur le volet résolution géométrique, ALSAT-2A possède une résolution de 2.5m, acquise avec le capteur panchromatique utilisant la technologie TDI (Time Delay and Integration), mais SPOT5 utilise le super mode THR pour avoir la résolution de 2.5m en combinant deux images 5m par l'utilisation des algorithmes de super-résolution (Latry and Rougé, 2003; LETIENNE et al., 2009).

La comparaison visuelle entre ces deux images (Figure 4-32) montre que l'image issue du super mode précédemment utilisée pour le cadastre steppique et saharien présente un effet de lissage due à la combinaison des deux images à 5m de résolution, ce qui induit une disparition de certains détails de petite taille.



Figure 4-32 extrait des images SPOT-5 (gauche) et ALSAT-2A (droite) sur le centre ville d'El-Bayadh.

Sur le plan résolution radiométrique et spectrale, l'image ALSAT-2A est codée sur 10bit permettant d'avoir 1024 niveaux de gris pour chaque pixel au lieu de 255 niveaux pour les images 8bit. Ce codage permet la détection des objets dans des régions très mal contrastées, comme le cas d'une piste dans le désert où le contraste entre l'objet et son environnement est très réduit.

L'image couleur d'ALSAT-2A possède 4 canaux: Bleu, Vert, Rouge et proche infra rouge en plus du panchromatique, Cette résolution spectrale permet des combinaisons colorées fausses couleurs et couleurs naturelles. Les Orthoimages produites sur la wilaya d'El-Bayadh sont issues des images SPOT-5 qui ne présente pas un canal bleu, par conséquent, seule la combinaison en fausse couleurs est possible. Cette combinaison n'est pas adaptée à l'utilisateur non habituée à la lecture d'images satellitaires. Le produit final doit être présenté en couleurs pseudo-naturelles, ce qui a été fait par le calcul d'une transformation entre deux espaces. En entrée les fausses couleurs et en sortie la couleur naturelle. Cette transformation requière un temps et un espace de stockage important lors de la production, ce qui donne à la combinaison en couleurs naturelles un avantage important de l'image ALSAT-2A.

Nous rappelant que la couverture de 500.000km² des régions d'intérêt nécessite l'acquisition de plus de 300 scènes SPOT5 à un prix total d'environ 3 millions de dollars. Avec des scènes à 17.5*17.5 km à 50.000 Da chacune, cette zone d'intérêt peut être couverte par environ 2000 Scènes avec un montant ne dépassant pas l'équivalent de 1 millions de dollars en monnaie nationale.

Mais l'utilisation des images Alsat-2A pour la production des orthoimages reste tributaire du développement d'un modèle géométrique permettant d'avoir une précision sub-pixellaire. Les modèles permettant d'avoir une telle précision sont de type rigoureux, basés sur l'équation de colinéarité. Cela nécessite la compréhension du mécanisme de la prise de vue afin de pouvoir alimenter le modèle rigoureux en éléments nécessaires pour sont calcul.

2 La modélisation géométrique

2.1 Le Modèle rigoureux

2.1.1 Généralités

L'exploitation du potentiel géométrique des images provenant des satellites à très haute résolution géométrique nécessite le développement d'un modèle d'orientation du capteur (Kim and Dowman, 2006).

L'objectif de cette modélisation communément appelée modélisation géométrique est d'établir la relation entre les coordonnées image et terrain pour un capteur donné (Poli and Toutin, 2012; Toutin et al., 2002)

Un satellite à orbite polaire suit généralement une trajectoire bien définie de forme elliptique proche du circulaire. Les lignes de scan seront contraintes par cette trajectoire. L'hypothèse des deux corps (terre-satellite) peut être utilisée. Cela peut être paramétré par les six éléments du vecteur d'état, ou les six éléments de Kepler (Jeong and Bethel, 2008; Jeong, 2008; Jung et al., 2007).

Généralement, pour l'attitude initiale du capteur, on suppose que la prise de vue est faite en visée nadirale. Mais à cause de l'agilité du satellite, l'interpolation entre l'attitude de début et de fin de la prise de vue est plus appropriée, donc pour chaque ligne de scan une attitude interpolée entre le début et la fin est faite.

On se basant sur l'analyse des éléments présents dans les métadonnées fournies avec les images ALSAT-2A, un modèle rigoureux de la caméra pushbroom peut être développé. Ce modèle a été appliqué à plusieurs systèmes imageurs à très haute résolution (Chen et al., 2005; Crespi et al., 2007; Jung et al., 2007; Ke and Wolniewicz, 2005; Poli, 2005; Weser et al., 2008).

La relation entre un point dans un système de coordonnées géocentrique et son homologue projeté dans le système de coordonnées image peuvent être exprimé par : (Jeong, 2008)

$$P_{img} = \lambda M_r \left[P_{grd} - \left[M_{orb-itr}^T (P_K + P_c) \right] \right] \quad (23)$$

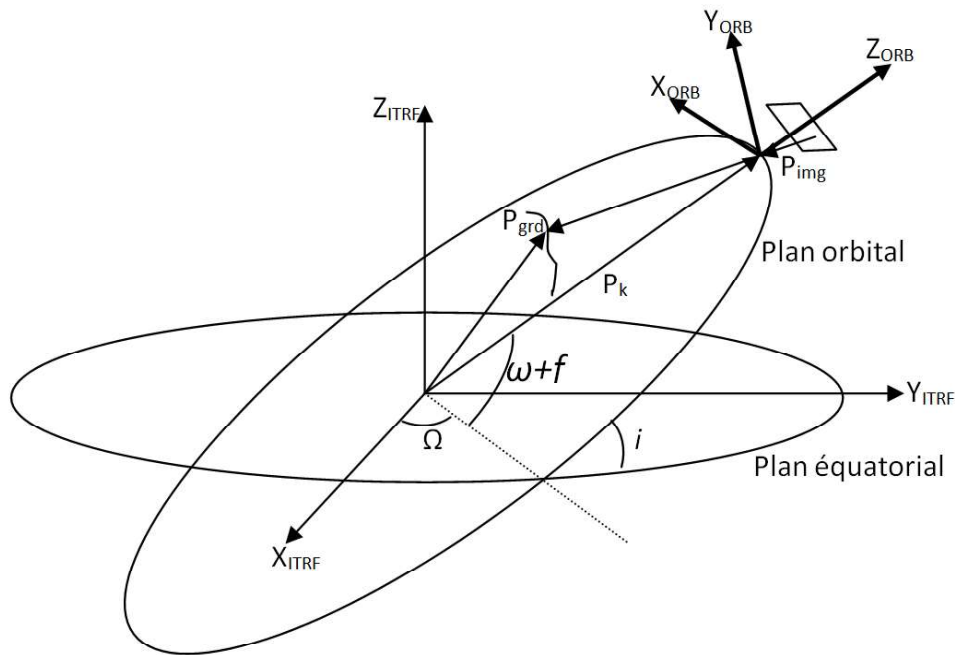


Figure 4-33 La relation géométrique entre le point image et le point terrain

Tel que P_{img} est le vecteur de coordonnées image, P_{grd} est le vecteur de coordonnées terrain, P_K est le vecteur du centre de la terre au centre du satellite dans le plan orbital. $M_{orb-itrf}$ est la matrice de rotation appliquée pour rendre les coordonnées ECEF dans le système du plan orbital. P_c est le vecteur de correction de position. M_r est la matrice de rotation permettant le passage de l'ECEF au système camera et λ est un facteur d'échelle.

2.1.2 Les métadonnées

Les images Alsat-2A sont fournies avec un fichier métadonnées, le fichier de métadonnées contient les données et les paramètres sur l'orbite, l'attitude et la caméra. Ces métadonnées sont structurées en format DIMAP semblable à SPOT-5, FORMOSAT2 et THEOS (Liu et al., 2010).

Les données sur l'orbite (position et vitesse) sont mesurées avec une fréquence de 1Hz, le temps est donné avec une précision de microseconde et il est exprimé en temps UTC (Coordinated Universal Time). Le vecteur de position est donné en mètre dans le système de référence géocentrique ECEF (Earth Centered Earth Fixed) et les vitesses en mètres par seconde.

Les données d'attitude sont mesurées avec une fréquence de 4Hz et sont exprimées par des quaternions d'attitude du « système de référence de contrôle d'attitude orbital » (Attitude Orbit Control System référence frame) fixé sur le satellite dans le système de référence ECI (J2000). Le passage entre le référentiel J2000 et le ITRF (International Terrestrial Reference Frame) est fait par la construction d'une matrice de passage en utilisant deux angles U et V fournis par les métadonnées.

Les paramètres de la camera sont les angles de visées de l'instrument (instrument look angles) dans le système camera, ces paramètres sont sous la forme de coefficients de polynômes cubiques avec les angles de biais dans le roulis, tangage et lacet, ces angles définissent la rotation du système camera relativement à système de référence de contrôle d'attitude orbital (Liu et al., 2010).

D'autres paramètres importants pour le modèle géométrique peuvent être extraits à partir de ce fichier de métadonnées, ces paramètres sont la ligne de référence, le temps de référence, la période de ligne et le nombre de lignes.

2.2 La colinéarité

La majorité des modèles géométriques rigoureux des systèmes imageurs optiques sont basés sur la condition de colinéarité (Boukerch and Bounour, 2006; Poli, 2005; Poli and Toutin, 2012; Toutin et al., 2002). L'enregistrement de l'image par une camera de prise de vue est équivalent à reproduire un point M de l'espace objet en un point m sur le plan de projection. Il est alors possible de relier directement l'image projetée m et l'objet M.

L'objet M est projeté directement en m sur le plan de projection, appelé plan Image. Le point O est appelé centre de projection.

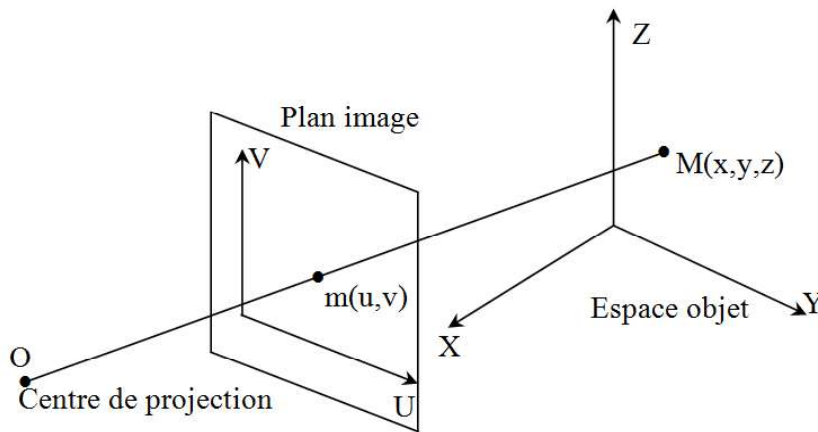


Figure 4-34 La prise de vue et les repères

Deux systèmes de référence sont ainsi définis. Le système tridimensionnel référence de l'espace objet (X Y Z) et le système référence du plan image (U V). Le système optique reproduit le point M de l'espace objet au point m du plan image. M à pour coordonnées (x, y, z) dans le système objet et (u, v) sont les coordonnées du point m image de M.

Les points O, M et m sont colinéaires. La position du centre de projection O dans l'espace objet est (x_0, y_0, z_0) , le vecteur V (de O vers M) a pour composantes $(x-x_0, y-y_0, z-z_0)$.

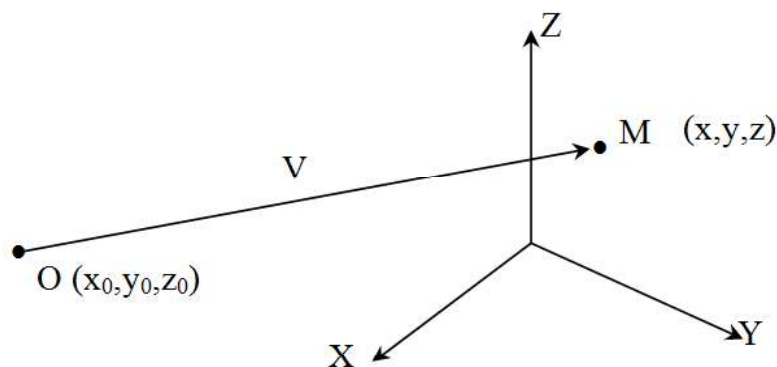


Figure 4-35 Le vecteur objet

En introduisant un troisième axe w au système de l'image, représentant la troisième dimension, les coordonnées w des points appartenant à l'image sont

toujours 0. Le point m aura alors pour coordonnées (u, v, 0). Soit alors ω le point principal, de coordonnées (u₀, v₀, 0). La droite passant par O parallèle à w et perpendiculairement au plan image au point ω est appelé axe principal. La distance principale c est la distance entre le point ω et le centre O. Le point O aura pour coordonnées (u₀, v₀, c) dans l'espace image, donc le vecteur v de O à m aura pour composantes (u-u₀, v-v₀, -c).

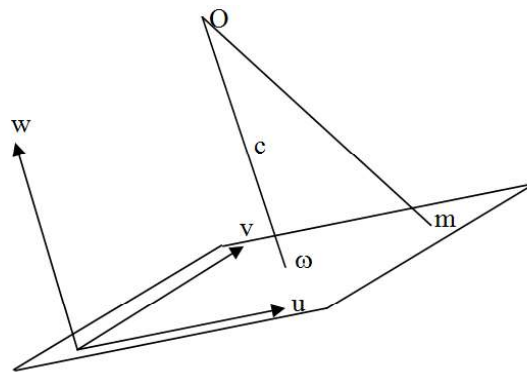


Figure 4-36 Le vecteur image

Les points O, M et m sont colinéaires, les vecteurs \vec{V} et \vec{v} sont portés par la même droite, nous pouvons écrire la relation suivante :

$$\vec{V} = \lambda \vec{v} \quad \text{Tel que } \lambda \text{ est un facteur d'échelle.}$$

On note que les deux vecteurs \vec{V} et \vec{v} sont dans l'espace objet et image respectivement.

Dans le but de relier directement les coordonnées entre elles, il est nécessaire de les exprimer dans un même système.

En utilisant les relations projectives entre les coordonnées images et les coordonnées objet, nous obtenons :

$$\begin{bmatrix} \mathbf{u} - \mathbf{u}_0 \\ \mathbf{v} - \mathbf{v}_0 \\ -\mathbf{c} \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} \mathbf{r}_{11} & \mathbf{r}_{12} & \mathbf{r}_{13} \\ \mathbf{r}_{21} & \mathbf{r}_{22} & \mathbf{r}_{23} \\ \mathbf{r}_{31} & \mathbf{r}_{32} & \mathbf{r}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x} - \mathbf{x}_0 \\ \mathbf{y} - \mathbf{y}_0 \\ \mathbf{z} - \mathbf{z}_0 \end{bmatrix} \quad (24)$$

Où r_{ij} les éléments de la matrice de transformation de l'espace objet vers l'espace image.

Et en développant nous obtenons la forme suivante :

$$\begin{aligned} u - u_0 &= \lambda(r_{11}(x - x_0) + r_{12}(y - y_0) + r_{13}(z - z_0)) \\ v - v_0 &= \lambda(r_{21}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) + r_{23}(z - z_0)) \\ -c &= \lambda(r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)) \end{aligned} \quad (25)$$

L'écriture sous la forme condensée :

$$v^{(I)} = \lambda T_{I/O} v^{(O)} = \lambda \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} v^{(O)} \quad (26)$$

Où $v^{(I)}$ est le vecteur v dans l'espace image.

Et $v^{(O)}$ est le vecteur V dans l'espace objet.

$T_{I/O}$ = la matrice de transformation de l'espace objet vers l'espace image.

En éliminant λ nous obtenons alors les relations suivantes :

$$\begin{aligned} u - u_0 &= -c \frac{(r_{11}(x - x_0) + r_{12}(y - y_0) + r_{13}(z - z_0))}{(r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0))} \\ v - v_0 &= -c \frac{(r_{21}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) + r_{23}(z - z_0))}{(r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0))} \end{aligned} \quad (27)$$

Ces équations décrites par Otto Von Grubber en 1930, représentent les équations de *colinéarité* qui indiquent la manière avec laquelle l'image est construite à travers une *projection perspective*.

2.3 Les systèmes de coordonnées

L'établissement de la relation entre les coordonnées image et terrain par la colinéarité fait appelle au passage entre plusieurs systèmes de coordonnées dont les matrices de passage doivent être établies :

Le système de coordonnées image (R_I) : c'est un système de coordonnées 2D décrivant la position du point sur l'image en pixel.

Le système ligne de visée (R_{LOS}) : l'origine est le centre perspectif, l'axe des X pointe vers la direction du mouvement du satellite, l'axe Z est dirigé du plan focal vers le centre perspectif, l'axe Y est parallèle aux lignes de détecteurs complétant le trièdre direct.

Le système plateforme (R_{SAT}) : ce système est lié au satellite, et matérialisé physiquement sur la plateforme, les attitudes dans les fichiers métadonnées correspondes aux orientations de ce système relativement au système inertiel centré terre (ECI) J2000.

Le système inertiel centré terre - ECI (R_{J2000}) : L'origine de ce système est le centre de la Terre, l'axe des X est aligné avec l'intersection du plan équatorial moyen et l'écliptique. Le 1/1/2000 à 12 h, cet axe pointe donc depuis le centre Terre, le soleil au premier instant du printemps de l'an 2000. L'axe Z est aligné avec l'axe de rotation de la Terre ou pôle Nord céleste. L'axe des Y est tourné de 90 ° Est sur l'équateur céleste.

Le système ECEF (R_{ITRF}) : un système de coordonnées cartésien, l'origine est le centre de masse de la terre, Z pointe vers le pôle, X pointe vers l'intersection de l'équateur et le méridien de Greenwich, c'est un repère fixe par rapport à la terre.

Système de coordonnées orbital (R_{ORB}) : son origine coïncide avec le centre du satellite, le X pointe vers la direction de mouvement du satellite et il est tangent à l'orbite, Z est sur le plan orbital et pointe vers le centre de la Terre, Y complète le trièdre direct.

2.4 L'orientation interne

2.4.1 Description de la caméra ALSAT-2A

ALSAT-2A est équipé d'un imageur de type NAOMI (New AstroSat Optical Modular Instrument), l'une des charges utiles de dernière génération développée par EADS Astrium capable de prendre des images de 2.5 mètres en panchromatique et 10m Multispectral. Le miroir du système optique est fait à base du SiC-100 (silicon carbide) assurant une solidité avec une densité de masse faible, une faible transmission thermique avec un faible coefficient de dilatation, les miroirs sont polis avec un fini de surface de quelques Angstrom¹. Le filtrage optique est assuré par des filtres intégrés permettant de minimiser le recouvrement entre bandes avec des limites franches des bandes.

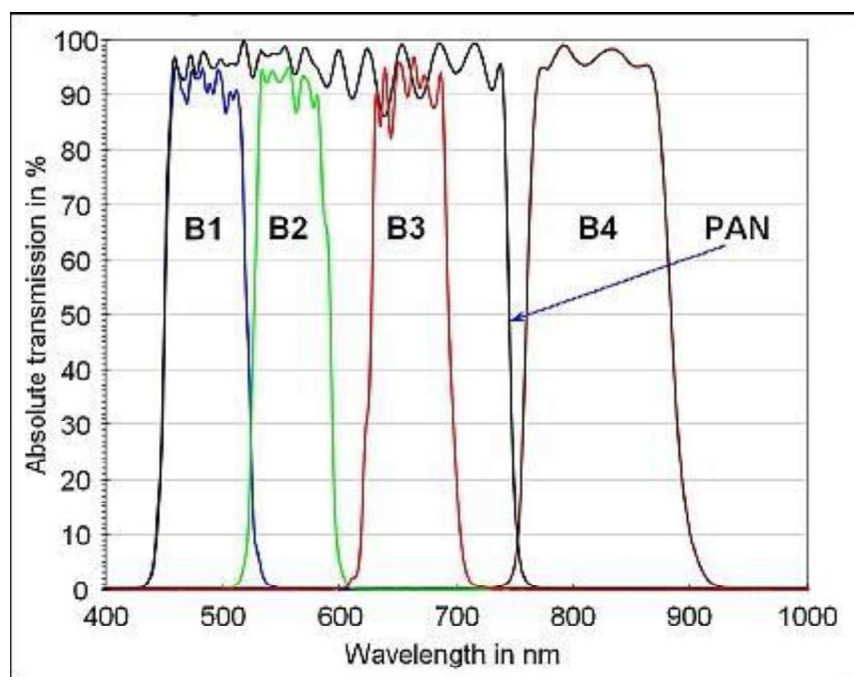


Figure 4-37 La réponse spectrale des filtres optiques de ALSAT-2A

La plan focal inclus un capteur TDI de 7000 pixels pour le panchromatique et quatre lignes de 1750 pixels pour le MS. Leurs positions sur le plan focal sont illustrées dans la figure suivante :

¹ <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/a/alsat-2>

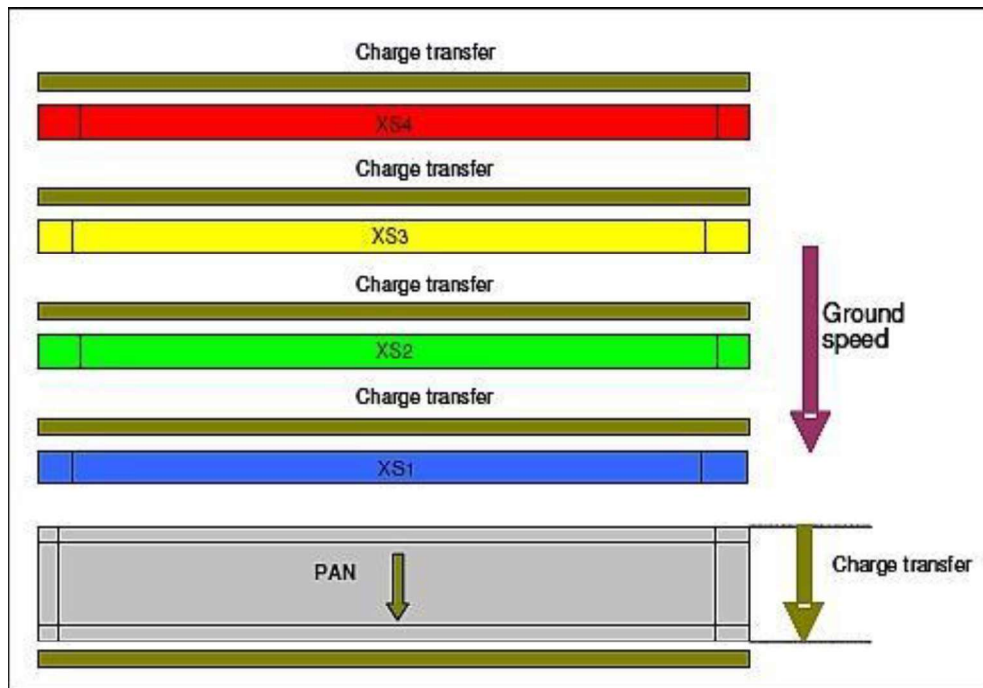


Figure 4-38 La configuration du plan focal de ALSAT-2A

Plusieurs repères sont associés à l'instrument et permettent de définir les paramètres internes, R_{los} est utilisée pour identifier les lignes de visée des pixels dans un format polynomial simple. Il est construit à l'aide des 2 lignes de visée référentielles. Z est aligné avec l'axe du télescope et orienté vers le bas, X est perpendiculaire au plan formé par les deux lignes de visée référentielles, Il est orienté dans le sens de déplacement du satellite, Y complète le trièdre direct.

Le référentiel R_{an} est utilisé comme interface mécanique d'identification des lignes de visée. Le passage entre ces deux repères est fait à travers la mesure, avec précision, des angles de rotation au laboratoire lors de l'assemblage, ces angles sont donnés dans le fichier métadonnées (dans le volet « bias angles »: roll, pitch, yaw).

2.4.2 Paramètre d'orientation interne

Les paramètres de l'orientation interne sont définis indirectement par les angles de lignes de visée (viewing angles) de chaque pixel dans le repère R_{LOS} .²

$$\begin{cases} \Psi_x = x_0 + x_1p + x_2p^2 + x_3p^3 \\ \Psi_y = y_0 + y_1p + y_2p^2 + y_3p^3 \end{cases} \quad (28)$$

Tel que Ψ_x et Ψ_y sont les angles de vue correspondant à la direction de visée d'un détecteur dans le repère R_{LOS} . x_i et y_i sont les coefficients de polynôme fournis dans les métadonnées et P est la position du détecteur sur la barrette du capteur.

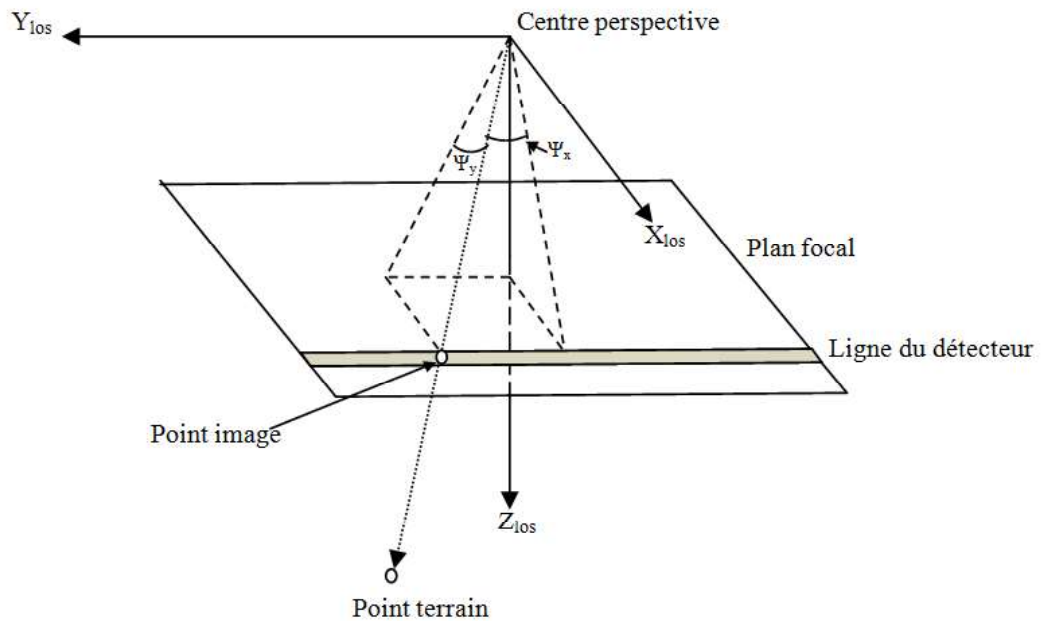


Figure 4-39 Le système ligne de visée (R_{LOS}) et Ψ_x , Ψ_y les angles de vue de l'instrument

La position d'un pixel dans le système R_{LOS} est exprimée par la relation suivante :

$$P_{LOS} = [\tan(\Psi_y), -\tan(\Psi_x), 1]^T \quad (29)$$

Les coordonnées image dans le repère camera sont obtenues par :

$$P_{img} = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = f P_{LOS} \quad (30)$$

Tel que u, v et w sont les coordonnées image en millimètres et f est la distance principale en millimètres qui est de 3249mm pour ALSAT-2A.

2.5 Orientation externe et mise en équation du modèle rigoureux

Le vecteur radial P_K allant du centre de la terre au satellite dans le système de coordonnées orbital R_{orb} dans l'équation (23) du modèle s'écrit de la manière suivante :

$$P_K = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ R_S \end{bmatrix}$$

$$R_S = a(1 - e \cos(E)) \quad (31)$$

Tel que : a est demi-grand axe, e est l'excentricité et E est anomalie excentrique. Les paramètres képlériens (Fritsch and Stallmann, 2000; Jeong and Bethel, 2008; Jeong, 2008; Slama et al., 1980) décrivant l'orbite elliptique sont dérivés de la position et la vitesse du premier point fournie dans les métadonnées ; ces paramètres définissent une ellipse, l'orientent par rapport à la terre et placent le satellite sur cette ellipse à un moment donné. La forme de l'ellipse est définie par le demi-grand axe « a » et l'excentricité « e », son orientation est définie par l'inclinaison de l'orbite « i » et l'ascension droite du nœud ascendant « Ω », l'argument de périégée « ω » et l'anomalie vraie « f » définissent la position du satellite sur l'ellipse à un moment « t » (Fritsch and Stallmann, 2000; Slama et al., 1980).

Donc les coordonnées ECEF du satellite peuvent être obtenues en utilisant P_K et $M_{ORB-ITRF}$, cette matrice est construite à partir des trois rotations appliquées aux axes de R_{ITRF} pour les rendre parallèles aux axes R_{ORB} .

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M_{orb-itr}^T \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ R_S \end{bmatrix} \quad (32)$$

Les trois rotations nécessaires à la construction de la matrice $M_{ORB-ITRF}$ sont calculées en utilisant les paramètres képlérien comme suit :

$$M_1 = \begin{bmatrix} \cos a_1 & \sin a_1 & 0 \\ -\sin a_1 & \cos a_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, a_1 = \Omega - \omega_e t$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos a_2 & \sin a_2 \\ 0 & -\sin a_2 & \cos a_2 \end{bmatrix}, a_2 = i + 90^\circ$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} \cos a_3 & 0 & -\sin a_3 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin a_3 & 0 & \cos a_3 \end{bmatrix}, a_3 = \omega + f + 90^\circ$$

$$M_{orb-itr} = M_3 M_2 M_1 \quad (33)$$

Tel que Ω la longitude du nœud ascendant, ω_e la vitesse de rotation de la terre, t est le temps d'observation, i est l'inclinaison de l'orbite et ω et f sont l'argument de périégée et l'anomalie vraie.

La position du satellite obtenue précédemment est approximative ; afin de pouvoir corriger cette position initiale, P_c dans l'équation (23) est un vecteur de correction de position. Ce vecteur est modélisé en tant que polynôme de second ordre :

$$P_c = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \Delta X &= x_0 + x_1 \Delta t + x_2 \Delta t^2 \\ \Delta Y &= y_0 + y_1 \Delta t + y_2 \Delta t^2 \\ \Delta Z &= z_0 + z_1 \Delta t + z_2 \Delta t^2 \end{aligned} \quad (34)$$

Ainsi le vecteur du centre de satellite au centre de la Terre est écrit sous la forme :

$$V_{grd-sat} = P_{grd} - [M_{orb-itr}^T (P_K + P_c)] \quad (35)$$

La matrice de rotation M_r dans l'équation (23) est construite de la manière suivante :

$$M_r = M_{att}^T * M_{sat-los}^T * M_{\delta}^T * M_{eph1}^T * M_{j2000-ITRF}^T \quad (36)$$

$M_{j2000-ITRF}$ est la matrice de rotation pour le passage du R_{J2000} au R_{ITRF} . Elle peut être divisée en quatre étapes en prenant en considération le mouvement de la Terre dans l'espace : la précession (le changement de l'orientation de l'axe

de rotation de la terre et l'équinoxe vernal), la nutation (la variation périodique et à court terme de l'équateur et l'équinoxe vernal), le mouvement polaire (coordonnées de l'axe de rotation de la Terre relative au pôle de référence IERS) et la rotation de la Terre autour de son axe (Giannone, 2006).

Cette matrice peut être calculée, ou obtenue directement en utilisant les valeurs U et V qu'on trouve dans les métadonnées, comme suit :

$$M_{j2000-ITRF} = \begin{bmatrix} \cos U & 0 & \sin U \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin U & 0 & \cos U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos V & -\sin V \\ 0 & \sin V & \cos V \end{bmatrix} \quad (37)$$

M_{eph1} dans l'équation (36) est la rotation de la plateforme (R_{SAT}) par rapport au repère ECI (R_{J2000}) au moment correspondant à la prise du premier point des données position/vitesse. Dans le satellite ALSAT-2A la capture des positions/vitesses et l'attitude ne sont pas synchronisées donc on est obligé d'interpoler les quaternions d'attitude au moment correspondant à la prise du premier et dernier point dans les données position/vitesse, cela est fait en utilisant une spline cubique (Vince, 2010), ainsi on peut calculer M_{eph1} .

M_{δ} dans l'équation (36) représente la variation de l'attitude du satellite quand le point au sol est observé, cette matrice est obtenue par interpolation linéaire entre les angles d'attitude correspondant au temps du premier et dernier point position/vitesse :

$$M_{ephn} = M_{\Delta} M_{eph1}$$

$$M_{\Delta} = M_{ephn} M_{eph1}^T$$

$$M_{\Delta} = R_{\Delta yaw} R_{\Delta pitch} R_{\Delta roll}$$

$$\delta roll = \frac{\left(\frac{\Delta roll}{t_{ephn} - t_{eph1}} \right)}{t_{pnt} - t_{eph1}} / \delta pitch = \frac{\left(\frac{\Delta pitch}{t_{ephn} - t_{eph1}} \right)}{t_{pnt} - t_{eph1}} / \delta yaw = \frac{\left(\frac{\Delta yaw}{t_{ephn} - t_{eph1}} \right)}{t_{pnt} - t_{eph1}}$$

$$M_{\delta} = R_{\delta yaw} R_{\delta pitch} R_{\delta roll} \quad (38)$$

Tel que t_{eph1} est le temps du premier point position/vitesse, t_{ephn} est le temps du dernier point, t_{pnt} est le temps d'observation du point au sol, ce temps est

obtenu en utilisant le temps de référence (temps de prise de la première ligne de l'image « ligne de référence ») et la période de ligne (le temps nécessaire pour la capture d'une ligne) comme suit :

$$t_{pnt} = t_{l1} + (l * t_p) \quad (39)$$

Tel que t_{l1} temps de référence, t_p est la période de ligne, l est la ligne (l'ordonnée) du point sur l'image en pixel.

Une rotation existe entre R_{LOS} et le repère satellite R_{SAT} , cette rotation est donnée par les trois angles de biais Roll, Pitch et Yaw dans les métadonnées, ces angles de biais sont utilisés pour le calcul de la matrice $M_{sat-los}$ dans l'équation (36) comme suit :

$$M_{sat-los} = R_{yaw}R_{pitch}R_{roll} \quad 40$$

La dernière matrice dans l'équation (36) est M_a , qui est la matrice de correction d'attitude, les matrices de rotation calculée sur la base des quaternions (M_δ et M_{eph1}) sont approximatives. Une correction doit être ajoutée pour corriger l'attitude estimée du satellite, cette correction est modélisée par des polynômes de second ordre fonction du temps comme dans les équations suivantes:

$$\begin{aligned} \Delta\omega &= \omega_0 + \omega_1\Delta t + \omega_2\Delta t^2 \\ \Delta\varphi &= \varphi_0 + \varphi_1\Delta t + \varphi_2\Delta t^2 \\ \Delta\kappa &= \kappa_0 + \kappa_1\Delta t + \kappa_2\Delta t^2 \end{aligned}$$

$$M_a = R_{\Delta\kappa}R_{\Delta\varphi}R_{\Delta\omega} \quad (41)$$

La relation de base décrivant de système de prise de vue peut être réécrite de la manière suivante :

$$P_{img} = \lambda M_r V_{grad-sat} \quad (42)$$

Ou

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix}$$

Les paramètres internes tels que décrits dans les métadonnées sous la forme des angles de vue sont déterminés par calibration au laboratoire avant le lancement, la qualité de l'orientation interne est liée à la qualité des angles de vue modélisée sous la forme des polynômes cubiques. La compensation des erreurs dans les paramètres internes peut être faite à travers des fonctions polynomiales de correction (Liu et al., 2011) :

$$\begin{aligned}\delta x &= a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + a_3 p^3 \\ \delta y &= b_0 + b_1 p + b_2 p^2 + b_3 p^3\end{aligned}\quad (43)$$

Tel que δx et δy sont les corrections aux coordonnées image, a_i et b_i sont les paramètres de modèles de correction, et p est la position du détecteur sur la barrette du capteur. Une autre erreur sur les paramètres d'orientation interne qui doit être pris en compte est la correction δf qui corrige l'erreur sur la distance focale, donc le modèle géométrique doit être écrit sous la forme suivante :

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u + \delta x \\ v + \delta y \\ w + \delta f \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix}\quad (44)$$

Dans ce système d'équations, la première et la deuxième équation sont divisées par la troisième afin d'éliminer le facteur d'échelle λ , et les équations de condition sont écrites de la manière suivante :

$$\begin{aligned}F_x &= x - z \frac{u}{w} = 0 \\ F_y &= y - z \frac{v}{w} = 0\end{aligned}\quad (45)$$

Ces équations de condition incluent 9 paramètres d'orientation interne et 24 paramètres d'orientation externe dont 6 éléments de Kepler, 9 paramètres de position et 9 d'attitude.

2.6 L'ajustement par faisceaux

Les valeurs approximatives des 33 paramètres inconnues peuvent être calculé ou extraits du fichier métadonnées fournies avec l'image, les spécifications techniques ou simplement fixées à Zéro, donc les équations de condition peuvent être linéarisées autour des solutions initiales et résolues par

la méthode SVD (décomposition en valeurs singulières) dans le sens des moindres carrés afin de corriger les valeurs initiales en utilisant certains points d'appui bien distribués sur l'image (Brovelli et al., 2008). Le programme développé initialement n'utilise pas la méthode SVD, mais la solution itérative par moindres carrés en utilisant l'inversion directe. Mais du fait que des corrélations entre les paramètres à estimer existent, la méthode SVD est utilisée pour surmonter ce problème et notamment sa formulation tronquée TSVD.

L'ajustement par faisceaux peut être calculé si on a au moins deux images stéréoscopiques. L'avantage de l'ajustement par faisceaux est que tous les paramètres et observations sur les images sont calculés simultanément (Topan, 2009). L'objectif de l'ajustement par moindres carrés est la détermination de la valeur la plus probable des coordonnées terrain des points inconnus et les paramètres d'orientations (interne et externe). On peut corriger les paramètres des orientations externes et internes, les coordonnées terrain des points d'appui et des points de liaison quand une erreur à priori est prise en compte (Chen et al., 2008).

Les équations de l'ajustement par faisceaux sont de la forme suivante (Slama et al., 1980):

$$\bar{V} + \bar{B}\Delta = \bar{C}$$

$$\bar{V} = \begin{bmatrix} V \\ \dot{V} \\ \ddot{V} \end{bmatrix}; \quad \bar{B} = \begin{bmatrix} \dot{B} & \ddot{B} \\ -I & 0 \\ 0 & -I \end{bmatrix}; \quad \Delta = \begin{bmatrix} \dot{\Delta} \\ \ddot{\Delta} \end{bmatrix}; \quad \bar{C} = \begin{bmatrix} \varepsilon \\ \dot{C} \\ \ddot{C} \end{bmatrix} \quad (46)$$

Tel que:

V : Vecteur des résidus sur les coordonnées image.

\dot{V} : Vecteur des résidus sur les paramètres du modèle

\ddot{V} : Vecteur des résidus sur les coordonnées terrain

\dot{B} : Les dérivées partielles par rapport aux paramètres du modèle

\ddot{B} : Les dérivées partielles par rapport aux coordonnées terrain

$\dot{\Delta}$: Vecteur des corrections aux paramètres du modèle

$\ddot{\Delta}$: Vecteur des corrections aux coordonnées terrain

\dot{C} : Vecteur des écarts liés aux paramètres du modèle

\ddot{C} : Vecteur des écarts liés aux coordonnées terrain

Un programme est développé sous Matlab pour le traitement des métadonnées XML, la lecture des fichiers de points, le calcul des paramètres initiaux, l'ajustement du bloc et calcul des précisions. Le programme offre aussi la possibilité de sélectionner un jeu de paramètres parmi l'ensemble des inconnues des orientations interne et externe, ainsi que le calcul du RFM et l'export vers un fichier RPC.

3 Tests et résultats sur la modélisation géométrique

3.1 Description des données

Plusieurs jeu de données ALSAT-2A sont utilisées pour le test des précisions géométriques des différents produits.

Le premier est une image avec deux niveaux de traitements 1A et 2A couvrant la ville d'EL Bayadh, cette image est prise le 07 février 2011 avec les angles de vues 9.006 et -11.802 degrés en dépointé et sur la trace respectivement. Sur cette image, neuf points d'appui levés par GPS sont observés.

Le deuxième jeu de données contient un couple d'images stéréoscopiques selon la trace, ces images sont panchromatiques et multispectrales de niveau de traitement 1A couvrant la ville de Séville dans le sud de l'Espagne, elles ont été prises le 02 février 2011 avec des angles de vue -0.969 et 29.983 degrés pour la première et -0.958 et -30.0387 pour la deuxième image. Ces images sont équipées par des points collectés sur une carte au 1/25 000 avec des

altitudes issues d'un MNT de 5m de cellule et 1m de précision. Les données sont fournies par Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)¹.

Le troisième jeu de données couvre la ville de Toulouse en France et contient deux images l'une sur le nord et l'autre le sud de la ville, les angles d'incidence de ces deux images sont 9.7 et 18.1 degrés respectivement. Pour ce jeu de données, les points d'appui sont collectés sur des plans cadastraux en utilisant la plateforme Geoportail 3D² avec une précision de 50cm.

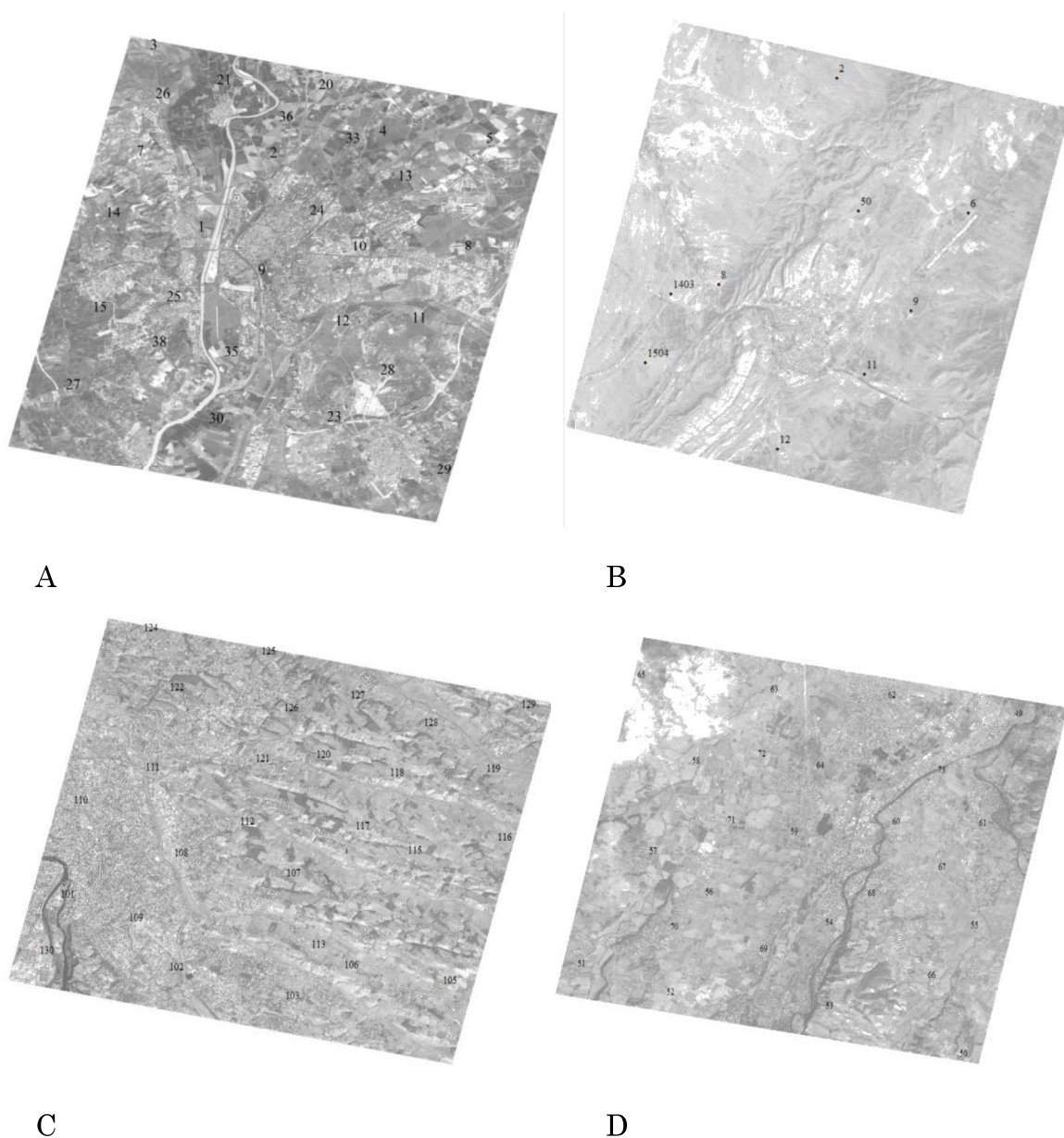


Figure 4-40 Les images utilisées dans les tests : A) Séville B) El Bayadh C) Toulouse nord et D) sud

¹ <https://www.cnig.es/>

² <http://www.geoportail.gouv.fr/accueil>

3.2 Tests sur la précision absolue

La précision absolue est une mesure qui indique la précision de localisation sur l'image telle qu'elle est acquise sans aucune correction (Poli, 2005). Dans ce test les 9 points GPS sont mesurés sur les images panchromatiques de niveau 1A et 2A. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4-14 La précision absolue des niveaux 1A et 2A.

		Dx (m)	Dy (m)	Dd (m)
1A	Moy	165,207	370,306	405,686
	EMQ	10,977	36,901	36,058
2A	Moy	153,8037	315,622	351,317
	EMQ	14,001	32,982	33,418

Les résultats dans le tableau ci-dessus indique que les précisions géométriques des deux produits 1A et 2A sont équivalentes, donc le niveau 2A ne présente aucune valeur ajoutée sur le plan de la précision, néanmoins ces images sont projetées et les coordonnées sont mesurées directement en mètres.

Les écarts entre les 9 points de vérification et leurs homologues sur les images brutes présentent une moyenne élevée et un écart moyen quadratique relativement faible, cela indique que ces mesures sont entachées d'erreurs systématiques et leur élimination améliore considérablement la qualité de positionnement sur l'image.

Pour cela l'image de niveau 2A a été corrigée en utilisant une transformation plane affine de premier ordre (Takarli et al., 2010; Toutin et al., 2002), cette transformation prend en charge les défauts de translation, rotation, facteurs d'échelles différentiels et la non-perpendicularité entre les axes. Elle s'écrit sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} r &= L_1 X + L_2 Y + L_3 \\ c &= L_4 X + L_5 Y + L_6 \end{aligned} \quad (47)$$

Où :

r,c : les coordonnées images du point

X,Y : les coordonnées terrain du point

L_i : sont les coefficients de transformation.

Les résultats obtenus en utilisant les mêmes points après transformation sont représentés dans le tableau ci-après :

Tableau 4-15 La précision du niveau 2A après l'élimination du biais.

		Dx (m)	Dy (m)	Dd (m)
2A	Moy	0	0	28,453
	EMQ	14,001	32,982	19,604

L'utilisation de la transformation affine qui est une transformation largement utilisée dans le domaine de la télédétection permet de réduire l'erreur absolue de 350m à 28m en moyenne par l'élimination du biais, l'EMQ est réduit de 33m à 19.6m, mais cela reste insuffisant au vu de la résolution de 2.5m de ces images.

3.3 Test sur le modèle géométrique générique

l'image de niveau 1A qui est un produit destiné à l'utilisation photogrammétrique (ASAL, 2011; Toutin et al., 2002) a été exploitée pour l'orthorectification en utilisant 7 points d'appui et 2 points de vérification sous ERDAS avec un modèle géométrique générique.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4-16 La précision de l'orthorectification de l'image du niveau 1A.

	EMQ control (pixel)	EMQ check (pixel)
X	2.05	2.26
Y	0.69	1.46

L'utilisation du modèle générique intégré sous ERDAS a nettement amélioré la précision de positionnement relativement à la transformation affine habituellement utilisée pour le calage des images satellitaires, en passant de 14,001/32,982 mètres sur X et Y respectivement à 5,65/3,65 mètres.

Il est à remarquer que la précision selon Y est meilleure que celle sur X cela nous indique que les paramètres externes (position et attitude) sont mieux estimés et ajustés que les paramètres internes (distance principale, position du barrette CCD, et la taille du pixel,...) par le modèle générique utilisé (le satellite ALSAT-2A étant de type Pushbroom). Les précisions obtenues sont en

dehors des tolérances imposées par le cadastre (Boukerch et al., 2010) pour ce jeu d'essai, cela peut s'améliorer par deux manières : la première étant d'augmenter considérablement le nombre des points d'appui et de bien les répartir sur la scène, ce qui est problématique dans un contexte de production intense. La deuxième manière est d'améliorer la connaissance de la géométrie de la prise de vue telle que précisée dans les études sur des satellites similaires à ALSAT-2A comme SPOT-5, Formosat-2 ou THEOS qui indique qu'une précision de subpixel peut être atteinte en utilisant une modélisation géométrique rigoureuse (Chen et al., 2005; Jung et al., 2007; Ke and Wolniewicz, 2005; Poli, 2005; Weser et al., 2008).

3.4 Test sur l'influence de la correction des paramètres d'orientation interne

Dans ce test les images des jeux de données sur Séville et Toulouse sont utilisées, sur l'ensemble des images, 72 points sont mesurés. L'influence des erreurs dans l'orientation interne est estimée à travers le calcul des paramètres d'orientation externe en appliquant des polynômes de second ordre pour la correction de la position et l'attitude en utilisant l'ensemble des points en tant que PA, cela sans aucune correction des paramètres internes dans une première étape.

Les résidus sur les coordonnées image de la première étape sont tracés avec l'intervalle de confiance de 99% dans la figure suivante :

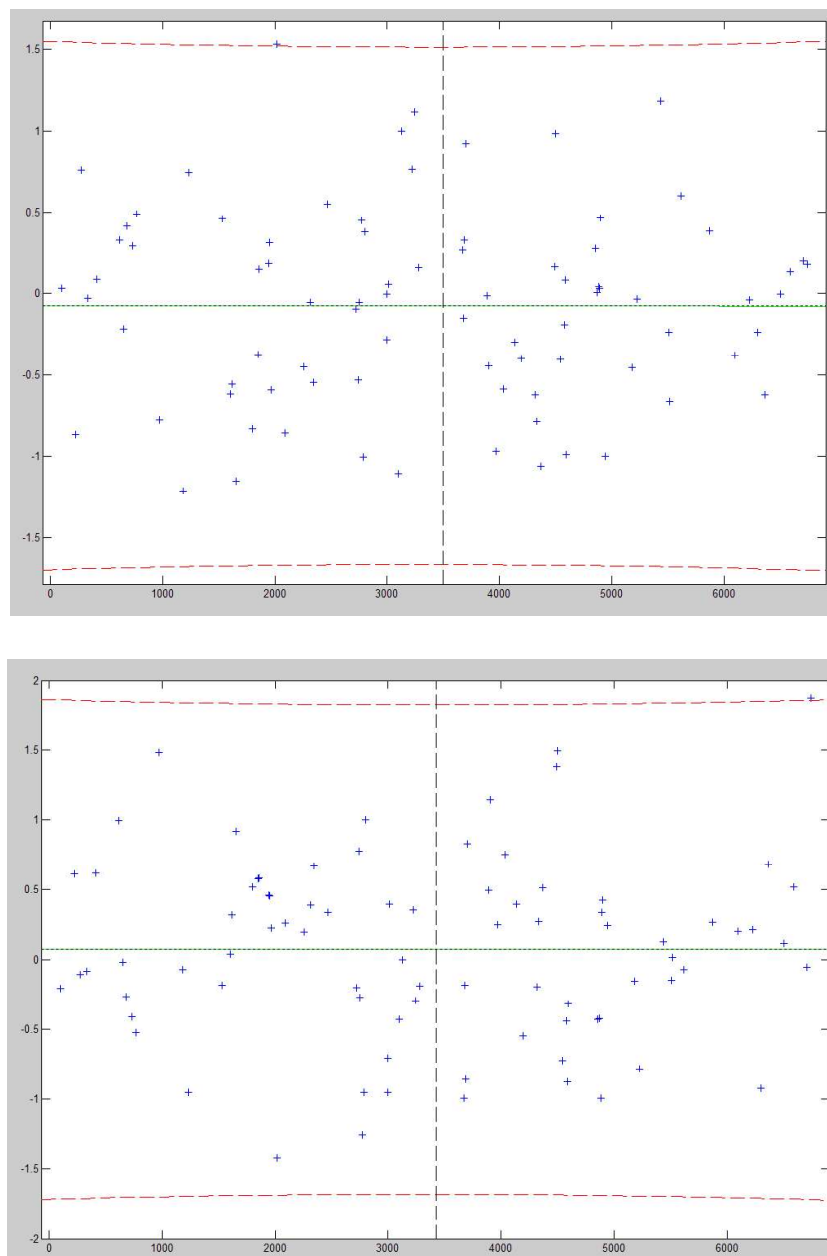


Figure 4-41 Tracé des résidus x et y de la première étape d'ajustement.

Dans la deuxième étape, on teste différents ordres de polynômes pour la correction de l'orientation interne (43). Le résultat sur les paramètres d'orientations externes obtenues dans la première étape est considéré comme une solution initiale. Le système est résolu dans le sens d'une autocalibration où les paramètres d'orientation interne et externe sont ajustés simultanément, les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4-17 Résultats sur la correction des paramètres internes

	EMQ des résidus image en X (pixel)	EMQ des résidus image en Y (pixel)
Sans correction des paramètres internes	0.5958	0.6559
correction poly 1er ordre	0.5850	0.6638
correction poly 2e ordre	0.5881	0.6459
correction poly 3e ordre	0.5883	0.6428

Sans la correction des paramètres interne 99% des résidus sont dans l'intervalle de 1.5 pixel selon X et 1.7 pixel selon Y, aussi 89.9% et 86.5% des résidus selon X et Y respectivement sont dans un intervalle de 1 pixel. Les résidus dans le tableau ci-dessus indiquent qu'on ne constate aucune amélioration significative dans la précision avec et sans correction des paramètres internes. Une autre stratégie de traitement a été évaluée, où seulement les paramètres d'orientation interne sont ajustés dans la deuxième étape. Les paramètres d'orientation externe sont fixés à ceux obtenus par la première étape du test ; mais le résultat obtenu est similaire à celui présenté dans le tableau précédent.

3.5 Test sur les groupes de paramètres

Ce test est réalisé en utilisant la résolution du système des paramètres par moindres carrées par inversion de matrice. Dans cette partie, les paramètres d'orientation interne ne sont pas pris en compte. Le deuxième jeu de données couvrant Séville est utilisé pour ce test, dans lequel on expérimente l'influence des paramètres externes et le nombre des points sur la précision finale.

Le tableau suivant présente les résultats pour différents groupes des paramètres avec l'utilisation de 14 points d'appui (PA) et 9 points de contrôle (PC) :

Tableau 4-18 Les précisions en utilisant différents groupes de paramètres

Paramètres utilisés	EMQ des résidus sur les PA (m)			EMQ des résidus sur les PC (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Tous les paramètres	43.24	76.03	170.29	38.88	81.38	84.86
les paramètres orbitaux seulement	3674.40	9944.10	9154.00	3338.60	9117.20	8405.70
les paramètres de translation et rotation	2.99	3.59	3.68	4.54	3.31	3.65
Translations seulement en deuxième degrés	2810	19343	15378	1313	18775	14121
Translations seulement en premier degrés	2757.40	8027.90	8312.10	2397.50	7220.40	7500.10
Rotations seulement en deuxième degrés	2.40	1.74	1.53	3.73	3.47	1.72
Rotations seulement en premier degrés	2.34	2.87	3.18	3.54	4.42	3.31
Rotation constante	248.40	508.96	582.24	221.60	446.39	517.47

L'utilisation de tous les paramètres dans l'ajustement donne un mauvais résultat à cause des corrélations existantes entre les paramètres ainsi que le nombre relativement élevé des paramètres par rapport au nombre des PA. L'utilisation uniquement des paramètres orbitaux et la correction polynomiale des translations génère des résidus élevés, cela peut être interprété par (vu le résultat de correction des rotations) une imprécision dans les mesures angulaires fournies dans les métadonnées.

L'utilisation des corrections polynomiales des paramètres d'attitude au premier et second ordre a donné un meilleur résultat. On remarque aussi que la correction par un polynôme de second ordre donne une meilleure précision altimétrique.

Dans ce test, on a vérifié l'influence du nombre des PA sur la précision, là on maintient deux groupes de paramètres qui sont les corrections polynomiales des paramètres d'attitude au premier et second ordre, dans cette partie on utilise 16 PA et 7 PC, les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4-19 influence du nombre des points sur la précision.

Nombre des PA	Rotations en 1er order				Rotations en 2e order			
	EMQ r (m)	EMQ Z (m)	$\sigma_{min}/\sigma_{max}$	CE90	EMQ r (m)	EMQ Z (m)	$\sigma_{min}/\sigma_{max}$	CE90
16	3.24	2.49	0.61	6.96	2.89	1.69	0.97	6.20
14	3.16	2.63	0.61	6.77	2.78	1.92	0.97	5.97
12	3.35	2.57	0.66	7.19	2.96	2.12	0.92	6.34
10	3.31	2.60	0.75	7.10	2.99	2.18	0.93	6.42
8	3.37	2.42	0.72	7.23	3.18	2.44	0.98	6.82
6	3.47	2.69	0.71	7.44	3.68	2.53	0.65	7.90
4	3.39	3.03	0.65	7.27	/	/	/	/

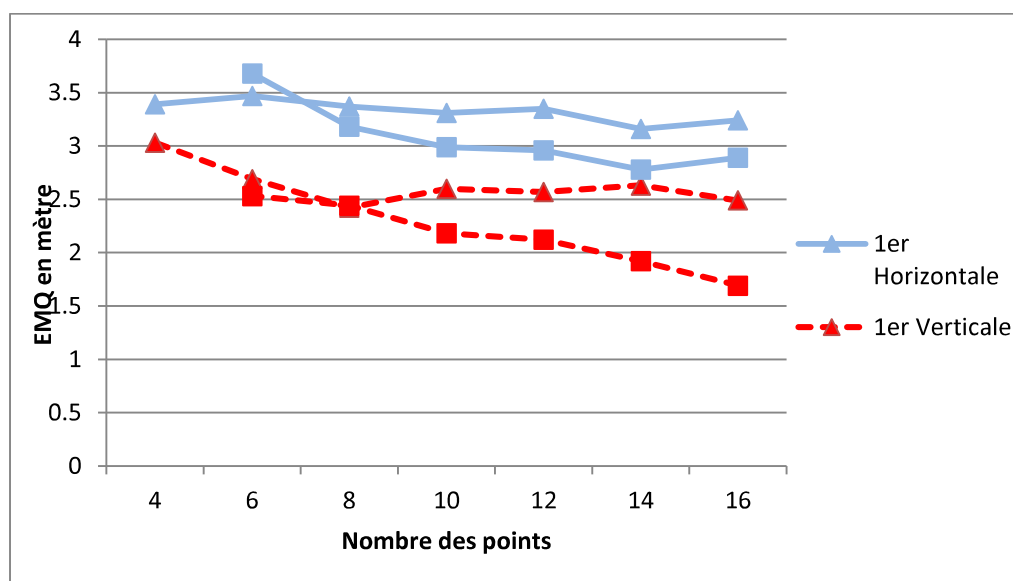


Figure 4-42 Précision horizontale et verticale en fonction du nombre des points

La précision qu'on peut atteindre avec 4 PA est de 3.39m en horizontal et 3.03m en verticale en utilisant des polynômes de correction de premier ordre, l'utilisation de 6 points et plus donne pratiquement la même précision, on remarque aussi que la précision horizontale ne présente pas un changement significatif lorsqu'un nombre plus élevé des PA est utilisé.

L'utilisation de 6 PA avec un polynôme de second ordre présente un résultat similaire que lorsqu'on utilise des polynômes de premier ordre, mais l'augmentation du nombre des points d'appui améliore la précision, en utilisant 16 PA, une précision verticale de 1.69 m peut être atteinte.

3.6 Test sur le choix optimal des groupes de paramètres

Dans ce test, on utilise le troisième jeu de données couvrant la ville de Toulouse pour évaluer la précision planimétrique, le système d'équations est résolu par SVD dans le sens des moindres carrés.

Selon Jeong et Bethel (Jeong and Bethel, 2008; Jeong, 2008) des corrélations existent entre les paramètres de rotation et de translation; on peut distinguer deux groupes indépendants qui sont les translations en X, Y, Z, et la rotation K au tour de Z pour le premier groupe et la translation en Z avec les rotations Ω Φ K autour des axes X, Y et Z respectivement pour le deuxième groupe.

Dans ce test, on vérifie les précisions achevées par différentes combinaisons de paramètres de translations et rotations en différents ordres, dans les tableaux suivants qui présentent les résultats de ce test, on note les translations par X, Y, Z et Ω , Φ , K les rotations autour des axes X, Y et Z respectivement, les chiffres représentent les ordres des polynômes.

Tableau 4-20 Résultats des différents paramètres sur la première image de Toulouse.

Les paramètres utilisés	EMQ des résidus sur les PA (pixel)		EMQ des résidus sur les PC (pixel)	
	X	Y	X	Y
X Y Z Ω Φ K	10.456	14.162	10.308	10.199
X2 Y2 Z2 Ω 2 Φ 2 K2	0.335	0.669	0.646	0.766
X2 Y2 Z2	2.699	0.795	1.574	0.819
Ω 2 Φ 2 K2	0.326	3.687	0.702	2.598
X2 Y2 Z2 Ω Φ K	1.425	0.739	0.919	0.860
X Y Z Ω 2 Φ 2 K2	0.306	1.194	0.676	0.893
X2 Y2 Z2 K2	0.328	0.799	0.701	0.813
Z2 Ω 2 Φ 2 K2	0.329	0.805	0.702	0.809
Z1 Ω 2 Φ 2 K1	0.340	0.803	0.689	0.812
Z1 Ω 2 Φ 2 K	1.612	0.802	0.959	0.808
Z Ω 2 Φ 2 K	1.611	1.240	0.959	0.906
Z1 Ω 2 Φ 2 K2	0.329	0.803	0.702	0.810
Z Ω 2 Φ 2 K2	0.330	1.240	0.704	0.907
Z Ω 2 Φ 2 K1	0.341	1.241	0.688	0.909
Z Ω 1 Φ 2 K1	0.4540	9.4277	0.7737	7.1067
Z Ω 2 Φ 1 K1	1.5293	0.8036	1.4103	0.8126

Tableau 4-21 Résultats des différents paramètres sur la deuxième image de Toulouse.

Les paramètres utilisés	EMQ des résidus sur les PA (pixel)		EMQ des résidus sur les PC (pixel)	
	X	Y	X	Y
X Y Z Ω Φ K	7.982	5.465	3.321	3.460
X2 Y2 Z2 Ω 2 Φ 2 K2	0.380	0.350	0.886	0.808
X2 Y2 Z2	2.883	0.739	2.160	0.935
Ω 2 Φ 2 K2	0.426	6.823	0.921	4.553
X2 Y2 Z2 Ω Φ K	1.699	0.736	1.027	0.955
X Y Z Ω 2 Φ 2 K2	0.398	0.798	0.902	0.946
X2 Y2 Z2 K2	0.429	0.739	0.920	0.932
Z2 Ω 2 Φ 2 K2	0.430	0.743	0.920	0.921
Z1 Ω 2 Φ 2 K1	0.430	0.741	0.920	0.924
Z1 Ω 2 Φ 2 K	1.906	0.745	1.066	0.922
Z Ω 2 Φ 2 K	1.899	0.806	1.065	0.926
Z1 Ω 2 Φ 2 K2	0.430	0.741	0.920	0.924
Z Ω 2 Φ 2 K2	0.430	0.806	0.920	0.927
Z Ω 2 Φ 2 K1	0.430	0.806	0.920	0.927
Z Ω 1 Φ 2 K1	0.431	1.008	0.920	1.009
Z Ω 2 Φ 1 K1	3.519	0.748	1.727	0.923

Le premier jeu de paramètres vise à corriger (X Y Z Ω Φ K) en utilisant des constantes, le résultat est entre 3 et 15 pixels. L'utilisation de l'ensemble des paramètres de correction (X2 Y2 Z2 Ω 2 Φ 2 K2) donne un bon résultat où l'EMQ sur les PC est inférieur à 1 pixel. Il est aussi important de noter que la correction de l'attitude par polynôme de second ordre donne une meilleure précision que celui des translations.

Le jeu de paramètres (Z2 Ω 2 Φ 2 K2) donne un résultat similaire à celui trouvé par l'utilisation de l'ensemble des paramètres de correction. L'application d'une correction linéaire au paramètre d'attitude K et une constante pour la translation sur Z (Z Ω 2 Φ 2 K1) permet l'obtention d'un résultat inférieur à 1 pixel.

3.7 Test sur le nombre des PA et leurs distributions

Dans cette partie, on teste l'influence du nombre de points et leurs distributions sur la précision. Ici on utilise la première image du troisième jeu de données sur Toulouse.

Là, le modèle est calculé en utilisant différentes combinaisons de PA, la première ligne du Tableau 4-22 est le résultat en utilisant 2 PA qu'on prend parmi les 27 points disponibles, les autres 25 points sont utilisés comme PC.

Cette opération donne 351 combinaisons possibles. Pour les autres lignes on change le nombre de PA de 2 jusqu'à 14, mais le nombre des combinaisons possibles est très élevé, par exemple 14 points parmi 27 donnent 20058300 combinaisons !, donc pour $PA > 3$ on choisit aléatoirement 2000 parmi toutes les combinaisons possibles.

Pour chaque combinaison de points, on calcule le modèle et l'EMQ des erreurs sur les PC, on calcule aussi l'écart type et la moyenne des coordonnées X, Y des PA ; par la suite et pour l'ensemble des combinaisons, on calcule la corrélation entre l'écart type des coordonnées et l'EMQ des erreurs ainsi que la corrélation entre la moyenne des coordonnées et l'EMQ des erreurs. L'écart-type et la moyenne des coordonnées donnent une indication sur la distribution des points (voir figure suivante). Pour chaque nombre de PA on calcule l'EMQ minimal obtenu et les centiles à 50% et 95% ainsi que le pourcentage des EMQ inférieur à 1 pixel

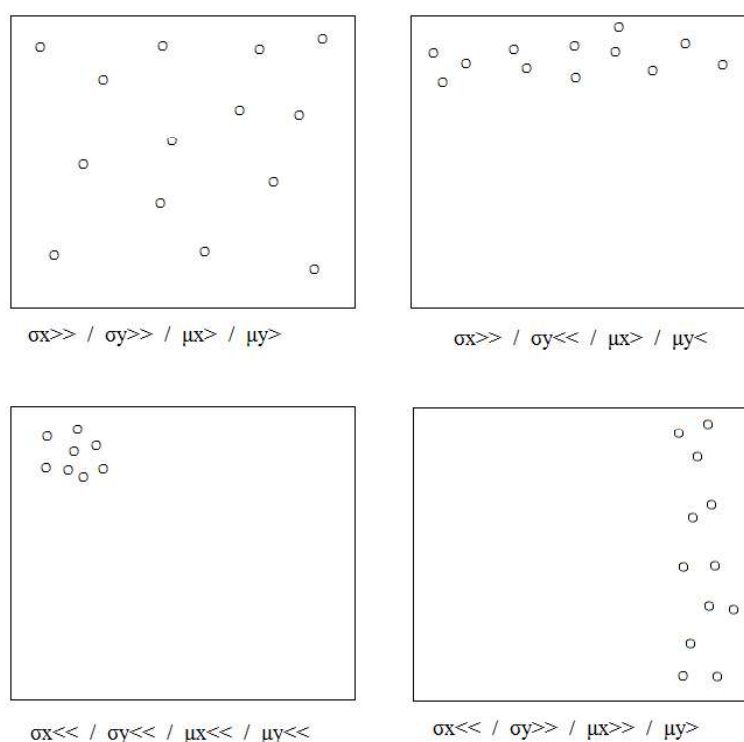


Figure 4-43 Distribution des points et sa relation avec la moyenne et l'écart type

Tableau 4-22 Résultats sur le nombre et distribution des points

Nombre des PA	Corr ox	Corr oy	Corr μ_x	Corr μ_y	EMQ min	EMQ a 50%	EMQ a 95%	% des EMQ < 1pixel
2	0.34	-0.74	0.08	-0.18	8.47	36.58	98.34	0.00
3	-0.03	-0.58	0.05	-0.17	5.29	18.09	59.93	0.00
4	0.13	-0.42	0.07	-0.26	0.52	5.19	21.48	3.00
5	-0.07	-0.33	0.08	-0.14	0.41	2.65	26.86	12.60
6	-0.05	-0.35	0.07	-0.15	0.60	2.99	18.80	6.45
7	-0.08	-0.41	0.14	-0.15	0.48	2.60	17.27	8.35
8	-0.11	-0.42	0.05	-0.12	0.39	1.79	10.71	18.05
9	-0.07	-0.39	0.00	-0.17	0.37	1.49	8.38	26.45
10	-0.09	-0.44	0.01	-0.12	0.37	1.16	5.58	40.05
11	-0.08	-0.41	-0.05	-0.07	0.30	1.05	4.55	46.95
12	-0.08	-0.37	-0.06	-0.05	0.30	0.91	3.68	56.90
13	-0.13	-0.32	-0.06	0.02	0.31	0.85	2.79	64.70
14	-0.10	-0.29	-0.07	0.04	0.30	0.79	2.76	69.50

Lorsque deux points d'appui sont utilisés, la meilleure précision atteignable est 8.47pixels. Elle est de 5.29pixels avec trois points. En utilisant 4 PA et plus, une précision subpixellaire peut être atteinte ; cela peut être expliqué par l'existence de sept ou huit paramètres non corrélés parmi l'ensemble des paramètres. Selon ce résultat les points doivent avoir un maximum d'espacement dans la direction Y vue la corrélation relativement élevée entre EMQ et le oy. La position du barycentre des points n'est pas très importante du fait que la corrélation entre la moyenne des coordonnées X et Y et l'EMQ est faible. La meilleure précision résultante de la meilleure distribution devient stable autour de 0.3 pixel en utilisant plus de 10 points.

3.8 Test sur le géoréférencement des images multispectrales

Dans ce test on utilise les jeux de données sur Séville et Toulouse. Le modèle utilisé dans ce test prend en charge la correction de quatre éléments d'orientation externe à savoir Z, Ω , Φ et K par la résolution de onze inconnues. La translation en Z est corrigée par une fonction linéaire tandis que les paramètres d'attitude Ω , Φ et K sont modélisés par des fonctions de second ordre.

Les deux images PAN et MS sont prises de la même trace, de ce fait, la trajectoire et l'attitude du satellite sont communes pour les deux images. Le temps entre les deux prises d'images est de 0.060788 seconde, cette différence

est due au décalage entre les deux lignes de détecteurs sur le plan focal. Les différences principales entre les métadonnées des deux images, PAN et MS, résident dans les coefficients des lignes de visée (LOS), le temps de référence et la période de ligne.

La première partie concerne la correction des images MS en utilisant les paramètres du modèle calculés à partir de l'image PAN en utilisant des PA. En tenant en compte du décalage en temps entre la prise des images PAN et MS, qui peut être calculé comme une différence entre les temps de références des deux images, la projection des points terrain sur l'image MS est possible ; alors l'image MS est géoréférencée sans avoir besoin de mesurer des PA sur cette dernière. Les points mesurés sur l'image MS sont comparés avec ceux obtenus par projection afin de mesurer la précision de ce géoréférencement, les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4-23 EMQ des résultats de géoréférencement de l'image MS sur la base du modèle de l'image PAN.

	Toulouse 1			Toulouse 2			Seville		
	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy(pix)
PA sur PAN	0.257	0.545	0.282	0.454	0.757	0.477	0.658	0.796	0.344
PC sur PAN	0.740	0.990	0.619	0.889	0.950	0.607	0.750	0.792	0.480
Points sur MS	0.65	0.79	0.40	0.63	0.59	0.50	0.386	0.620	0.393

Dans la deuxième partie, c'est l'image MS qui est utilisée avec les PA pour le calcul des paramètres du modèle géométrique, l'évaluation de la précision est faite par des CP. Les points terrain sont par la suite projetés sur l'image PAN en utilisant les paramètres du modèle calculé par l'image MS, les coordonnées sont comparées avec ceux mesurés sur l'image. Le résultat est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 4-24 EMQ des résultats de géoréférencement de l'image PAN sur la base du modèle de l'image MS.

	Toulouse 1			Toulouse 2			Seville		
	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy(pix)
PA sur PAN	0.577	0.589	0.246	0.537	0.282	0.238	0.357	0.296	0.208
PC sur PAN	0.638	0.430	0.302	0.711	0.609	0.479	0.360	0.516	0.367
Points sur MS	0.59	0.52	0.27	2.644	1.760	2.011	1.092	2.113	1.429

Les paramètres du modèle dans la troisième partie sont obtenus à travers un ajustement par faisceaux des deux images PAN et MS. Les PA mesurés sur les images PAN et MS sont utilisés conjointement pour le calcul des paramètres. Les coordonnées des points terrain et image sont considérées comme éléments connues et fixes pour l'estimation de la solution optimale des paramètres choisis dans le modèle géométrique en utilisant les deux images simultanément.

Des PC indépendants sont utilisés pour évaluer la précision du modèle calculé, les résultats de cette partie sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4-25 EMQ des résultats de géoréférencement des images PAN et MS sur la base du modèle calculé simultanément

	Toulouse 1			Toulouse 2			Seville		
	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)
PA sur PAN	0.257	0.545	0.282	0.454	0.757	0.485	0.658	0.796	0.344
PC sur PAN	0.740	0.990	0.620	0.889	0.951	0.608	0.750	0.792	0.480
PA sur MS	0.548	0.586	0.219	0.505	0.288	0.198	0.363	0.294	0.190
PC sur MS	0.601	0.425	0.289	0.669	0.619	0.470	0.376	0.516	0.349

La précision du géoréférencement en utilisant le modèle géométrique calculé depuis l'image PAN dans la première partie donne une précision subpixellaire. La précision selon X est meilleur que celle de Y, ce qui peut être expliqué par le mode de capture de l'image qui est un balayage pushbroom selon Y, et la direction de X est fixé par les paramètres internes. La trajectoire calculée avec les paramètres de correction de position et d'attitude donne une précision subpixellaire quand elles sont utilisées pour le géoréférencement de l'image MS pour les trois images. Le modèle calculé par l'image MS donne une précision légèrement plus élevée (amélioration d'environ 0.1pixel), mais quand ce modèle est utilisé pour l'image PAN donne une précision dégradée à cause de la faible résolution de l'image MS (2.5m pour le PAN et 10m pour le MS). Quand les mesures sur les deux images sont utilisées pour un ajustement par faisceaux dans la troisième partie, on obtient une précision légèrement meilleure pour les trois images, mais cette approche nécessite les mesures des

PA sur les deux images PAN et MS pour le calcul du modèle ce qui augmente le temps de production.

3.9 Test sur la génération d'un RFM équivalent au modèle rigoureux

L'utilisation du modèle rigoureux permet la création d'une grille dense de points avec une précision subpixelaire, cette grille est utilisée pour le calcul des paramètres d'un RFM. Ces paramètres connus sous l'appellation RPC, sont écrits dans un fichier de format `_rpc.txt` ou ajouté à l'entête d'un fichier NITF, ces RPC peuvent être lus par plusieurs logiciels de traitement d'images ou de photogrammétrie. L'utilisation du RFM pour le remplacement du modèle rigoureux permet la création d'orthoimages et MNE avec une bonne précision géométrique dans un environnement dédié à la production (Boukerch et al., 2014a).

Dans ce test on utilise le jeu de données stéréoscopiques sur la ville de Séville et la première image du jeu de données sur la ville de Toulouse, ces images sont équipées par 11PA avec 12CP et 12 PA avec 13PC pour les deux jeux de données respectivement. Ce test a pour but de générer un RFM équivalent au modèle géométrique rigoureux, cela se fait à travers la génération d'une grille de points sur l'image et sur terrain en utilisant le modèle géométrique rigoureux (Hu et al., 2004), cette grille par la suite servira pour le calcul d'un RFM. L'évaluation de ce RFM par des CP permettra de mesurer le degré d'équivalence entre les deux modèles. Le RFM est toujours considéré comme une alternative pour la modélisation des satellites utilisant le système pushbroom permettant un traitement photogramétrique sans aucune connaissance préalable du capteur (Boukerch et al., 2014a; Fraser and Ravanbakhsh, 2011; Hu et al., 2004; Xu, 2004). Actuellement, tous les logiciels photogramétriques ou de traitement d'images de télédétection proposent la lecture d'RFM pour permettre la modélisation géométrique et l'utilisation de l'image satellitaire (Nagasubramanian et al., 2008).

Dans notre cas on utilise le RFM pour le remplacement du modèle géométrique rigoureux, donc le RFM est utilisé comme une fonction

d'ajustement entre la grille des points image et terrain (Hu et al., 2004). En premier, une grille de points est générée sur l'image, ainsi un faisceau de demi-droites peut être créé, ces demi-droites sont définies par la projection des points image en utilisant le modèle géométrique rigoureux ; ces demi-droites sont intersectées par des plans à différents niveaux sur le terrain (4 niveaux ou plus) pour obtenir les coordonnées horizontales sur terrain et établir la grille de coordonnées terrain ; ce groupe de points image (x,y) et terrain (X, Y, Z) sont utilisés pour le calcul des 80 coefficients du RFM (C Vincent Tao and Hu, 2001).

Le tableau suivant résume les résultats de calcul du modèle rigoureux, pour les deux jeux de données :

Tableau 4-26 Résultats des EMQ du jeu de données sur Toulouse

	Mean X	Mean Y	RMSE X	RMSE Y
PA	-0,0095	0,003	0.3005	0.5470
PC	-0.249	-0.4748	0.6928	0.8919

Tableau 4-27 Résultats des EMQ du jeu de données sur Séville

	Mean X	Mean Y	RMSE X	RMSE Y
PA sur im1	0.1133	-0.0274	0.7630	0.3043
PC sur im1	0.1186	-0.3483	0.5529	0.8323
PA sur im2	0.0147	0.0019	0.8211	0.4518
PC sur im2	0.2673	-0.7201	0.7009	0.9762

Le modèle géométrique rigoureux a permis d'avoir une précision subpixellaire sur toutes les images. Les paramètres du modèle sont utilisés pour la reprojection de 36 points de l'image, les demi-droites sont intersectées à 10 niveaux dans l'espace objet (terrain) pour avoir 360 points sur chaque image. Ces points générés automatiquement sont utilisés pour le calcul des 80 paramètres de l'RFM qui nécessite un minimum de 40 points. Pour l'évaluation de la qualité de l'RFM, les points terrain automatiques, PA et PC sont projetés en utilisant le RFM afin d'obtenir leurs coordonnées image, ces coordonnées sont comparées avec les coordonnées mesurées, les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau 4-28 Résultat de l'RFM sur jeu de données de Toulouse

	Moyenne		EMQ	
	X	Y	X	Y
Auto	-0.0002	-0.0010	0.0003	0.0029
PA	0.0033	0.0037	0.5543	0.2974
PC	-0.4864	0.2488	0.9079	0.6873

Tableau 4-29 Résultat de l'RFM sur jeu de données de Séville

		Moyenne		EMQ	
		X	Y	X	Y
Auto	Image 1	-0.0000	0.0014	-0.0000	-0.0063
	Image 2	0.0098	0.0048	0.0261	0.0109
PA	Image 1	-0.0420	-0.1134	0.0090	-0.0198
	Image 2	0.3051	0.7680	0.4610	0.8218
PC	Image 1	-0.3527	-0.1168	-0.7177	-0.2690
	Image 2	0.8371	0.5544	0.9865	0.7015

Le résultat obtenu présente une précision subpixelaire pour tous les points, la précision inférieure à 0.03 pixel sur les points auto montre une bonne qualité d'ajustement par l'RFM de la grille des points, la précision sur les PA et PC démontre la fidélité de la reproduction du modèle géométrique rigoureux par le RFM.

L'image sur Toulouse avec le RFM calculé est chargée sous le logiciel de traitement d'image ENVI 4.7, et en utilisant un MNT de la région permet la création d'un orthophotoplan à l'échelle de 1/10.000, ce logiciel permet la prise en charge du modèle RFM sous la forme de fichier RPC qui est un fichier ASCII contenant les paramètres de normalisation et les 80 paramètres du modèle sous structure normalisée.

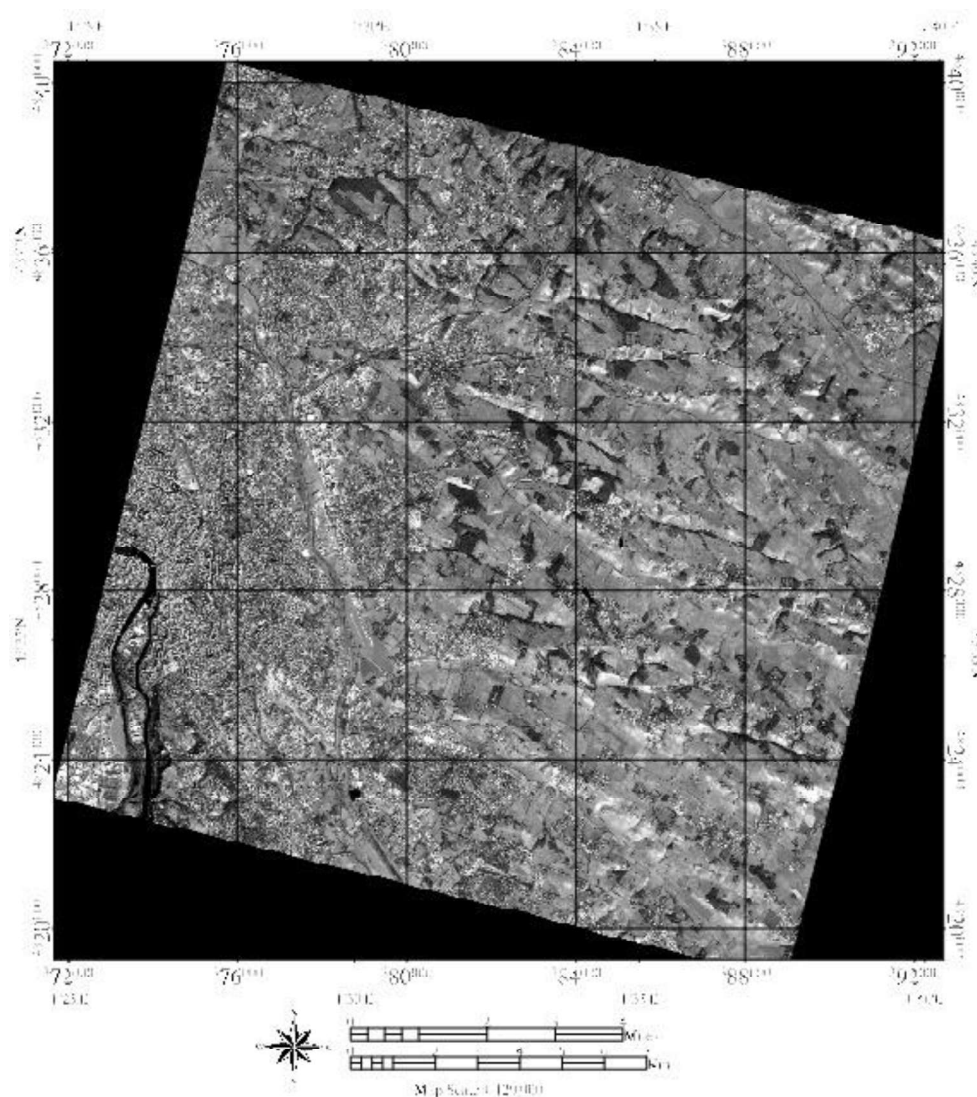


Figure 4-44 Orthophotoplan produite en utilisant le RFM

Sous le logiciel LPS 9.2 les images stéréoscopiques couvrant Séville sont chargées directement avec les fichiers RPC générés précédemment. Ce fichier permet de fournir les paramètres d'orientation interne et externe ; sans l'ajout des PA ou points de liaison, un MNE est créé avec un pas de 25m, la qualité est évaluée en utilisant 27 PC. Le rapport de vérification et le MNE sont ci-après :

Tableau 4-30 Qualité du MNE crée sur la base du RFM

Nombre de points de contrôle	27
Erreur MAX et MIN	-2.2245, 13.7662
Erreur Moyenne	4.9373
Erreur Moyenne Absolue	5.2781
Écart Moyen Quadratique (EMQ)	6.1397
Erreur Lineaire Absolue 90 (LE90)	10.1693
Erreur Lineaire Absolue 90 (NIMA)	+/- 6.0069

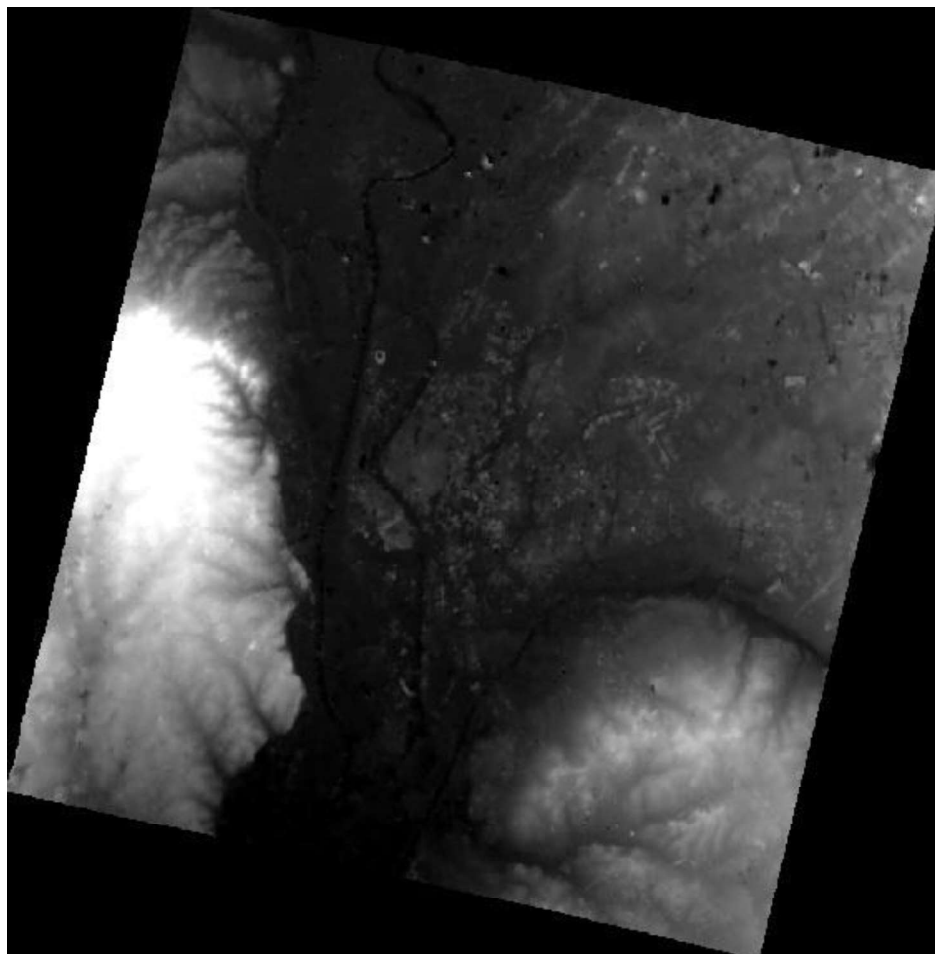


Figure 4-45 MNE créé en utilisant le RFM sur la ville de Séville

4 Conclusion du troisième chapitre

L'exploitation du système ALSAT-2A est une tâche primordiale ayant un intérêt substantiel tant technologique qu'économique, ce qui assure le renforcement de l'autonomie en termes de couverture par des données satellitaires. Mais l'utilisation des images ALSAT-2A pour la production des orthoimages ou autres produits ayant une qualité métrique nécessite une connaissance précise des caractéristiques géométriques du système imageur (Boukerch et al., 2014b).

L'évaluation de la précision absolue démontre l'existence d'erreurs allant jusqu'à environ 400m. L'élimination des biais en utilisant une transformation plane affine, qui est une transformation largement utilisée pour le

géoréférencement des images satellitaires, permet de réduire cette imprécision à environ 30m. L'utilisation du modèle géométrique générique sous ERDAS LPS permet de diminuer cette erreur à environ 6m, mais cela reste insuffisant pour l'exploitation du potentiel des images ALSAT-2A. Les précisions obtenues nous obligent à développer un modèle géométrique rigoureux qui tient en compte la réalité physique de la prise de vue.

Sur la base de l'analyse des métadonnées fournies avec l'image ALSAT-2A, un modèle rigoureux de la caméra à balayage peut être développé. La relation entre les points dans un système de coordonnées géocentrique et leurs homologues dans système de coordonnées image est basé sur la condition de colinéarité. Les paramètres de correction d'orientation externe sont fonction du temps sous la forme de polynômes de second ordre. ces corrections sont ajoutées aux positions et attitudes initiales calculées sur la base des paramètres képlériens.

Les paramètres d'orientation interne du satellite ALSAT-2A sont sous la forme de LOS qui sont des angles de visées des pixels, l'évaluation de la qualité de ces paramètres d'orientation interne a montré que leur prise, en charge dans l'ajustement n'est pas importante. Lors de l'ajustement, deux stratégies sont testées, à travers la fixation ou non des paramètres externes, ces deux approches ont abouti au même résultat où la correction des paramètres d'orientation interne n'apporte pas d'amélioration significative de la qualité géométrique.

L'utilisation de l'ensemble des paramètres d'orientation externe ne donne pas un résultat optimal vu les corrélations existantes entre les paramètres ainsi que le nombre élevé des points d'appui (PA) nécessaire à la résolution du système. L'utilisation des corrections polynomiales des paramètres d'attitude en second ordre donne un meilleur résultat pouvant atteindre 2.89m en planimétrie et 1.69m en altimétrie. Le jeu de paramètres ($Z_2 \Omega_2 \Phi_2 K_2$) donne le meilleur résultat subpixelaire sur les points de contrôle (PC), mais l'application d'une correction linéaire au paramètre d'attitude K et une

constante pour la translation sur Z ($Z \Omega \Phi K1$) permet l'obtention d'un résultat inférieur à 1 pixel.

L'utilisation de quatre PA permet l'obtention de résultats inférieurs à un pixel, les PA doivent avoir un maximum d'espacement dans la direction Y, la meilleure précision résultante de la meilleure distribution devient stable autour de 0.3 pixel en utilisant plus de 10 points d'appui.

Les deux images PAN et MS sont prises de la même trace, et le temps entre la prise des deux d'images est de 0.060788 seconde, par conséquent la modélisation des paramètres externes est commune pour les deux images à condition de prendre en compte le décalage temporel entre eux. La précision du géoréférencement en utilisant le modèle géométrique calculé à partir de l'image PAN donne une précision subpixellaire quand il est utilisé pour une image MS. Le modèle calculé par l'image MS donne une précision légèrement plus élevée (amélioration d'environ 0.1pixel), mais quand ce modèle est utilisé pour l'image PAN il donne une précision dégradée à cause de la faible résolution de l'image MS. Quand les mesures sur les deux images sont utilisées pour un ajustement par faisceaux dans la troisième partie, on obtient une précision légèrement meilleure pour les trois images. Le géoréférencement, avec une précision subpixellaire, de l'image MS sans avoir besoin de mesurer des points sur cette image est possible. Cela se fait à travers l'utilisation du modèle géométrique calculé depuis une image PAN avec la prise en compte du décalage temporelle entre les deux images. Cette possibilité n'est proposée par aucun logiciel commercial.

Le RFM peut être utilisé pour le remplacement du modèle géométrique rigoureux. Les coefficients du RFM sont connus sous l'appellation RPC, ils sont écrits dans un fichier de format `_rpc.txt` ou ajoutées à l'entête d'un fichier NITF ou GEOTIFF, ces RPC peuvent être lus par plusieurs logiciels de traitement d'images ou de photogrammétrie. La reproduction du modèle rigoureux sous forme de RFM est faite avec une précision de 0.03pixel, le RFM calculé est utilisé sous ENVI pour la création d'orthoimage et sous ERDAS

LPS pour la création d'un MNE. L'intérêt essentiel de ce passage du modèle rigoureux vers le modèle RFM est de permettre la création d'orthoimages et MNE avec une bonne précision géométrique dans un environnement dédié à la production sans avoir besoin d'intégrer le modèle rigoureux sous ce dernier.

Conclusion Générale

L'objectif principal de notre recherche a été de définir un nouveau type de cadastre appelé « cadastre steppique et saharien » qui vient compléter le cadastre rural et urbain déjà existant. Ceci en exploitant une source d'information géographique non conventionnelle pour ce genre de travaux à savoir l'imagerie satellitaire.

Notre étude a commencé par la présentation du contexte géographique de la zone d'étude. La willaya d'El Bayadh offre la possibilité de représentation typique des espaces steppiques au nord avec 40% de la superficie de la willaya et présahariens à sahariens couvrant 60% de la superficie de cette willaya.

Le climat de la willaya est un climat sec où l'évaporation annuelle est supérieure aux précipitations annuelles. La classification de Köppen-Geiger indique que la partie nord a un climat semi-aride sec et froid, la partie centrale est désertique sèche et froide, le climat de la partie sud est désertique sec et chaud. Ces conditions naturelles particulières (principalement édaphiques et climatiques) rendent inégale l'occupation du sol de la willaya, là on trouve que 80% de la superficie est occupée par des parcours, les terrains désertiques représentent 14 % alors que l'agriculture, les forêts et les zones alfatières occupent respectivement, 1 %, 2% et 3 % de la superficie générale de la wilaya. Cet espace de pacages et parcours steppiques est occupé par 1.8 millions de têtes d'ovins. Ce cheptel, de part son adaptation aux conditions du milieu, occupe une place prépondérante dans l'économie de la région, ainsi, 80 % de la population vit directement ou indirectement de cette activité d'élevage, d'engraissement et du marché à bestiaux. A une activité industrielle quasi-inexistante, et une activité agricole limitée s'ajoute une situation foncière inquiétante, en 2007 on ne trouve qu'une dizaine de parcelles rurales dont les actes sont délivrés (quoique le cadastre urbain soit relativement avancé). Le règlement du problème foncier en milieu steppique constitue un préalable à la mise en œuvre de toute politique d'aménagement du territoire visant à dynamiser l'activité tant pastorale qu'industriel. Les problèmes liés à la

gestion du foncier représentent une entrave à toute initiative d'investissement à grande échelle dans les activités pastorales, industrielles ou d'agriculture.

Le cadastre en Algérie accuse un retard très important. Cela est dû essentiellement à deux facteurs qui sont d'une part la complexité de la situation juridique du foncier algérien et d'autre part la rigidité et la lourdeur du système cadastral. Ce système nous a amené à une situation de blocage des opérations cadastrales dans les régions steppiques et sahariennes. La définition des zones non cadastrables dans le nord du pays a fait avancer les choses en simplifiant la planification des travaux car ces zones font l'exception. Dans les territoires steppiques et sahariens la majorité de la surface communale rentre dans cette définition. Même la mise en œuvre des notions les plus basiques du cadastre est problématique, comme c'est le cas du découpage en section. Le territoire de la commune est découpé en section, la section est un groupement d'ilots qu'il est possible de représenter sur une coupure de plan dont l'échelle et le format sont fixes, si ce découpage marche bien pour les régions occupées, ceci pose un problème dans les régions désertiques, comme exemple la commune d'El bnoud, où mise à part le chef lieu et quelques détails dans la partie nord de la commune, le reste de la commune qui s'étale sur environ 200km du nord au sud est complètement vide, la représentation de cet espace sur des feuilles (76cm*51.4cm) dont l'échelle la plus petite est de 1/5.000 va générer de milliers de feuilles probablement vides ce qui est pratiquement non envisageable. Donc il est impératif de revoir cette méthode de travail pour l'entame de l'opération du cadastre dans les régions steppiques et sahariennes.

Le changement de l'approche cadastrale en Algérie trouve un ancrage international dans l'initiative « Cadastre 2014 ». Cette initiative qui dans sa première déclaration stipule que le cadastre doit indiquer la situation légale complète du territoire, nous oriente vers la résolution du problème des zones non cadastrables. Ce problème qui est dû essentiellement au format et à l'échelle de travail est survenu du fait que les cartes et les registres sont séparés. Cette séparation était nécessaire parce que la technologie disponible (papier et

crayon) ne permettait pas la mise en œuvre d'autres solutions, mais avec l'avènement des SIG cette séparation entre les devoirs des géomètres et le notaire dans le domaine du cadastre doit être abolie, et par conséquent l'agence du cadastre et la conservation foncière doivent être unies. Cette situation est prise en charge dans la deuxième, la troisième et la quatrième déclaration du « Cadastre 2014 ». L'ANC a procédé à l'installation d'un système d'information géographique (SIG) dans chaque agence locale et régionale du cadastre pour la gestion de l'information graphique ainsi qu'un système informatique de gestion de l'information littérale du cadastre appelé « Gestion d'Information Cadastrale (GIC) ». La Conservation Foncière (CF) accuse quant à elle un retard dans ce sens et exige toujours le dépôt sous forme de plan en papier. Cela rend indispensable l'unification de ces deux institutions ou au moins l'unification de leurs bases de données rendu possible avec la promulgation de la loi sur la signature et la certification électroniques.

Les régions steppiques et sahariennes ne posent pas seulement des problèmes sur le plan de la gestion et de l'organisation de données mais aussi sur le plan de l'acquisition de l'information géographique. La couverture de telles zones n'est possible qu'avec l'imagerie satellitaire, les techniques terrestres ou aériennes ne sont pas rentables voire inutilisables. L'imagerie satellitaire a été utilisée par plusieurs pays pour les travaux de cadastre, mais l'utilisation de cette source de données reste tributaire de la qualité géométrique de l'image. Plusieurs modèles de correction géométrique des images ont été discutés dans la littérature, ces modèles permettent d'atteindre des précisions sub-pixellaires. Après l'application de ces modèles pour l'élimination des différentes erreurs géométriques, le produit final est appelé orthoimage, qui avant d'être utilisée nécessite une évaluation de sa précision de positionnement. Une norme doit être appliquée pour définir le seuil d'acceptation ou de refus de l'orthoimage produite, en Algérie la méthode appliquée est une méthode empirique adaptée aux tirages des orthophotos au 1/5000 selon la coupure standard du cadastre, mais elle présente un entrave au lancement de production numérique des orthophotos, bien que l'ANC s'est

lancé dans la production de l'IG numérique, aucune norme de contrôle de qualité n'existe jusqu'à aujourd'hui. Le choix d'une norme nécessite une réflexion sur les temps et les moyens disponibles, les normes d'un pays d'occupation dense ou d'une superficie restreinte ne sont certainement pas applicables à un pays comme l'Algérie, les seuls pays semblable à l'Algérie en terme de paysage et de superficie sont les Etats Unies et l'Australie, cette dernière s'est basée sur la norme Américaine US NMAS et l'NSSDA pour le contrôle de la qualité des cartes numérique et en papier, la norme NMAS qui a une justification théorique s'avère la mieux adaptée pour la production destinée au tirage de plan cadastraux dans les régions steppique et sahariennes en se basant sur les images satellitaires.

La question qui se pose à ce niveau concerne l'applicabilité de l'ortho-imagerie satellitaire pour le cadastre steppique et saharien, pour cela la commune d'El-Bayadh a été prise comme zone pilote, l'objectif recherché à travers l'étude pilote est de fournir au service du cadastre des solutions adaptées aux spécificités des espaces steppiques et sahariens en utilisant l'imagerie satellitaire. Une partie de l'image Spot5 en super mode est pris pour évaluer la précision géométrique, le MNT utilisable et l'approche de production et d'utilisation en général. Le modèle mathématique parallèle-deuxième degré calculé été écrit en RPC permettant de générer deux orthoimages, une avec un MNT issue de la carte au 1/50.000 et l'autre avec le MNT SRTM. Ces deux orthoimages ont des indices CE90 inférieur à la tolérance NMAS relative à l'échelle de production ciblée par l'ANC en l'occurrence le 1/10.000, bien que la précision de la production avec le MNT de la carte soit supérieure à celle faite avec le MNT SRTM on préconise l'utilisation de ce dernier car la production du MNT de la carte est basée sur la digitalisation des courbes de niveau qui est une tâche lourde et fastidieuse. Les écarts entre des surfaces mesurées sur les orthoimages produites et les mêmes surfaces obtenues sur terrain révèlent que les écarts ne sont pas significatifs ce qui atteste que les orthoimages produites sont utilisables pour des travaux du cadastre steppique et saharien. L'image Spot5, utilisée dans cette étude pilote, ne possède pas un canal bleu ,

Conclusion Générale

il n'est donc possible d'afficher l'image qu'en fausse couleurs, une transformation en couleur pseudo naturelles a été calculée afin d'avoir une image qui a l'apparence de couleurs naturelles pour faciliter son interprétation par les agents du cadastre qui ne sont pas toujours habitués à la lecture des images en fausses couleurs infrarouge. L'orthoimage produite sur ce site pilote a été jugée satisfaisante par l'ANC sur le plan qualité géométrique, visuelle et la productivité ce qui a encouragé l'Agence National du Cadastre a lancer un projet de couverture par des images satellitaires sur l'ensemble de la willaya d'El-Bayadh. Le nord est couvert par les images de 2.5m de résolution destinées à la couverture au 1/10.000 et le sud par les images ETM+ avec une résolution de 15m destinées à la couverture au 1/200.000. Afin d'anticiper les problèmes de la généralisation de cette couverture sur les territoires steppiques et sahariens, notre travail a étudié plusieurs variantes sur le plan des sources de points d'appuis, des logiciels et MNTs. La stéréopréparation est généralement l'opération est la plus fastidieuse et celle qui consomme la majorité du temps et une part importante des ressources budgétaires allouées aux projets d'orthorectification, ce qui fait que l'optimisation de cette phase est indispensable lors de la généralisation, l'utilisation du GPS pour l'acquisition des points s'avère la solution la plus optimale. L'étude sur la willaya d'EL-Bayadh a démontrée la faisabilité de production à grande échelle avec les moyens actuelle de l'ANC. La production peut être organisée par bloc d'images contigües avec le lancement des phases de projet (actions) en parallèle sur les différentes willayas et l'utilisation de 4 à 5 brigades GPS par bloc sur terrain, cette organisation permettra d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles.

L'ANC a décidée donc de généraliser la couverture spatio-cadastrale sur l'ensemble de territoires steppiques et sahariens, les zones entourant les chefs-lieux des communes dans un périmètre de 40 km seront couvertes par l'imagerie à 2.5m, le reste sera couvert par l'imagerie à 15m. L'incidence financière de telle couverture à très haute résolution dépasse les 3 millions de dollars si on opte pour les images Spot5, ceci nous amène aux choix pour

plusieurs raisons des systèmes imageurs nationaux en l'occurrence Alsat-2A. Si la résolution spatiale de Spot 5 qui est de 2.5m est obtenue par une fusion de deux images 5m en utilisant un algorithme de super résolution, celle d'Alsatsat-2A est acquise à cette résolution en native, quant à la résolution radiométrique celle de Spot5 est de 8bit contre 10bit pour Alsat-2A, en plus, sur le plan spectral, Alsat-2A possède le canal bleu permettant la visualisation de l'image en couleurs naturelles sans aucun calcul supplémentaire. Le problème qui se pose ici sur le plan qualité géométrique des orthoimages issues de l'imagerie Alsat-2A, la précision pixellaire ne peut être atteinte que si un modèle géométrique rigoureux est développé, ce modèle tient en compte la réalité physique de la prise de vue et permet ainsi d'éliminer toutes les erreurs altérant la qualité de positionnement sur l'image. Sur la base de l'analyse des métadonnées fournies avec l'image Alsat-2A, un modèle rigoureux de la caméra à balayage peut être développé. La relation entre les points dans un système de coordonnées géocentrique et leurs homologues dans le système de coordonnées image est basé sur la condition de colinéarité. Les paramètres de correction d'orientation externe sont sous la forme de polynômes de second ordre en fonction du temps. Ces corrections sont ajoutées aux positions et attitudes initiales calculées sur la base des paramètres képlériens. L'évaluation de la qualité des paramètres d'orientation interne a montré que leurs prise en charge dans l'ajustement n'est pas importante. L'utilisation de l'ensemble des paramètres d'orientation externe ne donne pas un résultat optimal vu les corrélations existantes entre les paramètres ainsi que le nombre élevé des points d'appui (PA) nécessaire à la résolution du système. Les paramètres de correction de rotation autour de X et Y doivent être en second ordre avec une correction linéaire en translation et la rotation autour de Z permet d'avoir un résultat sub-pixellaire. Vu le décalage temporelle constant entre la prise de l'image PAN et MS, cette dernière peut être orientée directement par les mêmes paramètres externes du modèle de l'image PAN, ce qui réduit le temps de correction des deux images afin de produire deux orthoimages destinées à la fusion. Afin que ce modèle soit exploitable dans l'environnement de production réel, le modèle rigoureux et après sont

Conclusion Générale

ajustement est utilisé pour générer un RFM équivalent à une précision de 0.03pixel. Les coefficients du RFM connus sous l'appellation RPC sont écrits dans un fichier particulier ou ajoutées à l'entête d'un fichier NITF ou GEOTIFF, ces RPC peuvent être lus par plusieurs logiciels de traitements d'images ou de photogrammétrie, ce qui simplifie l'utilisation de l'imagerie Alsat-2 avec le modèle rigoureux dans un logiciel de production en assurant une précision sub-pixellaire.

L'orientation du cadastre vers un cadastre fiscal et multifonctionnel nécessite l'établissement d'un référentiel unifié à grande échelle, cette tâche accordée à l'ANC nécessite une collaboration de tous les acteurs de l'information géographique. Des efforts de recherche doivent être orientés vers la normalisation des produits et des méthodes de contrôle de qualité ainsi que l'unification des contenus afin d'optimiser les interventions des différents acteurs. Le fond du problème est lié à l'inexistence d'une politique de couverture cartographique globale à grande échelle qui aura non seulement un objectif juridique ou fiscal comme c'est le cas du cadastre aujourd'hui mais qui servira comme base de référence pour les activités de gestion et d'aménagement, les raisons de l'inexistence de cette politique pourront faire l'objet d'une étude sur les enjeux sociaux de l'information géographique en Algérie, dans le but d'examiner les interactions entre le technicien producteur, le professionnel aménageur et l'élu décideur permettant ainsi de comprendre leurs visions et besoins afin de tracer une politique durable sur des bases scientifiques et ainsi initier une géographie de l'information géographique algérienne.

Références Bibliographiques

- Ali, Z., Tuladhar, A., Zevenbergen, J., 2012. An integrated approach for updating cadastral maps in Pakistan using satellite remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18, 386–398.
- Aloui, A., 1993. le régime foncier et le cadastre en Algérie, Agence Nationale du Cadastre. ed.
- ANAT, 2003. Etude Prospective et de Développement de la wilaya d'El Bayadh.
- ANDI, 2013. invest in algeria, wilaya d'El Bayadh.
- ASAL, 2011. 2A, Alsat-2A images technical specification.
- Australian, P., 2009. Australian Map and Spatial Data Horizontal Accuracy Standard.
- Ben Aldjia, A.H., Siyoucef, K., 2015. Apport de la documentation cadastrale aux initiatives territoriales (Memoire d'Ingenieur d'Etat). CTS, Arzew.
- Benbakkar, H.A., 2012. Utilisation de la télédétection aérospatiale pour l'étude phytoécologique et phytodynamique du tapis végétal de la région présaharienne algérienne (El Bayadh, Algérie) (MAGISTER). USTHB.
- Bensaid, A., 2006. SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride: le cas de la wilaya de Naâma (Algérie). Université Joseph-Fourier-Grenoble I.
- Boukerch, I., Bounour, H., 2006. Geometric modelling and orthorectification of SPOTs super mode images. *Revue française de photogrammétrie et de télédétection* 61–65.
- Boukerch, I., El Maouheb, M., 2011. Utilisation des données Alsat-2A pour l'élaboration du cadastre steppique et saharien ; Wilaya d'El Bayadh. Atelier ALSAT.2A Utilisateurs, ALGER.
- Boukerch, I., Hadeid, M., Mahmoudi, R., Takarli, B., Hasni, K., 2014a. Evaluation of the RFM as a replacement for the Rigorous geometric Model of ALSAT-2A imagery, in: *EARSel & ISPRS Young Scientist Days 2014, Warsaw*. EARSel.
- Boukerch, I., Hadeid, M., Takarli, B., Mahmoudi, R., 2014b. L'application de l'imagerie spatiale pour le cadastre dans les régions steppiques et sahariennes : cas de la wilaya d'El-Bayadh, in: *Les Cinquièmes Journées Géographiques Algériennes*. Presented at the Les cinquièmes journées géographiques algériennes, Oran.
- Boukerch, I., Hadied, M., Mahmoudi, R., Takarli, B., Hasni, K., 2013. Rigorous georeferencing of ALSAT-2A panchromatic and multispectral imagery, in: *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and*

Bibliographie

- Spatial Information Sciences. ISPRS, pp. 35–39.
doi:10.5194/isprsarchives-XL-1-W1-35-2013
- Boukerch, I., Hadied, M., Mahmoudi, R., Takarli, B., Hasni, K., 2012. Rigorous geometrical modeling of ALSAT-2A Algerian satellite, in: SPIE Remote Sensing. International Society for Optics and Photonics, p. 85331V–85331V–9.
- Boukerch, I., Takarli, B., Aarizou, K., Hadeid, M., Dekkich, H., Abbass, H., 2010. The “spatio-cadaster” a solution for the Algerian steppe and saharian regions cadastral works. Proceedings - Symposium GIS Ostrava 2010.
- Brahiti, A., 2008. La problématique du foncier en Algérie (état des lieux et perspectives), in: Séminaire Régional Sur La Problématique Du Foncier Dans Le Développement Socio-Économique Local. BISKRA.
- Brovelli, M.A., Crespi, M., Fratarcangeli, F., Giannone, F., Realini, E., 2008. Accuracy assessment of high resolution satellite imagery orientation by leave-one-out method. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 63, 427–440.
- Buyuksalih, G., Oruc, M., Kocak, G., 2003. Geometric Accuracy Testing of Ikonos Geo-Product Mono Imagery Using Different Sensor Orientation Models. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences 27, 347–360.
- CERTU, 1995. Le plan cadastral numérisé et son usage au ministère de l'équipement. CERTU, Lyon, France.
- Chaib, M., Mezner, A., 2008. Instrument technico-juridique pour l'assainissement de la situation foncière des terres du territoire national. Presented at the Séminaire régional sur la problématique du foncier dans le développement socio-économique local, BISKRA.
- Chandelier, L., Martinoty, G., 2009. Radiometric aerial triangulation for the equalization of digital aerial images and orthoimages. Photogramm. Eng. Remote Sens 75, 193–200.
- Chen, L., Teo, T., Liu, L., 2005. Rigorous georeferencing for Formosat-2 satellite images by least squares collocation, in: International Geoscience and Remote Sensing Symposium. p. 3526.
- Chen, L.C., Teo, T.A., Lo, C.Y., 2008. Elevation-controlled block adjustment for weakly convergent satellite images. the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing.
- Clavet, D., 1988. GPS control of 1/50.000 scale topographic mapping from satellite image. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54, 107–111.
- Collet, C., 2001. Précis de télédétection: traitements numériques d'images de télédétection. PUQ.

Bibliographie

- Committee, F.G.D., 1998. Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. Subcommittee for Base Cartographic Data.
- Committee, J.G., 1994. Glossary of the Mapping Sciences. American Soc. of Civil Engineers.
- Congalton, R.G., Green, K., 2008. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. CRC press.
- Corlazzoli, M., Fernandez, O.L., 2004. SPOT 5 Cadastral validation project in Izabal, Guatemala. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 35, 291–296.
- Crespi, M., Fratarcangeli, F., Giannone, F., Pieralice, F., 2007. SISAR: a rigorous orientation model for synchronous and asynchronous pushbroom sensors imagery. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36, 6.
- Deming, W.E., 1966. Some theory of sampling. Courier Corporation.
- Djebaili, S., Djellouli, Y., Daget, P., 1989. Les steppes pâturée des Hauts Plateaux algériens. *Fourrages* 393–400.
- El Ayachi, M., Semlali, E.H., Ettarid, M., Tahiri, D., Robert, P., 2003. New Vision towards a Multipurpose Cadastral System to Support Land Management in Morocco. Presented at the 2nd FIG Regional Conference, FIG.
- Ettabaa, K.S., 2007. Vers une modélisation spatio-temporelle de scènes en imagerie satellitale. Ph. D. Thesis, ITI Brest.
- Ettarid, M., EL ayachi, M., Ettaqy, E., Tahiri, D., Robert, P., 2003. L'Orthophotographie numérique au service du cadastre national. Presented at the 2nd FIG Regional Conference, FIG.
- Falala, L., Gachet, R., Chunin, L., 2008. Radiometric Block-Adjustment of Satellite Images-Reference3D Production Line Improvement. *Int. Arch. Phot. & Rem. Sens.*, Beijing, China, 37 (B4) 319–324.
- Fraser, C.S., Ravanbakhsh, M., 2011. Precise georeferencing of long strips of ALOS imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 77, 87–93.
- Fraser, C.S., Yamakawa, T., 2003. Applicability of the affine model for Ikonos image orientation over mountainous terrain, in: *Workshop on HRM from Space*. pp. 6–8.
- Fritsch, D., Stallmann, D., 2000. Rigorous photogrammetric processing of high resolution satellite imagery. *international archives of photogrammetry and remote sensing* 33, 313–321.
- Garzelli, A., Nencini, F., Alparone, L., Aiazzi, B., Baronti, S., 2004. Pan-sharpening of multispectral images: a critical review and comparison,

Bibliographie

- in: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS'04. Proceedings. 2004 IEEE International. IEEE.
- Gehrke, S., 2010. Radiometric processing of ADS imagery: mosaicking of large image blocks. Presented at the ASPRS 2010 Annual Conference, San Diego.
- Giannone, F., 2006. A rigorous model for High Resolution Satellite Imagery Orientation. Phd Diss, University of Rome, Rome.
- GICT Lab, 2004. RFM: A Tool for Photogrammetric Exploitation of Remotely Sensed Imagery. Geospatial Imaging & Communication Technologies Lab, York University.
- Greenwalt, C.R., Shultz, M.E., 1962. Principles of error theory and cartographic applications (No. No. ACIC-TR-96). AERONAUTICAL CHART AND INFORMATION CENTER, ST LOUIS MO.
- Grodecki, J., 2001. IKONOS stereo feature extraction-RPC approach, in: ASPRS Annual Conference St. Louis.
- Hadeid, M., 2006. Les mutations spatiales et sociales d'un espace à caractère steppique, le cas des Hautes Plaines sud-oranaises (Algérie) (Doctorat d'Etat en Géographie). l'Université d'Oran (Algérie) et l'Université de Franche-Comté (France).
- Hartani, A., 2009. Apport de la télédétection dans la qualification et la cartographie des risques d'érosion hydrique: l'appréciation des risques potentiels et actuels d'érosion. Cas du sous bassin versant Chott Chergui, Willaya d'El Bayadh (MAGISTER). Centre des Techniques Spatiales.
- Hu, Y., Tao, C.V., 2002. Updating solutions of the rational function model using additional control information. *Photogrammetric engineering and remote sensing* 68, 715–724.
- Hu, Y., Tao, V., Croitoru, A., 2004. Understanding the rational function model: methods and applications. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 20.
- Huixian, X., 2005. Interpretability and Accuracy of High Resolution Space Images for 1: 10,000 Topographic Mapping in China (mémoire Master). ITC.
- Instruction, 1998. Instruction n° 16 du 24 mai 1998 relative à la conduite des opérations cadastrales et d'immatriculation foncière.
- Jacobsen, K., 2003. Geometric Potential of IKONOS- and QuickBird-Images. Presented at the Photogrammetric Weeks 2003, Wichmann Verlag, p. pp 101-110.
- Jacobsen, K., 2002. Mapping with IKONOS images, in: EARSel ISPRS Symposium. pp. 149–156.
- Jacobsen, K., 1998. Status and tendency of sensors for mapping. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 32, 124–130.

Bibliographie

- Jayaprasad, P., Nadeem, A., Ghosh, R., Pathan, S., Ajai, S., Henriksen, S.W., Vidhya, R., Shanmugam, M., 2006. Updation and metrology of cadastre and village boundary using high resolution satellite data. *INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING* 36.
- Jeong, I., Bethel, J., 2008. Trajectory modeling for satellite image triangulation. *the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing.
- Jeong, I.-S., 2008. Resolving parameter dependencies in satellite sensor models. Phd Diss, Purdue University, Purdue.
- Journal Officiel, 1990. La loi n° 90-30 du 1er décembre 1990 portant loi domaniale.
- Journal Officiel, 1976. décret n° 76-62 du 25 mars 1976 relatif à l'établissement du cadastre générale.
- Jung, H., Kim, S., Won, J., Lee, D., 2007. Line-of-Sight Vector Adjustment Model for Geopositioning of SPOT-5 Stereo Images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 73, 1267.
- Kaichang, D., Ruijin, M., Rong Xing, L., 2003. Rational functions and potential for rigorous sensor model recovery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 69, 33–41.
- Kameche, M., Gicquel, A.H., Joalland, D., 2011. ALSAT-2A transfer and first year operations. *Journal of Aerospace Engineering* 3, 67.
- Kaufmann, J., Steudler, D., 1998. CADASTRE 2014, vision pour un système cadastral dans le futur. Presented at the groupe de travail 1 de la commission FIG 7.
- Ke, L.C., Wolniewicz, W., 2005. Very High Resolution Satellite Image Triangulation. Presented at the Asian Conference on Remote Sensing, Hanoi, Vietnam.
- Kerschner, M., 2001. Seamline detection in colour orthoimage mosaicking by use of twin snakes. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing* 56, 53–64.
- Kerschner, M., 2000. Twin snakes for determining seam lines in orthoimage mosaicking. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 33, 454–461.
- Kim, T., Dowman, I., 2006. Comparison of two physical sensor models for satellite images: position–rotation model and orbit–attitude model. *The Photogrammetric Record* 21, 110–123.
- Latry, C., Rougé, B., 2003. Super resolution: quincunx sampling and fusion processing, in: *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International. IEEE*, pp. 315–317.

Bibliographie

- Le Blanc, S., 2000. Considerations about map-updating and images resolution. Map Asia.
- LETIENNE, A., CHAMPAGNAT, F., LE BESNERAIS, G., KULCSAR, C., 2009. Etude Comparative d'Algorithmes de Super-Résolution, in: XXIIe Colloque GRETSI (Traitement Du Signal et Des Images), Dijon (FRA), 8-11 Septembre 2009. GRETSI, Groupe d'Etudes du Traitement du Signal et des Images.
- Liu, S., Fraser, C.S., Zhang, C., Ravanbakhsh, M., Tong, X., 2011. Georeferencing performance of THEOS satellite imagery. The Photogrammetric Record 26, 250–262.
- Liu, S., Fraser, C.S., Zhang, C., Ravanbakhsh, M., Tong, X., 2010. Geometric Accuracy Evaluation Of Theos Imagery. Presented at the Asian Conference on Remote Sensing, Hanoi, Vietna.
- Mederbal, k, Josa, R., Boukhari, Y., Mas, M., Khader, M., Ouldali, O., Regagba, Z., Tadjeddine, N., Verdú, A., 2009. Ecosystemes steppiques (cas de Brezina – El Bayadh) : caractérisation et proposition d'une fiche de travail sur terrain., in: Séminaire International « La Préservation et La Mise En Valeur de l'Ecosystème Steppique ». Université de M'SILA.
- Merriam, webster, 1998. Collegiate dictionary, 10th edition. Incorporated Springfield, Massachusettes, USA.
- Meyer, B., 2009. mapping of mozambique's cadastral needs. Position IT 54–57.
- Milles, S., Lagofun, J., 2008. Topographie et topométrie modernes: Techniques de mesure et de représentation. Eyrolles.
- Muller, F., De Béthune, S., 2000. La fusion d'images. Bulletin de la Société Géographique de Liège 38, 79–94.
- Nagasubramanian, V., Radhadevi, P., Ramachandran, R., Krishnan, R., 2008. 3D Reconstruction with Rational Function Model. Journal of the Indian Society of Remote Sensing 36, 27–35.
- Nagi Zomrawi, M., Eisa Eiman, E., 2013. The Effect of Polynomial Order on Georeferencing Remote Sensing Images. Presented at the International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), pp. 5–8.
- Pan, J., Wang, M., 2011. A seam-line optimized method based on difference image and gradient image, in: Geoinformatics, 2011 19th International Conference on. IEEE, pp. 1–6.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L., McMahon, T.A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrology and Earth System Sciences Discussions Discussions 4, 439–473.
- Poli, D., 2005. Modelling of spaceborne linear array sensors. Diss., Technische Wissenschaften, Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Nr. 15894, 2005.-Ref.: Armin Grün; Korref.: Ian Dowman.

Bibliographie

- Poli, D., Toutin, T., 2012. Review of developments in geometric modelling for high resolution satellite pushbroom sensors. *The Photogrammetric Record*.
- Puissant, A., 2003. Information géographique et images à très haute résolution, utilité et applications en milieu urbain (Thèse de doctorat). l'université de Luis Pasteur.
- Slama, C.C., Theurer, C., Henriksen, S.W., 1980. Manual of photogrammetry. American Society of photogrammetry.
- Stuedler, D., 2014. CADASTRE 2014 and Beyond (No. NO 61), FIG PUBLICATION. FIG.
- Takarli, B., Boukerch, I., Djilali, A., Hadeid, M., 2010. SPATIOMAP generation from SPOT 5 super mode images. Proceedings - Symposium GIS Ostrava 2010.
- Tao, C.V., Hu, Y., 2001. A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 67, 1347–1358.
- Tao, C.V., Hu, Y., 2001. The rational function model: A tool for processing high resolution imagery. *Earth Observation Magazine* 10, 13–16.
- Tao, C.V., HY, Y., 2001. Use of the rational function model for image rectification: Remote sensing and spatial data integration: Measuring, monitoring, and modelling. *Canadian journal of remote sensing* 27, 593–602.
- Topan, H., 2009. Geometric analysis of high resolution space images using parametric approaches considering satellite orbital parameters. Phd Diss, Istanbul Technical University, Istanbul.
- Topan, H., Büyüksalih, G., Jacobsen, K., 2004. Comparison of information contents of high resolution space images. Presented at the ISPRS XX. Congress, Istanbul.
- Toutin, T., 2004. Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. *International Journal of Remote Sensing* 25, 1893–1924.
- Toutin, T., 2003. Compensation par segment et bloc d'images panchromatiques et multi-bandes de SPOT. *Canadian journal of remote sensing* 29, 36–42.
- Toutin, T., Chénier, R., Carbonneau, Y., 2002. 3D models for high resolution images: examples with QuickBird, IKONOS and EROS. *international archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences* 34, 547–551.
- Vince, J.A., 2010. Mathematics for computer graphics. Springer.
- Vozikis, G., Fraser, C., Jansa, J., 2003. Alternative sensor orientation models for high resolution satellite imagery. *Publikationen der Deutschen*

Bibliographie

- Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation
179–186.
- Weser, T., Rottensteiner, F., Willneff, J., Poon, J., Fraser, C.S., 2008.
Development and testing of a generic sensor model for pushbroom
satellite imagery. *The Photogrammetric Record* 23, 255–274.
- Wilaya d'El Bayadh, 2014. Monographie de la wilaya d'El Bayadh.
- Xu, J.Z., 2004. The Rational Function Model (RFM) in photogrammetric
mapping: method and accuracy. Department of Earth and Space Science
& Engineering, York University.

Annexe 1 : Validation de l'orthorectification sur la commune d'El Bayadh

1 Vérification par des mesures ponctuelles

Points	Xgps	Ygps	Xorth	Yorth	ecartX	ecartY	ecartD
8	312631.026	3730695.70	312633.33	3730695.74	-2.30	-0.04	2.30
6	323802.233	3733894.05	323797.52	3733897.24	4.71	-3.19	5.69
12	315265.563	3723352.49	315268.29	3723353.02	-2.73	-0.53	2.78
11	319148.617	3726683.84	319146.55	3726686.48	2.07	-2.64	3.35
9	321246.096	3729517.70	321248.75	3729518.29	-2.65	-0.59	2.72

Emq	3.40	1.41	1.35
-----	------	------	------

CPE	CE90	1/E
2.87	5.23	1/6182.24

Tableau Annexe 1 Résultats des écarts entre les coordonnées GPS et les coordonnées issues de l'orthoimage générée avec les courbes de niveau au 1/50.000

Points	Xgps	Ygps	Xorth	Yorth	ecartX	ecartY	ecartD
8	312631.026	3730695.70	312633.41	3730696.18	-2.38	-0.48	2.43
6	323802.233	3733894.05	323797.62	3733896.5	4.61	-2.45	5.22
12	315265.563	3723352.49	315270.95	3723353.15	-5.39	-0.66	5.43
11	319148.617	3726683.84	319146.95	3726686.93	1.67	-3.09	3.51
9	321246.096	3729517.70	321251.35	3729518.51	-5.25	-0.81	5.32

Emq	4.40	1.19	1.34
-----	------	------	------

CPE	CE90	1/E
3.47	6.32	1/7468.80

Tableau Annexe 2 Résultats des écarts entre les coordonnées GPS et les coordonnées issues de l'orthoimage générée avec le MNT de la mission SRTM

Avec :

Xgps et Ygps : les coordonnées levées par GPS sur terrain.

Xorth et Yorth : les coordonnées mesurées sur l'orthoimage.

ecartX : l'écart en X ($X_{gps} - X_{orth}$).

ecartY : l'écart en Y ($Y_{gps} - Y_{orth}$).

ecartD : module de vecteur de déplacement ($\sqrt{\text{ecartX}^2 + \text{ecartY}^2}$)

CPE : erreur probable.

CE90 : erreur avec un intervalle de confiance de 90%.

1/E : Échelle équivalente.

2 Vérification des surfaces

Ilot	Surface référence	Surface digitalisée	Tolérance	Écart	Écart (%)
1	51741.00	50821.01	1819.73	919.99	1.778
2	115724.00	115409.04	2721.46	314.96	0.272
3	161937.00	162685.96	3219.31	-748.96	0.463
4	193769.00	193191.60	3521.54	577.40	0.298

Moyenne	0.703
---------	-------

Tableau Annexe 3 Résultats des écarts entre les surfaces levées (terrain) et les surfaces issues de l'orthoimage générée avec les courbes de niveau au 1/50.000

Ilot	Surface référence	Surface digitalisée	Tolérance	Écart	Écart (%)
1	51741.00	52211.87	1819.73	-470.87	0.910
2	115724.00	114839.27	2721.46	884.73	0.765
3	161937.00	161740.81	3219.31	196.19	0.121
4	193769.00	194926.81	3521.54	-1157.81	0.598

Moyenne	0.598
---------	-------

Tableau Annexe 4 Résultats des écarts entre les surfaces levées (terrain) et les surfaces issues de l'orthoimage générée avec le MNT de la mission SRTM

Avec :

Surface référence : surface telle que levée sur terrain.

Surface digitalisée : surface obtenue par digitalisation sur orthoimage.

Tolérance : telle qu'obtenue par la formule utilisée par le cadastre.

Écart : différence entre la surface de référence et la surface digitalisée.

Écart (%) : ($\text{Écart} / \text{Surface référence}$) en valeur absolue.

Moyenne : moyenne des quantités (Écart (%)).

3 Vérification des distances

Distance	Distance référence	Distance digitalisée	Écart (m)	Écart (%)
Dist 6-8	11620.04	11614.16	5.88	0.05058657
Dist 6-12	13564.63	13562.02	2.62	0.01928672
Dist 6-11	8581.57	8580.59	0.97	0.01133136
Dis 9-8	8695.23	8695.51	0.27	0.0031436
Dist 8-11	7653.37	7648.28	5.08	0.06643145
Dist 9-11	3525.65	3526.81	1.16	0.03300381
Dist 17-8	16056.05	16054.44	1.61	0.01001029
Dist 11-17	16052.15	16045.67	6.49	0.04041296
Dist 12-17	10954.16	10949.81	4.34	0.03962866

Moyenne	3.16	0.03042616
---------	------	------------

Tableau Annexe 5 Résultats des écarts entre les distances levées (terrain) et les distances issues de l'orthoimage générée avec les courbes de niveau au 1/50.000

Distance	distance référence	Distance digitalisée	Écart (m)	Écart (%)
Dist 6-8	11620.04	11613.86	6.18	0.05321988
Dist 6-12	13564.63	13559.73	4.90	0.03614181
Dist 6-11	8581.57	8579.43	2.14	0.0248793
Dis 9-8	8695.23	8698.03	2.80	0.03220068
Dist 8-11	7653.37	7648.55	4.82	0.06293926
Dist 9-11	3525.65	3527.94	2.29	0.06497455
Dist 17-8	16056.05	16055.41	0.64	0.00400709
Dist 11-17	16052.15	16045.66	6.49	0.04045257
Dist 12-17	10954.16	10951.21	2.95	0.02692351

Moyenne	3.69	0.0384154
---------	------	-----------

Tableau Annexe 6 Résultats des écarts entre les distances levées (terrain) et les distances issues l'orthoimage générée avec le MNT de la mission SRTM

Avec :

Distance référence : Distance telle que levée sur terrain.

Annexes

Distance digitalisée : Distance obtenue par digitalisation sur l'orthoimage.

Tolérance : telle qu'obtenue par la formule utilisée par le cadastre

Écart : différence entre la distance de référence et la distance digitalisée.

Écart (%) : (Écart / Distance référence) en valeur absolue.

Moyenne : moyenne des quantités (Écart et Écart (%)).

Annexe 2 : L'évaluation postproduction de la couverture de la willaya d'El Bayadh

1 Résultats sur les images ETM+

Dx	Dy	Dr
48.34	8.11	49.01
36.38	-24.25	43.72
28.49	-19.99	34.80
24.96	-19.01	31.37
36.70	-40.48	54.64
20.24	-8.76	22.05
61.19	-37.49	71.76
22.56	-2.84	22.74
26.94	0.67	26.95
23.93	0.73	23.94
35.62	-7.73	36.45
48.63	11.73	50.03
16.01	-6.32	17.21
28.22	-6.61	28.98
41.23	-5.57	41.60
27.42	2.47	27.53
27.96	-6.80	28.77

X2	Y2	D2
2336.37	65.77	2402.14
1323.72	588.06	1911.79
811.74	399.60	1211.34
622.85	361.38	984.23
1346.96	1638.63	2985.59
409.50	76.74	486.23
3744.58	1405.50	5150.08
509.13	8.07	517.20
725.93	0.45	726.37
572.45	0.53	572.99
1269.07	59.75	1328.82
2365.07	137.59	2502.66
256.38	39.94	296.33
796.20	43.69	839.89
1699.83	31.02	1730.86
751.91	6.10	758.01
781.54	46.24	827.78

Moyenne	32.64	-9.54	35.98
Ecart Type	11.77	14.50	14.21
Médiane	28.22	-6.61	31.37

Moyenne	1195.48	288.77	1484.25
EMQ	34.58	16.99	38.53
$\sigma_{min}/\sigma_{max}$	0.49		
Moyenne EMQ	25.78		
CEP	29.91		
CE90	54.52		
NSSDA	63.09		
Échelle	64397.21		

Tableau Annexe 7 Résultats des écarts entre les coordonnées GPS et les coordonnées issues de l'orthoimage ETM+.

Avec :

Dx et Dy : différences entre les coordonnées GPS et les coordonnées orthoimages en X et Y.

Dr : l'écart radial entre les mesures ($D_r = \sqrt{D_x^2 + D_y^2}$).

La formule $\sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{(n-1)}}$ est utilisée pour le calcul de l'écart type.

X2, Y2 et D2 : sont les carrées de Dx, Dy et Dr respectivement.

EMQ : l'écart moyen quadratique est calculé par la formule $EMQ = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - x_{vrai}}{x_{vrai}}\right)^2}$.

Moyenne EMQ : moyenne des EMQ X et Y.

Dx-Mx	Dy-My	Dr
15.70	17.65	23.62
3.75	-14.71	15.18
-4.15	-10.45	11.24
-7.68	-9.47	12.19
4.06	-30.94	31.21
-12.40	0.78	12.42
28.56	-27.95	39.96
-10.07	6.70	12.10
-5.69	10.21	11.69
-8.71	10.27	13.46
2.99	1.81	3.49
16.00	21.27	26.61
-16.62	3.22	16.93
-4.42	2.93	5.30
8.59	3.97	9.46
-5.22	12.01	13.09
-4.68	2.74	5.42

(X-M)2	(Y-M)2
246.47	311.44
14.04	216.45
17.19	109.25
58.98	89.73
16.52	957.43
153.77	0.60
815.47	781.33
101.46	44.86
32.42	104.20
75.87	105.42
8.92	3.27
255.86	452.31
276.37	10.35
19.53	8.57
73.83	15.74
27.20	144.18
21.91	7.49

Moyenne	0.00	0.00	15.49
Écart type	11.77	14.50	9.67
Médiane	-4.42	2.93	12.42

Moyenne	130.34	197.80
EMQ	11.42	14.06
omin/omax	0.81	
Moyenne EMQ	12.74	
CEP	15.07	
CE90	27.47	
NSSDA	31.18	
Échelle	32441.8	8

Tableau Annexe 8 Résultats des écarts entre les coordonnées après l'élimination des biais.

Avec :

$D_x - M_x$: la différence entre l'écart en X (D_x) et la moyenne des écarts ($M_x = 32.64m$).

$D_y - M_y$: la différence entre l'écart en Y (D_y) et la moyenne des écarts ($M_y = -9.54m$).

$(X - M)^2$, $(Y - M)^2$: sont les carrées de $D_x - M_x$ et $D_y - M_y$ respectivement

2 Résultats sur les images SPOT-5

D_x	D_y	D_r
2.63	1.16	2.87
3.65	8.10	8.88
-0.51	3.73	3.76
0.26	2.08	2.10
3.23	-1.98	3.79
3.07	0.14	3.07
3.57	3.77	5.19
2.66	-0.78	2.77
1.41	3.91	4.16
-3.91	2.98	4.92
-1.47	4.34	4.58
0.93	0.38	1.00
-1.04	2.27	2.50
2.01	3.92	4.40
-0.11	1.92	1.92
2.28	1.33	2.64
2.82	0.32	2.83
3.96	4.67	6.12
2.16	0.20	2.17
-0.56	6.13	6.16
0.95	0.76	1.22
-0.45	2.30	2.34
6.88	-8.20	10.70
-1.53	3.58	3.89
1.96	5.03	5.40
1.76	3.64	4.04
-7.94	3.01	8.49
-2.51	0.48	2.56

X^2	Y^2	D^2
6.91	1.35	8.26
13.32	65.61	78.93
0.26	13.91	14.17
0.07	4.33	4.40
10.43	3.92	14.35
9.39	0.02	9.41
12.71	14.21	26.92
7.08	0.61	7.68
1.98	15.29	17.27
15.30	8.88	24.18
2.18	18.84	21.01
0.86	0.14	1.00
1.09	5.15	6.24
4.02	15.37	19.39
0.01	3.69	3.70
5.18	1.77	6.95
7.93	0.10	8.03
15.66	21.81	37.47
4.67	0.04	4.71
0.31	37.58	37.89
0.91	0.58	1.49
0.20	5.29	5.49
47.29	67.24	114.53
2.35	12.82	15.16
3.84	25.30	29.14
3.11	13.25	16.36
63.09	9.06	72.15
6.31	0.23	6.54

1.99	0.89	2.18
-2.42	1.20	2.70
2.27	4.21	4.78
3.15	-0.72	3.24
-6.81	3.66	7.73
-3.75	6.47	7.48
0.76	10.25	10.28
2.79	1.34	3.10
-1.19	2.21	2.51
2.30	4.26	4.84
-1.19	7.11	7.21
0.91	1.28	1.57
0.85	1.34	1.59
0.26	-0.58	0.63
-0.36	3.46	3.48
7.04	7.99	10.65
5.79	2.71	6.39
-0.78	4.32	4.39
2.55	3.38	4.23
1.41	3.79	4.05
-3.90	2.49	4.62
1.02	3.65	3.79
-2.59	-1.40	2.94
4.84	0.91	4.92
1.22	2.12	2.45
1.54	4.12	4.40

3.98	0.79	4.77
5.85	1.44	7.29
5.14	17.72	22.86
9.95	0.52	10.47
46.34	13.40	59.73
14.06	41.86	55.92
0.58	105.06	105.64
7.78	1.80	9.58
1.42	4.88	6.30
5.30	18.15	23.45
1.41	50.55	51.97
0.82	1.64	2.46
0.73	1.80	2.52
0.07	0.34	0.40
0.13	11.97	12.10
49.51	63.84	113.35
33.51	7.34	40.86
0.60	18.66	19.27
6.49	11.42	17.91
2.00	14.36	16.37
15.18	6.20	21.38
1.04	13.32	14.36
6.70	1.96	8.66
23.40	0.83	24.22
1.49	4.49	5.98
2.38	16.97	19.35

Moyenne	0.81	2.59	4.27
Ecart Type	2.94	2.87	2.40
Médiane	1.12	2.60	3.84

moyenne	9.12	14.77	23.89
EMQ	3.02	3.84	4.89
omin/omax	0.79		
Moyenne EMQ	3.43		
CEP	4.06		
CE90	7.40		
NSSDA	8.40		
Échelle	8743.66		

Tableau Annexe 9 Résultats des écarts entre les coordonnées GPS et les coordonnées issues de l'orthoimage SPOT-5.

Avec :

Dx et Dy : différences entre les coordonnées GPS et les coordonnées orthoimages en X et Y.

Dr : l'écart radial entre les mesures ($D_r = \sqrt{D_x^2 + D_y^2}$).

La formule $\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}}$ est utilisée pour le calcul de l'écart type.

X2, Y2 et D2 : sont les carrées de Dx, Dy et Dr respectivement.

EMQ : l'écart moyen quadratique est calculé par la formule :

$$EMQ = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - x_{vrai}}{x_{vrai}} \right)^2}.$$

Moyenne EMQ : moyenne des EMQ X et Y.

Annexe 3 : Publications et travaux scientifiques

***Geometry Based Co-Registration of ALSAT-2A
Panchromatic and Multispectral Images.***

I. Boukerch, M. Hadeid, R. Mahmoudi, B. Takarli & K. Hasni

Journal of the Indian Society of Remote Sensing (2015)

ISSN 0255-660X Volume 43 Number 1

DOI 10.1007/s12524-014-0380-x

Geometry Based Co-Registration of ALSAT-2A Panchromatic and Multispectral Images

**I. Boukerch, M. Hadeid, R. Mahmoudi,
B. Takarli & K. Hasni**

**Journal of the Indian Society of
Remote Sensing**

ISSN 0255-660X
Volume 43
Number 1

J Indian Soc Remote Sens (2015)
43:11-17
DOI 10.1007/s12524-014-0380-x



Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Indian Society of Remote Sensing. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at link.springer.com".



Geometry Based Co-Registration of ALSAT-2A Panchromatic and Multispectral Images

I. Boukerch · M. Hadeid · R. Mahmoudi ·
B. Takarli · K. Hasni

Received: 17 February 2014 / Accepted: 13 April 2014 / Published online: 12 July 2014
© Indian Society of Remote Sensing 2014

Abstract The co-registration of panchromatic and multispectral images is an important task to obtain a good pan sharpened images. Generally, co-registration can be realized by using image-based or geometry-based methods. The geometry-based method necessitates the understanding and the modelling of the imaging process. This paper describes a method for co-registration of panchromatic and multispectral images from ALSAT-2A the first high resolution Algerian satellite. This method, based on the analysis of the metadata provided by the considered sensor, uses the time dependant collinearity condition for rigorous camera modelling. Three experiments, based on ALSAT-2A images, are performed. The first experiment deals with calculating the exterior orientation parameters (EOP) using the panchromatic image and applying them for georeferencing the multispectral image. In the second experiment; the panchromatic image is georeferenced by applying the model EOP calculated from the multispectral image. The third experiment consists in using both images in a bundle adjustment procedure for a higher accuracy. Sub pixel positioning accuracy can be obtained using the model calculated using the panchromatic image only.

Keywords Rigorous geometric model · Georeferencing · Co-Registration · ALSAT-2A

Introduction

I. Boukerch (✉) · R. Mahmoudi · B. Takarli · K. Hasni
Centre of Space Techniques (CTS), Algerian Space Agency (ASAL),
Arzew 31200, Algeria
e-mail: issam.boukerch@yahoo.fr

M. Hadeid
Department of Geography, Oran University, Oran 31000, Algeria

ALSAT-2A is the first high resolution Algerian satellite. It has five push broom sensors, one panchromatic and four multispectral bands, namely blue, green, red and infrared. The panchromatic (PAN) image is acquired with a spatial resolution of 2.5 m and a swath of 17.5 km at nadir. Multispectral (MS) bands have a resolution of 10 m with the same swath. ALSAT-2A takes images at an altitude of 680 km on a sun-synchronous orbit with an orbital period of 98.2 min and an orbital cycle of 29 days (ASAL 2011; Kameche et al. 2011).

The images are provided in two correction levels namely radiometrically corrected level (1A) and geocorrected level (2A). These images are provided separately as single band image for PAN and four band images for MS sensor.

Level 1A images are radiometrically corrected by performing detectors relative response equalization and radiometric abnormality removal. The PAN band and the MS band B3 called the “reference band” are always geometrically raw, all the measurements and the development of the model are based on these bands. The other MS bands are shifted by an integer number of lines to compensate band-to-band misalignment, the shift value for each band is provided in the metadata.

Level 2A images are radiometrically corrected in the same way as for level 1A images. They are registered and geocoded, i.e. resample on a cartographic grid.

The pansharpening is the process of merging high-resolution panchromatic and lower resolution multispectral imagery. One of the key points to obtain spatially and spectrally enhanced image, through pansharpening, is the proper co-registration of the different image datasets (Kapnias et al. 2008). Due to the focal plane configuration, the satellite motion and the terrain topography a slight differences between the PAN and the MS reference band are present which results in a blurry pansharpened image (Kapnias et al. 2008; Radhadevi et al. 2009).

Co-registration can be achieved through image-based or geometry-based methods (Radhadevi et al. 2009). As the motion of the spacecraft is relatively uniform, the image-based approach generally produces reasonable co-registration in images over plain terrain, registration of two images is achieved by identification of conjugate points through matching with which a transformation is fitted to rotate one with respect to the other (Radhadevi et al. 2009). The geometric or photogrammetric methods are based on the knowledge of the information about the camera, the satellite and the imaging geometry. This method takes into account the effect of the terrain height and the viewing angle to achieve sub pixel accuracy in hilly areas (Hong and Zhang 2005; Radhadevi et al. 2009).

When data with different resolution, obtained by the same satellite at the same time is used Kapnias et al. (Kapnias et al. 2008) suggest that in order to obtain desired results, it is essential that the same geometric model for orthorectification is used for both the PAN and the MS raw image. The ground control points (GCPs) used, should be exactly the same for both PAN and MS images.

In this paper the co-registration of PAN and MS images of ALSAT-2A using a rigorous geometrical model is studied. Since both PAN and MS images are taken from the same satellite pass; these images share the same EOPs but in different times; the GCPs are measured and the EOPs are calculated for the first image, its accuracy is checked using check points (CP), then for the second image we use these EOPs in combination with interior parameters of this image to georeference it; the whole set of ground points is then back projected on this image to estimate the accuracy of the used model. Also, the determination of the exterior orientation parameters using both images in a bundle adjustment way is tested. The higher spatial resolution of the PAN image makes points measurement easier. Instead of the usual workflow where the PAN and MS images are orthorectified independently and the GCPs are collected on both images; using this method a rigorous transformation between the PAN and the MS images can be established, and both images can be rigorously georeferenced with GCPs measured only on the first image which reduces the production time.

ALSAT-2A image's Metadata

The metadata file gives the orbit, attitude and the camera parameters. These metadata are given in a similar form as for SPOT5, Formosat2 and THEOS metadata in DIMAP format (Liu et al. 2010).

The orbit data are measured with a frequency of 1Hz. The location and velocity vector are presented in the Earth Centered Earth Fixed (ECEF). The attitude data are measured with a frequency of 4Hz and presented as attitude quaternion

of the Attitude Orbit Control System coordinate system tied in the spacecraft according to the Earth Centered Inertial coordinate system J2000 (ASAL 2011).

The camera parameters are the instrument look angles in the line of sight coordinate system provided in the form of cubic polynomials with the bias angles, roll, pitch and yaw. These angles define the line of sight reference frame orientation according to the Attitude Orbit Control System coordinate system (Fig. 1) (Liu et al. 2010).

Other important information for the geometric model that are found in the metadata are reference line, reference time, line period and the number of rows.

The main differences between the metadata of a multispectral and panchromatic images are the reference time which is the time of capture of the first image line, the Line Of Sight (LOS) coefficients due to the difference in pixel size, the position of detectors in the focal plane and the line period which is the required time to record one line pixels.

ALSAT-2A rigorous geometric model

Before using high resolution satellite imagery for geographic information systems or mapping applications, we must consider their geometric aspect (Boukerch and Bounour 2006).

Several authors studied this problem. Generally there are two categories of geometric models: physical and empirical models (Toutin 2004; Poli and Toutin 2012). The empirical, implicit or non parametric models can be used when the parameters of the acquisition systems or a rigorous 3D physical model are not available. Since they do not reflect the source of distortions (Toutin et al. 2002) these models represent the acquisition system as a mathematical transformation (such as rational functions, 2D or 3D polynomials) between

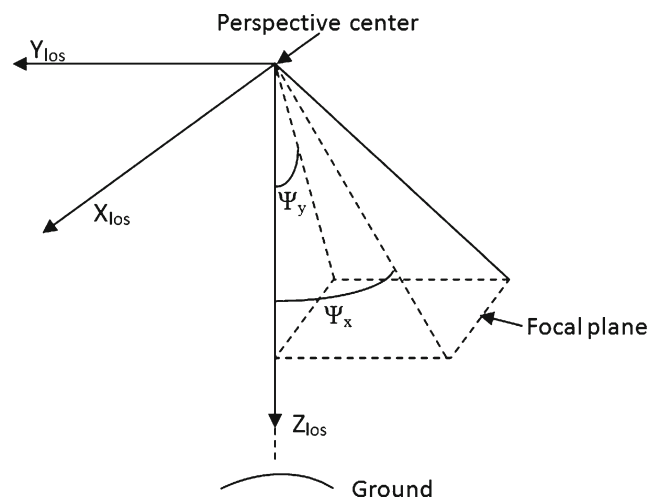


Fig. 1 Line of sight reference frame (RLOS) and Ψ_x , Ψ_y the instrument viewing angles

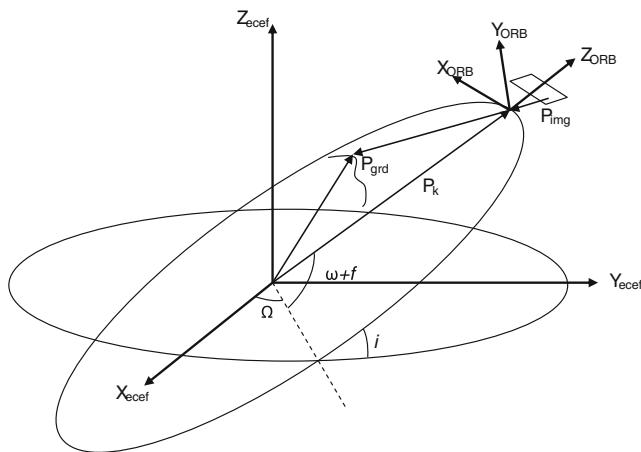


Fig. 2 Geometric relationship between image and ground point

object and image spaces. (Fraser 2003; Grodecki et al. 2003; Toutin 2004; Poli 2005; Boukerch and Bounour 2006; Chen et al. 2006).

The physical, also called rigorous or deterministic models reflect the physical reality of the viewing geometry (platform, sensor, Earth and sometimes map projection); generally with optical imagery, these models are based on the well-known collinearity equations (Chen et al. 2005; Ke and Wolniewicz 2005; Poli 2005; Jung et al. 2007; Weser et al. 2008; Liu et al. 2011; Topan and Maktav 2013). As Michalis and Dowman (2008) mentioned, the pushbroom model is a kinematic model. Due to the dynamic nature of pushbroom imaging geometry, each framlet has its own exterior orientation parameters (EOP) and under the assumption that the images are acquired with a pushbroom scanner using a constant time interval. A time dependent collinearity equation can be developed (Boukerch et al. 2013).

The Interior Orientation

The interior orientation parameters (IOP) are generally directly given in the sensor specifications as the principal point position, focal length and distortions. The IOPs can also be provided in an indirect way (such as SPOT5, ALSAT-2A, THEOS), through the definition of two orthogonal viewing angles for each pixel of the CCD array, which define a bundle

of rays between the projection centre and the pixel centres of the CCD array (Weser et al. 2008).

The viewing angles Ψ_x and Ψ_y of each pixel in Line Of Sight Coordinate System (LOSCS). These values are in the form of cubic polynomials (Liu et al. 2010):

$$\begin{cases} \Psi_x = x_0 + x_1p + x_2p^2 + x_3p^3 \\ \Psi_y = y_0 + y_1p + y_2p^2 + y_3p^3 \end{cases} \quad (1)$$

Where x_i and y_i are the polynomial coefficients given in the metadata file and p is the samples coordinate along the detector array.

The interior parameters as provided are defined in the laboratory before the launch. The quality of IOP estimation relies on the precision of the view angles modelled by cubic polynomials, the compensation of errors in IOP can be achieved via polynomial correction functions (Liu et al. 2011; Boukerch et al. 2013).

The Exterior Orientation and Model Implementation

A polar orbital satellite usually moves along a well-defined, close-to-circular elliptical orbit. All scan line exposure stations would therefore be constrained on this orbit path. For a short arc, the assumption of a “two-body” orbit may be used. This may be parameterized with six elements of a state vector or, equivalently, six Kepler elements (Jung et al. 2007; Jeong 2008; Jeong and Bethel 2008).

Due to the agility the interpolated attitude from the given start and end attitude will be assigned for each scan line (Jeong 2008; Jeong and Bethel 2008).

Based on the analysis of the metadata provided with ALSAT-2A, a rigorous pushbroom camera model was developed. This model has been successfully applied to many high resolution imagery systems (Chen et al. 2005; Ke and Wolniewicz 2005; Poli 2005; Chen et al. 2006; Jung et al. 2007; Weser et al. 2008).

The relation between points in ECEF to its projected point in the image coordinate system can be expressed as (Jeong 2008):

$$P_{img} = \lambda M_r [P_{grd} - [M_{orb-ecef}^T (P_k + P_c)]] \quad (2)$$

Table 1 Test data details

Dataset	Date	Along track viewing angle (deg)	Cross track viewing angle (deg)	Incidence angle (deg)	GCP number	CP number	Height range (m)
Toulouse1	07 February 2011	0.396593	-8.785521	9.735630	11	11	133–230
Toulouse2	04 February 2011	5.577266	-15.432805	18.111511	10	12	146–222
Seville	02 February 2011	29.983273	-0.969	33.571822	12	13	003–136

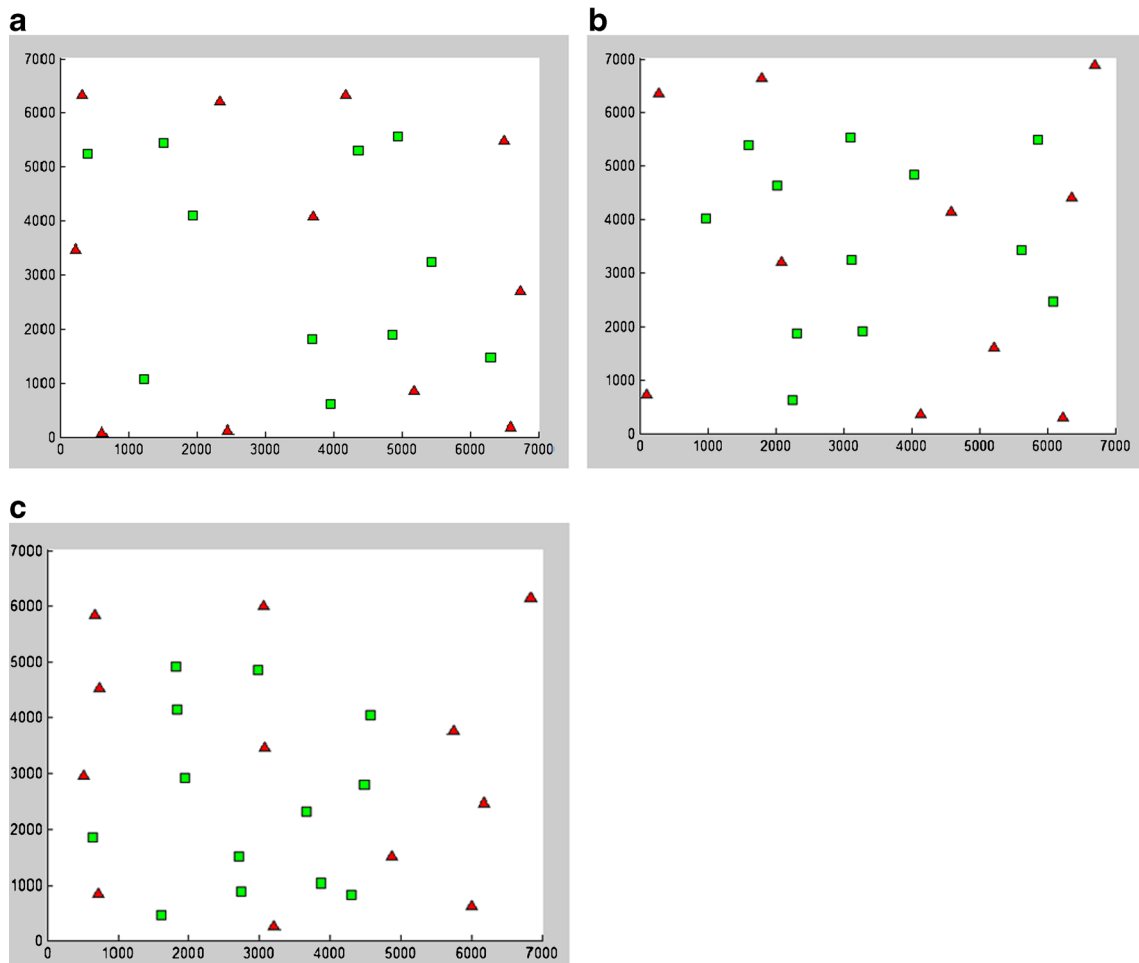


Fig. 3 Ground points distribution: **a** Toulouse1, **b** Toulouse 2, **c** Seville (■ for CP and ▲ for GCP)

Where P_{img} is the image coordinates vector, P_{grd} is the ground coordinates vector, P_K is the vector from earth center to satellite in the orbit plane, $M_{orb-eccef}$ is the rotation matrix applied to ECEF coordinates to bring them parallel to the orbital coordinates system, P_c is the position correction vector, M_r is a rotation matrix from ECEF to the camera frame and λ is a scale factor (see Fig. 2).

To relate image and ground coordinates by collinearity equations many coordinates systems are involved; a set of rotation matrices must be set up to establish the relation between the image coordinate system (ICS) to the ECEF (Crespi et al. 2007; Boukerch et al. 2013; Topan and Maktav 2013).

The correction to the initial position and attitude happens in the form of second order polynomial function of time (Boukerch et al. 2012). The position correction will be included in the model as P_c , the position correction vector. The correction to the attitude is integrated as one of the set of rotation matrices that allow the transfer from ECEF to the LOSCS which is represented in equation (2) as M_r .

The developed model integrates nine interior orientation unknowns to handle the errors in IOPs and 24 exterior orientations unknown parameters: six Kepler elements, nine attitudes and nine positions correction parameters. All the approximate values of the 33 unknown parameters may be

Table 2 RMSE results of georeferencing the multispectral image based on the model from the panchromatic image

	Toulouse 1			Toulouse 2			Seville		
	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)
GCP on PAN	0.257	0.545	0.282	0.454	0.757	0.477	0.658	0.796	0.344
CP on PAN	0.740	0.990	0.619	0.889	0.950	0.607	0.750	0.792	0.480
Points on MS	0.65	0.79	0.40	0.63	0.59	0.50	0.386	0.620	0.393

Table 3 RMSE results of georeferencing the panchromatic image based on the model from the multispectral image

	Toulouse 1			Toulouse 2			Seville		
	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)
GCP on MS	0.577	0.589	0.246	0.537	0.282	0.238	0.357	0.296	0.208
CP on MS	0.638	0.430	0.302	0.711	0.609	0.479	0.360	0.516	0.367
Points on PAN	0.59	0.52	0.27	2.644	1.760	2.011	1.092	2.113	1.429

derived from the information contained in the metadata files provided with the imagery, technical specifications or they are simply fixed to zero. The condition equation based on Eq. 2 is linearized and solved using SVD in a least square sense in order to correct the initial values using a suitable number of well-distributed GCPs (Brovelli et al. 2008; Boukerch et al. 2013).

Results and Discussion

Test Data Description

The test data is composed of ALSAT-2A images with 1A processing level. Each of the three datasets include a PAN and MS images. The first and the second datasets covers respectively the north and the south of Toulouse town in the south west of France, and the third dataset is over the town of Seville in the south of Spain. These dataset are taken with different look angles, where their incidence angles are 9.7, 18.1 and 33.6° respectively (Table 1). Points of the first and the second datasets are selected from the cadastral maps of Toulouse town with an accuracy of 50 cm using Géoportail 3D® mapping service. The points over Seville area were collected from a topographic map at the scale of 1/25 000 for the horizontal coordinates and the altitude is derived from a photogrammetric DTM of 5 m cell size and 1m accuracy, the map and the DTM are graciously supplied by the Spanish National Center of Geographic Information (CNIG) (see Fig. 3).

Experimental Results

Overview

A program was developed in MATLAB to handle the rigorous geometric modelling of ALSAT-2A images. This program offers the possibility to change the orders of the correction polynomials, also different sets of unknowns can be selected and the others are fixed to their initial values. The model parameters set used in this paper consider the correction of four exterior elements i.e. Z, Ω, Φ and K by resolving 11 model unknowns. The translation along Z axis is corrected using linear function of time (two unknowns). The attitude parameters Ω, Φ and K which are the rotations about X, Y and Z axis respectively are corrected using second order polynomials (three unknowns each). This set is optimal since it provides a sub pixel accuracy using the minimum number of unknowns (Boukerch et al. 2012).

In this study only 2D accuracy analysis is possible due to the single image coverage. The check point accuracy is estimated in 2D via a back projection of 3D check point coordinates into image space using the adjusted orientation parameters. It is also possible to check the accuracy by the use of a forward projection to an established height value in object space (Liu et al. 2011).

First Experiment

The first experiment considers georeferencing the multispectral (MS) image by using the model parameters calculated from the panchromatic (PAN) image. Taking into consideration the constant time delay between the PAN and MS

Table 4 RMSE results of georeferencing the panchromatic and the multispectral image by simultaneously computed model

	Toulouse 1			Toulouse 2			Seville		
	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)	Ex (pix)	Ey (pix)	Exy (pix)
GCP on PAN	0.257	0.545	0.282	0.454	0.757	0.485	0.658	0.796	0.344
CP on PAN	0.740	0.990	0.620	0.889	0.951	0.608	0.750	0.792	0.480
GCP on MS	0.548	0.586	0.219	0.505	0.288	0.198	0.363	0.294	0.190
CP on MS	0.601	0.425	0.289	0.669	0.619	0.470	0.376	0.516	0.349

images which can be obtained from the difference of reference time of both images, the back projection of any ground point to the MS image based on the model parameters calculated previously is possible; here the MS image is rigorously georeferenced without measuring points on it. The MS image coordinates of the points after the back projection are then compared to those measured in this image and the accuracy of the georeferencing is estimated. The results of this experiment can be found in Table 2.

Second Experiment

In the second experiment, the model parameters are calculated from the GCPs measured on the MS image, and its accuracy is obtained using CP. Then the ground points are back projected to the PAN image using these model parameters and compared to those measured on this image. The results are presented on Table 3.

Third Experiment

The model parameters in the third experiment are obtained by bundle adjustment of both PAN and MS images. The measured GCPs on the PAN and MS images are used at the same time to compute the model. The ground and image coordinates of the points are fixed as known elements to calculate the optimal solution for the selected unknown set of the time dependant geometrical model using both images simultaneously. Independent CPs is used to estimate the accuracy of the calculated model. The results of this experiment are presented in the Table 4.

Discussion

The georeferencing accuracy using the rigorous geometrical model of the PAN image in the first experiment gives subpixel accuracy. The accuracy in the X direction is higher than Y; this can be explained by the image capture mode which is a pushbroom moving along the Y axis (Boukerch et al. 2013), and the X direction is fixed by the IOPs. These calculated trajectories with position and attitude correction parameters (i.e. EOPs) provide subpixel accuracy when used for the georeferencing of MS image for the three datasets. The model calculated using the MS image has a slightly higher accuracy (improved by less than 0.1 pixels) but when used for the PAN image it gives a lower accuracy due to the lower resolution of the MS image (2.5 m for PAN and 10 m for the MS). When using both images measurements to calculate the geometric model by bundle adjustment in the third experiment, we obtain slightly higher accuracy for these datasets. But this approach requires the measurement of GCPs on both images to calculate the model which increases the production time.

Conclusion

This paper presents the results of using the rigorous geometric model developed for ALSAT-2A (Boukerch et al. 2012) for the co-registration of PAN and MS imagery. The parameters integrated in the DIMAP metadata provided with the ALSAT-2A permit the establishment of the relation between the PAN and MS images coordinates through the constant difference in reference time, and assuming that both images share the same EOPs.

From the different experimentations, sub pixel accuracy is obtained on the PAN and MS images using the rigorous sensor model. In the classic workflow the orthorectification of PAN and MS images is conducted independently. The simultaneous model calculation in bundle adjustment approach of PAN and MS images provides slightly higher accuracy than independent approach, but both of these approaches (independent and simultaneous bundle adjustment) involve the GCP measurement on both PAN and MS images which increases the production time.

The use of the PAN image to calculate the geometric model for both images is a better solution since the GCP measurement is done once only on PAN image. The high geometric resolution makes the GCP identification and measurement more convenient. The sub pixel accuracy using the model calculated from PAN imagery permit to directly georeference the MS image without GCP measurement which is not proposed by any of the consulted commercial software solutions.

References

- ASAL (2011).2A, Alsat-2A images technical specification.
- Boukerch, I., & Bounour, H. (2006). Geometric modelling and orthorectification of SPOTs super mode images. *Revue française de photogrammétrie et de télédétection* 61–65.
- Boukerch, I., Haded, M., Mahmoudi, R., Takarli, B., & Hasni, K. (2012). Rigorous geometrical modeling of ALSAT-2A Algerian satellite. *SPIE Remote Sensing. International Society for Optics and Photonics*, p 85331V–85331V–9.
- Boukerch, I., Haded, M., Mahmoudi, R., Takarli, B., & Hasni, K. (2013). Rigorous georeferencing of ALSAT-2A panchromatic and multi-spectral imagery. *International archives of photogrammetric remote sensing and spatial information sciences Volume XL-1/W1:35–39*. doi: doi:10.5194/isprsarchives-XL-1-W1-35-2013.
- Brovelli, M. A., Crespi, M., Fratarcangeli, F., Giannone, F., & Realini, E. (2008). Accuracy assessment of high resolution satellite imagery orientation by leave-one-out method. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 63, 427–440.
- Chen, L., Teo, T., & Liu, L. (2005). Rigorous georeferencing for Formosat-2 satellite images by least squares collocation. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. p 3526.
- Chen, L., Teo, T., & Liu, C. (2006). The geometrical comparisons of RSM and RFM for FORMOSAT-2 satellite images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72, 573.
- Crespi, M., Fratarcangeli, F., Giannone, F., & Pieralice, F. (2007). SISAR: a rigorous orientation model for synchronous and asynchronous

- pushbroom sensors imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36, 6.
- Fraser, C. S. (2003). Prospects for mapping from high-resolution satellite imagery. *Asian Journal of Geoinformatics*, 4, 3–10.
- Grodecki, J., Dial, G., & Lutes, J. (2003). Error propagation in block adjustment of high-resolution satellite images. ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings. pp 5–9.
- Hong, G., & Zhang, Y. (2005). The image registration technique for high resolution remote sensing image in hilly area.
- Jeong, I.-S. (2008). Resolving parameter dependencies in satellite sensor models. Phd Diss, Purdue University, Purdue.
- Jeong, I., & Bethel, J. (2008). *Trajectory modeling for satellite image triangulation*. Beijing: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
- Jung, H., Kim, S., Won, J., & Lee, D. (2007). Line-of-sight vector adjustment model for geopositioning of SPOT-5 stereo images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 73, 1267.
- Kameche, M., Gicquel, A. H., & Joalland, D. (2011). ALSAT-2A transfer and first year operations. *Journal of Aerospace Engineering*, 3, 67.
- Kapnias, D., Milenov, P., & Kay, S. (2008). Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery, Geneva, Switzerland: European Commission, Joint Research Centre. Institute for the Protection Security Citizen JRC 48904.
- Ke, L.C., & Wolniewicz, W. (2005). Very High Resolution Satellite Image Triangulation.
- Liu, S., Fraser, C. S., Zhang, C., Ravanbakhsh, M., & Tong, X. (2010). Geometric Accuracy Evaluation Of Theos Imagery.
- Liu, S., Fraser, C. S., Zhang, C., Ravanbakhsh, M., & Tong, X. (2011). Georeferencing performance of THEOS satellite imagery. *The Photogrammetric Record*, 26, 250–262.
- Michalis, P., & Dowman, I. (2008). A generic model for along track stereo sensors using rigorous orbit mechanics. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74, 303.
- Poli D (2005) Modelling of space borne linear array sensors. Diss., Technische Wissenschaften, Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Nr. 15894, 2005.-Ref.: Armin Grün; Korref.: Ian Dowman
- Poli, D., & Toutin, T. (2012). Review of developments in geometric modelling for high resolution satellite pushbroom sensors. *The Photogrammetric Record*.
- Radhadevi, P. V., Solanki, S. S., Jyothi, M. V., Nagasubramanian, V., & Varadan, G. (2009). Automated co-registration of images from multiple bands of Liss-4 camera. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64, 17–26.
- Topan, H., & Maktav, D. (2013). Efficiency of Orientation Parameters on Georeferencing Accuracy of SPOT-5 HRG Level-1A Stereo images.
- Toutin, T. (2004). Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 1893–1924.
- Toutin, T., Chénier, R., & Carbonneau, Y. (2002). 3D models for high resolution images: examples with Quick Bird, IKONOS and EROS. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34, 547–551.
- Weser, T., Rottensteiner, F., Willneff, J., Poon, J., & Fraser, C. S. (2008). Development and testing of a generic sensor model for pushbroom satellite imagery. *The Photogrammetric Record*, 23, 255–274.

***The « spatio-cadaster » a solution for the Algerian steppe
and saharian regions cadastral works.***

Boukerch Issam, Takarli Bachir, Aarrizou Kheira, Hadeid Mohamed, Dekkich
Hichem, Abbass Hocine

Proceedings - Symposium GIS Ostrava 2010

ISBN 978-80-248-2171-9 / ISSN 1213-239X

4. - 27. 1. 2010, Ostrava

http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/sbornik/Lists/Papers/EN_1_19.pdf

The “spatio-cadaster” a solution for the Algerian steppe and saharian regions cadastral works

Boukerch Issam*, Takarli Bachir, Aarrizou Kheira, Hadeid Mohamed, Dekkich Hichem, Abbass Hocine

Centre des Techniques Spatiales, 01 avenue de Palestine
BP 13 Arzew Oran Algeria.
Issam.boukerch@yahoo.fr

Abstract. The large surface of Algeria (about 2.38 Million Sq.Km) and the economical growth make difficult to keep up to date cadastral mapping using classic methods for surveying. In this situation we are obliged to look for an alternative to the aerial photographs and conventional survey methods.

The very high resolution satellites have an important impact in the geoinformatic industry. By means of this technology, detailed maps in multiple scales can frequently and easily generated or updated from images with a gain in cost and time of operations.

The Algerian Center of Space Techniques (CTS - Algeria) in collaboration with National Cadastre Agency (ANC- Algeria) develops a new approach to cadastre the large steppe and saharian regions. This approach uses the very high resolution satellite imagery (SPOT 5 Super mode) as main source for the parcel boundaries determination in the steppe which is characterized by very large agricultural and pastoral exploitation. Because of the very high cost of this operation a multiscale approach has been adopted to reduce the cost, the regions that will be covered by the very high resolution imagery is predetermined as 40km around every town or village where the activity is higher, this gives a total of 500.000 Sq.Km to cover. The rest of the national territory will be covered by ETM+ enhanced images.

This approach is adopted for the willaya (district) of “El Bayadh” in the west of Algeria with an area of over than 7 Million Hectare; this willaya is covered by 18 Scenes of Spot 5 Super mode (2.5m) and 8 ETM+ images (15m) which has been orthorectified. The final product is tested to meet the cadastral requirement. Finally the images are assembled into one mosaic with regularized colors. At the end a pseudo-natural color image is generated to help the user.

Keywords: spatio-cadaster, cadastre, steppe, Sahara, SPOT5, Orthoimage.

1 Introduction

For socioeconomical and climatic reasons, the repartition of the population over the Algerian national territory has been always the source of many problems for the land management, generally, and for landed estate particularly. The National Cadastre Agency (ANC- Algeria) has make a choice for conventional survey methods (classical land survey and aerial photogrammetry), and particular scales (1/500, 1/1 000 for urban regions and 1/2 500, 1/5 000 for rural region) for the hard copy cadastral map edition, for the northern regions of Algeria this choice has been proved and gives a good productivity results, this is because these regions are characterized by the high population density and small parceling (less than 10 Hectares). But in the southern regions which are steppic and saharian and characterized by large pastoral and agricultural landed estate, oil fields and mining zones this choice is limited.

The immensity of the territory to be cadastered and the non homogeneity of area of interest (urban, agricultural, industrial...) distribution, the cost and the limited time to complete the cadastral works, makes indispensable the adoption of a new strategy which take into account the last progress in the acquisition, manipulation and management of the geographic data.

Our approach consist on the use of the high resolution (Landsat ETM+) the very high resolution (Spot5, quickbird, worldview) satellite imagery in a multi scale approach to help the Algerian Cadastre Agency to define the third blanket called “wide area cadastre” to be added to the tow other existing types of cadastre which are “Urban cadastre” and “rural cadastre”.

2 History of spatial imagery

The origin of remote sensing is the aerial imagery that allowed us to collect information about the ground surface without direct contact. The development of the acquisition (satellites and cameras) and the data manipulation technique has accelerated the evolution of the photogrammetry.

Since the First World War, the use of the aerial photography has taken a considerable expansion. Its first civilian use was for archaeology and geology. The Cold War comes to open new perspectives because of the possibility to take images from a very high altitude (with development of the aviation) using new spectral domains other than visible band (development of electronics and new sensors and antenna).

The remote sensing prove to many users the interest of observing earth from space, the first images supply an innovative data source for the meteorology, geology, oceanography and the cartography of the wide area phenomenon. Some characteristics such as a coverage which is wide, homogeneous and synoptic that this new technique offer permits the production of new documents that we can't obtain using the aerial photography[Puis03].

The high resolution satellites appear at the beginning of the 70th such Landsat MSS with 80m resolution. The 2nd generation satellites appear in 1982 with Landsat TM of 30m resolution, SPOT XS of 20m resolution and HRV of 10 m resolution in 1986, this resolution was very sufficient for many new applications such as agriculture, forestry, environment..., but other domain of application such as urbanism and land administration require larger scale which involve higher resolution that remain monopolized for the military purpose.

In September 1999, a new era comes with the launch of IKONOS, the first civilian satellite able to supply images with 1m resolution, which make the satellite imagery a serious competitor to the aerial photography. After this date many others very high resolution satellites were launched such EROS-A1 in 2000, QuickBird in 2001 with 0.64m resolution and WorldView-1 at the end of 2007 with 0.5m resolution.

3 Methodological approach

3.1 Algeria's steppic and saharian regions description

The Algeria's steppe is located between isohyets 400mm to 100mm in the north and south. She had an area of 20 million hectares, between the southern boundary of the Tellian Atlas and the northern foothills of the Saharan Atlas in the south, divided administratively through eight steppic willayas (District) and 11 agro-pastoral willayas with a total of 354 municipalities. The climate varies from semi-arid in the north to the arid in the south [Nedj2006].

Saharain zones cover over than 80% of the area of Algeria so approximately 2 million square kilometers, consists mainly of ergs, oases and mountains.

The Algerian portion of the Sahara extends south of the Saharan Atlas for 1,500 kilometers to the Niger and Mali frontiers. The desert is an otherworldly place, scarcely considered an integral part of the country. Far from being covered wholly by sweeps of sand, however, it is a region of great diversity. Immense areas of sand dunes called areg (sing., erg) occupy about one-quarter of the territory. The largest such region is the Grand Erg Oriental (Great Eastern Erg), where enormous dunes two to five meters high are spaced about 40 meters apart. Much of the remainder of the desert is covered by rocky platforms called humud (sing., hamada), and almost the entire southeastern quarter is taken up by the high, complex mass of the Ahaggar and Tassili-n-Ajjer highlands, some parts of which reach more than 2,000 meters. Surrounding the Ahaggar are sandstone plateaus, cut into deep gorges by ancient rivers, and to the west a desert of pebbles stretches to the Mali frontier [Wiki2009].

3.2 Multiscale approach

By the fact of steppic and saharian area morphologies, nature of details and human activity which are quasi-inexistent in the saharian region and poorly occupied in the steppic zones, in this kind of area distance between urban centers (cities) are very long and exceed one hundred kilometers in average, multi-scale/resolution approach is an appropriate way to the cadastre by spatiomapping (fig.1).

By this approach, we must consider regions of poor and intermediate parceling level by using homogeneous global high resolution image coverage like ALSAT1, ETM+, ASTER, differently of regions of highest parceling level.

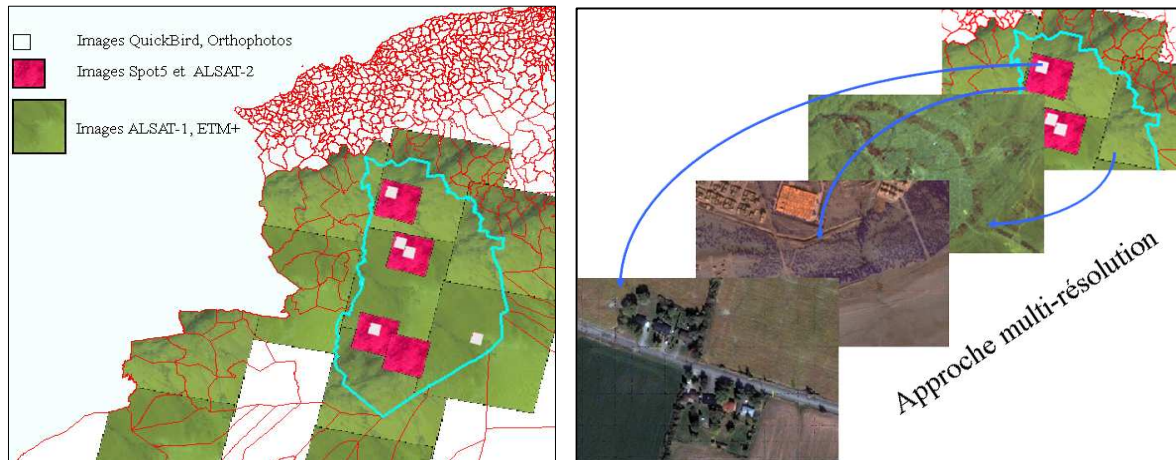


Fig. 1. The multi-scale/resolution approach

In this second case we have to use the very high resolution imagery, first SPOT5 super mode images with a resolution of 2.5m to cover regions where the human activity is present. This kind of images allows us to distinguish and measure parcels surface of at least 5 Hectares.

In the case of existence of smaller parcels which is a limited case like periurban and some other areas of interest, the field survey is the optimal solution if the zone is limited; otherwise the orthoimage of a resolution more than 1m (Ikonos, Quickbird, Worldview...) is recommended.

3.3 Multisource approach

We have to manipulate heterogenous images (resolutions and sensor) and multisource data (digitized plans, photogrammetry plots, field surveys, and GPS). We consider in this approach the conjointly using of these data.

3.4 Validation and control

The choice of a standard for validating and controlling (QA/QC) affect directly the cost and the time consuming for the realization of cadastral operations. It must take into account the specifications of each country in term of nature of areas to be surveyed (size, details level), means and time allowed to the execution.

3.5 Management and organization

The insurance of the reliability of spatio-cadaster in steppic and saharian zones began with foresee an organizational aspect adapted to the specificity of this new technique. This new organization must take into account two important points: the staff and data.

Concerning data, their structuring and management is primordial, through the judicious selection of metadata to be associated in order to be able to manage easily this mass of multisource data. Concerning the staff, a new production workflow must be established, thus a restructuring under the form of specialized team in such a way to guaranty a quality product with high efficiency.

4 Spatio-Cadastral mapping of EL BAYADH

In the aim of achieving the cadastral works in the steppic and saharian regions, the district of EL BAYADH has been taken as test area to develop this new methodology that will be generalized for the entire national territory.

4.1 Study area

EL BAYADH is willaya (district) situated in the north west of Algeria (fig.2). The northern regions of this willaya are typically steppic and the southern regions are perisaharian and saharian in the extreme south. Its area is about 71500 Sq.Km including 22 communes. It is situated between $\lambda=0^{\circ}25'$ west to $\lambda=2^{\circ}22'$ and $\varphi=30^{\circ}41'$ to $\varphi = 34^{\circ}27'$.

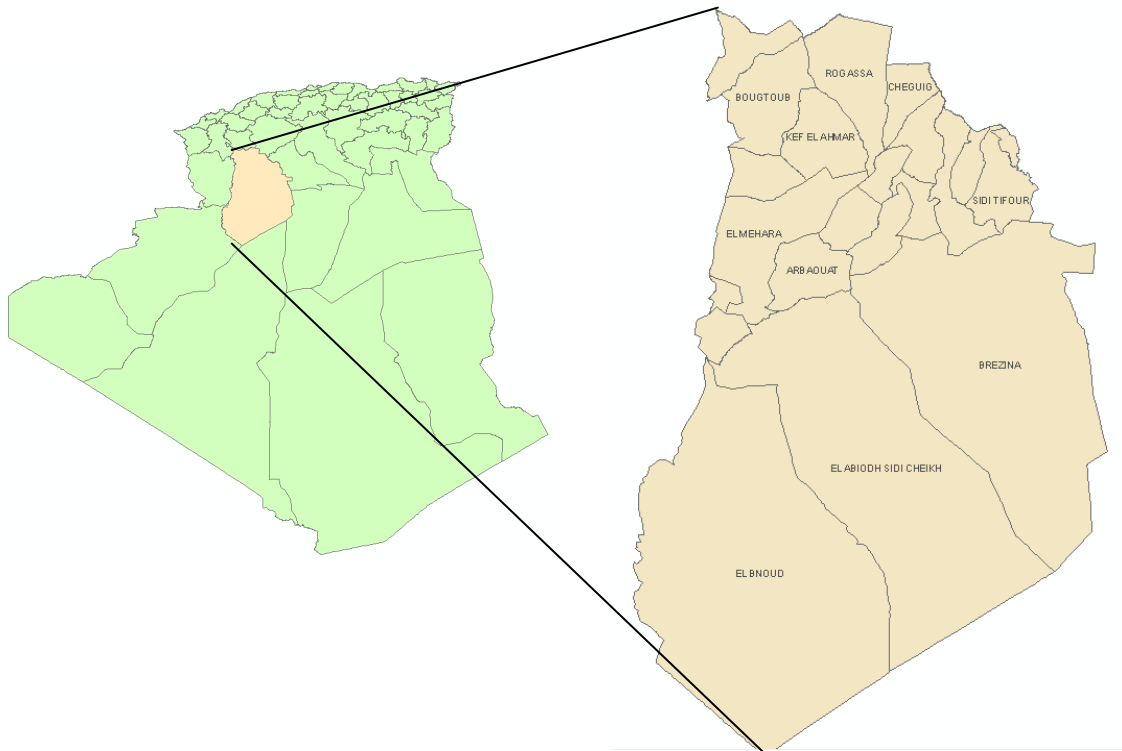


Fig. 2. EL BAYADH district situation

4.2 Spatiomaps generation

After several meetings with the essential organizations which play an important role in the geographic data Algerian market, Space Techniques Center / Algerian Space Agency (Scientific), National Cadastre Agency (User/Production), National Institute of Cartography and Remote Sensing (Production/Policy), it has been decided that an equivalent to 1 / 200 000 map scale as basic spatiomap will be produced. For this ETM+ at 14.25m resolution is used. The orthoimage at the resolution of 14.25m will be used for the pre-cadastral works in the north (steppic regions) and as a cadastral map in the south (saharian regions).

For the populated area (zones of interest) mapping, it has been decided that all the area within a radius of 40 Kilometers around communal county town will be covered by a SPOT5 super mode color images at a resolution of 2.5m and equivalent to 1 / 10 000 map scale.

The whole block consists of 18 SPOT5 images of 2.5m resolutions with overlaps between them, for the 1 / 10 000 mapping (fig.3a).

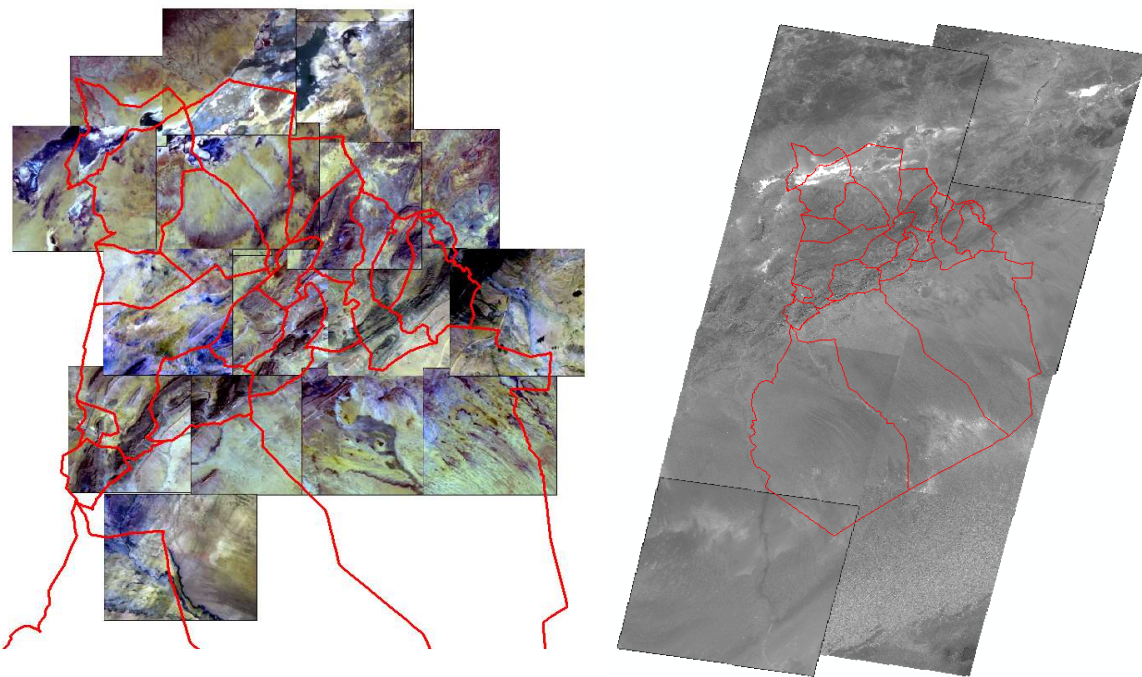


Fig. 3. a. SPOT5 images block

b. ETM+ images block

The orthorectification process of this block is accomplished using GEOVIEW the IGN-FI solution for spatial block adjustment via a physical geometric model [Fra03] [Tou02] and “Référence Alpha” which is a subset of a continental size orthoimage that has a high geometrical (positioning) quality.

Under Geoview manual tie and control point’s collection is realized for the reason that a great part of this block presents relatively homogeneous texture. Also this software offers a very good color balancing possibilities to create a higher visual quality mosaics generated in pseudo-natural colors.

Concerning the ETM+ coverage 8 images were used of L1G, after mosaic and color balancing 4 GPS points were used to improve the geometric quality of the mosaic (fig.3b).

4.3 Control and validation of the product

The obtained product was controlled, visual aspect in the first time (colors, details continuities between overlapping images) and in the second time the positioning accuracy.

In this way and without any standards imposed for this kind of works in Algeria, we used NMAS standards used and tested in further works.

4.3.1 Cartographic standards

The choice of the standards was based on the results obtained on the work carried out on the commune of EL BAYADH, taking in consideration the specificities of the region (large area with poor details, means and the allowed time). In this context, we based our focus on the standards defined in “United States National Map Accuracy Standards” (NMAS); applied in USA.

For the 1/10 000 scale suggested by the National Cadastre Agency in this study, this standard require a tolerance of $CE_{90}=8.47m$ [Cly62] [NMAS] [NSSDA].

4.3.2 Orthoimage geometric quality assessment

For this control we use the points determined by GPS field works. The field works were carried out conjointly by the Space Techniques Center and Cadastre Services of the willaya of EL BAYADH between the 27th April and 08 May 2009 and 67 points were observed.

This test is based on a comparison between the coordinates of the observed points and the coordinates of the same points derives from the spatiomap **Table 1** and **Table 2**.

For the spatiomap at scale 1/200 000 and 1/10 000; the statistical results are:

Table 1. Accuracy obtained for ETM+ mosaic (17 GPS points).

	Dx(m)	Dy(m)	Dr(m)
Mean	32,636	-9,538	35,976
RMS	11,768	14,499	14,210

sigmamin/sigmamax	0,812
CE90	30,494
Max Scale	60028,247

Table 2. Accuracy obtained for SPOT5 mosaic (62 GPS points).

	Dx(m)	Dy(m)	Dr(m)
Mean	0,812	2,585	4,270
RMS	2,935	2,871	2,400

sigmamin/sigmamax	0,978
CE90	5,150
Max Scale	6082,466

Where Dx and Dy are respectively X and Y direction error, Dr is the radial error

4.3.3 Discussion

For the ETM+ orthoimage the mean error is 35.976m with 14.21m RMS, the $\sigma_{min}/\sigma_{max}$ is 0.812 which indicate that the error is close to circular (no bias in X nor Y dierection), CE90 indicator is 30.494m which allow us to edit maps at max scale of 1 / 60 028.

concerning the SPOT5 orthoimage the mean error is 4.27m with 2.4m RMS, the $\sigma_{min}/\sigma_{max}$ is 0.978 which indicate that the error is close to circular (no bias in X nor Y dierection), CE90 indicator is .15m which allow us to edit maps at max scale of 1 / 6083.

4.4 Pseudo-natural color transformation

The pseudo-natural color transformation is used to reconstitute an approximation of natural color visualization (green vegetation, brown soil ...) using the original bands.

As it is known SPOT 5 hasn't the blue band, so the generated Ortho-image is in false colors, this product is not suitable for non professional user. This oblige as to try to find a methodology that allow us to present the final product in pseudo natural colors, this has been done by calculating a transformation between tow spaces, as input the false colors and output the natural color (fig.4).

The final edition was based on the communal limits given by the National Institute of Cartography and Remote Sensing with 2 km buffer.

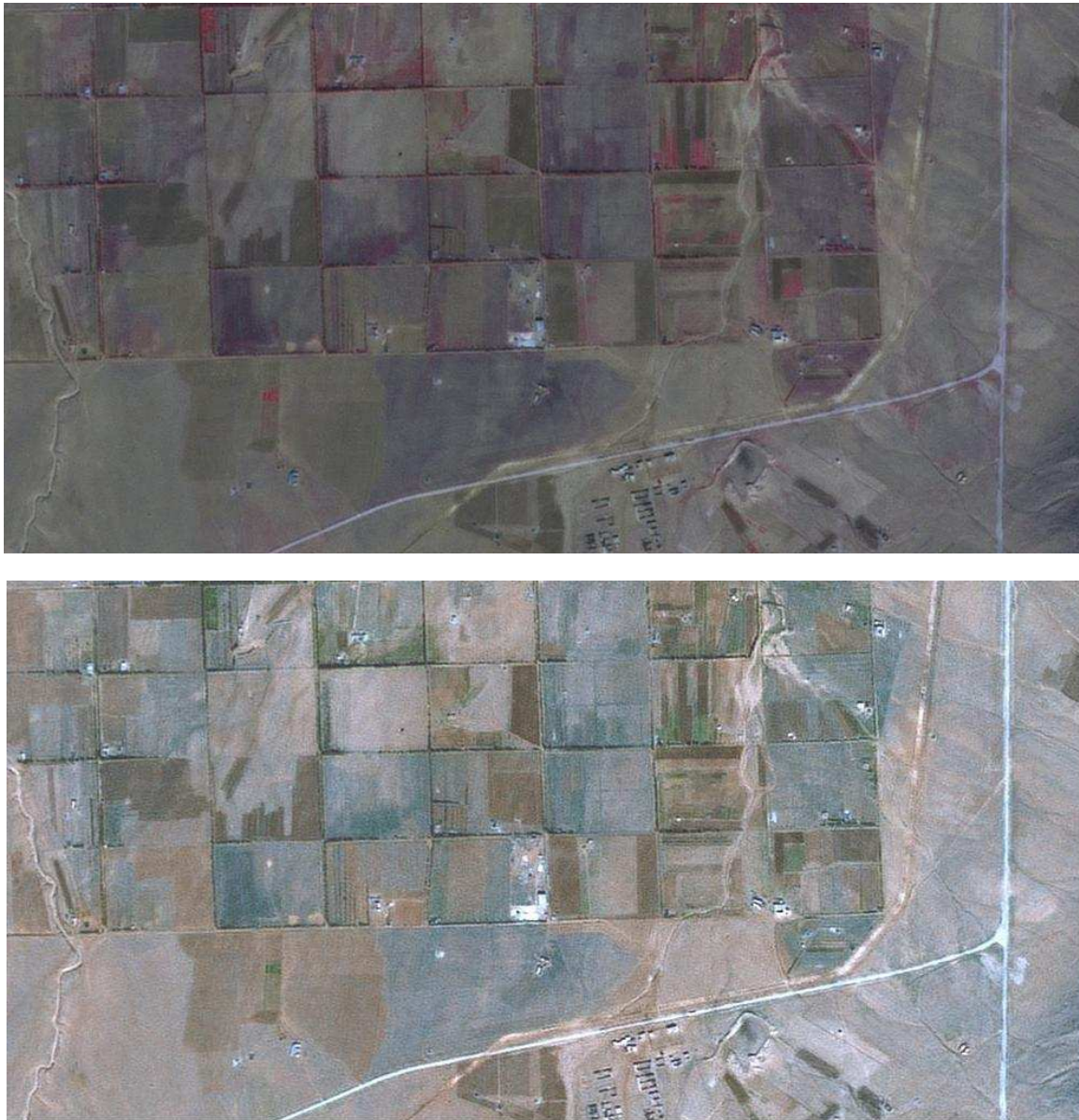


Fig. 4. The original and pseudo-natural color image of SPOT5

5 Conclusion

The experience of EL BAYADH district was the proof that the spatial imagery can be used to accelerate the cadastral works, regarding to the time limitation and the large surface to be cadastered. Our methodology was very helpful for the Algerian National Cadastre Agency to define a new kind of cadastre called "**wide area cadastre**" to be added to the tow other existing types of cadastre which are "**urban cadastre**" and "**rural cadastre**".

ETM+ and SPOT5 images were used to generate two types of digital color orthoimages at equivalent scales of 1 / 200 000 as base map and the delimitation of areas in the saharian regions, the second type of orthoimages is at equivalent scale of 1 / 10 000 to be used in a perimeter of 40Km around every communal county town in the steppe and the Sahara.

In EL BAYADH district case of study 8 ETM+ (14.25m) enhanced images were used to generate a base spatiomap and 18 scenes of SPOT5 super mode images (2.5m) has been orthorectified and used to generate a color regularized mosaic and transformed to pseudo-natural color that allow the non accustomed (professional) users the possibility of direct interpretation which facilitate the use of this orthoimage.

This product is now used by the Cadastre Services of the willaya of EL BAYADH that give them global satisfaction. Also this methodology will be adopted by the Algerian National Cadastre Agency and generalized for the rest of 21 willayas of Algerian steppe and Sahara, this is equivalent to 2 million Sq.Km to be covered with ETM+ imagery and 500 000 Sq.Km with 2.5m.

The standard used to control the geometric quality of the product was the United States National Map Accuracy Standards because of the lack of such standard in Algeria, for the future works a study for a national mapping standard definition must be done.

Reference

- [Nedj2006]: Nedjimi Bouzid, Homida Mokhtar, *Problématique des zones steppiques Algériennes et perspectives d'avenir*, EL BAHITH journal n°04/2006.
- [Puis03]: Anne Puissant, *Information géographique et images à très haute résolution, utilité et applications en milieu urbain*. Thèse de doctorat l'université de Luis Pasteur. 2003.
- [Wiki2009]: Geography of Algeria, http://en.wikipedia.org/wiki/Geography_of_Algeria, visited 05-10-2009.
- [NMAS]: *Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy*, Subcommittee for Base Cartographic Data, Federal Geographic Data Committee, FGDC-STD-007.3-1998
- [NSSDA]: *Positional Accuracy Handbook, Using the National Standard for Spatial Data Accuracy to measure and report geographic data quality*, Minnesota Planning Land Management Information Center, October 1999
- [Fra03]: George Vozikis, Clive Fraser, Josef Jansa, *Alternative Sensor Orientation Models For High Resolution Satellite Imagery*. Band 12 "Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation", Bochum, pp. 179- 186. 2003.
- [Tou02]: Thierry Toutin, R. Chénier, Y. Carbonneau, *3D models for high resolution images: examples with quickbird, ikonos and eros*. Proceedings of International Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications (ISPRS, IGU, CIG), Ottawa, Ontario, Canada, July 8-12, 2002, CD-ROM.
- [Cly62]: Clyde R, Melvin E, *Principles of error theory and cartographic applications*, ACIC Technical Report N°96, February 1962.

SPATIOMAP generation from SPOT 5 super mode images

B.TAKARLI, I.BOUKRECH, A.DJILALI, M.HADEID

Proceedings - Symposium GIS Ostrava 2010

ISBN 978-80-248-2171-9 / ISSN 1213-239X

4. - 27. 1. 2010, Ostrava

http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/sbornik/Lists/Papers/EN_8_1.pdf

SPATIOMAP generation from SPOT 5 super mode images

B.TAKARLI*, I.BOUKRECH, A.DJILALI, M.HADEID

Centre des Techniques Spatiales, 01 avenue de Palestine
BP 13 Arzew Oran Algeria.
b_takarli@yahoo.fr.

Abstract: The development of the society is directly related to the quality and the accessibility (large distribution) of maps, which is considered as an important document in several sectors like natural resources exploitation, disaster management, commerce, transportation and many other social interactions are simplified if maps are updated, more detailed and widely distributed.

Here, we review different methods that we used to orthorectify a SPOT 5 Super Mode very high resolution image of ORAN (ALGERIA). In this application we tested seven geometric models for the orthorectification, and we deduce the applicability of different geometric models for the orthorectification of SPOT 5 images and the reachable accuracy. Finally to present this product for non professional user a pseudo natural colors transformation has been calculated, and a 1:25 000 spatiomap based on the SPOT 5 orthoimage was edited.

Keywords: Orthorectification, Geometric, Modelling, High resolution, SPOT

1 Introduction

In Africa, Algeria is at the 8th place, with a CDI (Cartographic Development Index) of 82.23. Only 350 among 1852 mid-scale maps (1:25.000) exist. In this situation we are obliged to look for an alternative to the aerial photographs. The very high resolution satellites have an important impact in the geoinformatic industry. By means of this technology, detailed maps in multiple scales can be frequently and easily generated or updated from images with a gain in cost and time of the operations.

Before, the only solution for medium and large scale maps production was by exploitation of the aerial photography, but at the end of 1999 the very high resolution satellite imagery is commercially available for civil applications, this product is becoming rapidly a real concurrent of the aerial photography.

Many providers of very high resolution satellite images exist and they offer images with a ground sample distance (GSD) from 0.7 to 5 meters, Table 1 shows some very high resolution satellite and their characteristics:

Table 1. Very high resolution satellites [6]

Satellite	Altitude	Swath	Revisit time	GSD
Spot	830 km	60 km	3-26 Day	5 - 2.5m
Eros-a1	480 km	12.5km	3 Day	1.8m
Orbview3	740 km	8 km	1-3 Day	1m
Ikonos	680 km	11 km	1-3 Day	1m
Quickbird	600 km	16 km	1-5 Day	0.61-2.4m

This type of images gives us all the advantages of satellite imagery technology like revisit time, it hasn't a geographical or political frontier and relatively low cost ..., in the other hand different problems appear with this new technology such difficulty in the application of classic methods of classification, occlusion, shadow, textural characteristic of the objects is more important...

All these problems are related to the extraction of information. Before the use of this information for GIS or mapping applications, we must consider the geometric aspect of this new satellite imagery technology.

This is equivalent to give an answer to the question “how the imaging system transforms the location of the pixels on the earth to the image?” (Fig.1).

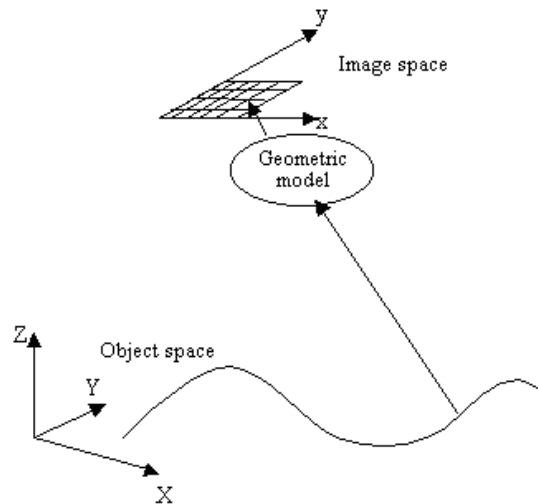


Fig. 1. Geometric modeling.

Several authors were studied this problem, generally we have two categories of geometric models: physical and empirical models. The physical called also rigorous or deterministic models which reflect the physical reality of the viewing geometry (platform, sensor, Earth and sometimes map projection); generally in the optical imagery these models are based on the well-known collinearity condition, which can be considered for each image row at any time, for the satellite scanner. The empirical, implicit or non parametric models can be used when the parameters of the acquisition systems or a rigorous 3D physical model are not available. Since they do not reflect the source of distortions [7], these models represent the acquisition system as a mathematical transformation between object and image spaces.

2 Rational function model

As an alternative for the physical model, 3D rational functions are widely used as a geometric model for very high satellite images, this approximation of physical model is given as a set of rational polynomials expressing the normalized row and column values, as a function of normalized geodetic latitude, longitude, and height [5],

The rational function polynomial equations are defined as:

$$\begin{aligned} r &= \frac{P_{i1}(X, Y, Z)_j}{P_{i2}(X, Y, Z)_j} \\ c &= \frac{P_{i3}(X, Y, Z)_j}{P_{i4}(X, Y, Z)_j} \end{aligned} \quad (1)$$

Where c, r = image coordinates
 X, Y, Z = object coordinates

The rational function polynomial equation numerators and denominators each are 20-term cubic polynomial functions of the form:

$$\begin{aligned}
 P_{il}(X, Y, Z) = & a_1 + a_2 \cdot Y + a_3 \cdot X + a_4 \cdot Z \\
 & + a_5 \cdot Y \cdot X + a_6 \cdot Y \cdot Z + a_7 \cdot X \cdot Z + a_8 \cdot Y^2 \\
 & + a_9 \cdot X^2 + a_{10} \cdot Z^2 + a_{11} \cdot X \cdot Y \cdot Z \\
 & + a_{12} \cdot Y^3 + a_{13} \cdot Y \cdot X^2 + a_{14} \cdot Y \cdot Z^2 \\
 & + a_{15} \cdot Y^2 \cdot X + a_{16} \cdot X^3 + a_{17} \cdot X \cdot Z^2 \\
 & + a_{18} \cdot Y^2 \cdot Z + a_{19} \cdot X^2 \cdot Z + a_{20} \cdot Z^3
 \end{aligned} \tag{2}$$

Where a_i = polynomial coefficients

Y, X, Z = geodetic latitude, longitude, and height

The parameter a_1 for the denominators is equal to 1, in order to solve the RF coefficients (78 coefficients); at least 39 control points are required [3].

Space Imaging and DigitalGlobe provide with the image in TIFF format an ASCII file that contains the translation and scale factor used for coordinates normalization and the eighty coefficients. These RPC files (Rational Polynomial Coefficients or Rapid Positioning Capability) are used by the software that supports IKONOS and QUICKBIRD geometric model for georeferencing and the orthorectification. Some other software derives RPC's directly from ephemeris provided with the satellite images and uses the same orthorectification process as IKONOS or QUICKBIRD.

These "intelligent" polynomial functions reflect then better the geometry in both axes and reduce the over-parameterization and the correlation between terms [7].

3 Geometric models

3.1 Direct Linear Transformation

Direct Linear Transformation, known as DLT, it was developed in 1971 by Abdel-Aziz and Karara for close-rang photogrammetry applications. This model can also be used for image rectification [1].

The DLT represents a special case of the Rational Function Model, with first-degree polynomials and common denominators. It can be expressed as:

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \\
 c &= \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Where c, r = image coordinates

X, Y, Z = object coordinates

L1...L11= DLT parameters

With eleven parameters this model can be solved with 6 points minimum.

3.2 3D Affine Model

This model can be use to express the relationship between object and image coordinates for scanners with a narrow AFOV (Angular Field Of View) and moving with constant-velocity and constant attitude [4].

$$\begin{aligned} r &= L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4 \\ c &= L_5X + L_6Y + L_7Z + L_8 \end{aligned} \quad (4)$$

It has eight parameters: translation (two), rotation (three), and non-uniform scaling and skew distortion within image space (three). [C.S.Fraser & T. Yamakawa 2003].

3.3 Parallel Perspective Model

Since the acquisition instruments are line scanning systems, a simplification of the DLT which limits the above equation to one line seems to be justified [8].

$$\begin{aligned} r &= \frac{L_5X + L_6Y + L_7Z + L_8}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \\ c &= L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4 \end{aligned} \quad (5)$$

This may be interpreted as if the image has the perspective projection in rows (scan line direction) and affine in columns (along-track).

3.4 2D Affine model

When the image area is flat, low-order polynomials can offer good results, in the case of 2D affine transformation the Z coordinate is set to 0 so the expression become:

$$\begin{aligned} r &= L_1X + L_2Y + L_3 \\ c &= L_4X + L_5Y + L_6 \end{aligned} \quad (6)$$

3.5 Projective transformation

This transformation describe the projectivity between tow plans [2].

$$\begin{aligned} r &= \frac{L_1X + L_2Y + L_3}{L_7X + L_8Y + 1} \\ c &= \frac{L_4X + L_5Y + L_6}{L_7X + L_8Y + 1} \end{aligned} \quad (7)$$

The object plane and the image plane do not have to be parallel. 2-D DLT guarantees accurate plane- to-plane mapping regardless of the orientation of the planes. The control points must not be collinear and must form a plane. [9].

4 Experiments

4.1 Overview

The data used in this study is an image of Oran (Algeria) that was acquired at 10:50am local time on April 24th, 2004. A subset has been taken over the area of ARZEW, this subset has a size of 5105*2825 pixels (Fig. 2.), the south of this district is relatively flat, and the northern zone is mountainous with an elevation range from 0 to 310 meters above mean sea level.

A raster DTM used for the orthorectification was been generated form a digitalization of contours from a georeferenced map in 1/25 000 scale, and also 19 Points was been extracted from this map used as control and check points.



Fig. 2. The sub-set over ARZEW.

4.2 Tests and results

The geometric models that we evaluate in this study are: DLT (Direct Linear Transformation), 3D Affine Model, Parallel Perspective Model, 3D SOPM (3D Second -Order Polynomial Model), First Order 3D RFM (Rational Function Model), Plan Projective Model and Plan Affine Model.

The first test is realized with 11 control points and 8 check points (Table 2., Table 3.), although the low redundancy the 3D SOPM and first order RFM give best statistical results.

Table 2. First test results for control points.

	Xmax (pixel)	Xmin (pixel)	Xrms (pixel)	Ymax (pixel)	Ymin (pixel)	Yrms (pixel)
DLT	2.272	0.165	1.361	1.124	0.303	0.786
3D Affine	2.448	0.171	1.252	2.110	0.057	1.212
Parallel	0.841	0.104	0.540	2.110	0.057	1.212
2nd Poly	0.472	0.024	0.264	0.260	0.013	0.145
1st RFM	0.841	0.104	0.540	0.671	0.090	0.399
2D Affine	4.978	0.522	2.715	2.260	0.188	1.530
Plane Proj	3.354	0.099	1.540	2.509	0.136	1.475

Table 3. First test results for check points.

	Xmax (pixel)	Xmin (pixel)	Xrms (pixel)	Ymax (pixel)	Ymin (pixel)	Yrms (pixel)
DLT	4.292	0.557	2.726	2.581	0.055	1.583
3D Affine	3.209	0.393	1.796	2.876	0.256	1.627
Parallel	3.692	0.091	1.862	2.876	0.256	1.627
2nd Poly	1.958	0.151	1.362	2.718	0.214	1.486
1st RFM	3.692	0.091	1.862	1.815	0.657	1.356
2D Affine	4.665	0.070	2.729	2.421	0.166	1.567
Plane Proj	3.979	0.513	2.666	2.719	0.154	1.543

In the second test (Table 4.) we use all the 19 points as control points, the best RMS is given by 3D Second Order Polynomial model (0.7 pixel) and RFM, the projective parallel model gave 0.9 and 1.3 pixels.

Table 4. Second test results in pixel.

	Xmax (pixel)	Xmin (pixel)	Xrms (pixel)	Ymax (pixel)	Ymin (pixel)	Yrms (pixel)
DLT	2.624	0.007	1.712	2.425	0.029	1.055
3D Affine	2.853	0.080	1.460	2.701	0.183	1.316
Parallel	2.160	0.049	0.928	2.701	0.183	1.316
2nd Poly	1.527	0.014	0.711	1.523	0.012	0.659
1st RFM	2.160	0.049	0.928	1.734	0.066	0.785
2D Affine	4.797	0.288	2.643	2.984	0.054	1.466
Plane Proj	3.127	0.018	1.672	2.925	0.120	1.526

In the third test (Table 5.) we use the 19 control points, and same 19 points for check points but we set their elevation as 0, this give us an idea about the influence of z variation in the different models, in this test we deduce that the 3D Second-Order Polynomial model is very sensitive to the variation in elevation, the maximum displacement in points position is 41 and 59 pixels in x and y respectively; The RFM and the perspective parallel model gives 19 pixels in x direction but for y the first give 18 pixels and the second 7 pixels for the same point.

Table 5. Third test results for check points.

	Xmax (pixel)	Xmin (pixel)	Xrms (pixel)	Ymax (pixel)	Ymin (pixel)	Yrms (pixel)
DLT	31.159	0.722	10.492	10.451	0.110	3.385
3D Affine	18.931	0.039	5.549	7.206	0.0002	2.048
Parallel	19.244	0.186	7.397	7.206	0.0002	2.048
2nd Poly	41.233	0.011	14.849	59.698	0.452	20.468
1st RFM	19.244	0.186	7.397	18.931	0.024	8.575

In the final test (Table 6.) we change the latitude and longitude of one of 19 points about 0'0'1" to study the ability of these models to detect the erroneous point; here we can see that all these models are able to detect the erroneous point.

Another test with an error of 0'0'0.5" have been done, we note that only first order RFM and DLT permit to detect the erroneous point.

Table 6. Last test results (Dmax is the maximum displacement and Derr is the displacement of the erroneous point).

	Dmax (pixel)	Dmin (pixel)	Dmoy (pixel)	Drms (pixel)	Derr (pixel)
DLT	4.773	0.642	2.035	0.903	4.7734
Affine 3D	5.559	0.465	2.009	1.185	5.5593
Parallel	4.265	0.556	1.707	0.902	4.2654
2nd Poly	3.126	0.093	1.084	0.779	3.1261
1st RFM	3.0591	0.3973	1.2868	0.7410	3.0591
affine 2D	6.5793	0.8295	2.8315	1.6338	6.5793
Plane Proj	4.0104	0.5819	2.0895	0.8902	4.0104

Since the third order 3D RFM is the general case of all the precedent models, the module that calculate each model generate an equivalent RPC file by giving 0 to all the coefficient that must be removed, for example for the second order 3D polynomial all the coefficients of third order terms are set to 0.

This file is loaded with the SPOT5 image as an IKONOS or QUICKBIRD image in images processing software that support these satellites models (RFM).

Both 3D SOPM and first order RFM have been used to generate an orthoimage; a visual inspection and comparison with the map indicate that there is mismatch in some area (Figure 3.); at the time of digitalisation of the contours the coast line was set to 0 where the pier have an elevation of 10 meters, that let as thinking about the DTM precision.



Figure 3. Superimposition with transparency of the map and orthoimage with 3D SOPM.

Another test have been done to observe the influence of the quality of the DTM on the final product; for this we translate all the check points by 10 meters in elevation and recalculate their planimetric positions (Table 7.)

Table 7. Sensitivity of the 3D SOPM to the elevation error.

	3D SOPM		RFM	
	Original (pixel)	After translation (pixel)	Original (pixel)	After translation (pixel)
Max	3.1310	8.2803	3.7498	3.8288
Min	0.9700	0.7391	0.6701	1.2872
Mean	1.8364	3.1137	2.0109	2.5036
RMS	0.7204	2.3351	0.9110	0.8094

4.3 Pseudo-natural color transformation

The pseudo-natural color transformation is used to reconstitute an approximation of natural color visualisation (green vegetation, brown soil ...) using the original bands.

As it is known SPOT 5 hasn't the blue band, so the generated Ortho-image is in false colors, this product is not suitable for non professional user. This oblige as to try to find a methodology that allow us to present the final product in pseudo natural colors, this has been done by calculating (using least square method) a transformation between tow spaces, as input the false colors and output the natural color.

The expression of this transformation is:

$$\begin{aligned}
 PNC_R &= R \\
 PNC_G &= G \\
 PNC_B &= L_1 * NIR + L_2 * R + L_3 * G
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

NIR : Near Infra Red value.

R = Red value.

G = Green value.

PNCi = Pseudo-Natural Color (i = R,G,B).

Since the red and green bands are original we need only to calculate the blue one, after a least square transformation we found the coefficients to estimate the blue bands:

$$PNC_B = -0.21 * NIR - 0.095 * R + 0.7 * G
 \tag{9}$$

This color transformation is realized under ERDAS modeler (Fig. 4.)

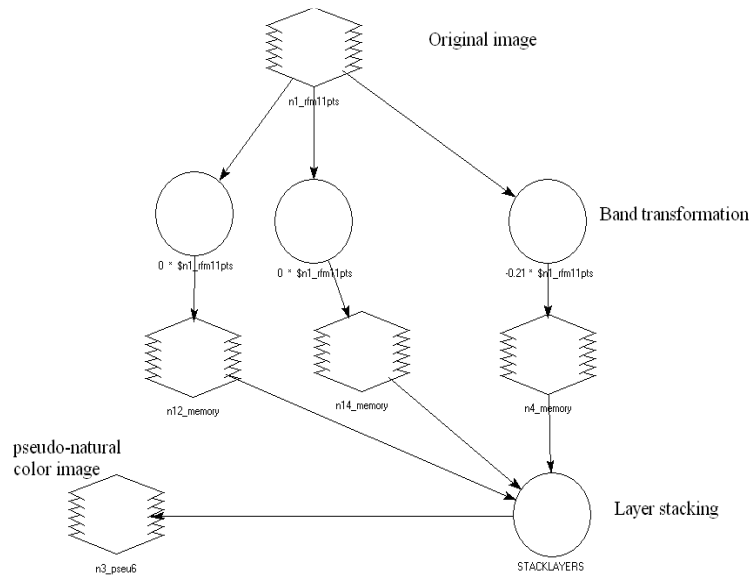


Fig 4. The workflow chart of the Pseudo-natural color transformation

The resulted orthoimage is edited and presented in Fig. 5.

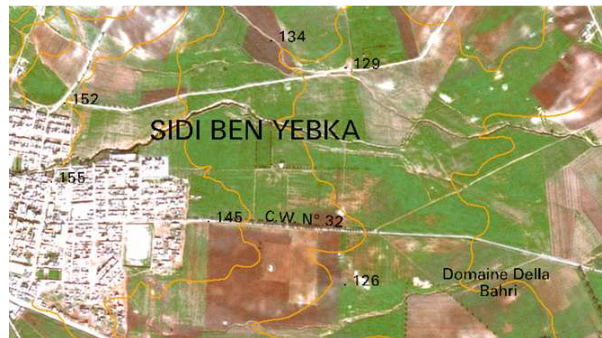


Fig 5. A part of the pseudo-natural color orthoimage after edition.

5 Conclusion

This paper present the accuracy achievable using different geometric models to orthorectify SPOT 5 image, we note that:

The parallel projective model gave better results than the 3D affine and DLT model.

The second order 3D polynomial and first order 3D RFM are better but we must have at least 10 and 8 points uniformly distributed over the image.

The 2D affine and projective transformation gives an interesting since we haven't to measure the elevation of the points and DTM.

The second order 3D polynomial is the most sensitive to the variation in elevation so the DTM to be used must be more accurate.

The pseudo-natural color transformation allows the non accustomed (professional) users the possibility of direct interpretation which facilitate the use of the orthoimage.

Future work will be focused on more detailed study for geometric modeling using large images and bundle adjustment. Since the obtained accuracy is interesting the use of this product for cadastral operations in large and desert regions is conceivable.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thanks, R.MAHMOUDI, A.RACHEDI, D.YOUSSFI and A.TRACH for their help.

References

- [1] C. Vincent Tao and Yong Hu. *Use of the rational function model for image rectification*, Canadian Journal of Remote Sensing, 27(6), pp. 593-602, 2001.
- [2] H.B. Hanley and C.S. Fraser. *Geopositioning accuracy of ikonos imagery: indications from 2D transformations*. Submitted to Photogrammetric Record, 5 April 2001.
- [3] K. Di, R. Ma and R. Li. *Rational Functions and Potential for Rigorous Sensor Model Recovery*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Revised in April 2002.
- [4] M. Morgan. *Epipolar Resampling of Linear Array Scanner Scenes*, PHD Thesis, University Of Calgary, 2004.
- [5] NIMA. *The Compendium of Controlled Extensions (CE) for the National Imagery Transmission Format (NITF)*, version 2.1, 16 November 2000.
- [6] A.Puissant. *Information géographique et images a très haute résolution, utilité et applications en milieu urbain*, Luis Pasteur University, France.
- [7] T.Toutin. *Review paper: Geometric processing of remote sensing images: Models, Algorithms and Methods*, 2003.
- [8] Vozikis, G., Fraser, C., Jansa. *Alternative sensor orientation models for high resolution satellite imagery*. Band 12 " Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation" Bochum (2003), pp. 179- 186.
- [9] Y.H Kwon. *Camera Calibration. The DLT method* <http://kwon3d.com/theory/dlt/dlt.html#2d> (accessed 05 Nov. 2008).

Réalisation du cadastre steppique et saharien de la wilaya d'El Bayadh par utilisation de l'imagerie satellitaire à haute résolution.

I. Boukerch, M. Chaïb, N. Omrane.

Actes de l'atelier scientifique et technique sur « L'Outil spatial au service du développement ».

Palais de la Culture Moufdi Zakaria, Alger, 28- 29 mars 2009

<http://www.asal.dz/files/les%20actes/Actes%20outil%20spatial%20au%20service%20du%20developpement.pdf>

Réalisation du cadastre steppique et saharien de la wilaya d'El Bayadh par utilisation de l'imagerie satellitaire à haute résolution.

Mr Boukerch Issam, Chercheur, Centre des Techniques Spatiales

Mr. Chaib Amokrane, Directeur, Agence Nationale du Cadastre

Mr Omrane Nacer, Expert, Institut National de Cartographie et de Télédétection

Résumé

Pour des raisons socioéconomiques et climatiques, la répartition de la population à travers le territoire national continue à soulever des problèmes en matière de gestion du territoire, en général, et de propriété foncière en particulier. Les choix, jusque-là, faits pour cadastrer le pays, en matière de moyens classiques (photogrammétrie et levé terrestre) aux échelles de représentation (1/500ème, 1/1000ème pour les zones urbaines et 1/2500ème - 1/5000ème pour les régions rurales), s'avèrent adaptés pour le Nord du pays, mais inadéquats pour la partie sud (Hauts Plateaux et Grand-Sud).

L'immensité du territoire à cadastrer et la non homogénéité de la distribution des zones d'intérêt (zones urbaines, agricoles, industrielles ...), en plus des coûts et des délais de réalisation, rend indispensable l'adoption d'une nouvelle stratégie qui tienne compte des derniers progrès réalisés en matière d'acquisition et de gestion de l'information géographique.

A cet effet, notre approche consiste à utiliser l'imagerie satellitaire à résolution modérée (Alsat-1, Aster ou ETM+) et à haute résolution (Spot5, Ikonos et Quickbird) dans une approche multi-échelle comme troisième type de couverture intitulé « Cadastre steppique et saharien », qui viendra s'ajouter aux deux premiers types existants, à savoir le « cadastre urbain » et le « cadastre rural ».

Introduction

Actuellement, la réalisation, dans les meilleurs délais possibles, d'une couverture cadastrale pour la totalité du territoire national constitue un objectif stratégique.

La réalisation de la documentation cadastrale et foncière pour les zones steppiques et sahariennes, couvrant une superficie de près de 2 millions de km², a pour objectif, le renforcement, la protection et la valorisation des dépendances domaniales.

Au regard de cette mission ainsi assignée, d'une part, et aux délais et à l'étendue des superficies, et d'autre part, compte tenu de la nature des territoires à traiter en tant qu'ils constituent dans leur quasi-totalité des zones désertiques ayant un statut de propriété publique, les mêmes procédés techniques choisis pour la réalisation du cadastre des zones nord du territoire national sont aujourd'hui inadaptés.

Le principe retenu, au plan technique, consiste à établir un cadastre numérique sans déplacement sur les lieux, ni de travaux de terrain, en utilisant des images satellitaires géo référencées.

L'avancée technologique, et la mise en orbite des satellites avec des capteurs de plus en plus sophistiqués ont rendus possibles l'exploitation géométrique des images satellitaires à des fins cadastrales.

Pour les agglomérations et autres zones habitées ou comportant des exploitations agricoles, qu'elles qu'en soit la nature, sont, dans un premier temps, en raison de la densité des unités foncières qui la composent, seulement « délimitées » suivant une vectorisation de leurs contours.

En ce qui concerne les dépendances du domaine national, la délimitation s'effectue en travaux de bureau, sur la base des documents cartographiques et donne lieu à la confection d'une matrice cadastrale comportant la liste des propriétés de l'Etat et à l'établissement d'un plan régulier correspondant.

La réalisation des travaux cités ci-dessus, nécessite des images satellitaires à très haute résolution pour l'identification et la vectorisation des limites.

1 – Traitement de l'imagerie satellitaire

L'imagerie satellitaire à exploiter devrait permettre une extraction aussi fine que possible des zones présentant un caractère utile sur le plan juridique.

L'interprétation et l'identification des zones en question se feront de façon visuelle, par un opérateur de profil cadastre.

Un traitement préalable peut servir, dans un premier temps, à mieux identifier les zones utiles à exclure. La stéréoscopie quant à elle est de nature à simuler la troisième dimension, facilitant ainsi l'interprétation.

La reconnaissance des zones utiles passe nécessairement par une bonne interprétation de manière à extraire utilement l'information recherchée.

L'exploitation des différentes caractéristiques en terme de texture, forme, ton etc. est de nature à se rapprocher au mieux des zones d'intérêts.

L'imagerie satellitaire à utiliser devrait permettre une exploitation directe et immédiate de manière à faciliter l'interprétation et l'analyse visuelle.

Dans le cas où, l'imagerie satellitaire nécessite un géoréférencement, le directeur du cadastre de wilaya sollicite le directeur régional du cadastre pour programmer l'intervention de la brigade chargée de la stéréopréparation par GPS.

- Données multi spectrales
- Différentes bandes spectrales peuvent servir à l'identification.
- Données multi capteurs

Les images d'au moins deux satellites à différentes résolutions s'avèrent nécessaires pour délimiter la zone nécessitant un cadastre au 1/1000 au 1/2500.

1 à 2.5 mètres pour :

- Délimitation des constructions individuelles et isolées ;
- Délimitation des petites parcelles agricoles ;
- Délimitation des petites agglomérations non encore cadastrées.

5-10 mètres pour :

- Base cartographique pour le cadastre saharien et steppique ;
- Extraction des objets topographiques naturels et artificiels ;
- Délimitation des zones à exclure sous une forme géométrique régulière (rectangle ou carré) ;

Les spatiocartes

A l'issue de l'établissement du cadastre steppique et saharien le plan cadastral pourrait revêtir en édition papier la forme d'une spatiocarte ou d'un plan cadastral classique.

Une spatiocarte est un produit image obtenu à partir d'une ou plusieurs scènes satellitaires. Elle couvre une section cadastrale ou un groupe de sections sous forme d'un tableau d'assemblage avec l'habillage en vigueur.

Les modèles numériques de terrain (MNT)

Un modèle numérique de terrain (MNT) est une représentation altimétrique de la topographie d'une zone terrestre.

Les données altimétriques de la surface du terrain sont généralement sous forme d'un maillage régulier et la qualité du modèle numérique du terrain dépend de l'intervalle du maillage et de la source des données.

Le modèle numérique du terrain est nécessaire pour la production d'orthophotoplans numériques à base de prise de vues aériennes ou d'imagerie satellitaire.

2 – Contrôle de cohérence entre l'image et le vecteur existant

La cartographie déjà réalisée par voie photogrammétrique sur la base de prises de vues au 1/4000 constitue le référentiel à grandes échelles qu'il faut absolument prendre en considération.

Si la dans la zone steppique ou saharienne à cadastrer une telle cartographie existe à 30 cm de précision, il y a lieu de contrôler la cohérence entre les deux géométries.

Il est pratiquement nécessaire d'observer une dizaine de points par GPS de manière à rendre l'image dans le référentiel en vigueur et de calculer les écarts entre le vecteur existant et l'image.

3 – Délimitation du territoire communal

En vue de la détermination du périmètre de la commune, il convient de disposer actes et des documents officiels concernant les travaux déjà effectués en application de la loi 84-09 du 04 février 1984 portant organisation territoriale du pays.

Il s'agit de reporter, sans intervention sur terrain et sur la base de l'imagerie satellitaire, les limites du territoire de la commune sur la base des documents officiels.

Les documents officiels sont :

- les procès-verbaux ;
- les croquis visuels.

Pratiquement, la délimitation du territoire communal se déroule en quatre phases:

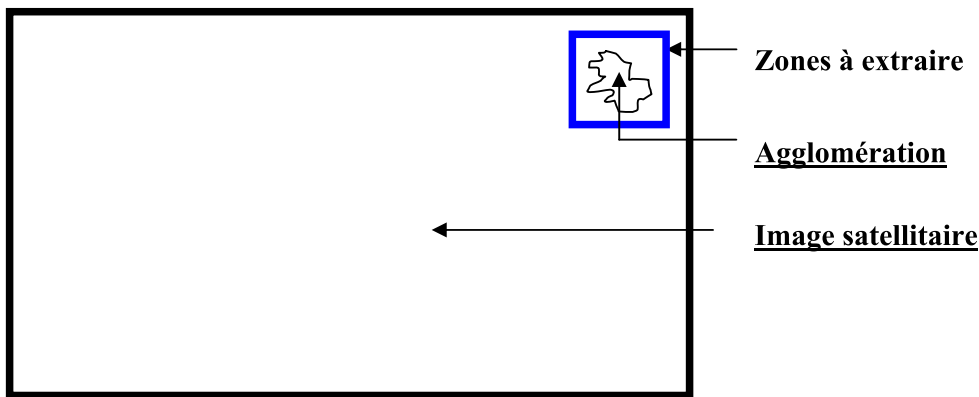
1. .superposition du fichier des limites administratives en coordonnées géographiques sur l'imagerie satellitaire ;
2. correction des limites au vu des procès verbaux et des croquis visuels pour les confondre avec des détails ayant un caractère suffisant de fixité et identifiable sur l'imagerie satellitaire ;
3. exploitation des cartes numérisées au 1/100 000 et 200 000 ainsi que le fichier numérique des limites administratives en cas de difficulté d'identification. La mise en place de bornes se fera ultérieurement en concert avec les présidents d'APC concernés.
4. vectorisation de la limite de la commune.

4 – Détection des zones à exclure

Le directeur du cadastre de wilaya fera réaliser par ses services une étude portant sur le recensement et la vectorisation sur l'imagerie satellitaire des zones à exclure qui ne peuvent être cadastrées selon la procédure particulière préconisée pour le cadastre steppique et le cadastre saharien.

Ces zones dites "sections à cadastrer ultérieurement " seront, après approbation du directeur du cadastre de wilaya, écartées dans un premier temps des opérations cadastrales engagées sur le territoire de la commune steppique ou saharienne pour faire l'objet, le moment venu, d'un traitement approprié selon la procédure habituelle.

Les zones identifiées sur l'image satellitaire est présentant un intérêt seront délimitées selon un découpage régulier en prenant le soin de ne pas toucher aux propriétés privées conformément au schéma ci-dessous.



5 – Application des plans dressés dans le cadre de l’accession à la propriété foncière

Le directeur du cadastre de wilaya sollicite les services des domaines, pour lui remettre les copies de plans dressés par les géomètres experts fonciers, dans le cadre de d’accession à la propriété foncière par la voie de mise en valeur et la mise en valeur par voie de concession.

Les Directions de cadastre de wilaya concernées qui disposent de ces plans doivent, dans un premier temps, s’assurer de leur concrétisation au plan juridique au niveau des domaines et de la conservation foncière.

6 – Application des plans dressés dans le cadre du cadastre général

Les agglomérations ayant fait l’objet d’un cadastre général seront délimitées avec précision sur l’image satellitaire.

Les écarts constatées entre le fichier vecteur et l’image satellitaire doivent être réduites en agissant sur l’image en se référant sur des points précis identifiables sur les deux fichiers ou en adaptant des transformations simples sans toucher à la géométrie des îlots déjà cadastrés.

Les sections sahariennes et steppiées seront numérotées à partir du dernier numéro attribué aux sections cadastrées.

7 – Application des restitutions photogrammétriques qui n’ont pas fait l’objet de cadastre

Dans le cas où, la zone urbaine n’a pas encore fait l’objet de cadastre et la restitution photogrammétrique existe, il y a lieu de prendre cette dernière comme base lors des opérations de vectorisation de la zone à extraire avec la possibilité de créer les sections conformément à la procédure technique habituelle.

Les sections sahariennes ou steppiées seront numérotées les premières. La numérotation des sections de l’agglomération se fera à partir du dernier numéro de section attribuée dans la commune.

8 - Découpage en sections

Le découpage en sections se fera de la manière suivante :

1 – Existence de détails linéaires sur l’image satellitaire

Les détails linéaires naturels ou artificiels sont de nature à faciliter le découpage de la commune en sections. Pour cela, il y a lieu de prendre des portions de territoires suffisamment riches en informations pour qu’elles puissent constituer une section.

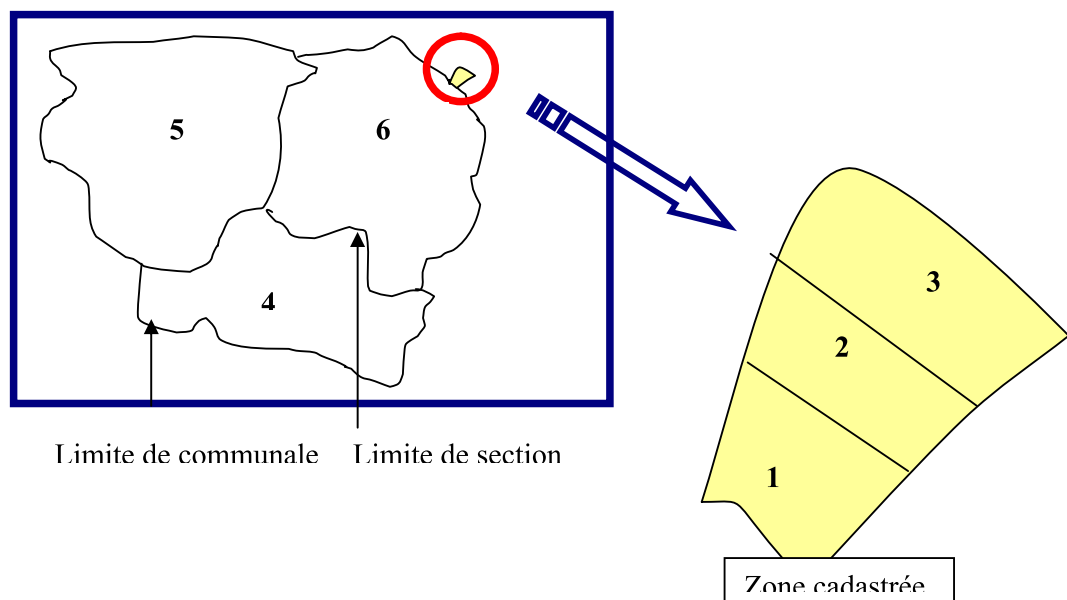
A défaut, le regroupement de plusieurs portions de territoire est nécessaire.

La section peut contenir un ou plusieurs îlots

Les sections 1, 2 et 3 au 1/1000 ou 1/2000

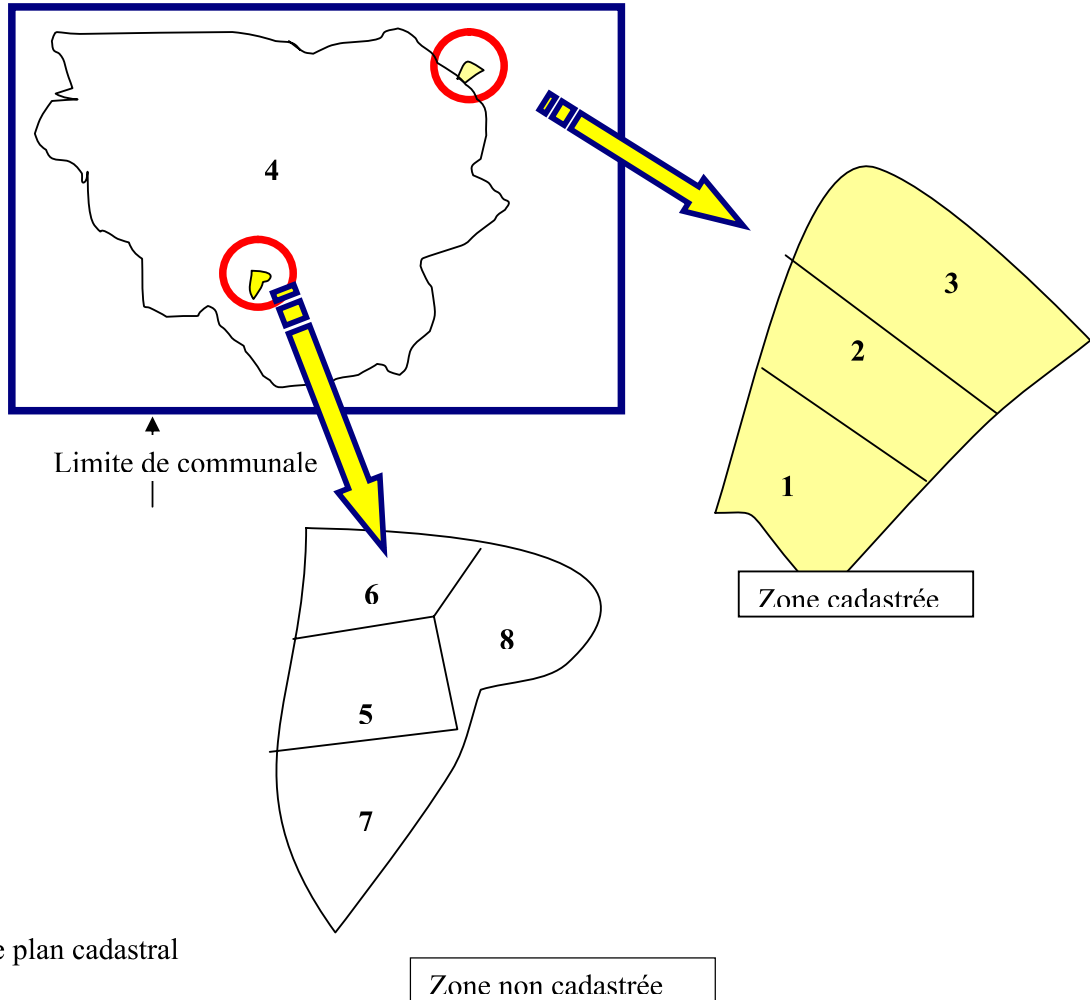
Les sections 5, 6 et 7 au 10 000 ou 1/25 000 zones steppiques

1/25 000 à 1/100 000 zones sahariennes



2 – Absence de détails linéaires naturels ou artificiels

L'absence de détails linéaires naturels ou artificiels n'est pas de nature à faciliter le découpage en sections. Une commune de taille moyenne peut constituer îlot de propriété.

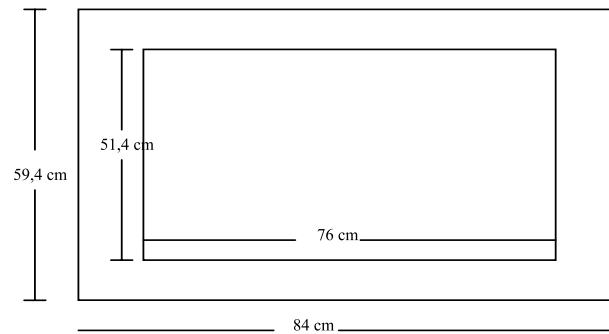


Le format de plan cadastral

Le format utile : (76 x 51,4) cm

Le format extérieur : (84 x 59,4) cm

Les directions du cadastre utilisent des supports plastiques transparents stables découpés au format réglementaires et pré équipés du cadre (format utile) et de certaines écritures.



9 - Création toponymique

La toponymie sera extraite, dans un premier, des cartes topographiques numérisées au 1/100 000 ou 1/200 000. La toponymie sera enrichie sur la base des documents détenus par les services des APC ou par le témoignage de personnes de la région.

10 - Représentation des servitudes

Le passage, des pipe-lines transportant l'énergie gazière et électrique apparentes sur l'image satellitaire, constitue une servitude de fait, en l'absence d'acte.

***Elaboration du cadastre steppique et saharien en Algérie
grâce à l'outil spatial***

BOUKERCHE Issam, TAKARLI Bachir, DEKKICHE Hichem, ABBASS
Hocine, AARIZOU Keira.

Actes de la troisième conférence africaine sur les sciences et technologies
spatiales au service du développement durable « African Leadership
Conference ACL-2009 »

Alger, 07-09 décembre 2009.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Agence Spatiale Algérienne

الوكالة الفضائية الجزائرية

Sous le Haut Patronage de Son Excellence le Président de la République,
Monsieur Abdelaziz BOUTEFLIKA

ACTES

de la Troisième Conférence Africaine sur les Sciences
et Technologies Spatiales au Service du Développement Durable
« ALC-2009 »



« Renforcement des Partenariats Africains dans le Domaine Spatial »

07 - 09 décembre 2009, Alger

- **The Detection and Monitoring of Drought Occurrences in the Desert Frunge and Sahel Region of Northern Nigeria Using Satellite Technology**, Dr. J.D. NJOKU, University Lecturer, University of Technology, OWERRI, Nigeria85
- **L'observation Spatiale pour Répondre aux Défis du Changement Climatique et du Développement Durable en Afrique**, M. SENOUCI, IHFR - Oran, Algérie91
- **Elaboration du Cadastre Steppique et Saharien en Algérie grâce à l'Outil Spatial**, M. CHAIB Directeur à l'Agence Nationale du Cadastre (ANC), Algérie ; I. Boukerche, Chercheur au Centre des Techniques Spatiales (CTS/ASAL), Algérie95

SESSION 3.

Promotion et développement de la coopération régionale et inter régionale

- **Towards a United Nations Space Policy : The COPUOS**, C. AREVALO Yepes ; Président du COPUOS 2008-2009.102
- **A perçu sur les Travaux du Sous- Comite Scientifique et Technique du Comite des Nations Unis pour les Utilisations Pacifiques de l'Espace Extra- Atmospherique (COPUOS) lors des Sessions 2008-2009**, Kedjar Directeur Asal, Algérie104
- **Rôle de l'outil Spatial dans le Renforcement du Dispositif de Sécurité Alimentaire et de Lutte contre la Désertification : Elargissement de la Coopération au Contexte Régional Africain** S. FERROUKHI, Secrétaire Général au Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Algérie.....109
- **OOSA Capacity-Building Programme in Space Law**, Mr Niklas Hedman; Bueau des Affaires Spatiales -Onu118
- **Can Africa Support Private Space Industry**, Olivier Ron, Executive Director, Sun Space and Information Systems South Africa120
- **The International Astronautical Federation Regional Approach**, P. Willekens, Executive Director, International Astronautical Federation, Paris123
- **The African Center of Meteorological Applications at the Service of Development in Africa** Adama Alhassane DIALO, Directeur Général de l'ACMA.....124
- **Achievements and Challenges of Capacity Building in Space Science and Technology Education in Developing Countries: A Case Study of the UNOOSA-Affiliated Regional Centre in Nigeria** Dr. Joseph O. Akinyede (Director/Chief Executive), African Regional Centre for Space Science and Technology Education, Ile-Ife, Nigeria.....137
- **Le Centre Régional Africain des Sciences et Technologies de l'Espace en Langue Française (CRASTE-LF) et le Renforcement des Capacités en matière des Sciences et Technologies de l'Espace**, Professeur Abderrahmane TOUZANI, Directeur du Centre, CRASTE-LF149
- **La Formation dans le domaine spatial en Algérie**, N. RACHEDI, Chargée d'Etudes, Agence Spatiale Algérienne (ASAL), Algérie153

SESSION 4.

Atelier 4.1 Constellation satellitaire pour la gestion des ressources africaines ARMC

- **Le Projet de la Constellation de Satellites Africains de Gestion des Ressources et de l'Environnement « ARMC »**, Mr Nassim HANED, Expert, Agence Spatiale Algérienne, Algérie157
- **The Implementation of the South African Earth Observation Strategy (SAEOS)**, Mudau Humbulani, Director of Space Science and Technology Department of Science and Technology- South Africa161
- **Le Projet de Satellite Géostationnaire d'Observation de la Terre « GEOAFRICA »**. G Pedersen, Directeur à EADS Astrium, France165
- **NigSat-2: A New Opportunity for Environment Mapping in Africa**, Mr. Francis CHIZEA, Director International Cooperation National Space Research and Development Agency, (NASRDA) Nigeri.....166

ELABORATION DU CADASTRE STEPPIQUE ET SAHARIEN EN ALGERIE GRACE A L'OUTIL SPATIAL

Mr. M. Chaib Directeur à l'Agence Nationale du Cadastre (ANC), Algérie
Mr. I. Boukerche, Chercheur au Centre des Techniques Spatiales (CTS/ASAL), Algérie

Résumé

Contrairement aux régions telliennes, les zones steppiques et sahariennes enregistrent un retard en matière d'établissement du Cadastre général à cause des spécificités de ces zones auxquelles se heurtent la généralisation des supports classiques utilisés pour les régions du Nord qui influent sur la production en terme de rentabilité, de délais et de coût.

La réalisation, dans les meilleurs délais possibles, d'une couverture cadastrale pour la totalité du territoire national constitue un objectif stratégique.

Cependant, dans le cadre de la nouvelle politique territoriale, les pouvoirs publics apportent une attention particulière aux zones steppiques et sahariennes à travers le schéma national d'aménagement du territoire en cours d'élaboration et dont les besoins de disposer de plans cadastraux de ces territoires sont croissants eu égard aux études d'aménagement qui requièrent leurs connaissances dans le domaine topographique, foncier....etc

La confection de la documentation cadastrale, couvre une superficie de près de 2 millions de Km², a pour objectif, le renforcement, la protection et la valorisation des dépendances domaniales.

Au regard de cette mission ainsi assignée, d'une part, le délai, l'étendue des superficies, d'autre part, et compte tenu de la nature des territoires à traiter dans leur quasi-totalité désertique, les procédés techniques choisis pour la réalisation du cadastre des zones nord territoire national sont aujourd'hui inadaptés.

Sur le plan technique, le principe retenu consiste à établir un cadastre numérique sans déplacement sur les lieux, ni de travaux de terrain, en utilisant uniquement des images satellitaires géoréférencées.

L'avancée technologique, et la mise en orbite des satellites avec des capteurs de plus en plus sophistiqués ont rendu possible l'exploitation géométrique des images satellitaires à des fins cadastrales.

L'apport de l'imagerie satellitaire, par sa capacité de couvrir de vastes territoires dans des bandes multispectrales, et à différentes dates, ainsi que des données émanant d'autres sources offrent de nouvelles perspectives à même d'apporter des réponses appropriées aux difficultés rencontrées et aux objectifs escomptés.

Introduction:

Pour des raisons socioéconomiques et climatiques, la répartition de la population à travers le territoire national continue à soulever des problèmes en matière de gestion du territoire, en général, et de la propriété foncière en particulier. Les choix, jusque-là, faits pour cadastrer le pays, au moyen de procédés classiques (photogrammétrie et levé terrestre) avec les échelles de représentation (1/500^{ème}, 1/1000^{ème} pour les zones urbaines et 1/2500^{ème} - 1/5000^{ème} pour les régions rurales), s'avèrent adaptés pour le Nord du pays, mais inadéquats pour la partie sud (hauts plateaux et grand-sud).

L'immensité du territoire à cadastrer et la non homogénéité de la distribution des zones d'intérêt (zones urbaines, agricoles, industrielles ...), en plus des coûts et des délais de réalisation, rend indispensable l'adoption d'une nouvelle stratégie qui tienne compte des derniers progrès en matière d'acquisition et de gestion de l'information géographique.

A cet effet, notre approche consiste à utiliser l'imagerie satellite de haute résolution (Alsat-1, Aster ou ETM+) et très haute résolution (Spot5, Ikonos et Quickbird) dans une approche multi-échelle pour aider le cadastre Algérien à définir un troisième type de couverture appelé 'Cadastre des grandes étendues', qui s'ajoutera aux deux premiers types déjà existants, à savoir le 'cadastre urbain' et le 'cadastre rural'.

Historique de l'imagerie spatiale:

L'origine de la télédétection est la photographie aérienne qui permet d'avoir les informations sur la surface terrestre sans un contact direct. Le développement des techniques d'acquisition (capteurs et vecteurs) et de traitement de données a accéléré l'évolution de la photogrammétrie.

Dès la première guerre mondiale, l'utilisation de la photographie aérienne a pris un essor considérable. Sa première utilisation civile était l'archéologie et la géologie. La guerre froide est venue ouvrir de nouvelles perspectives grâce à la possibilité de la prise de vue à très haute altitude (au niveau de vecteur avec le développement de l'aviation) et au niveau des capteurs (deux nouveaux domaines l'infrarouge et le Radar).

Au début des années 60, l'ère spatiale conduit au développement de la télédétection spatiale ainsi qu'à la généralisation d'une informatique performante autorisant le traitement de masses considérables de données recueillies grâce à des satellites de plus en plus performants.

Cette nouvelle technique a montré à de nombreux utilisateurs l'intérêt d'observer la terre à partir de l'espace, les premières images apportent de nouvelles données dans les domaines de la météorologie, la géologie, l'océanographie et la cartographie des phénomènes à très grandes étendues. Les caractéristiques telles que la couverture étendue, homogène et la synoptique offerte par cette nouvelle technique, nous permettent d'obtenir des documents que les photographies aériennes ne peuvent acquérir [Puis03].

Les satellites à haute résolution sont apparus au début des années 70 tels les satellites Landsat avec le capteur MSS où la résolution était de 80m. La 2ème génération de ces satellites vient avec l'apparition en 1982 du capteur TM de résolution 30m, SPOT XS de 20m et HRV de 10m en 1986, cette résolution est suffisante pour plusieurs applications agriculture, foresterie, environnement,..., mais d'autres domaines comme l'urbanisme, l'aménagement du territoire ... nécessitent une échelle plus grande ce qui implique une résolution plus fine qui reste du monopole des militaires.

En septembre 1999, le satellite IKONOS est lancé, c'est le premier satellite civil capable de fournir des images à une résolution de 1m, ce qui rend les images spatiales rivales de la photographie aérienne. Après cette date, plusieurs satellites à très haute résolution sont lancés comme EROS-A1 en 2000, QuickBird en 2001 avec la résolution de 0.64m et worldview-1 en fin 2007 de résolution 0.5m.

L'approche méthodologique: : une approche multi-échelle :

Du fait de la morphologie des zones steppique et saharienne et la nature des détails en présence, le cadastre par spatio-cartographie, doit s'effectuer par une approche multi-échelle (Figure 1). Ceci revient à traiter, à partir d'une couverture globale homogène à haute résolution (ALSAT-1, ETM+, ASTER), les régions faiblement et moyennement morcelées avec une approche différente des régions fortement morcelées.

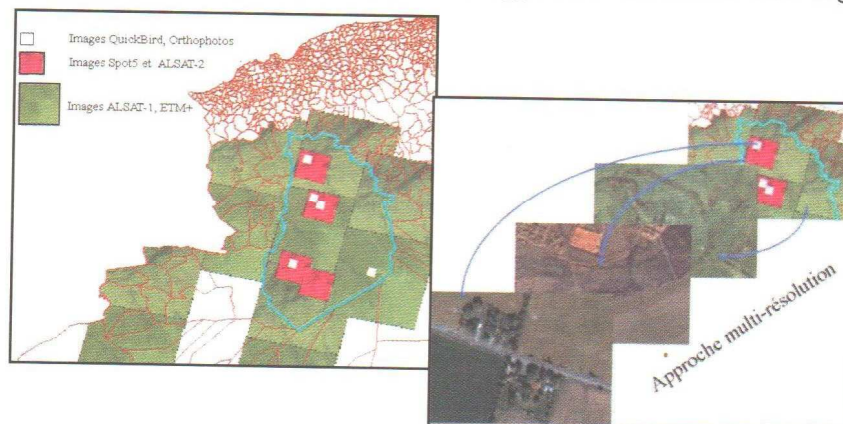


Figure 1. Approche multi-échelle

La solution consiste en l'utilisation des images satellitaires de très haute résolution géométrique (SPOT5) dans le premier cas, et des levés directs pour les régions fortement morcelées. Afin de minimiser les interventions sur le terrain, on va tenter de résoudre, par l'outil spatial, le problème de ces zones délicates en exploitant les données des satellites, délivrant des images de résolution sub-métriques (Données Ikonos, QuickBird).

Une approche multi-sources :

Du fait qu'on aura à manipuler, d'une part, des images hétérogènes (différentes résolutions et différents capteurs), et d'autre part, des données multi-sources (plans digitalisés, information photogrammétrique, levé terrestre, mesures GPS), on abordera dans le cadre de cette méthodologie l'aspect relatif à l'utilisation conjointe de ces données.

Contrôle et validation

Le choix d'une norme donnée pour la validation et le contrôle influe directement sur le coût et le temps de réalisation des opérations, donc elle doit tenir compte, des spécificités de chaque pays en termes de nature des superficies à lever (étendues et détails), moyens et délais d'exécution.

Gestion et organisation

L'assurance de la fiabilité du spatio-cadastre dans les zones steppiques et sahariennes commence par prévoir un cadre organisationnel qui s'adapte aux spécificités de cette nouvelle technique. Cette réorganisation touche deux volés, les données et le personnel.

En ce qui concerne les données, leur gestion et structuration sont primordiales, à travers un choix judicieux des métadonnées à associer afin de pouvoir gérer la grande masse de données multi-sources à traiter. Pour le personnel, une nouvelle organisation des travaux et des chaînes de production, ainsi qu'une restructuration sous forme d'équipes dédiées à des tâches bien spécifiques permet de perfectionner et de augmenter le rendement des différents équipes.

Application sur à la commune d'El Bayadh

La commune d'El Bayadh est une commune steppique Algérienne, située au Nord - Ouest de l'Algérie, délimitée par les parallèles 33°, 2674 et 33°, 9179 Nord, et les méridiens 0°, 7923 et 1°, 5866 Est.

Une étude d'applicabilité de la spatio-cartographie pour le cadastre a été réalisée sur le territoire de cette commune qui présente un paysage steppique avec la présence des zones urbaines, d'agriculture et de pâturage à grand étendu.

Dans cette étude, on a utilisé une image SPOT5 super mode couleur de résolution 2.5m prise le 18-09-2006 avec un niveau de traitement 2A, sur cette image un subset couvrant toute la commune d'El Bayadh a été pris (Figure 2).

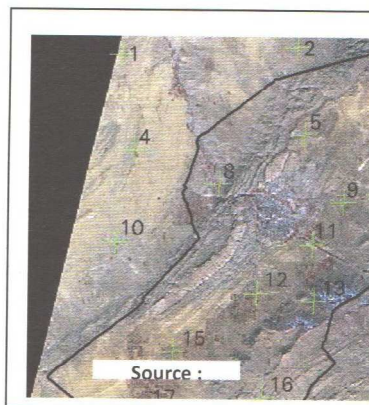


Figure 2. La zone d'étude et la distribution des points.

Pour l'orthorectification, on a choisit de travailler avec deux sources différentes de MNT (Modèle Numérique de Terrain) (Figure 3) dans le but d'une éventuelle comparaison. Le premier a comme source les courbes de niveaux (MNT-CN), issues de la carte de 1 : 50 000 de la région d'El Bayadh, et le deuxième est issue des données Shuttle Radar Topography Mission (MNT-SRTM), L'utilisation du MNT-SRTM, dans le cas où les tests seront concluants pour les travaux de cadastre, permettra de s'affranchir des problèmes de disponibilité du MNT dans certaines régions du pays.

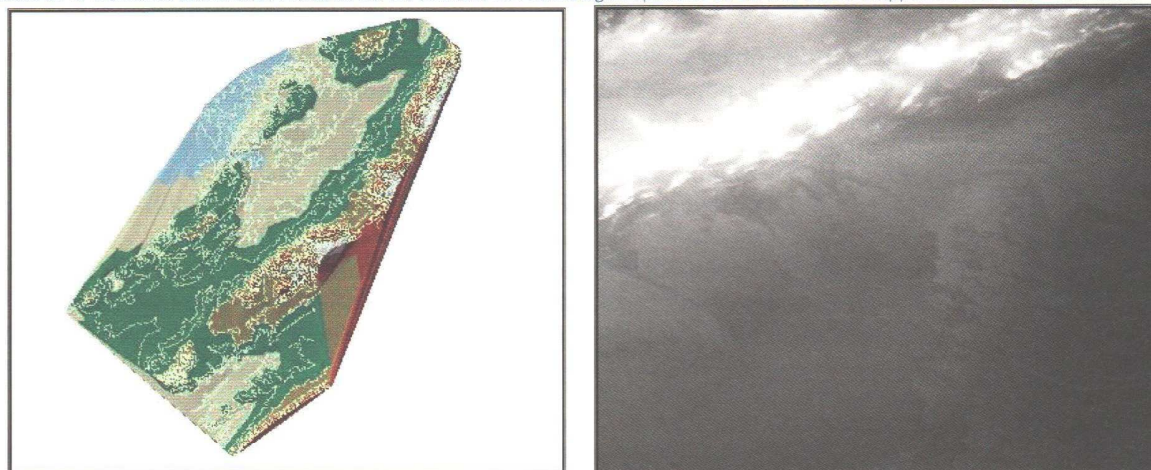


Figure 3. Les MNT courbes de niveaux et SRTM.

Mission terrain, levé par GPS

Cette mission a pour but d'équiper la zone de travail de points de calage et de vérification pour l'orthorectification de l'image (Figure 2). La mission a été effectuée du 28 au 31 mai 2007 où des moyens relativement importants ont été mobilisés, en l'occurrence, quatre récepteurs GPS bifréquences et trois véhicules tout terrain. L'ensemble des points levés a été déterminé avec une précision millimétrique.

Génération des spatiocartes

Le but de cette phase est l'orthorectification de l'image, pour cela, il est important de choisir un modèle de correction géométrique, de définir des normes cartographiques et de procéder au contrôle de la qualité géométrique de l'orthoimage.

Modèle de correction géométrique

Afin de garantir un maximum de précision, trois modèles de correction géométrique ont été testés et évalués selon différentes configurations et distributions des points d'appuis. Il s'agit du modèle polynomial de deuxième degré, du modèle parallèle et enfin du modèle parallèle deuxième degré [Tou02], [Fra03], [Bou06]. Les statistiques calculées sur les points de contrôle, en l'occurrence une erreur moyenne de 1.66 pixel, nous ont permis de retenir le troisième modèle pour la suite des travaux. Les résultats des statistiques

	Statistiques en X		Statistiques en Y		Statistiques en D	
	Moyenne	RMS	Moyenne	RMS	Moyenne	RMS
Parallèle	-0.3857	1.6698	-0.4153	1.7989	2.0922	1.4029
Poly 2nd deg	1.0024	2.0387	0.1833	0.9484	2.0388	1.3919
Para-2nd deg	-0.3857	1.6698	0.1833	0.9484	1.6678	1.0432

des points de contrôle sont donnés dans le tableau 1.

Tableau 1. Les statistiques calculées sur les points de contrôle pour les différents modèles

Définition des normes cartographiques

La validation des produits générés doit être faite par rapport à des normes prédéfinies. Les normes relatives à ce genre d'applications sont malheureusement inexistantes en Algérie. Les méthodes de contrôle, utilisées par le cadastre pour la validation des orthophotoplans au 1/5 000, ne s'appliquent pas dans le cas d'images satellitales ; du fait de la grande superficie couverte (60x60 km² dans le cas de SPOT5 par exemple).

Une recherche bibliographique a été effectuée afin de s'informer sur les normes de contrôle utilisées à travers le monde. Le choix d'une norme donnée doit tenir compte, des spécificités de chaque pays en termes de nature des superficies à lever (étendues et détails), moyens et délais d'exécution.

Dans cet ordre d'idées, nous nous sommes fixés sur les normes définies dans le "United States National Map Accuracy Standards" [NMAPS], appliquées aux USA. Cette norme est très adaptée aux grandes étendues (cas de nos régions steppiques et Sahariennes)

La norme NMAPS une relation entre l'indice CE90 et l'échelle de restitution. Elle est donnée pour des échelles plus grandes que 1/20 000, par :

$$E = CE90 \times 100(2,54 \times 0,03333), \text{ où CE90 est donné en mètre}$$

Pour l'échelle au 1/10 000, suggérée par l'Agence Nationale du Cadastre dans le cadre de cette étude, cette norme exige un indice de tolérance CE90 = 8.47m.

Contrôle de la qualité géométrique des orthoimages

La connaissance de la précision géométrique après l'orthorectification est nécessaire afin de garantir une fiabilité du document produit. Cette précision est liée directement au modèle mathématique utilisé, à la précision du MNT, à l'erreur sur la mesure humaine et autres sources d'erreurs

Trois types de tests ont été retenus pour la validation des produits cartographiques. Il s'agit de mesures ponctuelles, linéaires et surfaciques. La validation s'est effectuée par comparaison entre des mesures (ponctuelles, linéaires et surfaciques) issues du levé direct par GPS et celles issues d'une digitalisation directe sur les orthoimages générées. Pour les mesures ponctuelles, on a obtenu une localisation avec une erreur moyenne de 1.35m pour l'orthoimage générée par le MNT-CN et une erreur de 1.31m pour celle du MNT-SRTM. Les mesures des surfaces donnent un écart moyen inférieur 1% de la surface mesurée.

Points	Xgps	Ygps	Xorth	Yorth	ecartX	ecartY	ecartD
8	312631.026	3730695.70	312633.33	3730695.74	-2.30	-0.04	2.30
6	323802.233	3733894.05	323797.52	3733897.24	4.71	-3.19	5.69
12	315265.563	3723352.49	315268.29	3723353.02	-2.73	-0.53	2.78
11	319148.617	3726683.84	319146.55	3726686.48	2.07	-2.64	3.35
9	321246.096	3729517.70	321248.75	3729518.29	-2.65	-0.59	2.72
Emq					3.40	1.41	1.35
CPE		CE90		1/E			
2.78		5.07		1/5986.66			

Tableau 2. Résultats des écarts entre les coordonnées GPS et les coordonnées issues de l'orthoimage générée avec les courbes de niveau au 1/50 000

Points	Xgps	Ygps	Xorth	Yorth	ecartX	ecartY	ecartD
8	312631.026	3730695.70	312633.41	3730696.18	-2.38	-0.48	2.43
6	323802.233	3733894.05	323797.62	3733896.5	4.61	1.75	4.93
12	315265.563	3723352.49	315270.95	3723353.15	-5.39	-0.66	5.43
17	307723.863	3715407.91	307736.47	3715405.79	-12.61	1.77	12.73
11	319148.617	3726683.84	319146.95	3726686.93	1.67	-3.09	3.51
9	321246.096	3729517.70	321251.35	3729518.51	-5.25	-0.81	5.32
Emq					4.40	1.71	1.31

Tableau 3. Résultats des écarts entre les coordonnées GPS et les coordonnées issues de l'orthoimage générée avec le MNT de la mission SRTM

CPE	CE90	1/E
3.53	6.43	1/7595.51

Avec :

Xgps et Ygps : Coordonnées levées par GPS sur terrain (m).

Xorth et Yorth : Coordonnées mesurées sur l'orthoimage (m).

ecartX : Ecart en X (Xgps – Xorth) (m).

ecartY : Ecart en Y (Ygps – Yorth) (m).

ecartD : Module du vecteur de déplacement

CPE : Erreur circulaire probable (m).

CE90 : Erreur avec un intervalle de confiance de 90% (m).

1/E : Échelle équivalente.

Ilot	Surface référence (m ²)	Surface digitalisée(m ²)	Tolérance(m ²)	Ecart(m ²)	Ecart (%)
1	51741.00	50821.01	1819.73	919.99	1.778
2	115724.00	115409.04	2721.46	314.96	0.272
3	161937.00	162685.96	3219.31	-748.96	0.463
4	193769.00	193191.60	3521.54	577.40	0.298
				Moyenne	0.703

Tableau 4. Résultats des écarts entre les surfaces levées (terrain) et les surfaces issues de l'orthoimage générée avec les courbes de niveau au 1/50 000

Ilot	Surface référence	Surface digitalisée	Tolérance	Ecart	Ecart (%)
1	51741.00	52211.87	1819.73	-470.87	0.910
2	115724.00	114839.27	2721.46	884.73	0.765
3	161937.00	161740.81	3219.31	196.19	0.121
4	193769.00	194926.81	3521.54	-1157.81	0.598
				Moyenne	0.598

Tableau 5. Résultats des écarts entre les surfaces levées (terrain) et les surfaces issues de l'orthoimage générée avec le MNT de la mission SRTM

Surface référence : Surface levée sur terrain.

Surface digitalisée : Surface obtenue par digitalisation sur orthoimage.

Tolérance : Calculée par la formule utilisée par le cadastre.

Écart : Différence entre la surface de référence et la surface digitalisée.

Écart (%) : (Écart / Surface référence) x100 en valeur absolue.

Moyenne : Moyenne des quantités (Écart (%)).

Conclusion

Le présent travail, qui rentre dans le cadre du projet 'Cadastre steppiques et sahariennes par spatio-cartographie', consiste en l'utilisation de l'image SPOT 5 (super mode couleur) pour le cadastre de la commune d'El Bayadh.

Une vingtaine de points, identifiables sur l'image et sur le terrain, a été déterminée par GPS pour les besoins de correction géométrique de l'image.

Après plusieurs tests, le modèle de correction géométrique (Parallèle-Polynomial de deuxième degré) s'est avéré le mieux adapté dans le cas de cette application. Un écart moyen de 1.6 pixels, au niveau des points de contrôles, a été obtenu.

L'analyse de la qualité des orthoimages obtenues par l'utilisation du MNT-SRTM et MNT-CN, a montré que dans le cas de cette étude, les deux produits donnent sensiblement les mêmes résultats.

Afin de valider nos résultats, une étude concernant les normes cartographiques a été effectuée. Suite à cette étude, la norme US NMAS, adaptée pour les grandes étendues, a été retenue pour la validation de nos orthoimages. Relativement à cette norme, une échelle de restitution au 1/10 000 a été obtenue avec une probabilité invariante de 90%.

Bibliographie

[Puis03] : Anne Puissant, *Information géographique et images à très haute résolution, utilité et applications en milieu urbain*. Thèse de doctorat l'université de Luis Pasteur. 2003.

[Tou02] : Thierry Toutin, R. Chénier, Y. Carbonneau, *3D models for high resolution images: examples with quickbird, ikonos and eros*. Proceedings of Joint International Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications (ISPRS, IGU, CIG), Ottawa, Ontario, Canada, July 8-12, 2002, CD-ROM.

[Fra03] : George Vozikis, Clive Fraser, Josef Jansa, *Alternative Sensor Orientation Models For High Resolution Satellite Imagery*. Band 12 "Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation", Bochum, pp. 179- 186. 2003.

[Bou06] : Boukerch I, *Intégration de l'imagerie satellitale à THR spatiale dans la filière cartographique – Elaboration et actualisation d'une carte numérique à grande échelle – Application à la confection d'une orthoimage de la région d'Arzew*. Mémoire de Mastère en Sciences et Technologies de l'Espace, CRASTE-LF-Maroc, 2006.

[NMAS] : Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3: *National Standard for Spatial Data Accuracy*, Subcommittee for Base Cartographic Data, Federal Geographic Data Committee, FGDC-STD-007.3-1998.

Rigorous geometrical modeling of ALSAT-2A Algerian satellite.

Issam BOUKERCH, Mohamed HADEID, Redouane MAHMOUDI, Bachir TAKARLI, Kamel HASNI.

Proceedings of SPIE Vol. 8533 85331V-1

Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XVI, Edinburg, UK, 2012.

<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/>

doi: 10.1117/12.974613

Rigorous geometrical modeling of ALSAT-2A Algerian satellite

Issam BOUKERCH*, Mohamed HADEID, Redouane MAHMOUDI, Bachir TAKARLI,
Kamel HASNI.

CTS, 01 avenue de Palestine, Arzew, Oran, ALGERIA
Issam.boukerch@yahoo.fr

ABSTRACT

The use of the national very high resolution space system Alsat-2A is a primordial task having a significant technological and economical interest assuring the strengthening autonomy in terms of availability and coverage in the satellite data. Also it allows us to improve and update the base and thematic mapping throughout the national territory.

Firstly, the characteristics of ALSAT-2A are presented, namely the images and the imaging system with a brief history of ALSAT program.

Secondly, as a prerequisite, knowing the internal parameters is essential to modelize the geometry of such imaging system. From metadata given by the images distributor and ground control points, several tests are described and the results are presented.

The test data are supplied by ASAL (Algerian Space Agency), the first dataset comprises a panchromatic image over the region of El Bayadh in the North West of Algeria equipped with nine GPS surveyed points. The second dataset is an along track stereoscopic panchromatic 1A level images over the town of Sevilla in the south of Spain with 24 GCPs.

Finally, a discussion on obtained results is presented showing the geometric capability of ALSAT-2A.

Keywords: ALSAT-2A, Pushbroom sensor, Dimap, rigorous model, accuracy.

1. INTRODUCTION

As part of the implementation of space applications projects in the National Space Program 2020 with the collaboration of all national users; the use of an Algerian very high resolution space system has a significant technological and economical interest, by reducing the use of international space systems products, thus reducing the projects costs. The launch of ALSAT-2A strengthens the autonomy in terms of availability and coverage in the satellite data. Alsat-2A also allows Algeria to improve and update the basic topographic and thematic mapping throughout the national territory.

2. ALSAT PROGRAM

The Alsat program is a family of Algerian satellites under the direction of the Algerian Space Agency (ASAL).

Alsat-1 is the first Algerian micro-satellite for earth observation. Its main objective is the management of natural resources in Algeria. But it is also part of Disaster Monitoring Constellation (DMC), a series of five microsatellites launched as part of an international constellation to prevent natural disasters around the world.

It was designed in collaboration with Surrey Space Centre (SSTL) in the UK and launched by a Cosmos-3M launcher from the Russian base at Plesetsk in November 28th, 2002. Its orbit is sun synchronous and it was placed at an altitude of 700 km with an inclination of 98°.

The first images from Alsat-1 were received December 17th, 2002, in the receiving ground station located in the National Centre of Spatial Techniques (CNTS), the images are provided in green, red and near infrared with 32 meters GSD and 600km swath.

On February 2006, ASAL signed a contract with EADS Astrium for the construction of two satellites (Alsat-2A and Alsat-2B) forming part of the Alsat program.

Alsat-2A will be integrated and tested with EADS Astrium in France with the participation of 29 Algerian engineers. These engineers will participate in the integration of Alsat-2B within the Satellite Development Center (CDS) in Oran (Algeria).

3. ALSAT-2A

Alsat-2A satellite was launched into orbit on 12 July 2010, from the launch site Sriharikota (India) by Indian PSLV-C15 launcher, at a nominal altitude of 680 km with an orbital inclination of 98.2 °[1] [2].

The ALSAT-2A has two sensors, panchromatic and multispectral in four bands namely blue, green, red and infrared. The panchromatic image is acquired with a spatial resolution of 2.5m and a swath of 17.5km at nadir. Multispectral bands have a resolution of 10m with the same swath. ALSAT-2A takes images at an altitude of 680km sun-synchronous orbit with an orbital period of 98.2 minutes and an orbital cycle of 29 days [1] [2].

3.1 Alsat-2A images characteristics

The images are provided into two correction levels namely Radiometrically Corrected level (1A) and Geo-Corrected level (2A).

Level 1A images are radiometrically corrected, performing detectors relative response equalization and radiometric abnormality removal. The PAN band and the MS band B3 called the “reference band” are always geometrically raw. The three other MS bands are shifted by an integer number of lines to compensate band-to-band misalignment. The MS band-to-band misalignment is due to the focal plane configuration and, consequently, to the delay between the acquisition of a given target on earth between the reference band and the three other bands.

Level 2A images are radiometrically corrected, the same way as for level 1A images. They are registered and geocoded, i.e. resampled on a cartographic grid.

An ALSAT-2A standard scene is a square (in pixels) portion of a segment, which corresponds to the image data acquired during a continuous time interval. The scene size is 7000 lines for the panchromatic mode and 1750 lines for a multi spectral mode and the overlap between scenes in the same segment is 1/25th of the scene size.

The images are presented in DIMAP format where the main files are: a PDF file containing the main product metadata, IMAGERY.TIF contains the full resolution GeoTIFF image and METADATA.DIM contains the product metadata, under the XML format. The metadata are encoded using XML language. This flexible language allows breaking down data in semantic blocks and can be accessed by many parsers or navigators off-the-shelf.

3.2 The metadata

The metadata file contains the orbit, attitude and the camera parameters data. These metadata are similar to SPOT5, Formosat2 and Theos metadata [3].

The orbit data are measured with a frequency of 1Hz and are presented as a Time with a microsecond precision expressed in UTC time, the location vector in meters and in the Earth Centered Fixed (ECF) reference frame and the velocity vector in meters per second.

The attitude data are measured with a frequency of 4Hz and are presented as attitude quaternion of the Attitude Orbit Control System reference frame tied in the spacecraft according to the ECI (J2000) reference frame. To compute J2000 referential to ITRF terrestrial referential rotation matrix, the U and V angles are also given in the metadata.

The camera parameters are the instrument look angles in the camera frame provided in the form of cubic polynomials, and the bias angles: roll, pitch and yaw, these angles define the camera frame orientation according to the Attitude Orbit Control System reference frame [3].

4. SENSOR ORIENTATION MODEL

4.1 Overview

Before using the very high resolution imagery for GIS or mapping applications, we must, in first consider the geometric aspect of this satellite imagery product, this is equivalent to give a response to the question “how the imaging system transform the location of the pixels on the earth into the image?”. Figure 1. [4]

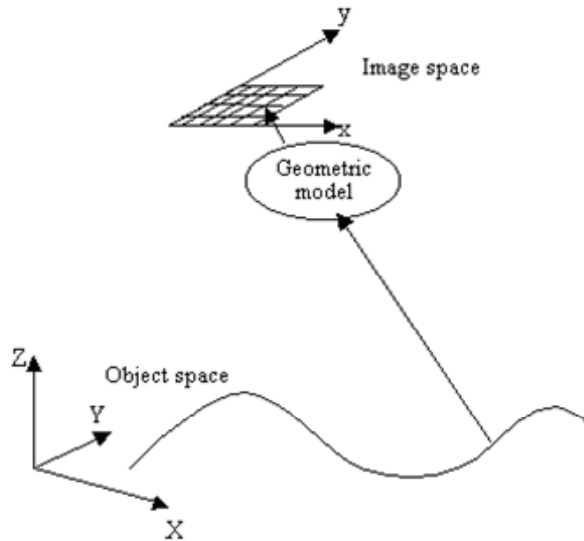


Figure 1. Geometric modelling.

Several authors studied this problem, generally we have two categories of geometric models: physical and empirical models. The physical called also rigorous or deterministic models which reflect the physical reality of the viewing geometry (platform, sensor, Earth and sometimes map projection); generally in the optical imagery these models are based on the well-known collinearity condition. The empirical, implicit or non parametric models can be used when the parameters of the acquisition systems or a rigorous 3D physical model are not available. Since they do not reflect the source of distortions [5], these models represent the acquisition system as a mathematical transformation between object and image spaces. [4] [6] [7] [8] [9].

4.2 ALSAT-2A sensor model

Based on the analysis of the metadata provided with ALSAT-2A, the rigorous pushbroom camera model can be developed. This model has been successfully applied to many very high resolution imagery systems [10] [9] [11] [6] [12] [13].

The relation between points in an earth-centered coordinate system to its projected point in the image coordinate system can be expressed as:

$$P_{img} = \lambda M_r [P_{grd} - [M_b^T P_K + P_c]] \quad (1)$$

Where P_{img} is the image coordinates vector, P_{grd} is the ground coordinates vector, P_K is the vector from earth center to satellite in the orbit plane, M_b is the rotation matrix applied to ECF coordinates to bring them parallel to the instantaneous satellite system, P_c is the position correction vector, M_r is a rotation matrix from ECF to the camera frame and λ is a scale factor.

The interior parameters can be estimated from the viewing angles Ψ_x and Ψ_y of each pixel in line of sight reference frame RLOS. These values are provided in the metadata in the form of cubic polynomials [3]:

$$\begin{cases} \Psi_x = x_0 + x_1p + x_2p^2 + x_3p^3 \\ \Psi_y = y_0 + y_1p + y_2p^2 + y_3p^3 \end{cases} \quad (2)$$

Where Ψ_x and Ψ_y are the viewing angles corresponding to the pointing directions of a detector in the RLOS frame, x_i and y_i are the polynomial coefficients given in the metadata file and p is the detector position.

And the position of each pixel in the RLOS frame is expressed as:

$$P_{LOS} = [\tan(\Psi_y), -\tan(\Psi_x), 1]^T \quad (3)$$

The image coordinates in the camera frame can be obtained from:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = fP_{LOS} \quad (4)$$

Where u, v and w are the images coordinates in millimeters and f is the focal length which is 3249mm.

The vector from earth center to satellite in the orbit plane PK in Eq. (1) is expressed as:

$$P_K = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ R_s \end{bmatrix}$$

$$R_s = a(1 - e \cos(E)) \quad (5)$$

Where a is the semi-major axis of the orbit, e is the eccentricity and E is the eccentric anomaly; the keplerian parameters that describe the orbital ellipse [15] are derived from the location and the velocity provided in the metadata.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M_b^T \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ R_s \end{bmatrix} \quad (6)$$

So the ECF coordinates of the satellite can be obtained using PK and Mb which is constructed from three rotations applied to ECF axis to bring them parallel to the instantaneous satellite system (see Eqs. (6) and (5)).

The obtained satellite coordinates are approximately correct; Pc in Eq. (1) represent the position correction vector is modeled as second order polynomials of time:

$$P_c = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \Delta X &= x_0 + x_1\Delta t + x_2\Delta t^2 \\ \Delta Y &= y_0 + y_1\Delta t + y_2\Delta t^2 \\ \Delta Z &= z_0 + z_1\Delta t + z_2\Delta t^2 \end{aligned} \quad (7)$$

The rotation matrix Mr in Eq. (1) is constructed from five rotations:

$$M_r = M_a^T * M_{sc}^T * M_\delta^T * M_{eph1}^T * M_{j2000ITRF}^T \quad (8)$$

Where Mj2000ITRF is the J2000 referential to ITRF terrestrial referential rotation matrix; this matrix can be obtained using U and V values provided in the metadata by:

$$M_{J2000ITRF} = \begin{bmatrix} \cos U & 0 & \sin U \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin U & 0 & \cos U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos V & -\sin V \\ 0 & \sin V & \cos V \end{bmatrix} \quad (9)$$

Meph1 in Eq. (8) is the rotation of the Attitude Orbit Control System reference frame tied in the spacecraft according to the ECI (J2000) reference frame at the time of the first point of the position/velocity data. In ALSAT-2A the capture of the position/velocity and the attitudes are not synchronized therefore we need to interpolate the attitude quaternion at the time of the first and the last position/velocity points, this is done using a cubic spline, and the rotation matrixes are calculated [14].

M_δ represent the variation of attitude when the point is observed since the time of the first position/velocity time in the ephemeris (see Eq. (8)), this matrix is obtained by a linear interpolation of the attitude angles between the first and the last position/velocity times:

$$M_{ephn} = M_\Delta M_{eph1}$$

$$M_\Delta = M_{ephn} M_{eph1}^T$$

$$M_\Delta = R_{\Delta yaw} R_{\Delta pitch} R_{\Delta roll}$$

$$\delta roll = \frac{\left(\frac{\Delta roll}{t_{ephn} - t_{eph1}} \right)}{t_{pnt} - t_{eph1}} / \delta pitch = \frac{\left(\frac{\Delta pitch}{t_{ephn} - t_{eph1}} \right)}{t_{pnt} - t_{eph1}} / \delta yaw = \frac{\left(\frac{\Delta yaw}{t_{ephn} - t_{eph1}} \right)}{t_{pnt} - t_{eph1}} \quad (10)$$

$$M_\delta = R_{\delta yaw} R_{\delta pitch} R_{\delta roll}$$

Where teph1 is the time at the first point, tephn is the time at the last point, tpnt is the time of the ground point observation and this time is obtained by:

$$t_{pnt} = t_{l1} + (l * t_p) \quad (11)$$

Where t11 is the reference time, the time when the first image line is observed, tp is the line period, it's the time of observation of one line; these values are provided in the metadata and l is the line of the points on the image in pixel.

Msc (see Eq. (8)) is obtained from bias angles in the metadata and define the camera frame orientation according to the Attitude Orbit Control System reference frame.

Ma is the attitude correction matrix, the rotation matrix obtained from quaternion is approximately correct; a correction for the attitude is modeled as second order polynomials of time (see Eq. (8)):

$$\Delta\omega = \omega_0 + \omega_1\Delta t + \omega_2\Delta t^2$$

$$\Delta\varphi = \varphi_0 + \varphi_1\Delta t + \varphi_2\Delta t^2$$

$$\Delta\kappa = \kappa_0 + \kappa_1\Delta t + \kappa_2\Delta t^2$$

$$M_a = R_{\Delta\kappa} R_{\Delta\varphi} R_{\Delta\omega} \quad (12)$$

The basic relation that describes the imaging system (Eq. (1)) can be rearranged as:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix}$$

$$F_x = u - w \frac{U}{W} = 0 \quad (13)$$

$$F_y = v - w \frac{V}{W} = 0$$

This equation is solved by the iterative least square method where the unknown parameters are the keplerian orbital parameters as well as the position and attitude correction polynomial coefficients.

5. EXPERIMENTAL TEST DATA

The test data are supplied by Algerian Space Agency (ASAL), the first dataset comprise a panchromatic image over the region of El Bayadh in the North West of Algeria with two correction level 1A and 2A; this image is recorded on 07 February 2011 with viewing angles of 9.006 and -11.802 degrees cross and along track respectively; the metadata contains four position/velocity observations and sixteen attitude quaternion observations. This image is equipped with nine GPS surveyed points.

The second dataset is an along track stereoscopic panchromatic 1A level images over the town of sevilla in the south of Spain, recorded on 02 February 2011 with viewing angles of -0.969 and 29.983 degrees cross and along track respectively for the first image and -0.958 and -30.0387 for the second one. 23 GCPs over this area are collected from a topographic map at the scale of 1/25 000 for the horizontal coordinates and the altitude is derived from a photogrammetric DTM of 5m cell size and 1m accuracy, the map and the DTM are graciously supplied by the Spanish National Center Of Geographic Information (CNIG).

6. RESULT AND DISCUSSION

Since ALSAT-2A images are a new products, first we tested the absolute accuracy of the two correction level on the first dataset, the results are listed in Table 1:

Table 1. Absolute accuracy for the 1A and 2A level products

		Dx (m)	Dy (m)	Dd (m)
1A	Mean	165.21	370.31	405.69
	RMS	10.98	36.90	36.05
2A	Mean	153.80	315.62	351.32
	RMS	14.00	32.98	33.42

Form this table it can be seen that the mean is very high relatively to the RMS, so a bias is present on this images. The 2A level images are dedicated to the end users and a better the geometric accuracy can be achieved if the bias is eliminated, for this an affine transformation is performed and the results are presented in Table 2:

Table 2. Accuracy after bias elimination

		Dx (m)	Dy (m)	Dd (m)
2A	Mean	0	0	28.45
	RMS	14.00	32.98	19.60

After the bias elimination the product accuracy is improved and 19.6m accuracy can be achieved.

The 1A level is a product intended for photogrammetric use. The second dataset is used to experiment the developed rigorous model and the stereoscopic capability of ALSAT-2A imagery, for this we experiment the parameters choice, since the model has 24 parameters, and then we test the required number of points to get the best accuracy. In the next tests every image is oriented independently using GCPs and the points coordinates are generated in 3D using both images.

Table 3 shows the obtained accuracy with different sets of parameters using 14 Ground Control Points and 9 Check Points:

Table 3. Accuracy using different sets of parameters

Used parameters	RMS of residuals on GCP (m)			RMS of residuals on CP (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
All parameters	43.24	76.03	170.29	38.88	81.38	84.86
Orbital parameters only	3674.40	9944.10	9154.00	3338.60	9117.20	8405.70
Trans and rot parameters	2.99	3.59	3.68	4.54	3.31	3.65
Translations only in 2nd order	2810	19343	15378	1313	18775	14121
Translations only in 1st order	2757.40	8027.90	8312.10	2397.50	7220.40	7500.10
Rotations only in 2nd order	2.40	1.74	1.53	3.73	3.47	1.72
Rotations only in 1st order	2.34	2.87	3.18	3.54	4.42	3.31
Constant rotation only	248.40	508.96	582.24	221.60	446.39	517.47

The set of all the parameters as adjustable gives bad results due to the high correlation existing between the parameters and the high number of parameters relatively to the used GCPs. The use of the Orbital parameters or a polynomial correction of translations only provide a very high residuals, this can be interpreted as (regarding to the rotation correction results) a lack of precision in the angular measurements provided in the metadata.

The use of the correction polynomials on attitude parameters in first or second order yield to improved results, it is remarkable also that the second order polynomials correction provide an improved altimetric accuracy.

For the next test, about the GCPs number, we maintain two parameters sets, the attitude correction polynomials in first and second order as well as the attitude correction polynomials with adjustable orbital parameters.

In this test, 16 points are used as GCP and 7 points are used as check points. Table 4 present the results of this test:

Table 4. Influence of the points number on the two parameters sets accuracy

N° GCP	Rotations only in 1st order				Rotations only in 2nd order			
	RMSE r (m)	RMSE Z (m)	σ_{min}/σ_{ax}	CE90	RMSE r (m)	RMSE Z (m)	σ_{min}/σ_{ax}	CE90
16	3.24	2.49	0.61	6.96	2.89	1.69	0.97	6.20
14	3.16	2.63	0.61	6.77	2.78	1.92	0.97	5.97
12	3.35	2.57	0.66	7.19	2.96	2.12	0.92	6.34
10	3.31	2.60	0.75	7.10	2.99	2.18	0.93	6.42
8	3.37	2.42	0.72	7.23	3.18	2.44	0.98	6.82
6	3.47	2.69	0.71	7.44	3.68	2.53	0.65	7.90
4	3.39	3.03	0.65	7.27	/	/	/	/

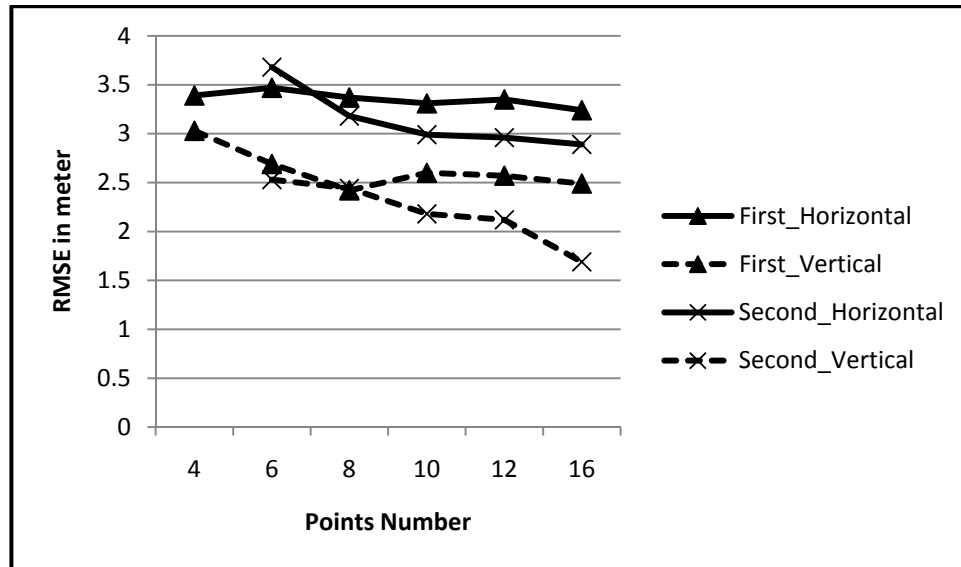


Figure 2. Horizontal and vertical residuals for the two parameters sets

With 4 GCPs, 3.24m horizontal and 2.49m vertical accuracy can be achieved using first order polynomials correction of attitudes; a higher number improve sensitively the vertical accuracy while there is no significant change in the horizontal accuracy.

Using 6 GCPs the second order polynomials correction of attitudes can be estimated and provide a similar accuracy to the first order, a higher accuracy can be achieved by introducing more GCPs. Finally using 16 GCPs we can attain 1.69m in vertical and 2.89m in horizontal which is equivalent to 1.16pixel.

7. CONCLUSION

This paper presents a study on geometric quality of ALSAT-2A, the level 2A of the images provide 33.42m RMSE with a bias of 351.32m an affine transformation using 4 GCPs can improve this RMSE to 19.6m. The 1A level is a product intended for photogrammetric use, the analysis of the metadata provided with this level of image product permit to develop a rigorous sensor model for ALSAT-2A.

Based on the time dependant colinearity equation a rigorous geometric model is developed and tested on sevilla town dataset, the use of a second order polynomials correction of attitudes provide an 1.69m in vertical and 2.89m in horizontal accuracy.

The accuracy potential of ALSAT-2A images is investigated, nevertheless, a more detailed study must take in consideration, different terrain types, point number and distribution, self-calibration, different look angles and images strip.

REFERENCES

- [1] M. Kameche, A.H. Gicquel, D. Joalland, Alsat-2a Transfer And First Year Operations, 22nd ISSFD, Brasil, 28 feb-04 mar 2011.
- [2] ASAL, Spécifications techniques des images Alsat-2A, Alsat-2A images technical specification, 2011.

- [3] Shijie Liu , Clive S. Fraser , Chunsun Zhang, Mehdi Ravanbakhsh , Xiaohua Tong, Geometric Accuracy Evaluation Of Theos Imagery, Asian Conference on Remote Sensing, Hanoi, Vietna, 1st – 5th of November 2010.
- [4] Issam Boukerch, Habib Bounour, Geometric Modeling and Orthorectification of SPOT 5 Super Mode Images. *Revue Française de photogrammétrie et de télédétection*, n° 184 (2006-4).
- [5] Thierry Toutin, R. Chénier, Y. Carbonneau, 3D models for high resolution images: examples with quickbird, ikonos and eros. *Proceedings of International Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications (ISPRS, IGU, CIG)*, Ottawa, Ontario, Canada, July 8-12, 2002, CD-ROM.
- [6] Liang-Chien Chen, Tee-Ann Teo, and Chien-Liang Liu, The Geometrical Comparisons of RSM and RFM for FORMOSAT-2 Satellite Images, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* Vol. 72, No. 5, pp. 573–579, May 2006.
- [7] Jacek Grodecki, Gene Dial, James Lutes, Error Propagation In Block Adjustment Of High-Resolution Satellite Images, *ASPRS Annual Conference Proceedings*, Anchorage, Alaska, May 2003.
- [8] Clive S. Fraser, Prospects For Mapping From High-Resolution Satellite Imagery, *Asian Journal of Geoinformatics*, vol 4, pp. 3-10, 2002.
- [9] DANIELA POLI, Modelling Of Spaceborne Linear Array Sensors, Doctor of Technical Sciences thesis, Zurich 2005.
- [10] Hyung-Sup Jung, Sang-Wan Kim, Joong-Sun Won, and Dong-Cheon Lee, Line-of-Sight Vector Adjustment Model for Geopositioning of SPOT-5 Stereo Images, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* Vol. 73, No. 11, November 2007, pp. 1267–1276.
- [11] Liang-Chien Chen, Tee-Ann Teo, Chien-Liang Liu, Rigorous Georeferencing for Formosat-2 Satellite Images by Least Squares Collocation, *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '05. Proceedings*, 3526 - 3529. Korea, 25-29 Juillet 2005.
- [12] Luong Chinh Ke, Wiesław Wolniewicz, Very High Resolution Satellite Image Triangulation, *Asian Conference on Remote Sensing*, Hanoi, Vietnam, 2005.
- [13] Thomas Weser, Franz Rottensteiner, Jochen Willneff, Joanne Poon, Clive S. Fraser, Development And Testing Of A Generic Sensor Model For Pushbroom Satellite Imagery, *The Photogrammetric Record*, 255–274, September 2008.
- [14] John Vince, *Mathematics for Computer Graphics* 2nd edition, ISBN-13: 978-1-84628-034-4, Springer 2006.
- [15] Dieter FRITSCH, Dirk STALLMANN, Rigorous Photogrammetric Processing Of High Resolution Satellite Imagery, *international archives of photogrammetry and remote sensing* 33, 313-321, 2000.

***RIGOROUS GEOREFERENCING OF ALSAT-2A
PANCHROMATIC AND MULTISPECTRAL IMAGERY.***

Issam BOUKERCH, Mohamed HADEID, Redouane MAHMOUDI, Bachir
TAKARLI, Kamel HASNI.

International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial
Information Sciences, Volume XL-1/W1, p.35-39, ISPRS Hannover Workshop
2013, 21 – 24 May 2013, Hannover, Germany

[http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-1-
W1/35/2013/](http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-1-
W1/35/2013/)

doi:10.5194/isprsarchives-XL-1-W1-35-2013

RIGOROUS GEOREFERENCING OF ALSAT-2A PANCHROMATIC AND MULTISPECTRAL IMAGERY

I. Boukerch ^{a*}, M. Hadeid ^b, R. Mahmoudi ^a, B. Takarli ^a,
K. Hasni ^a

^a CTS, 01 avenue de Palestine, Arzew, Oran, Algeria – issam.boukerch@yahoo.fr

^b Dept. of Geography, Oran University, Oran, Algeria.

ISPRS WG I/4, III/4, IC IV/VIII, VII/2

KEY WORDS: ALSAT-2A, multispectral, Panchromatic, Pushbroom sensor, Dimap, rigorous model, accuracy

ABSTRACT:

The exploitation of the full geometric capabilities of the High-Resolution Satellite Imagery (HRSI), require the development of an appropriate sensor orientation model. Several authors studied this problem; generally we have two categories of geometric models: physical and empirical models.

Based on the analysis of the metadata provided with ALSAT-2A, a rigorous pushbroom camera model can be developed. This model has been successfully applied to many very high resolution imagery systems. The relation between the image and ground coordinates by the time dependant collinearity involving many coordinates systems has been tested. The interior orientation parameters must be integrated in the model, the interior parameters can be estimated from the viewing angles corresponding to the pointing directions of any detector, these values are derived from cubic polynomials provided in the metadata. The developed model integrates all the necessary elements with 33 unknown. All the approximate values of the 33 unknowns parameters may be derived from the informations contained in the metadata files provided with the imagery technical specifications or they are simply fixed to zero, so the condition equation is linearized and solved using SVD in a least square sense in order to correct the initial values using a suitable number of well-distributed GCPs.

Using Alsat-2A images over the town of Toulouse in the south west of France, three experiments are done. The first is about 2D accuracy analysis using several sets of parameters. The second is about GCPs number and distribution. The third experiment is about georeferencing multispectral image by applying the model calculated from panchromatic image.

1. INTRODUCTION

Alsatsat-2A satellite was launched into orbit on 12 July 2010, from the launch site Sriharikota (India) by Indian PSLV-C15 launcher. It has five push broom sensors, panchromatic and multispectral in four bands namely blue, green, red and infrared. The panchromatic image is acquired with a spatial resolution of 2.5m and a swath of 17.5km at nadir. Multispectral bands have a resolution of 10m with the same swath. ALSAT-2A takes images at an altitude of 680km on a sun-synchronous orbit with an orbital period of 98.2 minutes and an orbital cycle of 29 days (ASAL, 2011; Kameche et al., 2011).

As part of the implementation of space applications projects in the National Space Program 2020 with the collaboration of all national users; the use of an Algerian very high resolution space system has a significant technological and economical interest, by reducing the use of international space systems products, thus reducing the projects costs (Boukerch et al., 2012)

Before using HRSI for GIS or mapping applications, we must, in first consider the geometric aspect of this satellite imagery product, this is equivalent to give a response to the question “how the imaging system transform the location of the pixels on the earth into the image?” (Boukerch and Bounour, 2006).

Several authors studied this problem; generally we have two categories of geometric models: physical and empirical models. The empirical, implicit or non parametric models can be used when the parameters of the acquisition systems or a rigorous 3D physical model are not available. Since they do not reflect the

source of distortions (Toutin et al., 2002) these models represent the acquisition system as a mathematical transformation (such as rational functions, 2D or 3D polynomials) between object and image spaces. (Boukerch and Bounour, 2006; Chen et al., 2006; Fraser, 2003; Grodecki et al., 2003; Poli, 2005; Toutin, 2004).

The physical called also rigorous or deterministic models reflects the physical reality of the viewing geometry (platform, sensor, Earth and sometimes map projection); generally in the optical imagery these models are based on the well-known collinearity condition (Chen et al., 2005; Jung et al., 2007; Ke and Wolniewicz, 2005; Liu et al., 2011; Poli, 2005; Weser et al., 2008). As (Michalis and Dowman, 2008) mentioned, the pushbroom model is a kinematic model; Due to the dynamic nature of pushbroom imaging geometry, each framlet has its own exterior orientation parameters (EOP) and under the assumption that the images are acquired with a pushbroom scanner using a constant time interval. A time dependent collinearity equation can be developed.

There are two approaches for the EOP modelling (Jeong and Bethel, 2008; Kim and Dowman, 2006; Liu et al., 2011; Michalis and Dowman, 2008; Poli, 2005; Weser et al., 2008). The approach used in this study is to use the satellite orbital parameters (or position and velocity) and attitude angles as model parameters; the compensation of systematic errors inherent in vendor-supplied orientation data is achieved through a least squares sensor orientation adjustment, which incorporates additional parameters for bias compensation and

employs a modest number of ground control points (Liu et al., 2011).

The interior orientation parameters (IOP) are generally directly given in the sensor specifications as the principal point position, focal length and distortions. The IOPs can also be provided in indirect way (such for SPOT5), through the definition of two orthogonal viewing angles for each pixel of the CCD array, which define a bundle of rays between the projection centre and the pixel centres of the CCD array (Weser et al., 2008). In a similar way THEOS, ALSAT-2A and other platforms represent the IOPs through view angle values that are provided in the metadata for each detector in the CCD array in the form of cubic polynomials (Liu et al., 2011).

2. ALSAT-2A AUXILIARY DATA

The metadata file give us the orbit, attitude and the camera parameters data. These metadata are similar to SPOT5, Formosat2 and Theos metadata (Liu et al., 2010)

The orbit data are measured with a frequency of 1Hz and are presented as a Time with a microsecond precision expressed in UTC time. The location vector is in meters in the Earth Centered Fixed (ECF) reference frame and the velocity vector in meters per second. The attitude data are measured with a frequency of 4Hz and presented as attitude quaternion of the Attitude Orbit Control System reference frame tied in the spacecraft according to the ECI (J2000) reference frame. To compute J2000 referential to ITRF terrestrial referential rotation matrix, the U and V angles are also given in the metadata (ASAL, 2011).

The camera parameters are the instrument look angles in the camera frame provided in the form of cubic polynomials with the bias angles: roll, pitch and yaw. These angles define the camera frame orientation according to the Attitude Orbit Control System reference frame (Liu et al., 2010).

Other important information for the geometric model can be found in the metadata which are the reference line, reference time, line period and the number of rows. Also Yaw, Pitch and Roll angles that define the line of sight reference frame orientation according to the Platform coordinate system.

3. RIGOROUS SENSOR ORIENTATION MODEL

A polar orbital satellite usually moves along a well-defined close-to-circular elliptical orbit. All scan line exposure stations would therefore be constrained on this orbit path. For a short arc, the assumption of a “two-body” orbit may be used. This may be parameterized with six elements of a state vector or, equivalently, six Kepler elements (Jeong and Bethel, 2008; Jeong, 2008; Jung et al., 2007)

The initial sensor attitude can be assumed as a nadir looking but due to the agility, an interpolation between the start and the end attitudes is more appropriate, so, for each scan line, the interpolated attitude from given start and end attitude will be assigned (Jeong and Bethel, 2008; Jeong, 2008).

Based on the analysis of the metadata provided with ALSAT-2A, a rigorous pushbroom camera model can be developed.

This model has been successfully applied to many very high resolution imagery systems (Chen et al., 2006, 2005; Jung et al., 2007; Ke and Wolniewicz, 2005; Poli, 2005; Weser et al., 2008).

The relation between points in an earth-centered coordinate system to its projected point in the image coordinate system can be expressed as (Boukerch et al., 2012; Jeong, 2008):

$$P_{img} = \lambda M_r \left[P_{grd} - \left[M_{orb-itrf}^T (P_K + P_c) \right] \right] \quad (1)$$

Where P_{img} is the image coordinates vector, P_{grd} is the ground coordinates vector, P_K is the vector from earth centre to satellite in the orbit plane, $M_{orb-itrf}$ is the rotation matrix applied to ECEF coordinates to bring them parallel to the orbital coordinates system, P_c is the position correction vector, M_r is a rotation matrix from ECEF to the camera frame and λ is a scale factor (see Figure 1).

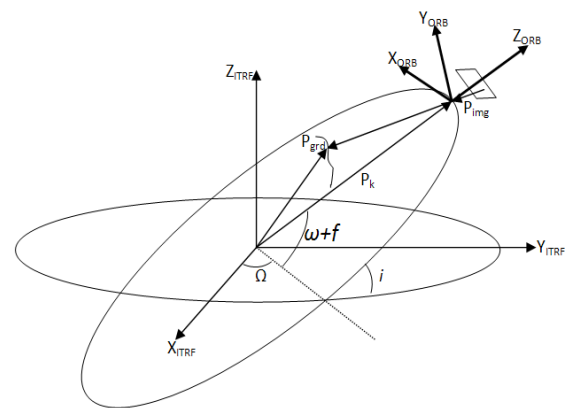


Figure 1. Geometrical relationship between image and ground points.

4. TEST DATASET

The dataset is composed of panchromatic images of 1A processing level over Toulouse town in south west of France. The first image is taken on 07 February 2011 with viewing angles of -8.785521 and 0.396593 degrees cross and along track respectively. This image is equipped with 27 points; the second image is taken on 04 February 2011 with viewing angles of -15.432805 and 5.577266 degrees cross and along track. The terrain is relatively flat with elevations are between 130 to 250 m. This image is equipped with 22 points collected from cadastral plans of Toulouse town using Géopotail 3D mapping service.

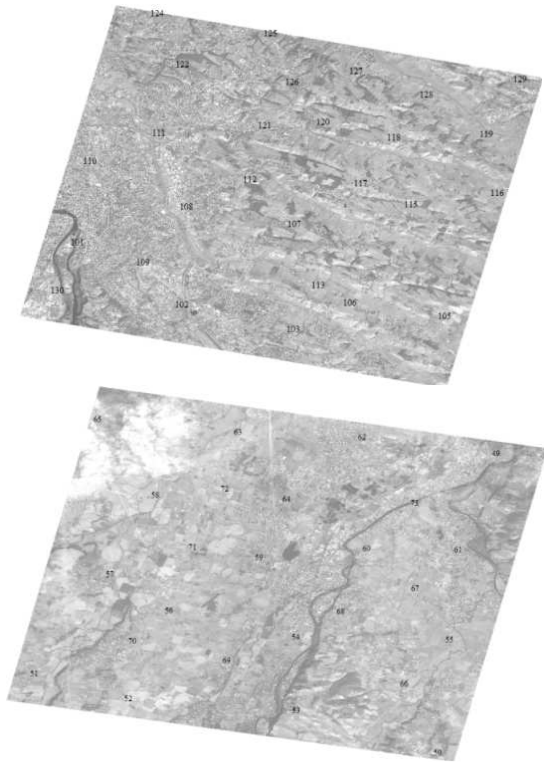


Figure 2. Toulouse images and GCPs distribution.

X2 Y2 Z2	2.699	0.795	1.574	0.819
$\Omega 2 \Phi 2 K 2$	0.326	3.687	0.702	2.598
X2 Y2 Z2 $\Omega \Phi K$	1.425	0.739	0.919	0.860
X Y Z $\Omega 2$ $\Phi 2 K 2$	0.306	1.194	0.676	0.893
X2 Y2 Z2 K2	0.328	0.799	0.701	0.813
Z2 $\Omega 2 \Phi 2$ K2	0.329	0.805	0.702	0.809
Z1 $\Omega 2 \Phi 2$ K1	0.340	0.803	0.689	0.812
Z1 $\Omega 2 \Phi 2$ K	1.612	0.802	0.959	0.808
Z $\Omega 2 \Phi 2$ K	1.611	1.240	0.959	0.906
Z1 $\Omega 2 \Phi 2$ K2	0.329	0.803	0.702	0.810
Z $\Omega 2 \Phi 2$ K2	0.330	1.240	0.704	0.907
Z $\Omega 2 \Phi 2$ K1	0.341	1.241	0.688	0.909
Z $\Omega 1 \Phi 2$ K1	0.4540	9.4277	0.7737	7.1067
Z $\Omega 2 \Phi 1$ K1	1.5293	0.8036	1.4103	0.8126

Table 3. Results for different sets of parameters using the first Toulouse image.

5. EXPERIMENTAL RESULTS

In this study only 2D accuracy analysis is possible, due to the single image coverage. The check point accuracy is estimated in 2D via a back projection of 3D check point coordinates into image space using the adjusted orientation parameters. It is also possible to check the accuracy by the use of a forward projection to an established height value in object space (Liu et al., 2011).

5.1 2D accuracy analysis

The first georeferencing experiment is about 2D accuracy analysis using the Toulouse dataset. In this test eleven well distributed GCP's on each image are used to estimate several sets of parameters, the remaining points are considered as check points.

The developed model based on eq. 1 uses second order polynomial function of time for the modelling of the errors in the position and the attitude of the satellite. The developed program offers the possibility to changing the orders of the polynomials, so different sets of variables are tested in this experiment. In the tables 3 and 4 we denote by X Y Z the translations parameters, $\Omega \Phi K$ the rotations about X Y Z axis successively and the number represent the order of the polynomial.

Used parameters	RMS of residuals on GCP (pixel)		RMS of residuals on CP (pixel)	
	X	Y	X	Y
X Y Z $\Omega \Phi K$	10.456	14.162	10.308	10.199
X2 Y2 Z2 $\Omega 2 \Phi 2 K 2$	0.335	0.669	0.646	0.766

Used parameters	RMS of residuals on GCP (pixel)		RMS of residuals on CP (pixel)	
	X	Y	X	Y
X Y Z $\Omega \Phi K$	7.982	5.465	3.321	3.460
X2 Y2 Z2 $\Omega 2 \Phi 2 K 2$	0.380	0.350	0.886	0.808
X2 Y2 Z2	2.883	0.739	2.160	0.935
$\Omega 2 \Phi 2 K 2$	0.426	6.823	0.921	4.553
X2 Y2 Z2 $\Omega \Phi K$	1.699	0.736	1.027	0.955
X Y Z $\Omega 2$ $\Phi 2 K 2$	0.398	0.798	0.902	0.946
X2 Y2 Z2 K2	0.429	0.739	0.920	0.932
Z2 $\Omega 2 \Phi 2$ K2	0.430	0.743	0.920	0.921
Z1 $\Omega 2 \Phi 2$ K1	0.430	0.741	0.920	0.924
Z1 $\Omega 2 \Phi 2$ K	1.906	0.745	1.066	0.922
Z $\Omega 2 \Phi 2$ K	1.899	0.806	1.065	0.926
Z1 $\Omega 2 \Phi 2$ K2	0.430	0.741	0.920	0.924
Z $\Omega 2 \Phi 2$ K2	0.430	0.806	0.920	0.927
Z $\Omega 2 \Phi 2$ K1	0.430	0.806	0.920	0.927
Z $\Omega 1 \Phi 2$ K1	0.431	1.008	0.920	1.009
Z $\Omega 2 \Phi 1$ K1	3.519	0.748	1.727	0.923

Table 4. Results for different sets of parameters using the second Toulouse image.

The first set of parameters (X Y Z Ω Φ K) allows the representation of translation and attitude as constant correction to the parameters derived from metadata. The resulting image point discrepancies lay between 3 and 15 pixels. The full parameters set (X2 Y2 Z2 Ω 2 Φ 2 K2) provide the best results for this dataset where the RMSE on check points is less than 1 pixel. It is noteworthy that the sets based on higher order attitudes provide better results than those based on translations.

Due to the existing correlation between parameters, we used two groups of parameters sets X Y Z K and Z Ω Φ K with different orders of each parameter (Jeong and Bethel, 2008; Jeong, 2008). We note that the use of second order polynomial for attitudes with second order polynomial for Z translation (Z2 Ω 2 Φ 2 K2) provides similar results as the full parameters set. The application of a constant correction to Z translation and linear correction of the K attitude parameter (Z Ω Φ 2 K1) ensure a sub pixel positional accuracy.

5.2 Points number and distribution

In this section we test the Influence of the ground control point number and their distribution on the accuracy of the calculated model. For this test, only the first image of Toulouse is used.

The model is calculated using different combinations of GCPs. the first set results from the various combinations of 2 GCPs that can be taken among the 27 available points and the 25 remaining points are used as check points; this leads to 351 possible combinations. The other sets results from changing the GCPs number from 2 to 14; due to the higher number of possible combinations when using 3 to 14 GCPs we choose 2000 combinations randomly among all possible ones.

For each used combination of GCPs in the set, the RMSE of the resulting model is calculated using check points. We calculate also the standard deviation and the mean of the X and Y coordinates of GCPs. Then for the whole set we calculate the correlation between the RMSEs and the standard deviation on the one hand and the correlation between the RMSEs and the mean on the other hand. The standard deviation and the mean of the GCPs coordinates give an indication about the GCPs distribution. Also we calculate the minimum RMSE, percentiles of the RMSEs of the sets at 50% and 95% and the percentage of RMSEs of less than 1 pixel for each set. The results are presented in Table 5.

When using 2 points as GCPs, the best achievable accuracy is 8.47 pixels. Using 4 or more GCPs, sub pixel accuracy can be achieved. this can be explained by the fact that there are seven or eight uncorrelated parameters among all used parameters. The points must have a maximum spacing in Y direction because of the relatively higher correlation between RMSE and standard deviation of the Y coordinate of the GCPs, this can be explained by the image capture mode which is a pushbroom moving along the Y axis. the position of the barycentre of the points is not very important since the correlation between the mean of the X and Y coordinates of the GCPs and the RMSE is very low. The minimum RMSE resulting from the best distribution become stable around 0.3 pixel using more than 10 GCPs.

5.3 Georeferencing multispectral image

This third experiment is about georeferencing multispectral image. We use the result provided by the panchromatic image model which is calculated using eleven points as control points and the second order polynomial correction for all the position and attitude parameters.

The two images (panchromatic and multispectral) are taken with a lapse of time of 0.060788 second due to the shift of the two detectors lines in the focal plan. The major differences between the panchromatic and multispectral images in the metadata are the LOS coefficients, the reference time which is the time of capture of the first image line and the line period.

All the points on the multispectral image are considered as check points; the sample coordinate of each point on the image is used to calculate the image coordinates by the mean of LOS coefficients. The line coordinate is utilized with line period and reference time to calculate the time of acquisition of the point, using this time we can obtain the corrections to the initial position and attitude based on the model calculated from the panchromatic image.

The terrain coordinates of the points are integrated to the time dependant collinearity (see Eq 1) and the image coordinates are calculated through a back projection. The comparison between the observed image coordinates and those obtained by back projection permit to estimate the accuracy where the standard deviation is 0.6251 and 0.8068 pixel in x and y respectively for the entire set of points on the multispectral image.

GCPs #	Corr σ_x	Corr σ_y	Corr μ_x	Corr μ_y	min RMSE	RMSE at 50%	RMSE at 95%	% of RMSE < 1pixel
2	0.34	-0.74	0.08	-0.18	8.47	36.58	98.34	0.00
3	-0.03	-0.58	0.05	-0.17	5.29	18.09	59.93	0.00
4	0.13	-0.42	0.07	-0.26	0.52	5.19	21.48	3.00
5	-0.07	-0.33	0.08	-0.14	0.41	2.65	26.86	12.60
6	-0.05	-0.35	0.07	-0.15	0.60	2.99	18.80	6.45
7	-0.08	-0.41	0.14	-0.15	0.48	2.60	17.27	8.35
8	-0.11	-0.42	0.05	-0.12	0.39	1.79	10.71	18.05
9	-0.07	-0.39	0.00	-0.17	0.37	1.49	8.38	26.45
10	-0.09	-0.44	0.01	-0.12	0.37	1.16	5.58	40.05
11	-0.08	-0.41	-0.05	-0.07	0.30	1.05	4.55	46.95
12	-0.08	-0.37	-0.06	-0.05	0.30	0.91	3.68	56.90
13	-0.13	-0.32	-0.06	0.02	0.31	0.85	2.79	64.70
14	-0.10	-0.29	-0.07	0.04	0.30	0.79	2.76	69.50

Table 5. The correlation between GCPs distribution and the resulting accuracy using different GCPs number

6. CONCLUSION

The parameters integrated in the metadata provided with the ALSAT2-A permit the development of a rigorous sensor model.

The developed program offers the possibility to change the orders of the correction polynomials and also the variables selection, so different sets of variables are tested; the use of the second order polynomials for attitude and position correction gives 0.646 and 0.766 as RMS of residuals on check points.

The points number and distribution is studied through the correlation between the RMSE and the standard deviation on one hand and RMSE with the mean of the X and Y coordinates of GCPs on the other hand. Using 4 or more GCPs sub pixel accuracy can be achieved. The points must have a maximum spacing in Y direction, the position of the barycentre of the points is not very important since the correlation between the mean of the X and Y coordinates of the GCPs and the RMSE is very low. The minimum RMSE resulting from the best distribution become stable around 0.3 pixel using more than 10 GCPs.

Considering the differences between multispectral and the panchromatic, the model calculated using the panchromatic image is used to estimate the accuracy of the multispectral image; the standard deviation is 0.6251 and 0.8068 pixel in x and y of entire set of points on the multispectral image.

1. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to M. F. Benhammouda and A. Botte from Algerian Space Agency for their help.

2. REFERENCES

ASAL, 2011. 2A, Alsat-2A images technical specification.

Boukerch, I., Bounour, H., 2006. Geometric modelling and orthorectification of SPOTs super mode images. *Revue française de photogrammétrie et de télédétection* 61–65.

Boukerch, I., Hadied, M., Mahmoudi, R., Takarli, B., Hasni, K., 2012. Rigorous geometrical modeling of ALSAT-2A Algerian satellite, in: *SPIE Remote Sensing. International Society for Optics and Photonics*, p. 85331V–85331V–9.

Chen, L., Teo, T., Liu, C., 2006. The geometrical comparisons of RSM and RFM for FORMOSAT-2 satellite images. *Photogrammetric engineering and remote sensing* 72, 573.

Chen, L., Teo, T., Liu, L., 2005. Rigorous georeferencing for Formosat-2 satellite images by least squares collocation, in: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. p. 3526.

Fraser, C.S., 2003. Prospects for mapping from high-resolution satellite imagery. *Asian Journal of Geoinformatics* 4, 3–10.

Grodecki, J., Dial, G., Lutes, J., 2003. Error propagation in block adjustment of high-resolution satellite images, in: *ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings*. pp. 5–9.

Jeong, I., Bethel, J., 2008. TRAJECTORY MODELING FOR SATELLITE IMAGE TRIANGULATION. the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing.

Jeong, I.-S., 2008. Resolving parameter dependencies in satellite sensor models. Phd Diss, Purdue University, Purdue.

Jung, H., Kim, S., Won, J., Lee, D., 2007. Line-of-Sight Vector Adjustment Model for Geopositioning of SPOT-5 Stereo Images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 73, 1267.

Kameche, M., Gicquel, A.H., Joalland, D., 2011. ALSAT-2A TRANSFER AND FIRST YEAR OPERATIONS. *Journal of Aerospace Engineering* 3, 67.

Ke, L.C., Wolniewicz, W., 2005. Very High Resolution Satellite Image Triangulation. Presented at the Asian Conference on Remote Sensing, Hanoi, Vietnam.

Kim, T., Dowman, I., 2006. Comparison of two physical sensor models for satellite images: position–rotation model and orbit–attitude model. *The Photogrammetric Record* 21, 110–123.

Liu, S., Fraser, C.S., Zhang, C., Ravanbakhsh, M., Tong, X., 2010. Geometric Accuracy Evaluation Of Theos Imagery. Presented at the Asian Conference on Remote Sensing, Hanoi, Vietna.

Liu, S., Fraser, C.S., Zhang, C., Ravanbakhsh, M., Tong, X., 2011. Georeferencing performance of THEOS satellite imagery. *The Photogrammetric Record* 26, 250–262.

Michalis, P., Dowman, I., 2008. A generic model for along track stereo sensors using rigorous orbit mechanics. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 74, 303.

Poli, D., 2005. Modelling of spaceborne linear array sensors. Diss., Technische Wissenschaften, Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Nr. 15894, 2005.-Ref.: Armin Grün; Korref.: Ian Dowman.

Toutin, T., 2004. Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. *International Journal of Remote Sensing* 25, 1893–1924.

Toutin, T., Chénier, R., Carbonneau, Y., 2002. 3D models for high resolution images: examples with QuickBird, IKONOS and EROS. *INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES* 34, 547–551.

Weser, T., Rottensteiner, F., Willneff, J., Poon, J., Fraser, C.S., 2008. Development and testing of a generic sensor model for pushbroom satellite imagery. *The Photogrammetric Record* 23, 255–274.

Evaluation of the RFM as a replacement for the Rigorous geometric Model of ASLAT-2A imagery.

Issam BOUKERCH, Mohamed HADEID, Redouane MAHMOUDI, Bachir TAKARLI, Kamel HASNI.

EARSel 34th Symposium Proceedings, 16-20 June 2014, Poland, 2014.

ISBN 978-83-63245-65-8.

<http://www.earsel.org/symposia/2014-symposium->

[Warsaw/pdf_proceedings/EARSel-Symposium-2014_2_2_boukerch.pdf](http://www.earsel.org/symposia/2014-symposium-Warsaw/pdf_proceedings/EARSel-Symposium-2014_2_2_boukerch.pdf)

Evaluation of the RFM as a replacement for the Rigorous geometric Model of ASLAT-2A imagery

Issam Boukerch¹, Mohamed Hadeid², Redouane Mahmoudi¹, Bachir Takarli¹ and Kamel Hasni¹

*Centre des Techniques Spatiales, Arzew, Oran, ALGERIA; issam.boukerch@yahoo.fr
University of Oran, Institute of Geography, Oran, Algeria*

Abstract. The exploitation of the full geometric capabilities of the High-Resolution Satellite Imagery (HRSI), require the development of an appropriate sensor orientation model. The aim of geometric modelling is to describe the relationship between image and ground coordinates for a given sensor. A rigorous sensor model (RSM) for Alsat-2A has been developed; this model is based on the time dependent collinearity which integrates attitude, orbital data and other information extracted from the metadata provided with the images. To handle this geometric model a program has been developed and tested in previous works and provides an acceptable accuracy. But for the practical use of the developed model to orthorectify the imagery or the extraction of DSM from stereo images; this model must be integrated into dedicated software. Since the majority of these softwares support the rational function model (RFM), this paper deals with the use of the RFM as a replacement of the RSM. After calculating the RSM parameters, we can trace the ray from any image pixel (x,y) to the ground by using the interior and exterior orientation parameters; this ray is intersected at a defined ground elevation (Z) to get the horizontal ground position (X,Y). At least ten well distributed image points are chosen for ray tracing, these rays are then intersected with four different Z level, so at least 40 points are generated and used to calculate the RFM parameters with an accuracy of less than 0.1pixel. the calculated parameters are written in an RPC file that can be read directly by the softwares to generate orthos and DSMs. This approach allow the replacement of the RSM by an equivalent RFM without affecting its accuracy, which permit the use of the result-ed RFM to generate accurate orthoimages and DSMs using a commercial software.

Keywords. ASLAT-2A, Rigorous geometric Model, RFM, orthoimage, DSM.

1. Introduction

Before using High Resolution Satellite Imagery (HRSI) for GIS or mapping applications, we must, in first consider the geometric aspect of this satellite imagery product. Several authors studied the geometry modeling and generally we have two categories of geometric models: physical and empirical models.

The empirical, implicit or non parametric models can be used when the parameters of the acquisition systems or a rigorous 3D physical model are not available. Since they do not reflect the source of distortions distortions [1]; these models represent the acquisition system as a mathematical transformation (such as rational functions, 2D or 3D polynomials) between object and image spaces [2]–[7].

The physical models, also known as rigorous or deterministic models reflect the physical reality of the viewing geometry (platform, sensor, Earth and sometimes map projection); generally in the optical imagery these models are based on the well-known collinearity condition [5], [8]–[12].

Alsat-2A satellite was launched into orbit on 12 July 2010, from the launch site Sriharikota (India) by Indian PSLV-C15 launcher. It has five push broom sensors, panchromatic and multispectral in four bands namely blue, green, red and infrared. The panchromatic image is acquired with a spatial resolution of 2.5m and a swath of 17.5km at nadir. Multispectral bands have a resolution of 10m with the same swath. Alsat-2A takes images at an altitude of 680km on a sun-synchronous orbit with an orbital period of 98.2 minutes and an orbital cycle of 29 days [13], [14].

In this study a rigorous sensor model (RSM) used in [15], [16] is first described, this model is based on time dependent collinearity. The trajectory is initially calculated using the provided ephemeris then the trajectory and the attitude is refined using ground control points (GCPs). Alsat-2A rigorous sensor model provides sub-pixel accuracy for panchromatic and multispectral images using at least four GCPs [16]. For the stereoscopic case; using this RSM an altimetric accuracy of 1.69m can be achieved [15].

Rational Function Model (RFM) is the alternate sensor Model to the rigorous sensor model that allows end user to perform sensor-independent photogrammetric processing. Nowadays, commercial off-the-shelf (COTS) digital photogrammetric work stations have incorporated RFM as a method for image restitution [17].

The RFM can be used a replacement of the physical model, in this case it is considered as a fitting function between the image grid and the object grid [18]; here a grid of image points is set, a bundle of rays can be obtained by the projecting these image points using the physical model. These rays are then intersected at different level plans (four or more) to obtain the horizontal coordinates and establish the object grid; these sets of points in image (x, y) and object (X, Y, Z) space are used to calculate the 80 coefficients of the RFM [19].

2. ALSAT-2A rigorous sensor model

The images are provided into two correction levels namely Radiometrically Corrected level (1A) and Geo-Corrected level (2A).

The level 1A images are radiometrically corrected, performing detectors relative response equalization and radiometric abnormality removal. The PAN band and the MS band B3 called the "reference band" are always geometrically raw.

The images are presented in DIMAP format where the main files are: a PDF file containing the main product metadata, IMAGERY.TIF contains the full resolution GeoTIFF image and METADATA.DIM contains the product metadata, under the XML format. The metadata are encoded using XML language. This flexible language allows breaking down data in semantic blocks and can be accessed by many parsers or navigators off-the-shelf [15].

The metadata file contains the orbit, attitude and the camera parameters data. These metadata are similar to SPOT5, Formosat2 and Theos metadata [20]

Based on the analysis of the metadata provided with ALSAT-2A, the rigorous pushbroom camera model can be developed. This model has been successfully applied to many very high resolution imagery systems [5], [8]–[11].

The relation between points in an earth-centered coordinate system to its projected point in the image coordinate system can be expressed as:

$$P_{img} = \lambda M_r \left[P_{grd} - [M_b^T P_K + P_c] \right] \quad (1)$$

Where P_{img} is the image coordinates vector, P_{grd} is the ground coordinates vector, P_K is the vector from earth center to satellite in the orbit plane, M_b is the rotation matrix applied to ECF coordinates to bring them parallel to the instantaneous satellite system, P_c is the position correction vector, M_r is a rotation matrix from ECF to the camera frame and λ is a scale factor (see Figure 1).

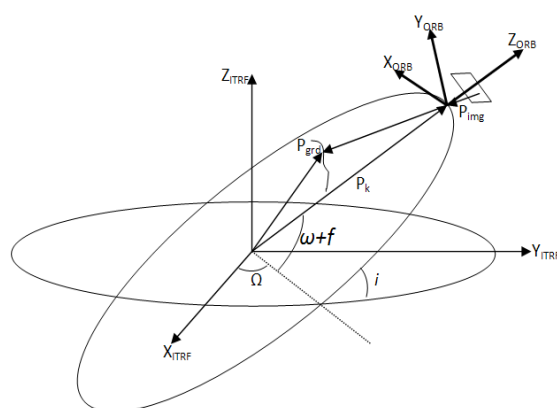


Figure 1. Geometrical relationship between image and ground points.

This model has been implemented in MATLAB, it was tested for the 2D and 3D georeferencing in the case of the panchromatic and multispectral imagery [15], [16].

3. The rational function model

3D rational functions (RFM) has been widely used for civilian users of remote sensing and photogrammetry since 2000; this is due to launch of new commercial high-resolution satellites. The main reason for their interest is that some image suppliers such as Space Imaging does not provide information on the satellite and sensor [1]. These functions are used to replace the sensor model which remains confidential and also to facilitate the use of these images by non-specialist users.

In general, these functions are written as:

$$x = \frac{P_{i1}(X, Y, Z)_j}{P_{i2}(X, Y, Z)_j}, y = \frac{P_{i3}(X, Y, Z)_j}{P_{i4}(X, Y, Z)_j}$$

Where:

$$\begin{aligned} P_{i1}(X, Y, Z) = & a_1 + a_2 \cdot Y + a_3 \cdot X + a_4 \cdot Z \\ & + a_5 \cdot Y \cdot X + a_6 \cdot Y \cdot Z + a_7 \cdot X \cdot Z + a_8 \cdot Y^2 \\ & + a_9 \cdot X^2 + a_{10} \cdot Z^2 + a_{11} \cdot X \cdot Y \cdot Z \\ & + a_{12} \cdot Y^3 + a_{13} \cdot Y \cdot X^2 + a_{14} \cdot Y \cdot Z^2 \\ & + a_{15} \cdot Y^2 \cdot X + a_{16} \cdot X^3 + a_{17} \cdot X \cdot Z^2 \\ & + a_{18} \cdot Y^2 \cdot Z + a_{19} \cdot X^2 \cdot Z + a_{20} \cdot Z^3 \end{aligned}$$

This model contains 80 parameters which necessitate 40 points to be calculated.

4. Datasets description

The first dataset is composed of panchromatic image of 1A processing level over Toulouse town in south west of France. The image is taken on 07 February 2011 with viewing angles of -8.785521 and 0.396593 degrees cross and along track respectively. On this image 25 points are

measured (12 GCP and 13CKP) which are collected from cadastral plans of Toulouse town using Géopotail 3D mapping service (Figure 2).



Figure 2. Toulouse dataset points distribution

The second dataset is an along track stereoscopic panchromatic 1A level images over the town of sevilla in the south of Spain, recorded on 02 February 2011 with viewing angles of -0.969 and 29.983 degrees cross and along track respectively for the first image and -0.958 and -30.0387 for the second one. 23 points (11 GCP and 12CKP) over this area are collected (Figure 3) from a topographic map at the scale of 1/25 000 for the horizontal coordinates and the altitude is derived from a photogrammetric DTM of 5m cell size and 1m accuracy, the map and the DTM are graciously supplied by the Spanish National Center Of Geographic Information (CNIG).

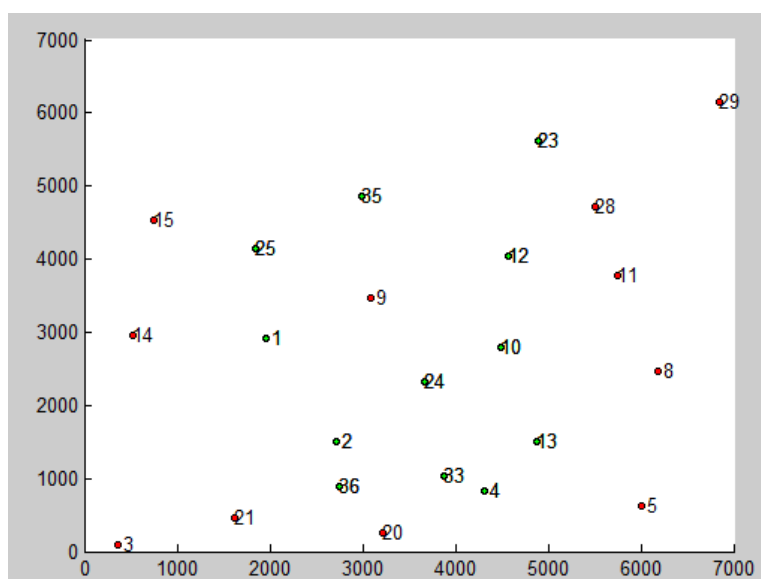


Figure 3. sevilla dataset points distribution

5. Results

First the rigorous sensor model is calculated for both datasets, the results are presented in table 1 and table 2:

	Mean X	Mean Y	RMSE X	RMSE Y
GCP	-0,0095	0,003	0.3005	0.5470
CKP	-0.249	-0.4748	0.6928	0.8919

Table 1. Results of the RSM for Toulouse dataset

	Mean X	Mean Y	RMSE X	RMSE Y
GCP im1	0.1133	-0.0274	0.7630	0.3043
CKP im1	0.1186	-0.3483	0.5529	0.8323
GCP im2	0.0147	0.0019	0.8211	0.4518
CKP im2	0.2673	-0.7201	0.7009	0.9762

Table 2. Results of the RSM for sevilla dataset

Subpixel accuracy is obtained using the rigorous sensor model. The calculated RSM parameters are then used for the ray tracing of 36 image points, these rays are intersected at 10 different levels at the object space, which produce 360 points for each image. These automatically generated points are used to calculate the RFM that necessitate a minimum of 40 points to be calculated. Also the terrain coordinates of the GCPs and CKPs are backprojected using the RFM to obtain image coordinates which are compared to the measured points. The results are presented in the tables 3 and 4:

	MEAN		RMSE	
	X	Y	X	Y
Auto	-0.0002	-0.0010	0.0003	0.0029
Ground	0.0033	0.0037	0.5543	0.2974
Check	-0.4864	0.2488	0.9079	0.6873

Table 3. Results of the RFM for Toulouse dataset

		MEAN		RMSE	
		X	Y	X	Y
Auto	Image 1	-0.0000	0.0014	-0.0000	-0.0063
	Image 2	0.0098	0.0048	0.0261	0.0109
Ground	Image 1	-0.0420	-0.1134	0.0090	-0.0198
	Image 2	0.3051	0.7680	0.4610	0.8218
Check	Image 1	-0.3527	-0.1168	-0.7177	-0.2690
	Image 2	0.8371	0.5544	0.9865	0.7015

Table 4. Results of the RFM for sevilla dataset

The obtained accuracies are also in subpixel for the GCPs and CKPs, which demonstrate the fidelity of reproducing the RSM by the RFM.

For the first dataset, the original image and the calculated RPC file are loaded in ENVI 7.4, and used with a DTM of the region to produce an orthomap (Figure 4)

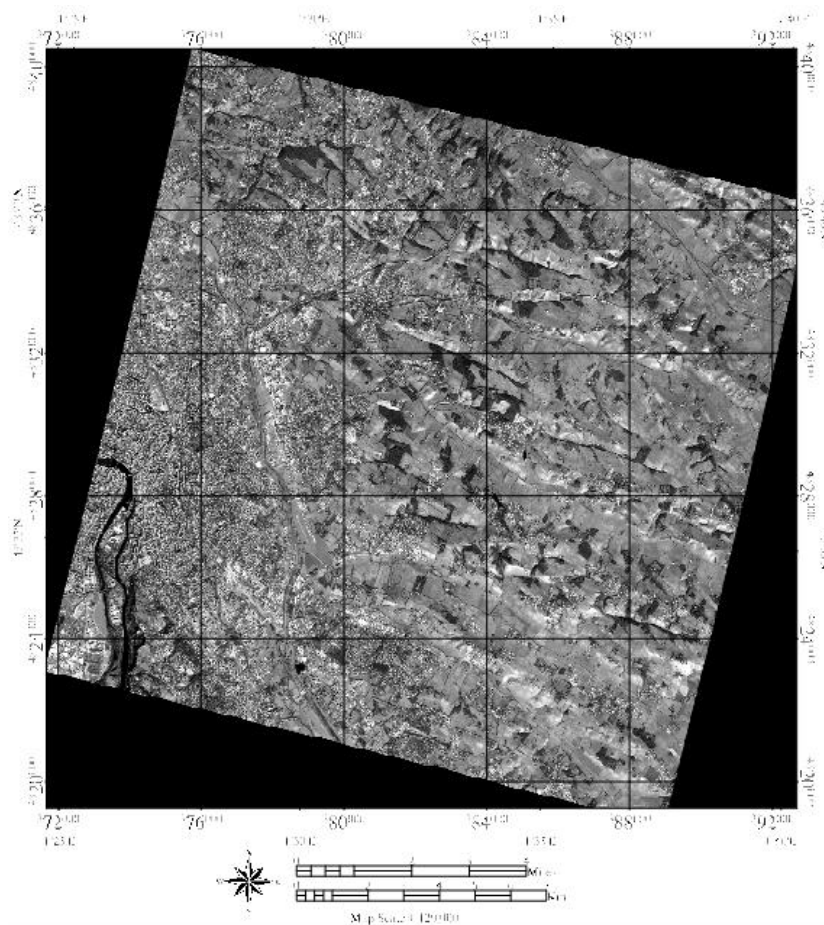


Figure 4. Orthomosaic produced using the RFM

Under LPS 9.2 the stereo images are loaded, and without adding any GCP, CKP or tie points a DTM is generated, the IO and the EO parameters are provided using the RPCs. The cell size of the DTM is 25m (Figure 5). The accuracy is checked using 27 points, the generated report is hereafter.

Vertical Accuracy:

Total # of 3D Reference Points Used: 27
 Minimum, Maximum Error: -2.2245, 13.7662
 Mean Error: 4.9373
 Mean Absolute Error: 5.2781
 Root Mean Square Error (RMSE): 6.1397
 Absolute Linear Error 90 (LE90): 10.1693
 NIMA Absolute Linear Error 90: +/- 6.0069

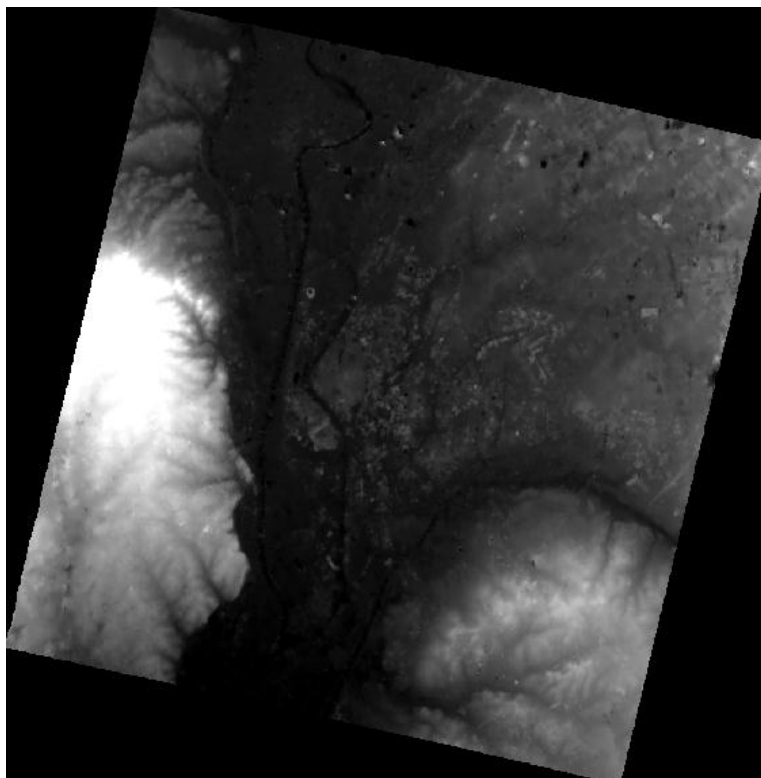


Figure 5. The DTM over Sevilla town

6. Conclusion

The developed rigorous sensor model allows obtaining a subpixel accuracy. Using this model it is possible to trace rays from a set of image points, these rays when intersected a different object space levels permit the creation of a dense set of image/object points which can be used for the determination of RFM parameters.

The parameters of the RFM known as RPC can be written in `_rpc.txt` format or added to the header of NITF file. These RPC can be read by a wide variety of photogrammetric and image analysis softwares.

The use of the RFM to replace the RSM for ALSAT-2A permits the creation of precise georeferenced images, and the creation of accurate DSMs.

7. bibliography

- [1] T. Toutin, R. Chénier, and Y. Carbonneau, "3D models for high resolution images: examples with QuickBird, IKONOS and EROS," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 34, no. 4, pp. 547–551, 2002.
- [2] C. S. Fraser, "Prospects for mapping from high-resolution satellite imagery," *Asian J. Geoinformatics*, vol. 4, no. 1, pp. 3–10, 2003.
- [3] J. Grodecki, G. Dial, and J. Lutes, "Error propagation in block adjustment of high-resolution satellite images," in *ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings*, 2003, pp. 5–9.
- [4] T. Toutin, "Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 25, no. 10, pp. 1893–1924, 2004.

- [5] D. Poli, *Modelling of spaceborne linear array sensors*. Diss., Technische Wissenschaften, Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Nr. 15894, 2005.-Ref.: Armin Grün; Korref.: Ian Dowman, 2005.
- [6] I. Boukerch and H. Bounour, "Geometric modelling and orthorectification of SPOTs super mode images," *Rev. Fr. Photogrammétrie Télédétection*, no. 184, pp. 61–65, 2006.
- [7] L. Chen, T. Teo, and C. Liu, "The geometrical comparisons of RSM and RFM for FORMOSAT-2 satellite images," *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 72, no. 5, p. 573, 2006.
- [8] L. Chen, T. Teo, and L. Liu, "Rigorous georeferencing for Formosat-2 satellite images by least squares collocation," in *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2005, vol. 5, p. 3526.
- [9] L. C. Ke and W. Wolniewicz, "Very High Resolution Satellite Image Triangulation," presented at the Asian Conference on Remote Sensing, Hanoi, Vietnam, 2005.
- [10] H. Jung, S. Kim, J. Won, and D. Lee, "Line-of-Sight Vector Adjustment Model for Geopositioning of SPOT-5 Stereo Images," *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 73, no. 11, p. 1267, 2007.
- [11] T. Weser, F. Rottensteiner, J. Willneff, J. Poon, and C. S. Fraser, "Development and testing of a generic sensor model for pushbroom satellite imagery," *Photogramm. Rec.*, vol. 23, no. 123, pp. 255–274, 2008.
- [12] S. Liu, C. S. Fraser, C. Zhang, M. Ravanbakhsh, and X. Tong, "Georeferencing performance of THEOS satellite imagery," *Photogramm. Rec.*, vol. 26, no. 134, pp. 250–262, 2011.
- [13] ASAL, "2A, Alsat-2A images technical specification." Algerian Space Agency, 2011.
- [14] M. Kameche, A. H. Gicquel, and D. Joalland, "ALSAT-2A transfer and first year operations," *J. Aerosp. Eng.*, vol. 3, no. 2, p. 67, 2011.
- [15] I. Boukerch, M. Hadied, R. Mahmoudi, B. Takarli, and K. Hasni, "Rigorous geometrical modeling of ALSAT-2A Algerian satellite," in *SPIE Remote Sensing*, 2012, p. 85331V–85331V–9.
- [16] I. Boukerch, M. Hadied, R. Mahmoudi, B. Takarli, and K. Hasni, "Rigorous georeferencing of ALSAT-2A panchromatic and multispectral imagery," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. Volume XL-1/W1, pp. 35–39, 2013.
- [17] V. Nagasubramanian, P. Radhadevi, R. Ramachandran, and R. Krishnan, "3D Reconstruction with Rational Function Model," *J. Indian Soc. Remote Sens.*, vol. 36, no. 1, pp. 27–35, 2008.
- [18] Y. Hu, V. Tao, and A. Croitoru, "Understanding the rational function model: methods and applications," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 20, no. 6, 2004.
- [19] C. V. Tao and Y. Hu, "A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing," *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 67, no. 12, pp. 1347–1358, 2001.
- [20] S. Liu, C. S. Fraser, C. Zhang, M. Ravanbakhsh, and X. Tong, "Geometric Accuracy Evaluation Of Theos Imagery," presented at the Asian Conference on Remote Sensing, Hanoi, Vietnam, 2010.

L'application de l'imagerie spatiale pour le cadastre dans les régions steppiques et sahariennes : cas de la wilaya d'El-Bayadh.

Issam BOUKERCH, Mohamed HADEID, Redouane MAHMOUDI, Bachir TAKARLI, Kamel HASNI.

Les cinquièmes journées géographiques algériennes, organisées par le département de Géographie et le Laboratoire EGEAT, Oran. Le 10-11 décembre 2014.

L'application de l'imagerie spatiale pour le cadastre dans les régions steppiennes et sahariennes : cas de la wilaya d'El-Bayadh

BOUKERCH Issam, HADEID Mohamed, TAKARLI Bachir, MAHMOUDI Redouane

Résumé

La superficie de l'Algérie (2.38 millions de kilomètres carrés) et la croissance économique rendent difficiles le suivi et la mise à jour des données cadastrales, essentiellement cartographiques, par les méthodes photogrammétriques et les levés terrestres jusque-là considérés comme les principales sources d'informations géométriques cadastrales.

Il est donc impératif de trouver une solution adéquate pour cadastrer le pays en un temps raisonnable et avec une précision acceptable. Pour cela, une étude pilote initiée par L'Agence Nationale du Cadastre (ANC) en collaboration avec l'Agence Spatial Algérienne (ASAL) sur la wilaya steppique d'El-Bayadh a été lancée. Cette étude s'appuie sur l'utilisation des images satellitaires de SPOT5, ETM+ et des levés par GPS.

Les résultats ont été satisfaisants et nous ont permis de produire des orthoimages dont la qualité géométrique est conforme au standard de réalisation des plans au 1/10 000 à partir des images SPOT5 et d'une couverture totale par des images ETM+ équivalente au 1/200 000. Une méthodologie d'obtention de ces documents a été validée et approuvée par l'ANC.

Après le lancement du satellite ALSAT-2A avec une résolution de 2.5 m, il a été décidé de généraliser la couverture cadastrale sur les régions steppiennes et sahariennes en utilisant les images de ce dernier. Pour ce faire, il était indispensable de développer un modèle géométrique rigoureux propre à ces images permettant une exploitation photogrammétrique assurant une précision géométrique adéquate pour le cadastre. Les résultats obtenus ont permis l'obtention d'une précision subpixelaire sur les images panchromatiques et multispectrales.

Mots-clés : cadastre steppique et saharien, El-Bayadh, SPOT5, ALSAT-2A, précision subpixelaire.

Introduction

Actuellement, l'information sur le territoire fait l'objet de plusieurs recherches par les acteurs de gestion du territoire tel que le service du cadastre et le service de l'urbanisme, dont les tentatives visent parfois à améliorer la procédure générale d'établissement des documents (plans cadastraux, etc.), ou bien à utiliser d'autres données provenant de diverses sources.

Le cadastre est l'ensemble des documents établis méthodiquement sur la base de levés topographiques et destinés à déterminer les biens-fonds d'un territoire entier. Son but est de déterminer toutes les parcelles du territoire pour permettre la protection des droits y afférant.

L'ordonnance N° 75-74 du 12 novembre 1975 a prescrit l'établissement du cadastre général et l'institution du livre foncier. Les conditions d'application de ce texte législatif ont été fixées par le décret N° 76-62 du 25 mars 1976 en ce qui concerne les dispositions relatives à l'établissement du cadastre général, et par le décret N° 76-63 du 25 mars 1976, concernant les dispositions relatives à l'institution du livre foncier.

Cependant, la conduite des opérations dans le cadre de ce dispositif législatif, a fait apparaître des difficultés quant à l'avancement des travaux ce qui a conduit à l'amendement de ces textes par le décret exécutif N° 92-134 du 7 avril 1992, modifiant et complétant le décret N° 76-62 du 25 mars 1976. Ce décret a ramené le dépôt de la totalité de la commune à une ou plusieurs sections et le décret exécutif N° 93-123 du 19 mai 1993, modifiant et complétant le décret N° 76-63 du 25 mars 1976. Ce décret a amené l'immatriculation provisoire de cinq ans à deux ans, et de deux ans à quatre mois.

Les modalités de conduite des opérations de cadastre se font en cinq phases. La première comporte essentiellement l'ouverture de l'opération et la création de la commission cadastrale de délimitation

par arrêté du Wali, la publicité de l'opération et la réunion des documents et plans existants. La deuxième phase consiste est l'opération de délimitation qui consiste à délimiter le territoire communal, lieux-dits, îlots, servitudes..., cette opération est suivie par une phase d'enquête foncière qui comprend constatation du droit de propriété et l'identification des propriétaires suivi par un dépôt réglementaire d'un mois au siège de la commune. La quatrième phase est la tenue de la réunion de la commission cadastrale de délimitation présidée par un magistrat. La phase finale est remise des documents cadastraux à la Conservation Foncière (CF) pour l'immatriculation et la remise d'un livret foncier au propriétaire.

La superficie du territoire national est de 238.2 millions d'Hectares. Cette surface est composée essentiellement (95 %) du domaine public et privé de l'état d'une superficie de 226.4 M Ha. Le reste est considéré comme des zones utiles à cadastrer (population, activité économique, activité agricole...) d'une superficie de 11.8 M Ha, dans ces zones on trouve 11.4 M Ha rurales et 0.4 M Ha d'urbain. La Surface Utile Agricole (SAU) représente 75 % des zones utiles à cadastrer en priorité et 85 % de la SAU sont concentrées dans 24 Wilayas (nord et hauts plateaux). Sur un territoire de 200 M Ha à cadastrer en priorité dans le sud, il n'y a que 476 000 Ha de zones utiles à cadastrer le reste est désertique (Adrar, Béchar, Biskra, El Bayadh, El Oued, Ghardaia, Illizi, Naama, Ouargla, Tamanrasset, Tindouf) [1].

Contexte/problématique

Le bilan des travaux de cadastre du 31/12/2007 montre que la surface totale cadastrée est de 7 M ha. Cela représente environ 60 % des superficies à cadastrer (zones utiles), mais seulement 3 % de la superficie du territoire national [1]. Les choix, jusque-là, faits pour cadastrer le pays, en matière de moyens classiques (photogrammétrie et levé terrestre) avec les échelles de représentation (1/500ème, 1/1000ème pour les zones urbaines et 1/2500ème, 1/5000ème pour les régions rurales), s'avèrent adaptés pour le nord du pays, mais inadéquats pour la partie sud (hauts plateaux et grand-sud) [2].

Ce retard est dû essentiellement à des contraintes techniques et méthodologiques ; comme exemple de ces contraintes on trouve le format du papier utilisé par le cadastre qui est de 76x51, 4 cm, avec une échelle fixe de 1/5 000 dans les zones rurales, il résulte de ceci qu'un territoire de superficie limitée peut être représenté sur une seule feuille. Ce choix technique pose problème dans le cas des grandes étendues appartenant au domaine public de l'état dans les communes steppiques et sahariennes qui ne peuvent pas être représentées sur ce format et avec cette échelle.

L'exploitation des nouvelles technologies en matière de production et gestion de l'information géographique comme le GPS, SIG et l'imagerie satellite de haute résolution (Alsat-1, Aster ou ETM+) et très haute résolution (Alsat-2A, Spot5, Ikonos et Quickbird) à permis au cadastre algérien de définir un troisième type de couverture appelé « Cadastre steppique et saharien », qui s'ajoutera aux deux premiers types déjà existants, à savoir le « cadastre urbain » et le « cadastre rural ». Ce nouveau type de cadastre a pour objectif d'achever la couverture cadastrale des zones sahariennes et steppiques dans les délais les plus courts et ainsi « protéger le domaine de l'état » [3], [4].

La couverture de la wilaya d'El Bayadh

Un projet pilote a été réalisé sur la commune d'El Bayadh qui est caractérisée par une couverture représentative de la steppe, grandes étendues dépourvues de détails (un des problèmes majeurs du cadastre), une topographie variable, richesse thématique (territoires de mise en défend, surfaces agricoles d'étendue variable...).

Pour cette étude sur la commune une image SPOT5 de résolution 2.5m a été utilisée, cette image est équipée par 21 points GPS (obtenus lors d'une mission de 3 jours sur terrain). Dans ce projet l'imagerie SPOT5 et les points GPS ont été utilisés pour réaliser la spatio-cartographie au 1/10 000 de la commune d'El Bayadh[4].

Les résultats sur la commune El Bayadh ont permis d'arrêter la méthodologie et le processus technique les mieux adaptés (choix de l'imagerie, conformité des travaux de terrain, respect des précisions...) pour la production des spatiocartes en vue des opérations de cadastre en régions steppiques et sahariennes[5].

Au vu des résultats obtenus, l'ANC a décidé de généraliser cette approche sur l'ensemble de la wilaya. La wilaya d'El Bayadh qui compte 22 communes et s'étend entre les longitudes $\lambda=0^{\circ}25'$ ouest et $\lambda=2^{\circ}22'$ et les latitudes $\varphi=30^{\circ}41'$ et $\varphi = 34^{\circ}27'$ et couvrant une superficie de 7 169 665 Ha. Après plusieurs réunions avec les organisations qui jouent un rôle dans la production de l'information géographique en l'occurrence le Centre Techniques Spatiales/Agence Spatiale Algérienne (aspect scientifique), l'Agence Nationale du Cadastre (utilisateur/production), l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (Production), il a été décidé de produire une carte de base au 1/200 000, pour cela des images ETM+ avec une résolution de 14.25 m sont utilisées, l'orthoimage produite est utilisée pour le précadastre dans les zones steppiques (nord) et comme plan cadastral dans le sud (la région saharienne). Pour la couverture des zones habitées (zone d'intérêt), il a été décidé que toutes les régions dans un périmètre de 40 km aux tours des chefs-lieux de communes sera couvert par des images de résolution de 2.5 m en mode couleur, des images SPOT5 ont été choisies pour couvrir ces zones avec des orthoimages à l'échelle de 1/10 000. L'ensemble du bloc se compose de 8 images ETM+ pour la spatiocarte à l'échelle de 1/200 000, et 18 images SPOT5 de 2,5 m de résolutions, pour produire des plans cadastraux au 1/10 000 (Figure 1), avec des levés par GPS de 67 points d'appui nécessaires au traitement photogrammétrique des blocs.

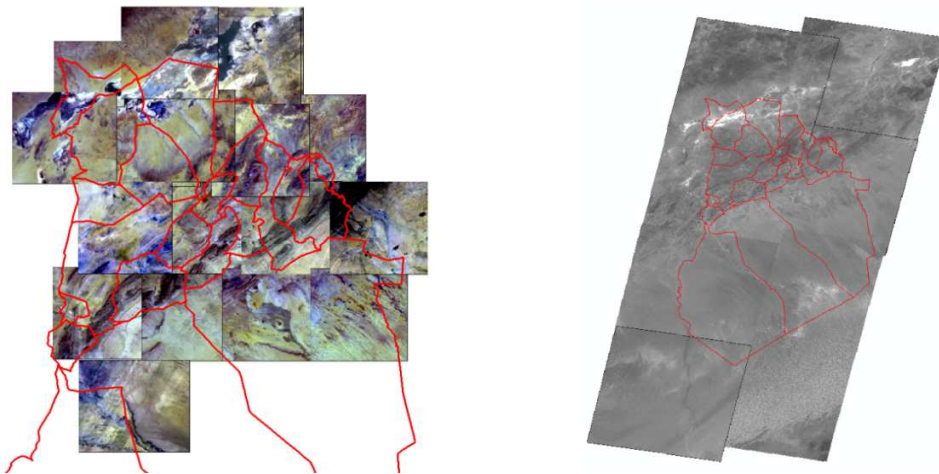


Figure. 1. a. Block d'images SPOT5

b. Block d'images ETM+

Les produits obtenus sont contrôlés initialement dans leurs aspects visuels (les couleurs, la continuité des détails sur les zones de recouvrement), et dans une deuxième étape la précision géométrique est évaluée.

Les précisions géométriques

Le standard NMAS

Le choix d'un standard pour l'évaluation géométrique est une tâche importante car elle influe directement sur le temps et le coût d'exécution. A la lumière des résultats d'étude sur la commune d'El Bayadh et en tenant en compte des spécificités de la région notre contrôle s'est fait selon les standards définis dans « United States National Map Accuracy Standards » (NMAS) appliqués aux états unis . Pour l'échelle 1/10 000 exigée par l'ANC, ce standard exige une tolérance $CE_{90}=8.47m$ [6]–[8].

L'évaluation de la qualité des orthoimages

Pour le contrôle de la qualité, on a utilisé des points déterminés par GPS, les travaux sur terrain ont été réalisés conjointement par le Centre des Techniques Spatiales (CTS) et le service du cadastre de la wilaya d'El Bayadh entre le 27 avril et le 08 Mai 2009 pour l'observation de 67 points.

Tableau 1. Les précisions de la mosaïque d'images ETM+ (17 points GPS)

	Dx(m)	Dy (m)	Dr (m)
Moyenne	32,636	-9,538	35,976
EMQ	11,768	14,499	14,210

$\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$	0,812
CE90	30,494
Echelle Max	60028,247

Tableau 2. Les précisions de la mosaïque d'images SPOT5 (62 points GPS)

	Dx(m)	Dy (m)	Dr (m)
Moyenne	0,812	2,585	4,270
EMQ	2,935	2,871	2,400

$\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$	0,978
CE90	5,150
Echelle Max	6082,466

Dx et Dy sont les erreurs selon les directions X et Y respectivement, et Dr est l'erreur radiale. Sur l'orthoimage d'ETM+ l'EMQ est de 14.21 m, avec un $\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ de 0.812 ce qui indique que l'erreur est proche de circulaire donc l'inexistence de biais selon X et Y. l'indice CE90 est de 30.494 m ce qui permet de produire des plans à une échelle de 1 /60 028 ou moins. Concernant SPOT5 l'EMQ est de 2.4 m, $\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ de 0.978 et CE90 de 5.15 m ces valeurs nous permettent de produire à une échelle maximale de 1/6083 [5].

Traitement final et édition

Transformation en couleurs pseudo-naturelles

On désigne par le terme "couleur pseudo-naturelle" des couleurs construites à partir de bandes spectrales originales pour approximer l'apparence visuelle des objets qu'on voit dans la nature (végétation en vert, eau en bleu... etc.). La raison principale pour la visualisation en couleur pseudo naturelle peut être l'esthétique de l'image, ou l'interprétation des documents par des utilisateurs non habitués aux images en fausse couleur [9].

SPOT5 ne prend pas une image dans la bande bleu, d'où l'impossibilité de créer des orthoimages en couleurs naturelles. Vu que les utilisateurs du produit final sont des agents du cadastre sur le terrain, la présentation des orthoimages en couleurs pseudo-naturelles devient indispensable.

Le principe est de calculer par moindres carrés une transformation entre l'image fausse couleurs (proche infrarouge, rouge et vert) vers des couleurs pseudo-naturelles en ce basant sur l'interprétation.

L'équation de cette transformation est : $CPN = L_1PIR + L_2R + L_3V$; avec

PIR : La valeur de proche infrarouge. R = La valeur du rouge. V = La valeur du vert. CPN = Couleur pseudo-naturelle.

Après la résolution de ce système par moindres carrés, on a obtenu les paramètres suivants [5], [9] : $CPN-R = R$; $CPN-V = V$; $CPN-B = -0.21 * PIR - 0.095 * R + 0.7 * V$



Figure 2. L'image originale et l'image après transformation en couleurs pseudo-naturel

Édition et tirage

Pour le tirage en édition papier des coupures en 90*100 cm ont été utilisées pour des échelles de 1/50.000 et 1/200.000, ce qui a donné 29 feuilles de 1/50.000 et 4 feuilles de 1/200.000. L'édition en papier va être utilisée pour le terrain et pour la remise en conservation foncière.

Un autre découpage des mosaïques est fait selon les limites communales avec un buffer de 2km pour permettre la correction des limites communales, cette édition est numérique et va servir comme base pour la collecte des données et fond cartographique du système d'information géographique du cadastre.

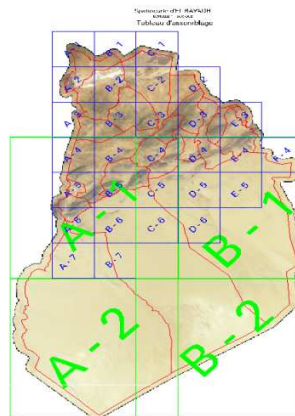


Figure 3. Cartogramme des feuilles au 1/50.000 (bleu) et 1/200.000 (vert)

Généralisation

Suite à la mise en service des produits issus de l'imagerie satellitaire, et l'évaluation de ces documents par les experts du cadastre ; l'ANC a décidé de généraliser cette approche pour couvrir l'ensemble de 198 communes appartenant à 20 wilayas steppiques et sahariennes.

Cette opération nécessite l'engagement de très grands moyens financiers, techniques et humains. Pour cela l'ANC a lancé un plan de formation de 20 agents en traitement d'images satellitaires et l'utilisation du GPS pour la production des orthoimages.

L'identification des zones à couvrir sur l'ensemble du territoire national selon le critère de 40 km autour des chefs-lieux a donné une couverture de 478 437 km² par des orthoimages d'une résolution de 2.5m, cela se fera avec les images du satellite algérien ALSAT-2A.

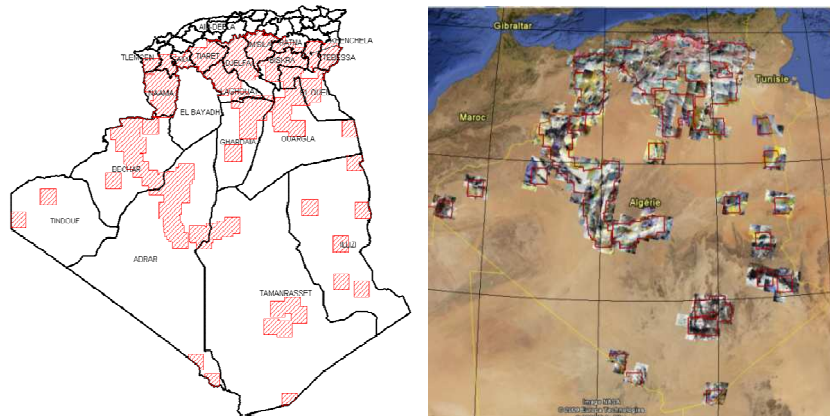


Figure 4. Zones à couvrir en orthoimages de résolution 2.5m et les positions d'images SPOT5

Le satellite ALSAT-2A

ALSAT-2A a été mis en orbite le 12 juillet 2010 à partir de la station de lancement Sriharikota (Inde) par le lanceur PSLV-C15, ALSAT-2A prend des images à une altitude de 680 km sur une orbite héliosynchrone, avec une période orbitale de 98.2 min et un cycle orbital de 29 jours [10], [11].

Le satellite ALSAT-2A possède deux capteurs, panchromatiques et multi-spectrales sur quatre bandes à savoir le bleu, le vert, le rouge et l'infra rouge. L'image panchromatique est acquise avec une résolution spatiale de 2.5 m et une fauchée au nadir de 17.5 km. Les bandes multi-spectrales ont une résolution de 10 m avec la même fauchée.

L'exploitation du système ALSAT-2A est une tâche primordiale ayant un intérêt substantiel tant technologique qu'économique ce qui assure le renforcement de l'autonomie en termes de couverture par des données satellitaires.

Mais l'utilisation des images ALSAT-2A pour la production des orthoimages ou autres produits ayant une qualité métrique nécessite une connaissance précise des caractéristiques géométriques du système imageur.

La qualité géométrie d'ALSAT-2A

Dans cette partie la qualité géométrique des images ALSAT-2A est discutée. Initialement un test sur la précision absolue est effectué, suivi par l'application d'une correction géométrique de premier ordre pour éliminer les biais, sur la base de ces résultats il s'est avéré indispensable le développement d'un modèle géométrique rigoureux propre à ALSAT-2A permettant d'atteindre une précision subpixelaire.

Test sur la précision absolue

Nous avons utilisé 9 points de précision centimétrique collectés lors d'une mission sur terrain en utilisant des GPS géodésiques en mode relatif et des images ALSAT-2A du 07/02/2011 de niveaux de traitement 1A et 2A en mode panchromatique et multi spectrale de résolution 2.5 m et 10 m respectivement sur la commune d'EL BAYADH[12].

Les images 1A sont des images brutes destinées à l'utilisation photogrammétrique et les images 2A sont les images projetées destinées pour le positionnement rapide.

Cette mesure indique la précision de localisation sur l'image telle qu'elle est acquise sans aucune correction [13].

Dans ce test les 9 points GPS sont piqués sur les images panchromatiques de niveau 1A et 2A. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 3.

Tableau 3. : La précision absolue des niveaux 1A et 2A.

		Dx (m)	Dy (m)	Dd (m)
1A	Moy	165,207	370,306	405,686
	EMQ	10,977	36,901	36,058
2A	Moy	153,8037	315,622	351,317
	EMQ	14,001	32,982	33,418

Les résultats dans le tableau 3 indique que les précisions géométriques des deux produits 1A et 2A sont équivalents, donc le niveau 2A ne présente aucune valeur ajoutée sur le plan de la précision, néanmoins ces images sont projetées et les coordonnées sont mesurées directement en mètres. Les écarts entre les 9 points de vérification et leurs homologues sur les images brutes présentent une moyenne élevée et un écart moyen quadratique relativement faible, cela indique que ces mesures sont entachées d'erreurs systématiques et leur élimination améliore considérablement la qualité de positionnement sur l'image.

L'élimination du biais

Les résultats obtenus indiquent qu'un biais est présent sur les mesures effectuées sur ces images. Pour cela l'image de niveau 2A a été corrigé en utilisant une transformation plane affine de premier ordre [14], [15], cette transformation prend en charge les défauts de translation, rotation, facteurs d'échelles différentiels et la non-perpendicularité entre les axes (Eq.1)

$$r = L_1 X + L_2 Y + L_3$$

$$c = L_4 X + L_5 Y + L_6$$

(1)

Où : r,c : les coordonnées images du point / X,Y : les coordonnées terrain du point /

Li : sont les coefficients de transformation

Les résultats obtenus en utilisant les mêmes points après transformation sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4 : La précision du niveau 2A après l'élimination du biais.

		Dx (m)	Dy (m)	Dd (m)
2A	Moy	0	0	28,453
	EMQ	14,001	32,982	19,604

Cette transformation donne une moyenne nulle d'erreurs se qui montre qu'on peut éliminer les biais, mais la précision du document reste d'une qualité inférieure (19.6 m) relativement à la résolution de 2.5m. Cela nous oblige à développer un modèle géométrique rigoureux qui tient en compte la réalité physique de la prise de vue (Terrain / satellite / camera).

Modèle géométrique rigoureux d'ALSAT-2A

Un satellite à orbite polaire se déplace habituellement le long d'une orbite bien définie de forme elliptique proche de circulaire. Tous les points d'exposition de la ligne de balayage (pushbroom) seraient donc contraints sur cette trajectoire. Pour un arc court de l'orbite, l'hypothèse d'une orbite de "deux corps" peut être utilisée. Cela peut être paramétré avec les six éléments du vecteur d'état ou de façon équivalente, six éléments Kepler [16]–[18]

Pour l'attitude initiale du capteur, on peut supposer que la prise de vue est faite selon le nadir, mais en raison de l'agilité, une interpolation entre le début et la fin des attitudes est plus appropriée, donc, une attitude interpolée sera affectée pour chaque ligne de balayage [17], [18].

Sur la base de l'analyse des métadonnées fournies avec l'image ALSAT-2A, un modèle rigoureux de la caméra à balayage peut être développé. Ce modèle a été appliqué avec succès à de nombreux systèmes d'imagerie à très haute résolution [13], [16], [19]–[22].

La relation entre les points dans un système de coordonnées géocentrique et son point homologue projeté dans système de coordonnées image peut être exprimée comme suit [10], [17], [23] :

$$P_{img} = \lambda M_r \left[P_{grd} - \left[M_{orb-itr}^T (P_K + P_C) \right] \right] \quad (2)$$

Tel que P_{img} est le vecteur de coordonnées image, P_{grd} est le vecteur de coordonnées terrain, P_K est le vecteur du centre de la Terre vers le satellite sur le plan orbital, $M_{orb-itr}$ est la matrice permettant de rendre le ITRF (International Terrestrial Reference Frame) parallèle à au système de coordonnées orbital, P_C est le vecteur de correction de position, M_r est la matrice de rotation entre le ITRF et le repère camera, λ est un facteur d'échelle (voir la figure 5).

Cette équation est résolue par la méthode des moindres carrés itérative où les paramètres inconnus sont les paramètres képlériens de l'orbite ainsi que les coefficients du polynôme de correction de positions et d'attitude.

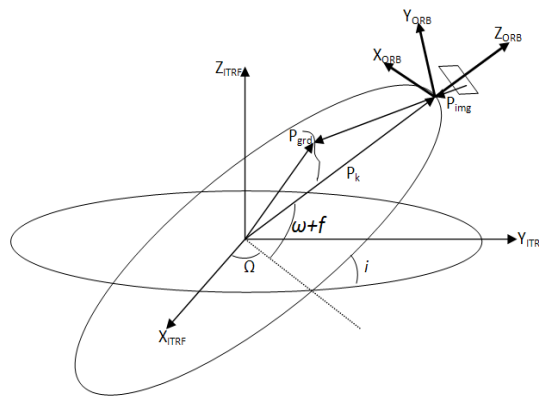


Figure 5. La relation géométrique entre l'image et un point sur terrain.

Le modèle élaboré en se basant sur l'équation 2 utilise une fonction polynomiale du second ordre de temps pour la modélisation des erreurs de la position et de l'attitude du satellite. Le programme développé sous MATLAB offre la possibilité de modifier les ordres des polynômes, de sorte que différents groupes de variables sont testés [10], [23].

L'utilisation des polynômes du second degré pour la correction d'attitude et la position donne 0,646 et 0,766 pixel comme EMQ de résidus sur les points de contrôle en planimétrie [23], ainsi qu'une précision de 1.69 m en verticale [10]. Dans d'autres expériences, ce modèle géométrique est utilisé pour le géoréférencement des images multi-spectrales. Les précisions estimées sur les points de contrôle a montré qu'on peut atteindre 0.6251 et 0.8068 pixel selon x et y [23], [24]. Pour utiliser ce modèle dans des logiciels de traitement d'image, et donc faciliter son utilisation sans avoir l'intégrer dans un logiciel commercial on a étudié la possibilité de générer un RFM (Rational Function Model) équivalent [13], [25] à partir du modèle rigoureux. La génération du RFM a donné des précisions subpixelaire ce qui a permis la création d'orthoimages et des MNT de haute qualité géométrique en utilisant des logiciels commerciaux de traitement d'image[24].

Conclusion

Le cadastre est l'ensemble des documents établis méthodiquement sur la base de levés topographiques et destinés à déterminer les biens-fonds d'un territoire entier, son établissement en Algérie enregistre un retard notable. Ce retard est dû essentiellement à des contraintes techniques et méthodologiques.

Une étude pilote sur la commune d'El bayadh a permis d'établir une méthodologie pour le cadastre steppique et saharien en se basant sur la spatiocartographie. Cette méthodologie est ensuite évaluée sur l'ensemble de la wilaya en utilisant 18 images Spot5 et 8 images ETM+. Les orthoimages à très haute résolution seront destinées à la production de l'information à une échelle de 1/10 000.

Suite à la mise en service des produits issus de l'imagerie satellitaire et l'évaluation de ces documents par les experts du cadastre ; l'ANC a décidé de généraliser cette approche pour couvrir

l'ensemble de 198 communes appartenant à 20 wilayas steppiques et sahariennes. L'identification des zones qui seront touchées par cette opération a donné une couverture de 478 437 km² par des orthoimages d'une résolution de 2.5m.

Vu le coût élevé de cette opération l'exploitation du système ALSAT2-A est une tâche primordiale. Mais l'emploi de ces images reste contraint par la précision géométrique qu'on peut atteindre. La précision absolue montre la présence de biais important. Le calage de l'image par une transformation affine réduit le biais, mais la précision est de l'ordre de 20 m.

Sur la base de ces résultats, le développement d'un modèle géométrique rigoureux propre à ALSAT-2A a permis d'atteindre une précision subpixelaire. Ce modèle a été programmé sous MATLAB et a permis d'atteindre une précision de 0,646 pixel (1.615 m) et 0,766 pixel (1.915 m) en X et Y (horizontale) et 1.69 m en verticale pour les images panchromatiques. Le géoréférencement des images multispectrales avec ce modèle donne 0.625pixel (1,563 m) et 0.807 pixel(2.018 m). Afin d'utiliser le modèle résultant vers d'autres logiciels on a programmé un module qui permet d'exporter en RFM avec une précision subpixelaire.

Bibliographie

- [1] M. CHAIB and A. MEZNER, "Instrument technico-juridique pour l'assainissement de la situation foncière des terres du territoire national," presented at the Séminaire régional sur la problématique du foncier dans le développement socio-économique local, BISKRA, 2008.
- [2] "Instruction n° 16 du 24 mai 1998 relative à la conduite des opérations cadastrales et d'immatriculation foncière." Ministère des Finances Agence, Nationale du Cadastre, 1998.
- [3] I. BOUKERCH, M. CHAIB, and A. Omarane, "Réalisation du cadastre steppique et saharien de la wilaya d'El Bayadh par utilisation de l'imagerie satellitaire à haute résolution," in *Actes de l'atelier scientifique et technique sur «L'Outil spatial au service du développement»*, 2009.
- [4] I. BOUKERCH and M. CHAIB, "Élaboration du cadastre steppique et saharien en Algérie grâce à l'outil spatial," in *Conférence Africaine sur les Sciences et Technologies Spatiales au Service du Développement Durable*, 2009.
- [5] I. BOUKERCH, B. Takarli, K. AARIZOU, M. HADEID, H. DEKKICH, and H. ABBAS, "The 'spatio-cadaster' a solution for the Algerian steppe and saharian regions cadastral works," *Proceedings - Symposium GIS Ostrava 2010*, Jan. 2010.
- [6] F. G. D. Committee, "Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy," *Subcommittee for Base Cartographic Data*, 25p, 1998.
- [7] C. R. Greenwalt and M. E. Shultz, "Principles of error theory and cartographic applications," AERONAUTICAL CHART AND INFORMATION CENTER, ST LOUIS MO., No. ACIC-TR-96, 1962.
- [8] P. A. Handbook, "Using the National Standards for Spatial Data Accuracy to measure and report geographic data quality," *Minnesota Planning Land Management Information Center*, 1999.
- [9] A. DJILALI and I. BOUKERCH, "cartographie spatiale - applications cartographiques des images satellitaires Panorama méthodologique," in *journées scientifiques 20eme anniversaire de la création CTS.*, arzew, 2007.
- [10] I. Boukerch, M. Hadied, R. Mahmoudi, B. Takarli, and K. Hasni, "Rigorous geometrical modeling of ALSAT-2A Algerian satellite," in *SPIE Remote Sensing*, 2012, p. 85331V–85331V–9.
- [11] M. Kameche, A. H. Gicquel, and D. Joalland, "ALSAT-2A transfer and first year operations," *Journal of Aerospace Engineering*, vol. 3, no. 2, p. 67, 2011.
- [12] I. BOUKERCH and M. El MAOUHAB, "Utilisation des données Alsat-2A pour l'élaboration du cadastre steppique et saharien ; Wilaya d'El Bayadh," *Atelier ALSAT.2A Utilisateurs*, ALGER, 2011.

- [13] D. Poli, *Modelling of spaceborne linear array sensors*. Diss., Technische Wissenschaften, Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Nr. 15894, 2005.-Ref. : Armin Grün; Korref.: Ian Dowman, 2005.
- [14] B. TAKARLI, I. BOUKERCH, A. DJILALI, and M. HADEID, "SPATIOMAP generation from SPOT 5 super mode images," *Proceedings - Symposium GIS Ostrava 2010*, Jan. 2010.
- [15] T. Toutin, R. Chénier, and Y. Carbonneau, "3D models for high resolution images: examples with QuickBird, IKONOS and EROS," *international archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences*, vol. 34, no. 4, pp. 547–551, 2002.
- [16] H. Jung, S. Kim, J. Won, and D. Lee, "Line-of-Sight Vector Adjustment Model for Geopositioning of SPOT-5 Stereo Images," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 73, no. 11, p. 1267, 2007.
- [17] I.-S. Jeong, *Resolving parameter dependencies in satellite sensor models*. Purdue: Phd Diss, Purdue University, 2008.
- [18] I. Jeong and J. Bethel, "Trajectory modeling for satellite image triangulation," *the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing*, 2008.
- [19] L. Chen, T. Teo, and L. Liu, "Rigorous georeferencing for Formosat-2 satellite images by least squares collocation," in *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2005, vol. 5, p. 3526.
- [20] L. Chen, T. Teo, and C. Liu, "The geometrical comparisons of RSM and RFM for FORMOSAT-2 satellite images," *Photogrammetric engineering and remote sensing*, vol. 72, no. 5, p. 573, 2006.
- [21] L. C. Ke and W. Wolniewicz, "Very High Resolution Satellite Image Triangulation," presented at the Asian Conference on Remote Sensing, Hanoi, Vietnam, 2005.
- [22] T. Weser, F. Rottensteiner, J. Willneff, J. Poon, and C. S. Fraser, "Development and testing of a generic sensor model for pushbroom satellite imagery," *The Photogrammetric Record*, vol. 23, no. 123, pp. 255–274, 2008.
- [23] I. Boukerch, M. Hadied, R. Mahmoudi, B. Takarli, and K. Hasni, "Rigorous georeferencing of ALSAT-2A panchromatic and multispectral imagery," in *international archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences*, 2013, vol. Volume XL-1/W1, pp. 35–39.
- [24] I. Boukerch, M. Hadeid, R. Mahmoudi, B. Takarli, and K. Hasni, "Geometry Based Co-Registration of ALSAT-2A Panchromatic and Multispectral Images," *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, pp. 1–7, 2014.
- [25] I. Boukerch and H. Bounour, "Geometric modelling and orthorectification of SPOTs super mode images," *Revue française de photogrammétrie et de télédétection*, no. 184, pp. 61–65, 2006.

Tables des matières

SOMMAIRE	1
INTRODUCTION GENERALE	4
PREMIERE PARTIE : UN CONTEXTE GEOGRAPHIQUE PARTICULIER QUI NECESSITE UN CADASTRE PARTICULIER	16
Chapitre I Présentation de la zone d'étude	17
1 Situation Géographique	17
2 Milieu physique	17
2.1 Les ensembles morphologique	17
3 Cadre climatique	20
3.1 Les précipitations	20
3.2 Les Températures	22
3.3 L'humidité relative	23
3.4 La synthèse bioclimatique	23
3.4.1 Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953)	23
3.4.2 Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger	24
3.4.3 Le Classement climatique de Köppen-Geiger	25
3.4.4 Synthèse du cadre climatique	27
4 Cadre Géologique et Géomorphologique	28
4.1 La géologie	28
4.1.1 Les Hautes Plaines Steppiques	28
4.1.2 L'Atlas Saharien	29
4.1.3 La plate forme saharienne	29
4.2 La géomorphologie	32
4.2.1 Les djebels, collines et sommets	32
4.2.2 Les surfaces plus ou moins planes	32
4.2.3 Les dépressions	33
5 L'occupation des sols	33
5.1 Les groupements forestiers et pré-forestiers	33
5.2 Les formations steppiques	35
	354

Table des matières

5.2.1 Steppes à alfa (<i>stipa tenacissima</i>)	35
5.2.2 Steppes à armoise blanche (<i>Artemisia herba alba</i>)	36
5.2.3 Steppes à sparte (<i>Lygeum spartum</i>)	36
5.2.4 Steppes à drinn (<i>Aristida pungens</i>)	37
5.2.5 La steppe halophile	37
5.3 Les jachères et les cultures	37
6 Cadre socio-économique	38
6.1 Démographie	38
6.2 Population et activités	40
6.3 L'habitat	42
6.4 Les infrastructures de communications	43
6.5 L'industrie	44
6.6 Le potentiel agro-pastoral	44
6.6.1 L'agriculture	44
6.6.2 L'élevage	46
7 Le cadre foncier et les réserves foncières de la wilaya	47
8 Conclusion du premier chapitre	49
Chapitre II L'analyse du cadastre Algérien	50
1 Quelques définitions du cadastre	50
2 L'historique du cadastre	51
3 But et missions du cadastre	52
4 Les usages de l'information cadastrale	53
4.1 Les besoins des différents acteurs en information cadastrale	54
5 L'historique du cadastre en Algérie	57
6 Le cadastre en Algérie	63
6.1 Organisation de la documentation cadastrale	65
6.1.1 Le plan cadastral	66
6.1.2 Les registres	69
6.2 L'orthophotoplan	70
6.2.1 Définition	71
6.2.2 Les avantages de l'orthophoto	71
6.2.3 vérification des orthophotoplans	72
6.3 Définition du rural et de l'urbain dans le cadastre	76
6.4 Les zones non cadastrables	76
6.5 Le domaine privé de l'État	77
6.6 Délimitation des dépendances du domaine public	79

Table des matières

7 Le bilan du cadastre algérien avant et après le lancement du cadastre steppique et saharien	80
8 Les objectifs internationaux et l'initiative « Cadastre 2014 »	84
8.1 Définition	85
8.2 Les six déclarations de l'initiative Cadastre 2014	86
8.3 La situation des déclarations du Cadastre 2014 en Algérie	89
9 Conclusion du deuxième chapitre	91

DEUXIEME PARTIE : L'IMAGERIE SATELLITAIRE AU SERVICE DU CADASTRE 93

Chapitre I L'imagerie spatiale comme source de l'information géographique	94
1 Historique de l'imagerie	94
2 Caractéristiques des images satellitaires	95
2.1 Résolution spatiale	96
2.2 Résolution spectrale	97
2.3 Résolution temporelle	97
2.4 Résolution radiométrique et résolution numérique	97
3 Les satellites Landsat	98
4 Satellite pour observation de la terre - SPOT:	99
4.1 Première génération SPOT 1, 2, 3	100
4.2 Deuxième génération SPOT-4	100
4.3 Troisième génération SPOT-5	100
4.4 Niveaux de traitement des images SOPT-5	100
5 Le programme ALSAT	102
5.1 ALSAT-1	102
5.2 ALSAT-2A	103
5.2.1 Caractéristiques du satellite Alsat-2A	103
5.2.2 Niveaux de traitements des images Alsat-2A	104
6 Conclusion du premier chapitre	106
Chapitre II L'image satellitaire au service de la cartographie cadastrale	107
1 La production cartographique et l'image satellitaire	107
2 L'imagerie spatiale au profit du cadastre	108
3 Le contenu informatif de l'image	110
3.1 La relation résolution - échelle	111

3.2 Autres facteurs influant sur l'interprétation	114
4 Orthorectification et spatio-cartographie	115
4.1 Les distorsions	116
4.1.1 La projection conique et orthogonale	116
4.1.2 La différence entre l'image et la photographie	117
4.1.3 Les déformations	117
4.2 Chaîne de traitement en spatio-cartographie	120
4.2.1 Acquisition des images satellitaires et stéréopréparation	120
4.2.2 Spatiotriangulation	121
4.2.3 Modèle numérique de terrain et l'orthorectification	121
4.2.4 Mosaïquage des images	121
4.2.5 Traitement radiométrie et amélioration des contrastes	121
4.2.6 Extraction des feuillets cartographiques	121
4.2.7 Superposition de grille ou carroyages	122
4.2.8 Evaluation de la qualité de la spatio-carte	122
5 La modélisation géométrique des systèmes spatiaux	123
5.1 Introduction	123
5.2 Les modèles implicites	124
5.2.1 Les modèles planimétriques	124
5.2.2 La DLT (Direct linear Transformation)	125
5.2.3 Le modèle affine	126
5.2.4 Le modèle perspectif parallèle	126
5.2.5 Le modèle polynomial 3D	127
5.2.6 Le modèle RFM 3D (fonction rationnelle)	128
6 Les procédures de l'orthorectification	134
6.1 Le redressement différentiel	134
6.2 La méthode directe (top down method)	134
6.3 La méthode indirecte (bottom up method)	135
7 Evaluation de la qualité géométrique	135
7.1 Qu'est-ce que la précision de positionnement ?	136
7.1.1 Erreurs et fautes	136
7.1.2 Précision et exactitude	137
7.2 Normes et standard de contrôle de qualité géométrique dans le monde	139
7.2.1 NMAS	139
7.2.2 ASPRS	140
7.2.3 NSSDA	141

7.2.4 Définition des points et leurs distributions	142
7.2.5 AMSDAS	143
8 Conclusion du deuxième chapitre	144
4 TROISIEME PARTIE : LE CADASTRE STEPPIQUE ET SAHARIEN D'EL BAYADH ET LA PROBLEMATIQUE DE GENERALISATION	146
Chapitre I Étude pilote sur la commune d'El Bayadh	147
1 Introduction	147
2 Processus suivi pour la réalisation de la spatiocarte	147
3 Description des données utilisées	149
4 La mission GPS pour la collecte des points d'appui	151
5 Prétraitement des données	152
6 Génération du modèle numérique de terrain	152
7 Génération des orthoimages	153
7.1 Le modèle de correction géométrique	153
7.2 Définition des normes cartographiques	155
8 Contrôle de la qualité géométrique des orthoimages	157
9 Résultats et discussion	157
9.1 Échelle de restitution	157
9.2 Analyse des superficies	158
10 Transformation en couleurs pseudo-naturelles	159
10.1 Calcul de transformation par moindres carrées	160
11 Propositions pour la conduite des travaux de cadastre	161
11.1 Délimitation sur produits numériques (digitalisation sur écran)	161
11.2 Edition de la spatiocarte pour les travaux de terrain	162
11.3 Avantages	162
11.4 Premières propositions	162
11.4.1 Etablissement d'un plan d'ensemble du périmètre urbain de la commune	163
11.4.2 Opération de délimitation, en milieu rural	163
11.4.3 Délimitation du domaine public, en zones rurales	163
11.4.4 Autres produits	164
12 Conclusion du premier chapitre	164
Chapitre II La couverture cadastrale de la willaya d'el Bayadh	165
	358

Table des matières

1 Introduction	165
2 Stéréopréparation	167
3 Génération des orthoimages SPOT-5	170
3.1 Comparaison des MNT	170
3.1.1 ASTER GDEM	171
3.1.2 SRTM	171
3.1.3 Résultats de la comparaison	172
3.2 Comparaison des sources des points d'appui	174
3.2.1 Référence 3D	175
3.2.2 Test sur un mini-bloc	177
3.3 Comparaison entre les logiciels	180
3.3.1 ERDAS LPS	180
3.3.2 Geoview	180
3.3.3 Choix entre ERDAS LPS et Geoview	181
3.4 Test sur l'utilisation d'ERDAS LPS	182
3.5 Test sur l'utilisation de GeoView	184
4 Le mosaïquage	186
5 Traitement des images ETM+	190
5.1 Regroupement des canaux et fusion d'images	191
5.2 Le mosaïquage des images ETM+	192
5.3 Évaluation de la qualité géométrique	193
6 Édition et tirage	194
7 La généralisation de l'étude sur la willaya aux zones steppiques et sahariennes algériennes	197
7.1 La Productivité	200
8 Conclusion du deuxième chapitre	203
Chapitre III Alsat-2A comme une alternative technico-économique	205
1 Introduction	205
2 La modélisation géométrique	206
2.1 Le Modèle rigoureux	206
2.1.1 Généralités	206
2.1.2 Les métadonnées	208
2.2 La colinéarité	209
2.3 Les systèmes de coordonnées	213
2.4 L'orientation interne	214
2.4.1 Description de la caméra ALSAT-2A	214
	359

Table des matières

2.4.2 Paramètre d'orientation interne	215
2.5 Orientation externe et mise en équation du modèle rigoureux	217
2.6 L'ajustement par faisceaux	222
3 Tests et résultats sur la modélisation géométrique	223
3.1 Description des données	223
3.2 Tests sur la précision absolue	225
3.3 Test sur le modèle géométrique générique	226
3.4 Test sur l'influence de la correction des paramètres d'orientation interne	227
3.5 Test sur les groupes de paramètres	229
3.6 Test sur le choix optimal des groupes de paramètres	232
3.7 Test sur le nombre des PA et leurs distributions	234
3.8 Test sur le géoréférencement des images multispectrales	236
3.9 Test sur la génération d'un RFM équivalent au modèle rigoureux	238
4 Conclusion du troisième chapitre	242
5 CONCLUSION GENERALE	246
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	253
ANNEXE 1: VALIDATION DE L'ORTHORECTIFICATION SUR LA COMMUNE D'EL BAYADH	261
1 Vérification par des mesures ponctuelles	261
2 Vérification des surfaces	262
3 Vérification des distances	263
ANNEXE 2: L'EVALUATION POSTPRODUCTION DE LA COUVERTURE DE LA WILLAYA D'EL BAYADH	265
1 Résultats sur les images ETM+	265
2 Résultats sur les images SPOT-5	267
ANNEXE 3: PUBLICATIONS ET TRAVAUX SCIENTIFIQUES	270
	360

Table des matières

TABLES DES MATIERES	354
LISTE DES FIGURES	362
LISTE DES TABLEAUX	367

Liste des figures

Figure 1-1 Les ensembles physiques du territoire d'El Bayadh.....	19
Figure 1-2 Les précipitations moyennes annuelles 1980 – 2004 (station El Bayadh)	21
Figure 1-3 Nombre de jours de pluies (moyenne mensuelle) (Source : http://www.weatherbase.com)	22
Figure 1-4 Les températures max, min et moyenne 87 – 2004 (station El Bayadh)	23
Figure 1-5 le diagramme Ombrothermique (Station El Bayadh) (Source : http://www.weatherbase.com)	24
Figure 1-6 Climagramme pluviothermique d'EMBERGER.....	25
Figure 1-7 Classification de Köppen-Geiger sur le nord de l'Algérie (Peel et al., 2007).....	26
Figure 1-8 carte géologique de la région d'El Bayadh.....	31
Figure 1-9 L'infrastructure de communication de la wilaya d'El Bayadh (source : (ANDI, 2013))	43
Figure 1-10 Format papier et format utile	68
Figure 1-11 Exemple de la matrice cadastrale.....	69
Figure 1-12 Exemple de l'état de section.....	70
Figure 1-13 L'utilisation d'orthophoto sur terrain	72
Figure 1-14 Procédure d'établissement du cadastre général.....	75
Figure 1-15 La coupure de la section 21 de la commune de Kef Lahmar. ...	82
Figure 2-1 La cartographie par image satellitaire.....	107

Liste des figures

Figure 2-2 La relation entre la taille du pixel et l'échelle carte pour les images panchromatiques.....	113
Figure 2-3 Superposition d'une restitution sur une ortho (droite) et l'image brute (gauche).....	116
Figure 2-4 La projection perspective et la projection orthogonale	117
Figure 2-5 Les effets des rotations.....	118
Figure 2-6 L'effet de l'angle de PDV	118
Figure 2-7 Le déplacement radial sur photo (gauche) et sur l'image satellitaire (droite).....	119
Figure 2-8 L'occlusion (les angles morts).....	119
Figure 2-9 Le modèle géométrique.	123
Figure 2-10 Le modèle perspectif parallèle	126
Figure 2-11 RFM (La méthode indépendante du terrain)	133
Figure 2-12 Exactitude et précision : A) la précision et l'exactitude sont fortes, B) la précision et l'exactitude sont faibles, C) mesure imprécise et inexacte, D) mesure précise et inexacte.....	138
Figure 2-13 La distribution des points de vérifications.....	143
Figure 3-1 Processus élaboré pour la réalisation de la spatiocarte	148
Figure 3-2 Aperçu de la partie Nord de la scène d'El Bayadh.....	149
Figure 3-3 Aperçu de la partie Sud de la scène d'El Bayadh.....	150
Figure 3-4 Répartition des points d'appui sur l'image.....	151
Figure 3-5 Les MNT's de la région : réalisée à partir de la carte topo à gauche et SRTM à droite.....	152
Figure 3-6 Organigramme du programme de la modélisation mathématique	154

Liste des figures

Figure 3-7 L'organigramme de la transformation en couleur pseudo-naturelle.....	161
Figure 3-8 Echantillon d'image en fausse couleur et sa transformation en couleurs pseudo-naturelles.....	161
Figure 3-9 Carte administrative de la wilaya d'El Bayadh.....	165
Figure 3-10 Couverture SPOT-5 de la wilaya d'El-Bayadh.....	167
Figure 3-11 Distribution des points GPS sur le bloc d'images	169
Figure 3-12 Variantes possibles pour la production des orthoimages	170
Figure 3-13 Aspect visuelle des MNT.....	173
Figure 3-14 Profile sur les artéfacts présentant un aspect linéaire dans le MNT GDEM.....	174
Figure 3-15 Le bloc Nord Afrique avec 600 paires d'images SPOT-5.....	175
Figure 3-16 Le bloc SPOT 5 sur la commune d'El Bayadh.....	177
Figure 3-17 Distribution des points d'appui GPS sur le bloc	178
Figure 3-18 Distribution des points d'appui Référence 3D alpha sur le bloc.	179
Figure 3-19 La qualité visuelle de la Reference3D Alpha	179
Figure 3-20 Distribution des points sur le bloc ERDAS et Référence alpha	183
Figure 3-21 La correction par un modèle de radiométrie (a) image initiale, (b) correction radiométrique à ajouter (c) image après correction (Chandelier and Martinoty, 2009).....	189
Figure 3-22 L'orthomosaique des images SPOT-5	190
Figure 3-23 La couverture ETM+ de la wilaya d'El-Bayadh avant (droite) et après le mosaïquage (gauche)	193

Liste des figures

Figure 3-24 Exemple d'orthoimages à 2.5m couvrant les communes d'El-Bayadh et Arbaouet.....	195
Figure 3-25 Exemple des tirages au 1/50.000 (gauche) et 1/200.000 (droite)	196
Figure 3-26 Le tableau d'assemblage des cartes 1/50.000 (29 feuilles) et 1/200.000 (4 feuilles).....	196
Figure 3-27 Distribution des zones d'intérêt (dans un rayon de 40km autour des chefs-lieu).....	198
Figure 3-28 La distribution des scènes SPOT-5 nécessaires pour la couverture des zones d'intérêt.....	199
Figure 3-29 Délais de réalisation des actions de couverture	201
Figure 3-30 L'estimation des délais de travaux pour quelques willayas ...	202
Figure 3-31 Le nombre de semaines en fonction du nombre de brigades ..	202
Figure 3-32 extrait des images SPOT-5 (gauche) et ALSAT-2A (droite) sur le centre ville d'El-Bayadh.	205
Figure 3-33 La relation géométrique entre le point image et le point terrain	208
Figure 3-34 La prise de vue et les repères.....	210
Figure 3-35 Le vecteur objet	210
Figure 3-36 Le vecteur image	211
Figure 3-37 La réponse spectrale des filtres optiques de ALSAT-2A.....	214
Figure 3-38 La configuration du plan focal de ALSAT-2A	215
Figure 3-39 Le système ligne de visée (R_{LOS}) et Ψ_x , Ψ_y les angles de vue de l'instrument.....	216
Figure 3-40 Les images utilisées dans les tests : A) Séville B) El Bayadh C) Toulouse nord et D) sud	225

Liste des figures

Figure 3-41 Tracé des résidus x et y de la première étape d'ajustement...	228
Figure 3-42 Précision horizontale et verticale en fonction du nombre des points.....	231
Figure 3-43 Distribution des points et ça relation avec la moyenne et l'écart type	235
Figure 3-44 Orthophotoplan produite en utilisant le RFM	241
Figure 3-45 MNE créé en utilisant le RFM sur la ville de Séville	242

Liste des tableaux

Tableau 2-1 Les quantités annuelles des précipitations de la station d'El Bayadh (1980 – 2004) (Source : ANRH Oran 2008)	21
Tableau 2-2 L'humidité relative mensuelle moyenne (%) enregistrée À El Bayadh	23
Tableau 2-3 synthétique des unités stratigraphiques	30
Tableau 2-4 Répartition de la superficie forestière et alfatière (Wilaya d'El Bayadh, 2014)	34
Tableau 2-5 Les essences dominantes des forêts(Wilaya d'El Bayadh, 2014)	35
Tableau 2-6 Répartition de la population par dispersion territoriale en 2014 (source:Monographie d'El Bayadh, 2014)	39
Tableau 2-7 Répartition de population active et occupée en 2014	40
Tableau 2-8 Répartition de la population occupée par branches d'activités en 2014	41
Tableau 2-9 Répartition du programme de logement en 2014	42
Tableau 2-10 Le réseau routier et son état	43
Tableau 2-11 Terres utilisées par l'agriculture (source : (Wilaya d'El Bayadh, 2014))	45
Tableau 2-12 Répartition des exploitations agricoles	45
Tableau 2-13 La production agricole	46
Tableau 2-14 Les informations cadastrales recherchées par les différentes directions(Ben Aldjia and Siyoucef, 2015)	55
Tableau 2-15 Exploitation de la documentation cadastrale(Ben Aldjia and Siyoucef, 2015)	56

Liste des tableaux

Tableau 3-1 Les caractéristiques des images LandSat 1-8.....	99
Tableau 3-2 Les prix des produits de SPOT-5.....	101
Tableau 3-3 Caractéristiques techniques du satellite ALSAT-2A.....	103
Tableau 3-4 Relation résolution spatiale / échelle cartographique.	112
Tableau 3-5 Relation résolution spatiale / échelle cartographique, basée sur l'erreur graphique.....	112
Tableau 3-6 Résolutions spatiales et les applications thématiques, qui peuvent en être tirées.....	113
Tableau 4-1 Caractéristiques de la partie Nord de la scène SPOT-5.....	149
Tableau 4-2 Caractéristiques de la partie Sud de la scène SPOT-5.....	150
Tableau 4-3 Résultat des modèles mathématiques sur les points de contrôle.....	153
Tableau 4-4 les systèmes de référence officiels	166
Tableau 4-5 Résultats de la comparaison entre SRTM et GDEM.....	172
Tableau 4-6 Résultats sur le bloc de la commune d'El-Bayadh avec PA GPS.....	177
Tableau 4-7 Résultats sur le bloc de la commune d'El-Bayadh avec PA Ref 3D alpha.....	178
Tableau 4-8 Comparaison entre ERDAS LPS et Geoview.....	181
Tableau 4-9 Résultats sur le bloc d'El-Bayadh avec PA Réf Alpha.....	183
Tableau 4-10 Indicateurs sur la qualité de l'orthoimage SPOT-5 couvrant la wilaya.....	185
Tableau 4-11 Indicateurs sur la qualité de la mosaïque ETM+ couvrant la wilaya d'El-Bayadh.....	193

Liste des tableaux

Tableau 4-12 Indicateurs sur la qualité de la mosaïque ETM+ sur la wilaya d'El-Bayadh après l'élimination des biais	194
Tableau 4-13 Durée de réalisation de la couverture de la willaya	201
Tableau 4-14 La précision absolue des niveaux 1A et 2A.....	225
Tableau 4-15 La précision du niveau 2A après l'élimination du biais.	226
Tableau 4-16 La précision de l'orthorectification de l'image du niveau 1A.	226
Tableau 4-17 Résultats sur la correction des paramètres internes.....	229
Tableau 4-18 Les précisions en utilisant différents groupes de paramètres	230
Tableau 4-19 influence du nombre des points sur la précision.	231
Tableau 4-20 Résultats des différents paramètres sur la première image de Toulouse.	232
Tableau 4-21 Résultats des différents paramètres sur la deuxième image de Toulouse.	233
Tableau 4-22 Résultats sur le nombre et distribution des points	235
Tableau 4-23 EMQ des résultats de géoréférencement de l'image MS sur la base du modèle de l'image PAN.	236
Tableau 4-24 EMQ des résultats de géoréférencement de l'image PAN sur la base du modèle de l'image MS.	237
Tableau 4-25 EMQ des résultats de géoréférencement des images PAN et MS sur la base du modèle calculé simultanément	237
Tableau 4-26 Résultats des EMQ du jeu de données sur Toulouse.....	239
Tableau 4-27 Résultats des EMQ du jeu de données sur Séville	239
Tableau 4-28 Résultat de l'RFM sur jeu de données de Toulouse	240

Liste des tableaux

Tableau 4-29 Résultat de l'RFM sur jeu de données de Séville.....	240
Tableau 4-30 Qualité du MNE crée sur la base du RFM.....	242