

GROUPE DE TRAVAIL « METHODOLOGIE ORFEO »

GROUPE DE TRAVAIL
« METHODOLOGIE
ORFEO »

CONCLUSIONS DU GROUPE « 3D »

Introduction	3
Les recommandations du groupe de travail	4
1 – Modèles 3D en milieu urbain en imagerie optique.....	5
Contexte	5
Pré-requis : Définition d'une modélisation du paysage	6
Programme de travail.....	12
Axe 1-1 : Calcul de modèles 3D du terrain à partir d'images.....	12
Axe 1-2 : Enrichissement d'un modèle 3D du terrain à partir d'images.....	12
Axe 1-3 : Physique de la mesure 3D.....	12
Axe 1-4 : Enrichissement d'un modèle du paysage à partir d'images	12
Axe 1-5 : Génération d'image à partir de modélisation du paysage	12
Axe 1-6 : Restitution virtuelle du paysage.....	12
Groupe de travail.....	12
Données	12
2 – Caractérisation des déformations.....	12
Contexte	12
Programme de travail.....	13
Axe 2-1 : corrélation subpixelique d'images multisources.....	13
Axe 2-2 : Interférométrie différentielle en bande X	13
Axe 2-3 : Bilan de matières par MNT multi-temporels différentiels.....	13
Groupe de travail.....	14
Données	14
3 - Le 3D radar pour Orfeo.....	15
Présentation :	15
Axes de travail.....	15
Axe 3-1 : Optimiser la stratégie d'utilisation du SAR pour l'extraction du 3D	15
Axe 3-2 : Algorithmies mono mode	15
Axe 3-3 : Complémentarité optique/radar et interférométrie/ radargrammétrie	16
Axe 3-4 : Mise à jour	16
Axe 3-5 : Suivi de la croissance urbaine.....	16
Groupe de travail.....	16
Données :.....	17

INTRODUCTION

Les perspectives ouvertes par le système d'observation ORFEO concernent plusieurs champs de l'analyse et du traitement des images. On distinguera les recherches organisées autour de l'image optique de celles concernant le radar et de celles également qui concernent l'utilisation conjointe des deux modalités.

Dans le domaine des longueurs d'ondes optiques, la résolution fournie par ORFEO requiert des compétences qui étaient à ce jour surtout servies en France par l'imagerie aérienne (plus que par l'imagerie satellitaire). Aussi bien le type d'images traitées que le type d'applications envisagées mettront à contribution des compétences généralement issues de la vision par ordinateur, de l'analyse de scène ou de la reconnaissance des formes en robotique par exemple. Si l'essentiel des méthodes de traitement (détection, reconnaissance, reconstruction, représentation, etc.) ont déjà été expérimentées dans des communautés voisines de la télédétection satellitaire, il est généralement reconnu que ces méthodes souffrent encore de faiblesses, certaines fondamentales, auxquelles il faudra s'attaquer (échantillonnages irréguliers, appariement et recalage 3D, indexation sémantique, etc.). Par ailleurs, le capteur ORFEO méritera que des algorithmes dédiés soient mis en place pour exploiter de façon optimale ses données avec leur spécificité (qualité de l'image, agilité du dépointage, fréquence des passages, etc.). Enfin, l'ampleur des données issues d'ORFEO exigera que des techniques modernes d'archivage, d'indexation, d'adressage soient employées pour assurer la disponibilité du corpus des informations recueillies mais aussi dérivées de ses images (principe du conservatoire virtuel).

Dans le domaine du Radar, le problème est assez différent. Les images à haute résolution qui nous seront proposées n'ont d'équivalent que dans le secteur réservé de la défense et il convient de créer de toutes pièces une culture et un savoir-faire civils du traitement de ces données de façon à garantir qu'elles feront l'objet d'un usage régulier, diversifié et ample dès leur capture. Il est important de prendre conscience à ce point des efforts qu'il faudra consacrer aux études fondamentales sur la formation de l'image (interaction matière/radar) en particulier dans la perspective des applications envisagées qui se démarquent des applications militaires qui ont reçu à ce jour une attention quasi-exclusive. Il faudra également mener des études amont sur la formation du signal et ses conséquences sur l'image et son contenu (dynamique, contenu fréquentiel, rôle de la phase, etc.) car l'impact de la formation du signal est très important dans les résolutions sub-métriques, et en particulier dans les milieux artificiels (agglomérations, sites industriels) où les échos forts sont dominants. Enfin des systèmes de simulation puissants et ouverts devront probablement être mis en place pour suppléer aux limitations des développements théoriques dans les scènes complexes.

La grande variété des usages de l'image radar, et en particulier sa capacité à fournir des informations interférométriques ainsi que des informations interférométriques différentielles, mérite une attention particulière.

L'utilisation conjointe des deux modalités (que nous nommerons souvent « fusion radar/optique » par simplification) sera possible sur ORFEO en raison de la co-conception des deux familles de capteurs dans un même système d'observation. La fusion radar/optique est un sujet de travail intense pour la communauté de la télédétection depuis de nombreuses années, mais il faut reconnaître que si la méthodologie en est dorénavant assez bien établie, les retombées pratiques sont encore confidentielles et éparées. Au-delà du rôle évident que la fusion doit jouer pour permettre une exploitation aisée à court terme des difficiles images Radar, il faut envisager de façon plus systématique d'exploiter la complémentarité de ces données non seulement d'un

point de vue de la disponibilité (problème récurrent des couvertures nuageuses de la ceinture équatoriale par exemple), mais d'un point de vue du contenu thématique, par un recensement fin de leurs apports à la résolution d'ORFEO.

LES RECOMMANDATIONS DU GROUPE DE TRAVAIL

Le groupe de travail qui s'est penché sur la définition d'un programme méthodologique préparatoire pour ORFEO dans le domaine de l'imagerie tridimensionnelle a souhaité recommander trois pistes principales d'exploration qui seront reprises en détail plus loin :

1. La constitution des modèles tridimensionnels à haute résolution et en particulier dans le milieu urbain en imagerie optique. La modélisation, la représentation et la visualisation de ces données ; la prise en compte des effets fins de photométrie, la constitution d'ortho-photographie avec correction des effets de perspective sur les bâtiments.
2. L'étude des phénomènes en mouvement : déformation, déplacements, évolution, et en particulier, l'étude des processus difficilement observables aujourd'hui en raison de la pente du terrain sur lesquels ils se situent et/ou du couvert végétal. C'est en particulier le cas de l'étude des glaciers alpins ou le suivi des mouvements gravitaires (glissements de terrain, effondrements, laves torrentielles). Les deux modalités optique et radar (notamment interférométrie) sont ici concernées.
3. L'étude fine des effets de la haute-résolution sur l'imagerie de bâtiments isolés ou du milieu urbain dense en imagerie radar. Le rôle des divers outils (radargrammétrie, interférométrie) dans la mesure du relief, la mise en place de techniques collaboratives entre domaines optique et radar

Si ces 3 thématiques ont émergé comme prioritaires pour préparer l'arrivée des données ORFEO, le groupe a souligné l'importance de certaines études fondamentales qui, sans être liées strictement au programme ORFEO, auront un impact certain sur l'exploitation de ces données. Il s'agit principalement :

- De l'étude fine des techniques d'échantillonnage irrégulier et des passages « irrégulier/régulier » en raison de l'impact du relief (et particulièrement des micro-reliefs comme le bâti) sur l'échantillonnage.
- De la problématique de l'indexation et de la fouille de données dans les très grandes bases.
- De la consultation par internet, des bases réparties, du recensement des données, et corrélativement du contrôle de leur intégrité et de leur authenticité (conservatoire virtuel).
- Enfin le groupe de travail a souligné le besoin de constituer un inventaire structuré des « objets » susceptibles de participer à une représentation de scènes de télédétection en fonction de la résolution des images. Cet inventaire associé à l'expertise des utilisateurs devrait aboutir à la constitution d'une ontologie de la télédétection satellitaire.

1 – MODELES 3D EN MILIEU URBAIN EN IMAGERIE OPTIQUE

CONTEXTE

L'amélioration de la résolution des images de télédétection va de pair avec l'apparition de phénomènes liés à la structure en 3 dimensions de la scène :

- visibilité de façades verticales
- occultation de faces (y compris horizontales : trottoirs au pied d'immeubles...)
- omniprésence des ombres
- segmentation « naturelle » de l'image non plus en éléments surfaciques ou linéiques mais en objets volumiques

Ces images rendent possible la représentation du paysage non plus en « 2.5 D » uniquement (drapage d'une texture bidimensionnelle sur un terrain modélisé par grilles d'altitudes) mais en véritable 3D (modélisation du terrain au minimum par facettes voire par objets, texturés par l'image).

Cette évolution se traduit par une véritable rupture technologique car bon nombre de traitements « classiques » de télédétection sont à réviser de fond en comble :

- les traitements « classiques » de restitution du relief par stéréoscopie, capables de fournir des altitudes en des semis de points (généralement des grilles régulières) sont encore incapables de restituer une modélisation 3D du terrain (au sens vectorisé, avec des façades verticales, restitution des bâtiments, de la végétation... en tant qu'objets).
- Le simple rééchantillonnage d'une image se heurte immédiatement aux problèmes des faces cachées : c'est le débat sur les ortho-images avec bâtiments redressés (et parties non vues) ou non. Un véritable changement de géométrie d'une image exige une connaissance de la modélisation 3D de la scène... Même en bénéficiant de cette connaissance, le rééchantillonnage n'est pas trivial et les algorithmes classiques sont à revoir complètement.
- L'interprétation radiométrique des pixels (passage de luminance à réflectance de surface) est totalement révolutionnée par les phénomènes d'ombre (éclairage diffus + éclairage indirect) et de BRDF (variations importantes des orientations des faces, influence des « micro-ombres » induisant des phénomènes de « hot-spot » extrêmement variables) qui deviennent prépondérants. Sans aller chercher des applications scientifiques extrêmement pointues, le simple mosaïquage d'images se heurte déjà à ces problèmes (d'où l'intérêt de l'IGN pour ces aspects).

En fait, cette « révolution » provient de la nécessité de changer complètement de modélisation sous-jacente de la scène :

- les images « classiques » (résolution moins bonne que le mètre) peuvent se contenter d'une modélisation du paysage de type « texture drapée sur MNT ». Cette texture (réflectance ou luminance) et ce MNT suffisent pour « expliquer » l'image (par exemple pour la « simuler » sous une géométrie d'acquisition ou un éclairage différents). Tous les traitements image « classiques » (restauration, segmentation, classification...) se contentent de la nature bidimensionnelle de cette texture.
- les images HR (résolution meilleure que le mètre) exigent une modélisation 3D du paysage, c'est-à-dire une représentation vectorisée du relief (objets complexes) associée à une texturation en réflectance de ces objets. Ce couplage omniprésent entre géométrie et

radiométrie nécessite une revisite des traitements image « classiques » pour leur faire prendre en compte cette troisième dimension¹.

De fait, on peut penser la problématique de prise en compte du 3D dans les images HR en ces termes :

- 0) Définition de la modélisation du paysage : c'est un pré-requis indispensable
- 1) Comment passer de l'image HR à cette modélisation du paysage ?
- 2) Ayant cette modélisation du paysage, comment générer une image ?

Les différents axes d'études 3D proposés se déclinent donc selon cette logique de décomposition, sachant qu'ils sont de complexité très variable.

PRE-REQUIS : DEFINITION D'UNE MODELISATION DU PAYSAGE

Ce n'est pas, à proprement parler un axe de recherche et ce n'est pas uniquement lié à la problématique 3D. L'idée est de partir du paysage et de se poser la question des objets que l'on veut y représenter, à la fois en 3D : bâtiments, arbres, mobilier urbain, véhicules, pylônes, tuyaux et câbles... et en 2D : voies de circulation, parkings, champs, cours d'eau, étendues d'eau... le tout en essayant d'être le plus exhaustif et générique possible, afin de servir à toutes les applications.

Une fois cet inventaire établi (en coopération étroite avec les thématiciens et les utilisateurs finals pressentis), il s'agira d'établir la modélisation attachée à chaque objet, étape assez délicate à mon sens : il y aura compromis entre la simplicité/généricité des modèles (ex : objet 3D = ensemble de facettes reliées par au moins une arête) et leur bonne adaptation aux techniques de reconnaissance/reconstruction (ex : bibliothèques de maisons avec toits plats ou biplans, bibliothèques de véhicules...au risque de se trouver dans un cas non répertorié). En d'autres termes l'intelligence (règles, sémantique, liens entre objets...) qu'on pourra rajouter aux traitements ultérieurs dépendra étroitement de la finesse et de l'exhaustivité de la modélisation.

En tout état de cause, on devra commencer par des modélisations rustiques mais génériques (par exemple celles acceptées dans les disciplines connexes de la réalité virtuelle et de l'architecture, typiquement traitées par les standards OpenGL), au risque de résultats parfois décevants puis améliorer conjointement modèles et méthodes d'extraction. L'important est de rester dans une optique d'assimilation de données dans des modèles.

Par ailleurs, au fur et à mesure des études méthodologiques d'extraction, les nécessaires hypothèses sur les liens entre objets, leur reconnaissance... conduiront naturellement à enrichir ces modélisations : la méthode proposée se veut itérative.

Dans la suite du document, nous distinguerons :

- modélisation du paysage : c'est, pour une modélisation générique adoptée, à la fois la liste des objets de la scène et leurs caractéristiques, géométriques et radiométriques, voire sémantiques.
- modèle 3D du terrain : c'est la partie géométrique de la modélisation (description de la géométrie des objets)

¹ De la même manière que la modélisation sous-jacente « texture drapée sur MNT » pour les images « classiques » peut être enrichie selon les applications (segmentation, classification, reconnaissance d'objets...), la modélisation 3D du paysage telle que présentée n'est sûrement pas sa modélisation ultime : on peut imaginer sans mal le besoin de reconnaissance des objets (cf bases de données de type SIG), des matériaux ou surfaces... En revanche, elle se veut être la plus simple modélisation nécessaire à toutes les applications (cf. prérequis infra)

Cette distinction est issue des schémas de pensée « classiques » qui séparent le calcul du relief du reste du processus d'interprétation. Il est, à terme, inadapté si on arrive à concevoir de véritables méthodes d'assimilation (capables donc de faire les 2 en même temps).

Par ailleurs, pour permettre de proposer concrètement des actions de recherche précises, il a été proposé de distinguer 3 niveaux de modélisations du paysage :

- Niveau 0 : la géométrie du paysage est représentée par un semis de points donnant les altitudes (Modèle Numérique de Surface, MNS, représentant l'enveloppe sol + sursol), la radiométrie est une orthoimage que l'on peut draper dessus : c'est le niveau de représentation « actuel » et on peut considérer qu'il n'y a pas, à proprement parler, de recherche méthodologique à conduire à ce niveau de représentation, tant pour l'extraction d'information (l'étude ATS2B Pléiades a permis de faire un état de l'art de la restitution altimétrique à partir d'images Pléiades et de montrer une bonne maturité des techniques) que pour sa restitution visuelle (les simulation/rééchantillonnage d'images prenant en compte un MNS et les survols virtuels sont complètement opérationnels). Ceci ne signifie évidemment pas que ce niveau de produit soit inintéressant, même à l'avenir, vue sa simplicité (2 fichiers raster décrivent le paysage), mais les techniques nous paraissent matures.
- Niveau 1 : la géométrie du paysage est représentée par un ensemble de facettes texturées par des imquettes plaquées sur chacune d'elles. On prévoit a minima une classification de type facette sol / facette sursol et facette végétation / facette artificielle mais on peut même envisager (AC en cours d'études) des distinctions toits / murs, voire des hiérarchisations de facettes permettant de construire des objets (au premier niveau : mur = 2 facettes triangulaires, toit = n facettes ; au deuxième niveau : bâtiment = n murs + toit ; au troisième niveau : pâté de maisons = ensemble de bâtiments...). On propose, dans un premier temps, de dériver les axes de recherche à ce premier niveau. Le format de données associé à cette représentation sera le VRML, format standard dédié à la Réalité Virtuelle et qui se prête à idéalement à ce type de modélisation.
- Niveau 2 : le paysage est composé d'objets, linéiques, surfaciques ou volumiques qui ont, pour chaque classe, leur modélisation associée et, entre les classes, une définition de leurs relations (logiques, topologiques ou autres, ex : les véhicules sont de position variable d'une image à l'autre, pas de véhicule sur une forêt...). A ce niveau, tout reste à faire à notre connaissance, à commencer par un état de l'art des modélisations des objets dans les SIG, BD carto... et des méthodes d'extraction et de restitution associées. Ces activités de modélisation du paysage font l'objet d'un axe du groupe de travail « 2D ».

PROGRAMME DE TRAVAIL

AXE 1-1 : CALCUL DE MODELES 3D DU TERRAIN A PARTIR D'IMAGES

Globalement, c'est une suite d'ATS2B, qui a fait l'état de l'art du calcul de MNT (2.5D) à partir d'images : la problématique ici est d'aboutir à une représentation vectorisée.

Un certain consensus paraît établi pour considérer que la première étape de ce processus reste le calcul du MNS 2.5D par corrélation dense des différentes images : on n'identifie pas pour l'instant de méthode capable d'extraire le 3D vecteur directement à partir des images sans passer par le calcul de ce MNS, même grossier.

- La première action de cet axe s'intéresse donc à cette première étape d'obtention du MNS 2.5D : les experts, IGN notamment, affirment que la résolution de 0.5 mètre est bien adaptée à la réalisation de MNE en milieu urbain et que celle de PLEIADES reste en deçà et nécessitera l'introduction de données exogènes. La modélisation mathématique peut-elle lever ce handicap ? Le calcul actuel des tableaux de disparité par corrélation ne prend pas beaucoup en compte la variabilité de la disparité sur le support de la fenêtre de corrélation. Sa prise en compte conduit à replacer naturellement la corrélation dans le cadre bien maîtrisé des problèmes inverses. Des études CNES-CMLA [3], [4]² ont montré mathématiquement et permis de vérifier sur un nombre limité de cas qu'il était possible d'améliorer très sensiblement la précision du calcul des tableaux de disparités entre images de couples stéréoscopiques d'images proches radiométriquement (cas PLEIADES). Cette amélioration peut-elle aller jusqu'à atteindre des performances équivalentes à celles attendues avec des couples de résolution 0.5 mètre traités par des méthodes plus traditionnelles ? Ceci est un point clef à éclaircir.
- La deuxième action de cet axe consiste à étudier la possibilité d'établir une représentation 3D vecteur du relief (y compris les distinctions sol/sursol et bâti/végétation) à partir de n images associées au MNS 2.5D qu'on en a tiré (ainsi que la confiance accordée dans ce processus à chaque mesure d'altitude). Des études similaires ont déjà été conduites à l'ONERA/DTIM, qui demandent à être affinées dans un contexte Pléiades (bande PIR favorisant la distinction bâti/végétation, possibilité de tri-stéréo mono-passage, taille des images nécessitant des optimisations de méthodes pour rester raisonnables en temps de calcul...).
- La troisième action de cet axe consiste à étudier ce que l'on peut obtenir dans le cas, plus favorable, où des informations géométriques exogènes (AD mais pas forcément 3D !) sont de plus disponibles : par exemple, données cadastrales (cf. thèse Jibrini à IGN/MATIS) ou BD Topo. Dans ce cas, se poseront les problèmes d'appariement géométrique entre ces données exogènes et les images (cf. 2^{ème} axe) et de confiance à accorder à ces données exogènes (évolution temporelle du terrain, par exemple) et donc de mise à jour de ces données (cf. 4^{ème} axe).

En parallèle à ces 3 actions, plusieurs questions se posent, dont les réponses pourront enrichir la réflexion et donner des idées d'amélioration des processus :

- Quelle information ultime sait-on tirer d'un MNS 2.5D pour le vectoriser ? Réciproquement, quelle vectorisation sait-on tirer d'une seule image ? Des réponses par simple photo-interprétation pourraient permettre de préciser le type d'information qu'est susceptible d'apporter chacune des sources.
- Quel intérêt y a-t-il à itérer le processus, ie, disposant d'un modèle 3D de la scène, de repartir dans une étape d'appariement dense bénéficiant de cette information ? On

² [3] A. Giros, B. Rougé, H. Vadon. « Algorithme de corrélation fine et application aux instruments stéréoscopiques de coefficient stéréoscopique faible », Brevet CNES 2003

[4] J. Delon, B. Rougé. « Analytic Formulation of Registration of Discrete Images With Correlation Coefficient”: Application Multiresolution Algorithm to Refined Correlation “. Preprint CMLA en préparation.

conçoit que cette seconde étape d'appariement dense différencierait sans doute d'une simple corrélation dense et reste à concevoir plus précisément.

Outre l'aspect méthodologique et algorithmique de cet axe, une des questions sous-jacentes est également : combien d'acquisitions du paysage sont-elles nécessaires pour être capable de générer un modèle 3D « ex nihilo » ?

AXE 1-2 : TEXTURATION D'UN MODELE 3D DU TERRAIN A PARTIR D'IMAGES

Le but de cet axe est de fabriquer la modélisation du paysage à partir d'images de ce paysage et de son modèle 3D (exogène, type BDU Toulouse ou endogène, restitué grâce à ces images, résultat du 1^{er} axe).

Dans le cas le plus complexe (modèle 3D exogène), les étapes sont les suivantes :

- recalage image(s)/Modèle 3D (appariement par extraction de primitive puis recalage des modèles de prise de vue de chaque image)
- pour chaque objet du modèle 3D, enrichissement de l'objet grâce aux images, selon la modélisation adoptée.

Par exemple, dans le cas simple où la modélisation est de type « ensemble de facettes texturées », pour chaque facette, identification de l'image où elle est le mieux vue, s'il y en a une, extraction des pixels correspondants et remise en géométrie « faciale » (vue de face, orthogonalement au centre de la facette).

Le point dur de cet axe est le recalage automatique image / modèle 3D, reposant sur l'étude des méthodes d'appariement entre une image et un modèle 3D. C'est pour nous la seule étude méthodologique à mener dans cet axe.

La raison d'être de cet axe est l'existence a priori de modèles 3D (non texturés), qu'ils soient fournis de l'extérieur (base de donnée d'une ville comme Toulouse, par exemple) ou issus d'une première étape de calcul.

Ceci dit, à terme, on peut penser que les bases de données exogènes seront de type « modélisation du paysage (ie au delà du simple modèle 3D) et que le calcul de la géométrie sera intégré au processus d'assimilation. Dans ce cas, les méthodes étudiées dans cet axe seront toujours utiles mais intégrées dans le processus global.

AXE 1-3 : PHYSIQUE DE LA MESURE 3D

Le but est de convertir les textures d'un modèle 3D de luminance en réflectance, connaissant les conditions de prise de vue des images dont ces textures sont issues : calcul des éclaircissements diffus et indirects pour « soustraction » des ombres, modélisation de la BRDF (pour les pixels vus sous différents angles).

Là encore, la modélisation des objets paraît indispensable pour améliorer la faisabilité de ces traitements (bibliothèque de matériaux, avec leur BRDF spectrale, attachée à chaque objet...).

Et là encore, ce processus devra être intégré, à terme, au processus global d'assimilation d'images dans les modélisations de paysages.

Pour information, une thèse sur ce sujet, co-financée par CNES et ONERA (avec IGN pour partenaire), a été acceptée dès cette année pour un démarrage début octobre 2003.

AXE 1-4 : ENRICHISSEMENT D'UN MODELE DU PAYSAGE A PARTIR D'IMAGES

Cette fois, on suppose qu'on dispose d'une modélisation du paysage sur lequel on acquiert de nouvelles images. Le besoin est d'enrichir (parties cachées, nouvel éclairage => affinage du

modèle de BRDF, voire reconnaissance de matériaux...) ou modifier cette modélisation (détection de changements, géométriques ou radiométriques).

Après réflexion, il a été décidé de considérer l'aspect « enrichissement » comme traité par les 3 premiers axes.

De même, l'aspect « Détection de changement », supposant donc qu'on dispose de données « incohérentes » entre elles (représentatives de réalités différentes), ne semble pas spécifique au 3D et devrait pouvoir être traité dans l'axe 2D correspondant : on peut en effet imaginer (si tous les autres axes méthodologiques ont bien été menés) simuler la nouvelle image à partir de la modélisation courante du paysage et se ramener à une détection de changements bidimensionnelle entre l'image simulée à partir de la modélisation et la nouvelle image, processus dans lequel tous les impacts du 3D (géométriques et radiométriques) auront été censés être ôtés. Cette vision des choses devra naturellement être rebouclée avec les responsables de l'axe 2D pour s'assurer qu'il n'y a pas de « trou » dans les études à mener.

Grâce aux résultats de ces 4 premiers axes, on peut espérer « interpréter » une ou plusieurs images d'un même paysage en une modélisation donnée (par exemple, un modèle 3D « habillé » de textures en réflectance).

Il reste alors à savoir manipuler ce genre d'objet...

AXE 1-5 : GENERATION D'IMAGE A PARTIR DE MODELISATION DU PAYSAGE

Peu de recherche à proprement parler dans cet axe mais surtout du développement d'outils qui serviront en fait à rééchantillonner une image HR dans une nouvelle géométrie mais aussi à simuler une image à partir d'un tel modèle (cf simus 3D OASIS).

Pour une modélisation de type « ensemble de facettes texturées en réflectance », la première étape consisterait à repasser en luminance (d'après les résultats du troisième axe) : projection des ombres notamment. La seconde étape consisterait à projeter le modèle, facette par facette, dans la géométrie de la prise de vue spécifiée.

Bien entendu, le rééchantillonnage d'une seule image, connaissant le modèle 3D du terrain, pourra se faire plus simplement (dans la mise en œuvre car le principe reste le même) : pas de passage luminance => réflectance et retour, et un seul rééchantillonnage « résumant » la déprojection/reprojection des facettes.

Cette génération d'image pourrait permettre, dans un premier temps, d'appliquer certains algorithmes « classiques » 2D sur les images HR qu'on aurait pris le soin de remettre en même géométrie (pas forcément ortho, d'ailleurs). Dans un second temps, on peut espérer avoir « converti » ces méthodes au vrai 3D et le seul besoin serait la représentation « à plat » d'une modélisation à titre d'illustration (rapport, poster...) ou de simulation (des images d'un futur capteur).

AXE 1-6 : RESTITUTION VIRTUELLE DU PAYSAGE

C'est bien évidemment l'aboutissement ultime de la logique modélisant le paysage en 3D : l'idée est d'arrêter de représenter et visualiser une image (ou des images) HR en 2D (et de se poser des questions sur leur superposition, sur le redressement ou non des bâtiments dans les orthoimages...), mais bel et bien en 3D, dans un environnement de type réalité virtuelle, avec ou sans vision stéréoscopique.

En d'autres termes, c'est le passage en vrai 3D des survols virtuels de type SPOT5. Techniquement, il s'agit d'être capable d'effectuer la génération évoquée dans le 5^{ème} axe à un rythme élevé et avec une modélisation simple de la prise de vue.

Cela nécessite que le visualiseur sache interpréter les différents objets de la modélisation : c'est pourquoi la prise en compte, pour l'établissement des modélisations à adopter, des standards OpenGL peut s'avérer profitable.

GROUPE DE TRAVAIL

Les équipes qui participeront à ces études sont :

- le Groupe MATIS de l'IGN (Sylvain Ayraut, Marc Pierrot-Deseilligny, Nicolas Paparoditis, David Flamanc, Franck Jung)
- la Division QTIS du CNES (Christophe Valorge, Jean-Philippe Cantou, Dominique Zobler et B. Rougé)
- le projet ARIANA (INRIA, CNRS, UNSA) de Sophia-Antipolis (Josiane Zerubia, Xavier Descombes)
- l'ONERA (Hélène Oriot, Elisabeth Simonetto)
- le département TSI de Télécom-Paris (Michel Roux, Henri Maître)
- SIRADEL à Rennes (Caroline Baillard),
- Le CMLA de l'École Normale Supérieure de Cachan (Bernard Rougé, J. Delon)

DONNEES

Il est nécessaire ici de disposer de données conformes à celles produites par le capteur Pléiades aussi bien en radiométrie (bandes spectrales, rapport signal à bruit, FTM, etc.) qu'en géométrie (positionnement, balayage, etc.). Ces images doivent être disponibles sur des sites variés mais contenant de l'urbain dense et de l'habitat dispersé. Les prises de vue doivent être multiples sur un même site pour refléter l'agilité de Pléiades aussi bien au cours d'un même survol que de plusieurs acquisitions consécutives. L'une au moins de ces vues devra correspondre à une vision au nadir du site d'expérimentation avec une raisonnable tolérance.

Il est nécessaire de disposer également de données ancillaires relatives au site :

- Un MNT à précision submétrique tant en localisation qu'en altimétrie et un MNS de même précision.
- Un MNS de type Référence3D (résolution décimétrique) correspondant aux données qui seront mises à la disposition d'un utilisateur futur.
- Une classification du site en termes de nature du sursol : bâti ou végétation ainsi qu'en nature des matériaux de couverture des bâtiments.

Le site de Toulouse, déjà bien documenté pourrait convenir, ainsi que le site d'Amiens.

2 – CARACTERISATION DES DEFORMATIONS

CONTEXTE

La télédétection apporte des informations majeures concernant l'étude des phénomènes de déformation du sol, qu'ils soient d'origine naturelle (volcans, séismes, glissements de terrain) ou bien anthropiques. Les techniques d'observation actuelles se basent à la fois sur des données radar et sur des données optiques.

Dans le domaine radar, les satellites européens ERS 1 et ERS 2, (ainsi que dans une moindre mesure le satellite Radarsat), fonctionnant en bande C, ont permis, grâce à la technique interférométrique, de mettre clairement en évidence les déformations de la croûte terrestre survenues lors d'importants séismes (mise en évidence de la géométrie des failles) ou bien au niveau des édifices volcaniques (gonflement lors de l'injection de magma dans les dykes, subsidence des anciennes coulées, ...). Le fonctionnement en mode tandem d'ERS1 et ERS2 a permis d'obtenir des couples interférométriques séparés de seulement un jour ou trois jours, élément essentiel pour le suivi de phénomènes à dynamique plus rapide (déformation des glaciers, glissements de terrains).

Dans le domaine optique, complémentaire du radar, ce sont principalement des techniques de corrélation d'images qui permettent de mettre en évidence les déformations des terrains entre plusieurs acquisitions. Pour des déformations importantes (plurimétriques), des différentiels de MNT peuvent fournir une information pertinente concernant la zone affectée, ainsi que les volumes mis en jeu (nouvelles coulées de lave par exemple). La corrélation subpixelique de deux images permet quant à elle de mettre en évidence des déformations plus subtiles (d'une fraction de pixels). Les applications de cette technique sont principalement la mise en évidence de failles actives (sur des images SPOT par exemple) ou la caractérisation de glissements de terrain à partir d'une archive d'images aériennes.

Le système ORFEO devrait permettre d'acquérir des données ayant à la fois une bonne résolution spatiale et une forte répétitivité temporelle, tant pour les applications radar qu'optique.

On peut également souligner qu'il existe une complémentarité entre ces deux systèmes puisque l'interférométrie radar mesure la composante radiale des déplacements (dans la ligne de visée du radar) tandis que l'optique mesure la composante perpendiculaire à la visée. Ceci s'ajoute à la complémentarité opérationnelle (nuages ...) et à la diversité angulaire intrinsèque des deux types de capteurs : visée latérale droite ou gauche pour le radar (orbite ascendante / descendante), visée Nadir ou plus ou moins dépointée pour l'optique.

³ [2] H. Jibrini Reconstruction automatique de modèles 3D de bâtiments en modèles polyédriques à partir de données cadastrales vectorisées 2D et d'un couple d'images aériennes haute résolution. Thèse de l'ENST, ENST-02 E010 – Avril 2002.

⁴ [3] A. Giros, B. Rougé, H. Vadon. « Algorithme de corrélation fine et application aux instruments stéréoscopiques de coefficient stéréoscopique faible », Brevet CNES 2003

[4] J. Delon, B. Rougé. « Analytic Formulation of Registration of Discrete Images With Correlation Coefficient”: Application Multiresolution Algorithm to Refined Correlation “. Preprint CMLA en préparation.

PROGRAMME DE TRAVAIL

AXE 2-1 : CORRELATION SUBPIXELLIQUE D'IMAGES MULTISOURCES

Il s'agit ici d'étudier, valider et améliorer les techniques de corrélation d'images multisources sur des cas tests (glissements de terrain actifs ou glaciers alpins par exemple) afin de mieux maîtriser la chaîne de traitement et les différents artefacts susceptibles de perturber le signal (distorsions géométriques, changements de radiométrie des images, impact de la végétation, résolution spatiale variable). Des données à haute résolution peuvent servir de base à ces tests de faisabilité (Images aériennes, Spot 5, IKONOS ou Quickbird). Lors des campagnes de simulation Pléiades, des acquisitions ont en outre été réalisées sur Boulc en Diois.

AXE 2-2 : INTERFEROMETRIE DIFFERENTIELLE EN BANDE X

La plupart des études et expérimentations en interférométrie différentielle ont été effectuées en bande C à partir des données issues des capteurs ERS 1, ERS 2, Radarsat et Envisat. Il convient donc de rester prudent quant à la transposabilité de ces résultats en bande X, notamment à cause d'une probable plus grande sensibilité à la végétation et à ses changements.

- Quel sera l'effet du facteur 2 qui existe entre la bande C (5,6 cm) et la bande X (3,1 cm) sur les pertes de cohérence temporelles (végétation) ?
- Celles-ci seront-elles compensées par la meilleure résolution (diminution de la perte de cohérence géométrique d'un facteur 10) et par la plus grande répétitivité de l'orbite (cycle orbital de 16 jours, divisé par le nombre de satellites, au lieu de 35 jours pour ERS).
- Quels seront les effets de la résolution et de la plus courte longueur d'onde sur les précisions obtenues ?

Afin de mieux cerner les potentiels que cette technique ouvre en bande X, que ce soit en interférométrie classique (surfacique) ou par interférométrie sur réseaux de points (Permanents Scatterers), des simulations semblent indispensables. Les nouvelles applications pourraient en particulier concerner les subsidences urbaines et minières ainsi que la surveillance des ouvrages d'art (barrages, ...).

AXE 2-3 : BILAN DE MATIERES PAR MNT MULTI-TEMPORELS DIFFERENTIELS.

Si la composante planimétrique des déformations du sol est accessible par corrélation d'image optique, la composante verticale peut être obtenue par différenciation de MNT. Il s'agit ici d'obtenir des MNT ayant à la fois une bonne résolution spatiale ($< 1\text{m}$), une bonne précision altimétrique ($< 1\text{m}$) et une bonne localisation. Cette axe de recherche s'attachera dans un premier temps à résoudre les problèmes inhérents à la restitution topographique en contexte montagneux (fortes pentes, zones parfois végétalisées) et à la quantification des erreurs. Cette étape est indispensable avant de procéder à des différences multitemporelles.

GROUPE DE TRAVAIL

- UCBL&ENS Lyon (C. Delacour, P Allemand, B Casson)
- BRGM (S. Le Mouélic, C. Carnec, D. Raucoules)
- CEA (R. Michel)
- LEGOS (E. Berthier)
- CEMAGREF (M Gay)
- Télécom-Paris département TSI (F Tupin, M Roux)
- CNES (F. Adragna, H Vadon)
- Université de Marne La Vallée (Jean-Paul Rudant)

DONNEES

Les données optiques aériennes nécessaires pour la corrélation sont multiples (Spot 5, IKONOS, Quick Bird, nouvelles simulations Pléiades, imagerie aérienne) Dans la majorité des cas des couples stéréoscopiques sont souhaitables afin de réaliser des MNT. Concernant l'interférométrie différentielle, existe t il des données en bande X en contexte montagneux ?

Il existe une archive (allemande – au DLR) de données X-SAR acquises lors des vols de la navette spatiale américaine (SIR-C), comprenant des couples interférométriques multi-passes.

3 - LE 3D RADAR POUR ORFEO

PRESENTATION :

L'extraction du 3D par imagerie satellitaire est un sujet d'actualité compte tenu des besoins en données 3D urbaines et des progrès constants des moyens d'acquisition haute résolution que ce soit optiques, ou radar. Malgré ces potentialités opérationnelles, l'extraction du 3D par imagerie RADAR (radargrammétrie ou interférométrie) reste encore un domaine peu exploité. Les travaux en interférométrie (Petit 2001, Tison, 2003) montrent la pertinence de l'approche mais sont confrontés à certains points durs : délimitation planimétrique du bâti délicate compte tenu de la projection radar et des effets de recouvrement notamment, effets atmosphériques dans le cas de données non simultanées. De récents travaux (Simonetto, 2002) ont mis en évidence les avantages et inconvénients de la radargrammétrie pour l'extraction du 3D en milieu industriel et ont défini une stratégie d'extraction de structures simples sur de telles images. L'utilisation conjointe de l'information radar et optique est une voie qui semble prometteuse (Tupin, 2003) : dans ce cadre là l'information planimétrique est extraite de l'image optique, l'information altimétrique des images radar.

Dans le cadre du programme ORFEO, plusieurs axes de recherches sont proposés. Ces axes concernent :

- l'étude de l'apport de l'image radar pour l'obtention du 3D dans le cadre d'ORFEO,
- le développement d'algorithmes adéquates,
- l'étude des complémentarités SAR/optique et interférométrie/radargrammétrie,
- l'étude de la mise à jour du 3D par imagerie SAR,
- l'étude de la surveillance de la croissance urbaine.

AXES DE TRAVAIL

AXE 3-1 : OPTIMISER LA STRATEGIE D'UTILISATION DU SAR POUR L'EXTRACTION DU 3D

Il s'agit ici de définir les modes SAR les plus prometteurs dans le système ORFEO pour le 3D compte tenu des contraintes du système (résolution, répétitivité des données, ...) et d'évaluer l'intérêt de l'utilisation des images optiques en complément aux images radar.

A court terme, il pourrait s'agir d'une étude théorique sur les performances attendues d'un tel système.

A moyen terme il faudrait mener une étude de performances à partir d'un jeu d'images ORFEO simulés. Dans ce cadre là les traitements pourraient être semi-automatiques puisque le but de l'étude serait de montrer les performances ultimes du système et non pas les performances des algorithmes mis en jeu.

AXE 3-2 : ALGORITHMES MONO MODE

interférométrie

Le but de cet axe est de définir une algorithmie d'extraction du 3D par interférométrie ORFEO.

On envisage d'étudier deux axes :

- le problème du « nettoyage », du filtrage, et de l'interprétation de la phase qui se posera sans aucun doute étant données les précisions de mesures nécessaires à l'extraction de structures dans

un contexte pollué par la présence d'échos forts, de rebonds multiples, d'ombres et de recouvrements ...

- les algorithmes d'extraction du bâti.

radargrammétrie

Comme pour l'interférométrie, le but de cet axe est de définir une algorithmie d'extraction du 3D par radargrammétrie sur des données ORFEO. On envisage d'étudier

- les algorithmes d'extraction du bâti et de mise en correspondance de structures
- les configurations les plus prometteuses en termes d'angle d'incidence et de delta angulaire.

AXE 3-3 : COMPLEMENTARITE OPTIQUE/RADAR ET INTERFEROMETRIE/ RADARGRAMMETRIE

Complémentarité optique/radar

Dans cet axe, la complémentarité de l'optique et du radar sera étudiée.

Complémentarité radargrammétrique / interférométrique

On propose ici de s'intéresser à la complémentarité interférométrie radargrammétrie. L'interférométrie permet une extraction 3D des structures mais ne permet pas de les positionner précisément de manière absolue étant donné le risque d'erreur dû aux artefacts atmosphériques ; La radargrammétrie, quant à elle, permet d'avoir une localisation 3D précise des points mis en correspondance. On propose d'utiliser la complémentarité des deux techniques pour extraire le 3D précisément

AXE 3-4 : MISE A JOUR

Compte tenu de la difficulté d'interprétation des images SAR haute résolution, il semble pour le moment illusoire de penser obtenir des modèles 3D urbains denses uniquement à partir de données radar, cependant, il peut être intéressant d'étudier l'apport du radar dans une problématique de mise à jour. Dans ce cas l'imagerie **3D** radar pourrait servir à détecter d'éventuels changements.

AXE 3-5 : SUIVI DE LA CROISSANCE URBAINE

Il s'agit ici d'étudier à partir d'images SAR l'évolution des grandes agglomérations lorsque la nébulosité locale ne permet pas un suivi régulier à partir d'images optiques. Le produit attendu est une cartographie 3D des zones bâties.

GROUPE DE TRAVAIL

- L'ONERA (H. Oriot, E. Simonetto)
- Le CNES (F. Adragna, J. Inglada)
- Le département TSI de Télécom-Paris (F. Tupin, J. M. Nicolas, H. Maître)

DONNEES :

Pour mener à bien une telle étude, il serait intéressant d'avoir un ensemble de données radar et optiques sur une même zone ainsi qu'une vérité terrain précise :

- les données radar permettant d'avoir des couples interférométriques et radargrammétriques et ceci sous deux angles de vue opposés.
- la zone devrait contenir des zones de bâtiments isolés de tailles différentes et des zones urbaines

Les données radar envisagées pour cette étude sont de trois sortes

Images Aerosensing

Images du capteur italien

CD ROM d'images RAMSES tests

Il sera très important de s'assurer que les images de simulation auront des spécifications techniques très proches de celles des futures images ORFEO. Le site idéal pourrait là aussi être Toulouse déjà bien documenté (données radar Aerosensing et Ramsès et données optique)