UNE MÉTHODE DE REDRESSEMENT POUR PALLIER L'ABSENCE D'ORTHO-PHOTO

MÉTHODE DE TRIANGULATION POUR LE REDRESSEMENT D'IMAGES DE TÉLÉDÉTECTION.

*Par Christophe **GOUINAUD** et D. Habib **BEN MOUSSA***

INTRODUCTION

Certains utilisateurs de spatiocartes n'ont pas besoin d'un géocodage rigoureux mais ont souvent besoin d'informations extraites de cartes, pour des raisons économiques ils ne peuvent pas supporter le surcoût que représente le passage niveau 2 SPOT ortho-image par exemple. D'autre part, quand on ne dispose pas de la chaîne de traitement permettant d'aboutir à une ortho-image, ces images constituent une sorte de boîte noire dans laquelle il est difficile d'entrer. Un changement de projection ou certains traitements portant sur la radiométrie posent des problèmes. Quand on essaye d'utiliser de nombreuses images issues de capteurs différents (radar, visible, ...) de façon à les faire collaborer dans un processus de fusion de données, il est essentiel de disposer d'une méthode de changement de localisation géométrique permettant des passages rapides des données d'une géométrie à l'autre, décrivant au mieux les transformations de surfaces et ne nécessitant pas de rééchantillonnage global.

A titre d'exemple, les types d'études suivantes n'ont pas un besoin impératif d'un géocodage parfait; recherche de vestiges archéologiques ou d'anciennes frontières naturelles, étude de terrains, pré-étude d'impacts. A l'inverse, les études de suivis de pollutions ou de déforestation dans des zones économiquement faibles ne peuvent être réalisées à des coûts raisonnables qu'en tolérant une certaine approximation sur la localisation des phénomènes. Dans le cas particulier de la déforestation, la première information recherchée est : "Quelle surface a été déboisée ?". La localisation des zones déboisées et leurs suivis viennent après; on constate donc là aussi que le géocodage absolu n'est pas non plus nécessaire.

Dans le cas des études de suivis urbains à très court terme, pour des études agricoles demandant des dates d'acquisitions précises ou pour des études de surveillance militaires, l'acquisition d'images compatibles avec la réalisation d'une ortho-image peut être prohibitive.

La plupart de ces études nécessite des produits comportant des éléments issus de cartes, (courbes de niveaux, voies de communications, anciens traits de cotes, installations portuaires, ...) la fonction de ces éléments est d'apporter un complément d'information permettant de se repérer sur le terrain ou d'évaluer rapidement l'évolution de certains phénomènes.

Pour les études nécessitant de fréquents déplacements sur le terrain, la présence de courbes de niveaux est très précieuse, car l'utilisateur se repère plus facilement et surtout a une idée plus précise de l'effort à accomplir pour se déplacer d'un point à un autre.

Certaines études interdisent le rééchantillonnage ou nécessitent l'utilisation de plusieurs géométries, par exemple les applications multi-capteurs, les études océanographiques ou les études spectrales fines.

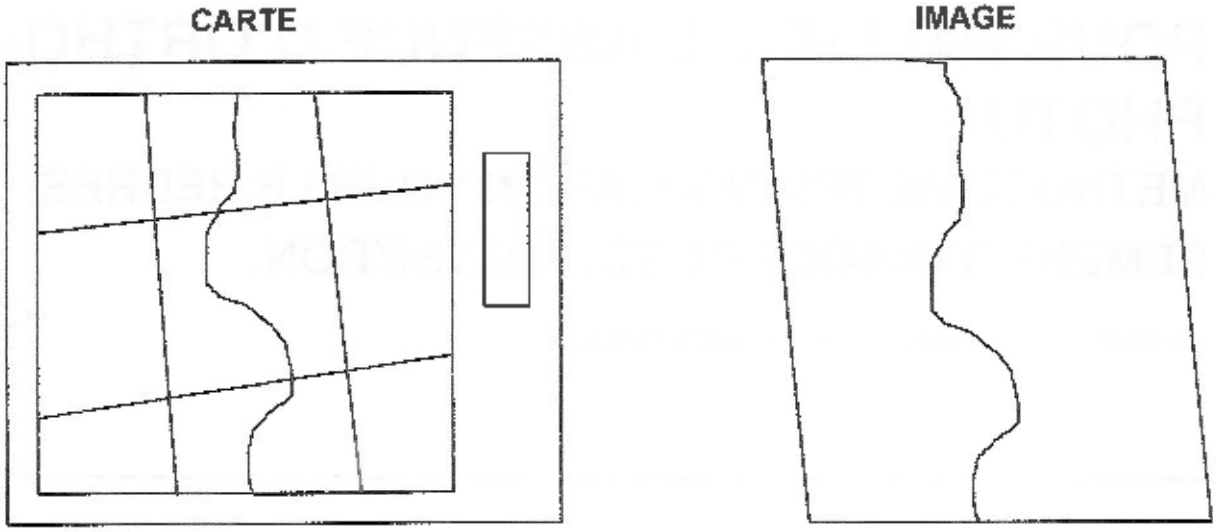
En résumé, il nous faut une méthode de recalage pas chère, rapide et permettant de conserver l'intégrité des données. Le problème était aussi lors du développement de cette méthode, qu'il fallait entrer le plus vite possible en production et donc, le temps de développement informatique devait être très court. Pour cette raison, il était impossible d'acquérir ou de développer un logiciel de fabrication d'ortho-image. Par la suite, l'utilisation de cette méthode pour la fusion multicapteur se justifie par des contraintes d'optimisation informatique et par le fait qu'il n'impose pas de redressement systématique de toute l'image.

Ce travail a été réalisé au CNT à Tunis (Centre National de Télédétection) qui, conscient des limitations de cette méthode, s'est doté cette année d'un atelier de production d'ortho-image.

◆ PROBLEMATIQUE

Le but de cette partie est d'introduire les éléments matériels du problème.

Première contrainte : placer des éléments de la carte sur l'image.



Pour être parfaitement rigoureux, cela nécessite une ortho-image dans la projection de la carte. Dans le cas où l'on essaie de redresser des images dans la projection de la carte par un polynôme global, on s'aperçoit rapidement que, si la zone présente un fort gradient d'altitude, la géométrie des images SPOT niveau 2 livrées par SPOT-IMAGE est plus dégradée par l'opération qu'elle n'est améliorée. Cette constatation s'étend aux autres capteurs et, donc, nous avons pris l'optique de travailler dans ces géométries pour garantir des taux d'erreurs au moins égaux à ceux du fournisseur.

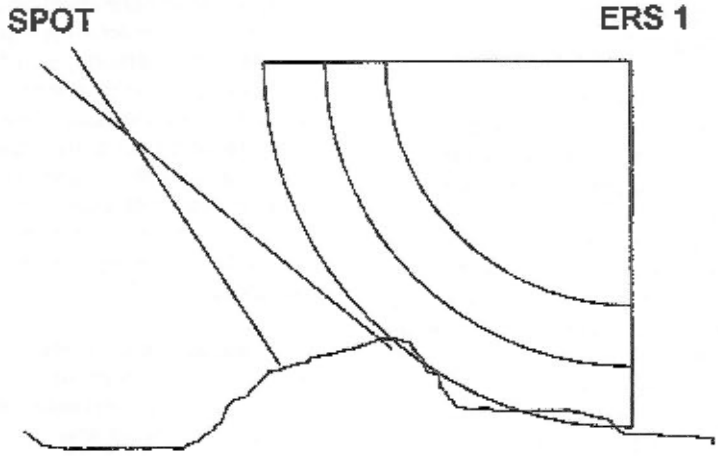
L'optique qui consiste à utiliser le MNT pour redresser l'image se heurte à des problèmes de recalages cartes images semblables. Comme on produit le MNT à partir des courbes de niveaux numérisées d'une carte, la géométrie du MNT est celle de la carte, on est donc de nouveau confronté au problème du recalage de la carte sur l'image. On a de plus rastérisé des courbes de niveaux vectorielles, les informations dont on dispose alors sont biaisées et l'erreur qui découle du calcul du MNT est difficile à évaluer.

Pour ce qui est des images issues du satellite SPOT une image prise verticalement résoudrait beaucoup de problèmes mais il est très difficile d'obtenir cela, ainsi qu'une date précise de prise de vue, par exemple.

La solution que nous avons adoptée est de trianguler l'image de la même façon que l'on triangule le terrain en géodésie. La première triangulation étant réalisée à la main, la deuxième de façon automatique par un calcul tenant compte de la géométrie des capteurs.

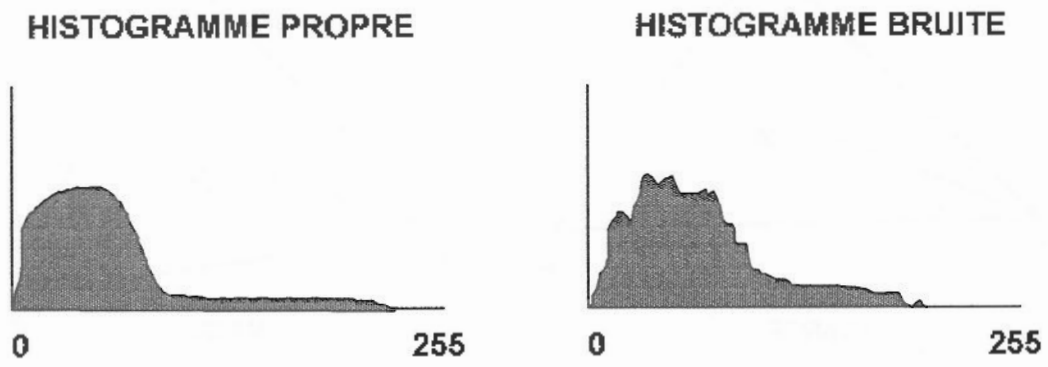
Deuxième but - Utiliser des images issues de capteurs différents.

La figure suivante schématise les problèmes de géométrie que l'on rencontre quand on utilise simultanément SPOT et ERS1.



Il nous faut pour utiliser ces deux capteurs chercher des informations dans des zones qui auront un aspect différent sur les deux types d'images. Si on calcule une statistique sur une parcelle rectangulaire sur SPOT, elle ne sera pas forcément rectangulaire sur ERS1 et l'approximation par une fenêtre carrée autour d'un point risque d'être totalement fausse. La facette que représente la fenêtre sur l'image SPOT peut être carrément retournée ou écrasée dans la géométrie du radar.

Les problèmes liés à l'effet du rééchantillonnage sur les images peuvent s'illustrer par le schéma suivant

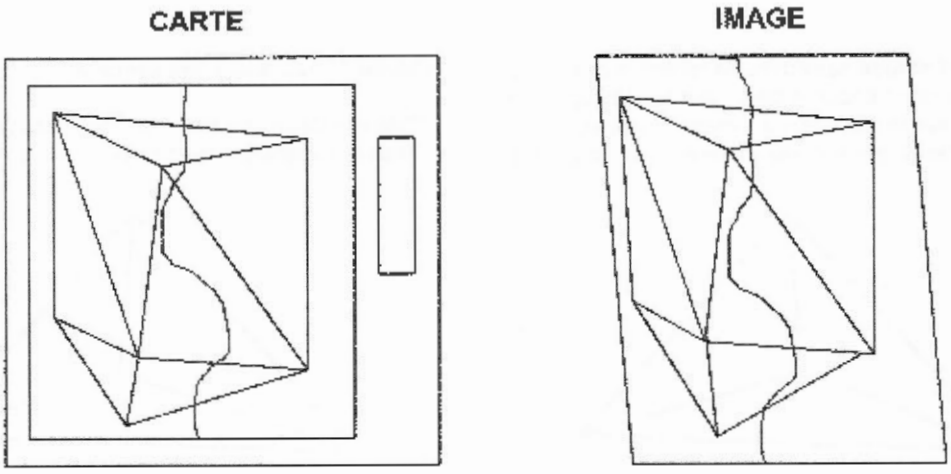


On a donc un problème similaire à ce qui est exposé avant, même si on s'affranchit des problèmes de géométrie par un calcul d'ortho-image global, le rééchantillonnage fera que les données résultats seront particulièrement difficiles à exploiter. Leurs statistiques par exemple ne correspondront plus aux modèles physiques et cela particulièrement dans le cas des images radar, du fait de l'effet de speckle. Les distributions statistiques de type Railey étant transformées en Gaussienne par le rééchantillonnage.

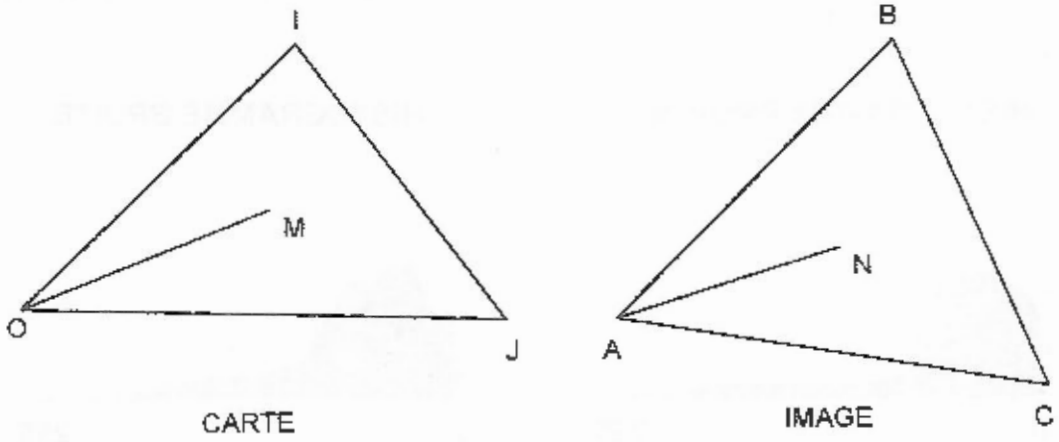
Il nous apparaît donc impératif d'utiliser les données brutes et la seule solution est de passer dynamiquement les informations d'une image à l'autre. Cela peut se faire de manière classique par le calcul d'une grille d'interpolation rigoureuse sur toute l'image, mais il faut le faire pour chaque capteur. La triangulation telle que nous la présentons dans la suite, est un procédé plus simple qui nous permet d'aller vite et d'obtenir la précision dont nous avons besoin.

◆ MÉTHODE DE TRIANGULATION

La solution que nous avons retenue pour ces problèmes est de définir une base de triangles recouvrant la zone d'étude qui jouera le rôle de repère local sur l'image. Chaque sommet de la base sera référencé sur la carte et sur l'image.



Pour amorcer le procédé, on réalise une triangulation peu dense à l'aide d'un petit nombre de points d'amers (16 pour une scène SPOT). Cette triangulation sert de base à une transformation de la carte vers l'image. Les coordonnées de chaque point de la carte ou de l'image sont transformées relativement à la base de triangles par une interpolation linéaire locale à l'intérieur des triangles.



On utilise l'application affine T définie comme suit :

T : carte ——> image
O ——> A
I ——> B
J ——> C

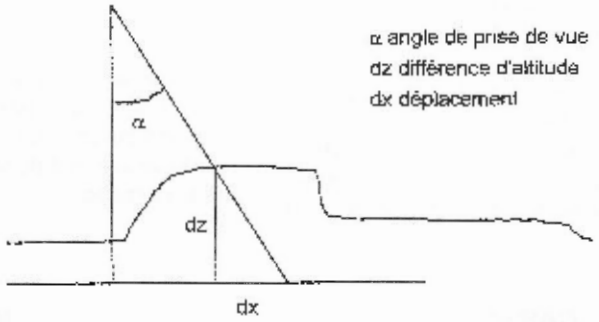
C'est une application affine définie par :

$X2 = A1*X1 + B1*Y1 + C1$
$Y2 = A2*X1 = B2*Y1 + C2$

La détermination des coefficients se fait sans problème sur les sommets du triangle, la seule contrainte est qu'il ne soit pas plat.

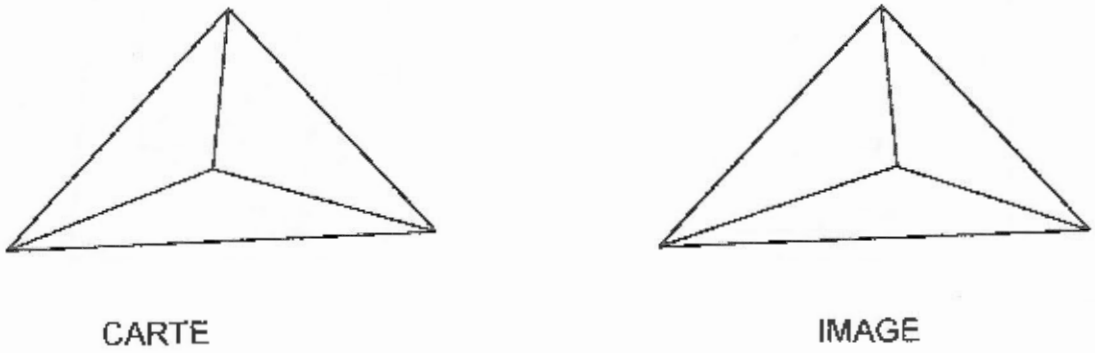
Ensuite, on affine la base de triangles relativement à une référence d'altitude, en utilisant les équations des capteurs et en tenant compte de la projection cartographique.

Exemple en visée conique



On connaît l'altitude des points de contrôles grâce à la carte, on est donc capable de diviser les triangles en trois parties sur la carte et sur l'image. La position sur l'image du point généré est calculée par rapport à l'altitude du nouveau point sur carte.

Cela constitue une triangulation de deuxième ordre, les ordres supérieurs étant calculés de la même façon.

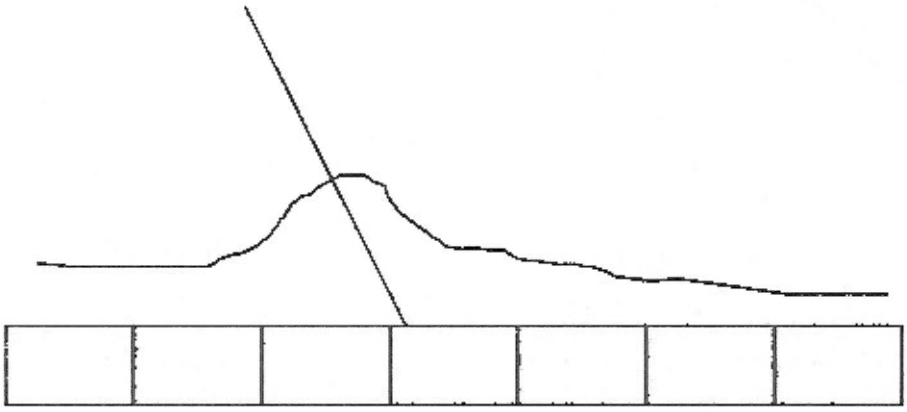


Une fois ceci fait, il faut définir une condition d'arrêt pour l'algorithme de triangulation automatique, les trois conditions exploitables sont :

- Surface minimum, on s'arrête quand les triangles atteignent une surface minimum arbitraire. C'est une condition valable, mais elle n'est pas liée à l'erreur de positionnement et donc elle n'est pas très intéressante dans la pratique.

- Nombre de triangles que l'on peu gérer. Contrainte liée à l'informatique et à la façon de coder les triangles.

- Déplacement maximum induit par l'altitude inférieure à une certaine valeur. Cette dernière condition demande à être plus détaillée.



On s'arrête quand la distance entre la position du centre des triangles donnée par l'application affine et celle corrigée par l'altitude est suffisamment petite.

$$| P_{triangle} - P_{alt} | < \varepsilon$$

Cette condition d'arrêt présente l'avantage de produire une triangulation non homogène de l'image, ce qui induit que la triangulation est suffisamment précise sans que le nombre de triangles à gérer soit trop grand. La triangulation épouse la forme du relief et est d'autant plus dense que le relief est chahuté.

En pratique on fixe la valeur d'arrêt suivant les besoins de précision requise par l'application et dans la plupart des cas l'algorithme s'arrête au bout de trois itérations.

L'utilisation pratique de la méthode se fait de la façon suivante :

Prise des points d'amers

Numérisation des courbes de niveaux

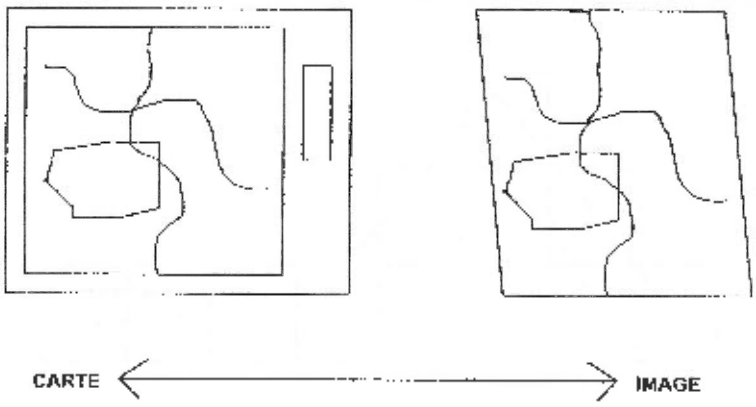
Calcul des triangulations d'ordre supérieur

ensuite deux voies possibles :

Redressement de l'image et rééchantillonnage dans la géométrie de la carte.

ou

Utilisation de la base de triangle pour plaquer les éléments de la carte sur les images.

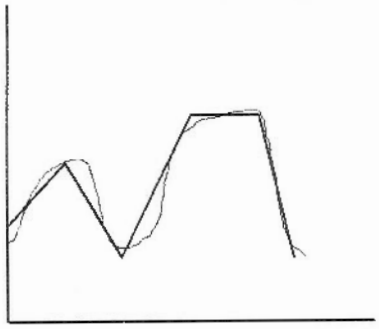


En fait tout dépend de la géométrie avec laquelle on veut travailler. L'utilisation de cette méthode étant de notre point de vue plus intéressante pour les travaux dans la géométrie de l'image.

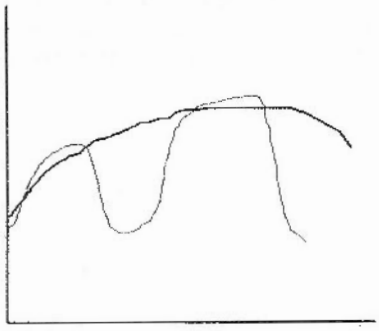
◆ INCONVENIENTS ET AVANTAGES

Dans cette partie, je vais essayer de détailler les inconvénients et les avantages de cette méthode.

L'avantage principale de cette méthode sur les redressements par polynôme est que l'erreur que l'on commet est prévisible :



TRIANGLES



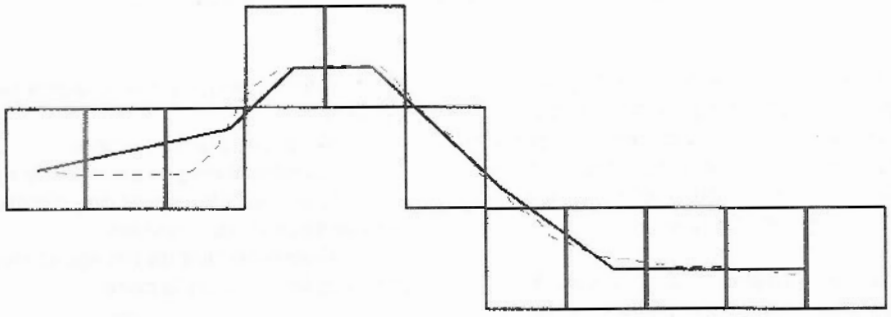
POLYNOME

On n'a, par exemple, pas de déformations parasites sur les bords de l'image alors que les polynômes de degrés supérieurs ou égaux à deux divergent sur les bords et induisent des déformations au centre de l'image difficiles à évaluer.

On s'approche aussi près que possible de la géométrie idéale et il suffit de prendre des triangles plus petits pour améliorer la qualité du recalage.

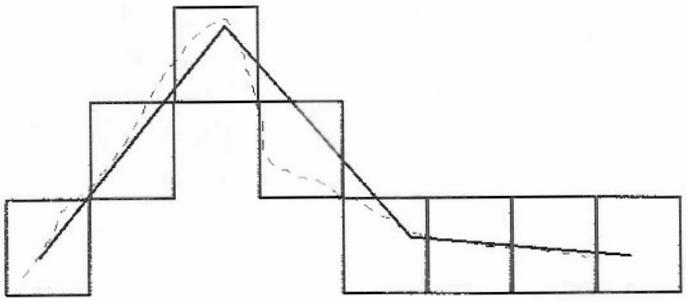
Dans le cas où un point de contrôle au départ est mal placé on n'a pas de perte de précision sur toute l'image mais seulement dans les triangles qui entourent ce point, de même qu'une erreur d'altimétrie sur la carte n'affecte pas la totalité du recalage.

Le gros problème qui se pose est la dérivabilité du modèle, on interpole la fonction de changement de géométrie d'une image à l'autre par une fonction affine par morceau qui n'est évidemment pas dérivable.



De façon théorique, on voit que l'on n'a pas de problème tant que la déviation de la tangente reste contenue dans l'enveloppe de la courbe. C'est à dire que l'erreur sur la tangente est inférieure à un pixel.

Le schéma suivant illustre les problèmes que l'on peut rencontrer dans certains cas extrêmes :

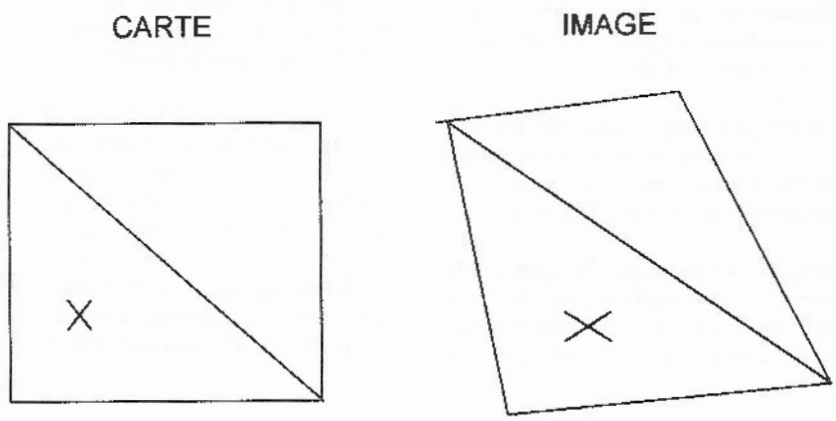


Les courbes de la carte ne seront pas transformées en lignes brisées si leur rayon de courbure n'est pas trop grand.

Dans la pratique sur l'imagerie SPOT, nous n'avons jamais constaté d'erreur de ce type.

La possibilité de faire du redressement dynamique est très intéressante pour les processus de fusion de données qui demandent de fréquents aller et retour entre les images.

On utilise dynamiquement la base de triangle pour placer les informations et pour définir les transformations entre les différentes zones d'étude.



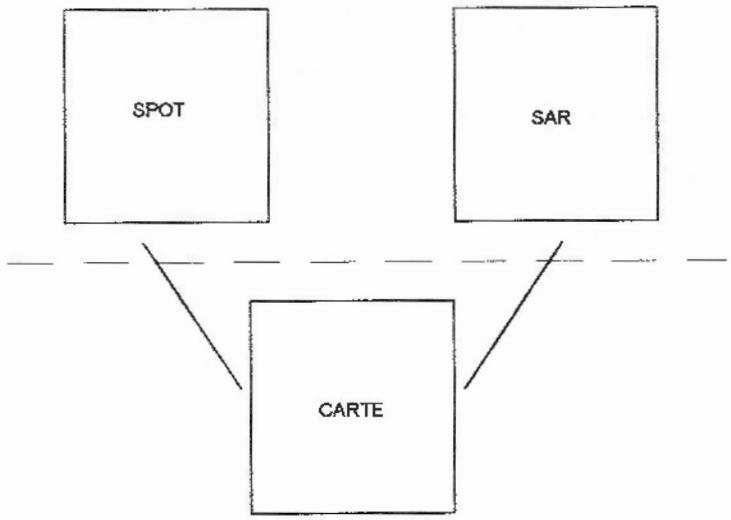
Sous certaines contraintes d'organisation informatique, cette méthode est très rapide et peu gourmande en mémoire.

Pour permettre un passage rapide entre les images il faut organiser les triangles de façon hiérarchique. Ainsi, on se repère dans les triangulations d'ordre inférieur puis on monte vers les ordres supérieurs. On peut aussi traiter les données triangle par triangle mais cela pose quelques problèmes aux bords.

L'avantage ici par rapport à une grille d'interpolation régulière est que le stockage de la base de triangles et des coefficients d'interpolations qui lui sont rattachés demande peu de mémoire.

Ceci permet de ne pas redresser la totalité des images pour faire collaborer plusieurs capteurs et donc d'éviter les rééchantillonnages qui pourraient nuire à la qualité des traitements.

Par exemple pour la fusion de données SPOT-SAR.



Un autre avantage est que l'on peut avoir les résultats des traitements dans toutes les géométries et donc utiliser facilement des masques produits sur les images d'un capteur sur un autre.

Cependant, il faut savoir décrire la géométrie des capteurs et plus particulièrement les déviations dues aux reliefs. Maintenant ceci est à peu près maîtrisé sur ERS1 mais pose de gros problèmes pour les radars aéroportés.

Le passage du radar vers la carte est plus délicat. Les écrasements et retournements de relief posent des problèmes de non bijectivité qui ne sont pas encore résolus. Par contre, envoyer des éléments de la carte vers l'image ne pose pas de problèmes.

CONCLUSIONS

Cette méthode est peu chère en temps de calcul et en temps de développement, ses capacités multicapteurs sont intéressantes dans la mesure où l'introduction d'une nouvelle géométrie est facile.

Elle s'avère suffisamment précise pour les applications décrites dans l'introduction même si les modèles géométriques que l'on utilise n'ont pas la précision rigoureuse de ceux conduisant à une ortho-image.

Dans le cas précis de la production de spatiocarte comportant des éléments numérisés d'une carte elle présente l'avantage de préserver la qualité géométrique des données originales. Quand on produit une spatiocarte sur une image SPOT de niveau 2, les erreurs finales sont exactement celles de l'image de départ et donc quantifiables.

Comme on numérise la totalité des courbes de niveaux, la méthode décrite ici demande beaucoup de travail opérateur mais pas plus que la production d'une ortho-image à partir d'un MNT issue de la même source.

Cette méthode est automatisable à condition de trouver automatiquement des correspondants carte-image (Thèse de M. ROUX - Télécom Paris 1992) et de disposer d'une méthode de numérisation automatique efficace des courbes de niveaux.

L'utilisation de cette méthode au CNT a donné toute satisfaction et a permis de produire des spatiocartes de qualité géométrique raisonnable.