

PRISE EN COMPTE DES DIFFÉRENCES PHOTOMÉTRIQUES ENTRE IMAGES DANS LES TECHNIQUES DE STÉRÉORESTITUTION.

Jacques PETIT-FRÈRE

TELECOM PARIS
Département Images 46, Rue Barrault, 75634 PARIS CEDEX 13
Fax: (1) 45 89 79 06 - Email: petitfrere@ima.enst.fr
Dassault Electronique
Département Radars de Surveillance et Communications
55, Quai Marcel Dassault, B. P. 301, 92214 SAINT-CLOUX CEDEX

Comission IV/7

Résumé

La création de Modèles Numériques de Terrain (M.N.T.) par des techniques de stéréorestitution est une étape fondamentale pour l'exploitation des données satellitaires en vue d'applications cartographiques. L'arrivée des images stéréoscopiques SPOT a rendu possible la production de MNT par des techniques automatiques ou semi-automatiques, sous la condition stricte que les deux images soient *radiométriquement homogènes*. Or de façon inhérente au mode de formation du couple stéréoscopique, cette condition est rarement vérifiée.

Nous présentons dans cet article une méthode originale de stéréorestitution tenant compte des différences photométriques ou du *diachronisme* entre images. Après avoir rappelé les différentes origines du diachronisme et ses conséquences sur les algorithmes actuels de stéréorestitution, nous présentons le schéma directeur de notre méthode : l'utilisation conjointe d'une primitive *région* et d'une primitive point.

L'idée principale est de faire collaborer deux niveaux hiérarchiques de primitive, le haut niveau pour la primitive région et le bas niveau pour la primitive point, afin d'améliorer la fiabilité de l'étape de mise en correspondance.

L'utilisation d'une primitive région est très rare en télédétection. Son extraction et sa mise en œuvre dans la procédure de détermination de la disparité font appel à une structure de donnée spécifique : *le graphe d'adjacence*.

La seule hypothèse sous-jacente utilisée est la continuité de la surface perçue du terrain. Elle intervient dans la propagation des appariements entre régions voisines pour le haut niveau, et facilite la densification de l'information de disparité pour le bas niveau. L'utilisation d'une primitive région nous permet d'appréhender les situations propres au diachronisme en détectant les parties sensibles et en proposant dans certains cas une information extrapolée proche de la réalité du terrain.

Notre objectif est de parvenir à une méthode de stéréorestitution beaucoup moins dépendante de la qualité intrinsèque des images, et de ce fait d'être capable de traiter une plus grande variété de couples.

I. INTRODUCTION

Depuis le lancement du satellite SPOT, l'imagerie satellitaire a remplacé l'imagerie aérienne pour la création de MNT au 1:50000 et au 1:20000. Cette possibilité est principalement due à la résolution nominale de 10 mètres et la possibilité de prises de vue latérales grâce à un miroir orientable. La variation de l'angle d'incidence pouvant aller de +/- 27°, on parvient à des rapports base/hauteur (B/H) proches de 1.

On reconnaît à l'imagerie satellitaire trois avantages par rapport à sa devancière : les données correspondent à des scènes de taille plus importante, elles sont obtenues directement sous forme numérique et le coût financier est beaucoup moins lourd qu'une campagne aérienne de prises de vue.

Aujourd'hui, les procédures de MNT à partir d'images SPOT sont bien maîtrisées <Hannah-89, Otto-89>. On distingue couramment trois phases, qui sont :

1. la calibration des données établissant la relation entre coordonnées-image et coordonnées-terrain,
2. la mise en correspondance des images, déterminant l'ensemble des points homologues ou la fonction de disparité,
3. la construction d'un fichier dense d'altimétrie $Z = f(x, y)$ à une résolution donnée par des techniques d'interpolation.

Dans cet article, nous nous intéressons uniquement à l'étape de mise en correspondance des images. Nous renvoyons le lecteur aux références <Guichard-83, Kratky-87> pour la phase de calibration et aux références <Grimson-83> pour la phase de construction du fichier altimétrique.

I.1 Origines du diachronisme

L'étape de mise en correspondance est de loin l'étape la plus complexe, et ceci d'autant plus qu'il existe entre les

images des différences photométriques. Nous avons choisi de classer ces différences photométriques selon leurs origines.

I.1.1 La nature de l'image

Les images SPOT utilisées (panchromatique de niveau 1A) sont situées dans le spectre visible (0,51µm-0,73µm). Pour cette raison, elles sont sensibles aux effets atmosphériques, telle que la présence de nuages, de brumes ou de brouillard. Ceci a pour conséquence de détruire complètement l'information stéréoscopique en masquant le sol, ou bien d'introduire un bruit important sous la forme de changements de contraste.

I.1.2 L'acquisition de couple stéréo

La trajectographie SPOT implique que les images doivent être prises à partir de deux orbites différentes avec un écart de dates d'au-moins 8 jours. Si de plus on ajoute des conditions sur le rapport B/H et sur l'enneuagement, on est amené, très souvent, à utiliser des images dont les écarts de prise de vue peuvent être importants. Ceux-ci pouvant aller au-delà d'une saison, des modifications de l'état des cultures ou l'extension des zones urbaines peuvent induire des erreurs importantes lors de la mise en correspondance.

I.1.3 Le type de scène

L'information photométrique apportée par une image panchromatique est liée au rayonnement solaire réfléchi par la surface terrestre. Elle est par conséquent considérablement influencée par les caractéristiques topographiques des zones accidentées, auxquelles viennent s'ajouter :

- les facteurs atmosphériques que nous venons d'aborder,
- les conditions d'éclairement, dont les fluctuations sont limitées par l'héliosynchronisme aux variations saisonnières,
- et la géométrie de visée.

Ces différents facteurs peuvent entraîner des intensités radiométriques très dissemblables sur des surfaces de même nature spectrale ou très similaires sur des surfaces différentes.

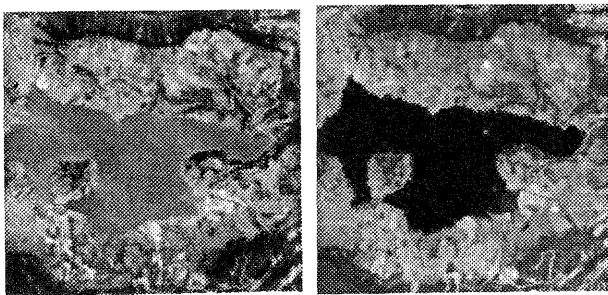


Figure-1 : Couple d'images stéréoscopiques (Copyright SPOTIMAGE) sur le Lac de Salagou près de Lodève (Sud de la France).

Les deux images ont été prises à un mois et demi d'intervalle et correspondent à un changement de saison agricole.

La figure-1 illustre une partie des problèmes que nous venons d'évoquer : présence de brumes, inversion de contraste, changement d'état des cultures,... Leurs conséquences sur l'information de disparité affectent non seulement les zones concernées, mais également leurs voisinages du fait des hypothèses de continuité de surface

nécessaires pour réaliser la mise en correspondance des points homologues.

I.2 Introduction d'une primitive région

La création de modèles numériques de terrain est traditionnellement réalisée par des techniques de corrélation entre fenêtres <Otto-89>. Ces méthodes se caractérisent par :

- l'utilisation de primitives locales (fenêtres de taille 11x11),
- une déformation photométrique entre les deux images suivant une loi linéaire $I_g = r_1 + r_2 I_d$,
- des surfaces observées de nature lambertienne par hypothèse,
- un relief à extraire considéré comme continu à cette échelle.

Dans la pratique, le type de scène couvert par de telles hypothèses apparaît trop restrictif, et les approches par corrélation donnent fréquemment des résultats incohérents.

Les recherches se sont tournées vers l'utilisation de primitives, comme les contours <Greenfield-89>, l'information de contour paraissant mieux se conserver à travers le temps. L'inconvénient de ces approches est qu'elles délivrent une carte de disparité beaucoup trop éparse compte tenu des applications <Day-89>. Inversement les approches par corrélation parviennent à une bonne densité, mais échouent systématiquement en présence de différences photométriques.

Pour ces raisons, nous pensons qu'une méthode intégrant ces deux familles doit permettre de mieux appréhender le problème de diachronisme.

Notre méthode s'appuie sur l'utilisation conjointe d'une primitive région et d'une primitive point. Le choix d'une primitive région se justifie par :

- le passage à un niveau supérieur d'information (des caractéristiques de forme, de luminance, de texture, d'indices multispectrales et d'adjacence deviennent accessibles),
- l'accès à une primitive globale et dense à travers l'image,
- la possibilité de l'associer à des entités stables du paysage (forêts, zones urbaines et à un degré moindre les champs),

Par la suite, nous présentons la phase d'extraction des primitives régions qui est menée de façon indépendante sur les deux images, et une structure de données utilisée pour leur exploitation que l'on retrouve fréquemment dans les applications robotiques : le graphe d'adjacence.

II. EXTRACTION DES PRIMITIVES REGIONS

L'extraction de régions se fait en deux étapes. D'abord nous appliquons un opérateur de filtrage basé sur une information de texture, améliorant le contraste et limitant l'influence du bruit sur l'image originale. Puis la phase de segmentation proprement dite est réalisée par l'opérateur de partage et réunion proposé par SUK <Suk-83>, appliqué sur l'image filtrée et travaillant sur une information de niveau de gris.

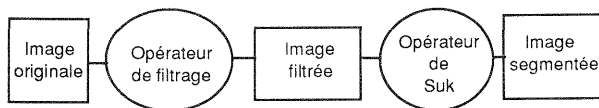


Figure-2 : Procédure de segmentation sur images SPOT

Quelques résultats

Les résultats d'une segmentation appliquée sur le quart supérieur gauche du couple de la figure-1 mettent en évidence l'instabilité de la primitive région d'une image à l'autre (figure-3). Les nombres différents de régions gauches et droites (dans un rapport de 2) s'expliquent essentiellement par la différence de contraste entre les images et l'importance du diachronisme. S'attaquer au problème du diachronisme entre images en utilisant une primitive extraite à partir d'une information photométrique revient à transposer le problème sur l'étape de segmentation. En fait l'instabilité des régions se règle par l'emploi du graphe d'adjacence.

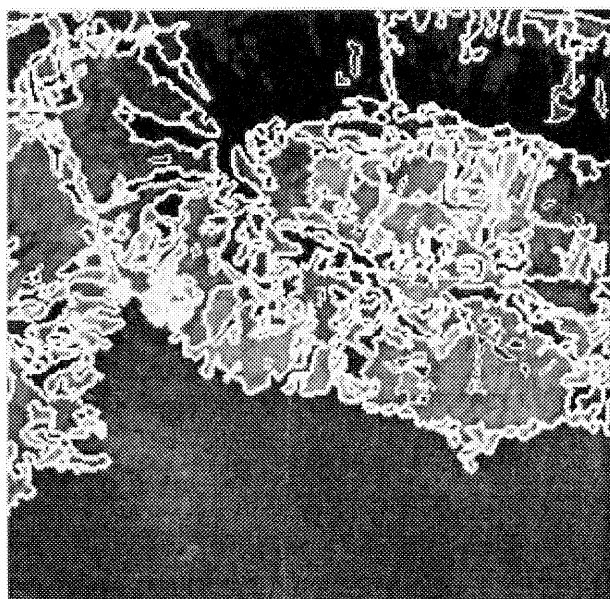


Figure-3 : Couple d'images segmentées (256x256)
Il y a 420 régions sur l'image gauche

Description du graphe d'adjacence

L'image I_{etq} qui associe à chaque pixel l'étiquette i de la région à laquelle il appartient est appelée image segmentée.

Soit $G = [X, U]$ le graphe d'adjacence associé à l'image segmentée I_{etq} . On définit l'ensemble des sommets X de G comme l'ensemble des étiquettes des régions formant la partition de I_{etq} , et l'ensemble des arcs U comme l'ensemble des paires de régions voisines c'est-à-dire partageant une frontière commune :

— $X = \{ r_1, r_2, \dots, r_n \}$, où r_1, r_2, \dots, r_n sont les étiquettes respectives de R_1, R_2, \dots, R_n ,

— $U = \{ (r_{i_1}, r_{j_1}), \dots, (r_{i_k}, r_{j_k}), \dots, (r_{i_p}, r_{j_p}) \}$, avec $\forall k \in [1..p], i_k \neq j_k$ et p est le nombre d'arcs.

G est un graphe planaire, connexe et non orienté. Il devient un graphe valué en associant à chaque nœud et à chaque arc des attributs portant sur les régions et sur les frontières entre régions. Nous avons retenu pour notre propre application :

- la moyenne, la position du barycentre, la surface et le cadre minimal pour les régions,
- la longueur, le contraste pour les frontières.

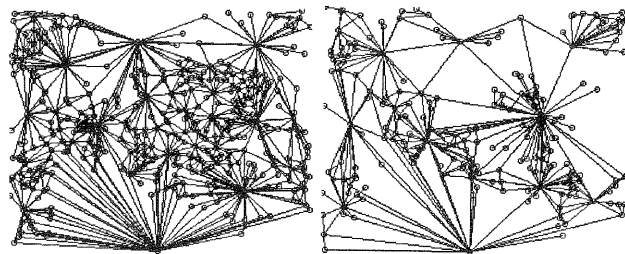


Figure-4 : Graphes d'adjacence gauche et droite

Nous présentons sur la figure-4 les graphes d'adjacence relatifs aux images segmentées de la figure-3. Ces graphes contiennent 420 nœuds avec 1110 arcs pour le graphe gauche et 211 nœuds avec 496 arcs pour le graphe droite.

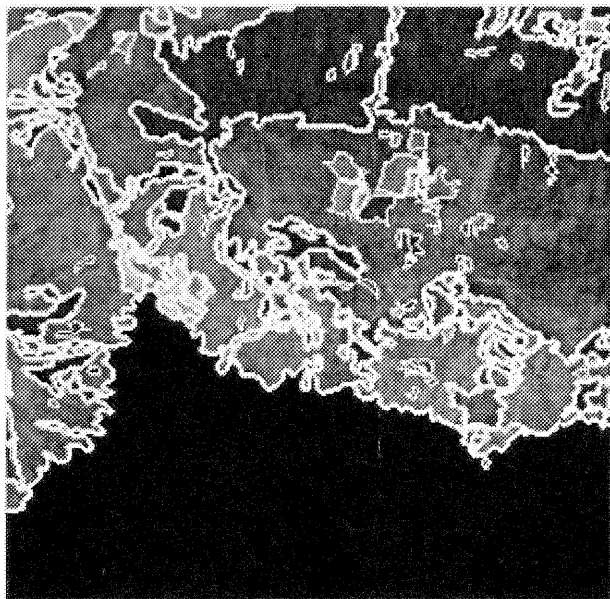


Figure-3 :
... et 210 régions sur l'image droite

III. UNE NOUVELLE MÉTHODOLOGIE DE MISE EN CORRESPONDANCE

A la base de cette méthodologie, nous utilisons deux primitives organisées hiérarchiquement :

1. les régions, obtenues par la segmentation précédemment décrite, correspondant au haut niveau,
2. les points liés aux régions, correspondant au bas niveau.

Pour permettre une collaboration entre les deux niveaux, nous avons aménagé le passage de la région aux points qu'elle contient par la phase d'étiquetage. Le passage inverse (des points aux régions) est beaucoup trop coûteux pour intervenir lors de l'étape de mise en correspondance.

Une fois les primitives régions et points organisées hiérarchiquement, nous formulons une méthode de mise en correspondance divisée en deux étapes :

1. D'abord nous effectuons une mise en correspondance

symbolique des régions à partir de laquelle des valeurs de disparité fiables et précises sur les seuls points de frontières sont extraites. Les zones marquées d'un fort diachronisme sont détectées comme comportant des valeurs de disparité incohérentes. Elles sont réservées pour un éventuel traitement ultérieur.

2. Ensuite, une densification de l'image de disparité est obtenue par une mise en correspondance de points initialisée sur les points de frontière.

IV. MISE EN CORRESPONDANCE DES RÉGIONS

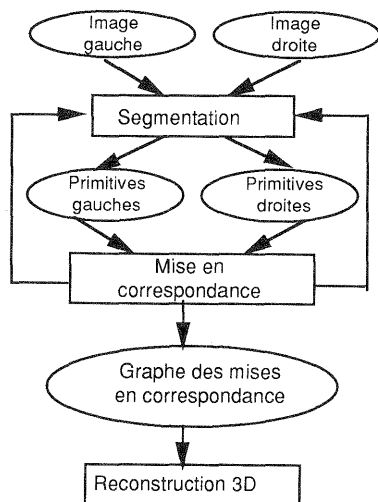


Figure-5 : Schéma de mise en correspondance

Afin de pallier à l'instabilité de la décomposition en régions, nous proposons d'introduire en plus un retour de l'étape de mise en correspondance sur la segmentation (voir figure-5). Au fur et à mesure des appariements, les segmentations des régions non appariées sont améliorées. On parle de coopération entre l'extraction et la mise en correspondance de régions <Gaga-87,Cohe-89>, et on s'appuie ici plutôt sur l'invariance des relations d'adjacence que sur la stabilité des régions. Ces relations d'adjacence sont établies lors de la construction des graphes d'adjacence gauche et droite issues de la segmentation des deux images. Le problème de mise en correspondance de régions se transforme en un problème de mise en correspondance de graphes.

IV.1 Mise en correspondance de graphes

Nous utilisons une technique de propagation des appariements sur les régions adjacentes à partir d'un appariement initial de deux régions gauche et droite. Cette démarche utilise l'hypothèse de continuité de surface, et devrait être totalement remise en cause en présence de fortes discontinuités du relief.

Pour rendre effective la propagation des appariements, nous appliquons successivement les deux niveaux hiérarchiques de primitives que nous avons définis.

L'établissement d'une hypothèse d'appariement entre deux régions $H = [A_0, B_0]$ se fait dans un premier temps au niveau de la primitive région. Puis l'hypothèse est validée par la mise en correspondance des pixels frontières de A_0 et B_0 , en

appliquant une méthode d'appariement de primitives points alignées le long de lignes épipolaires conjuguées <Tu-90>. La propagation des appariements s'étend aux régions voisines de part et d'autre des frontières dont les points ont été appariés.

Une hypothèse ne traduit pas forcément un appariement 1:1 entre régions. Au fur et à mesure de la propagation, des appariements asymétriques sont engendrés associant m régions gauches à n régions droites.

Les hypothèses sont rangées dans une liste ordonnée suivant un coût de ressemblance symbolique entre régions. Pour une hypothèse d'appariement asymétrique, le coût de ressemblance entre les m régions gauches et les n régions droites correspond à un coût de ressemblance entre une super-région gauche issue de la fusion des m régions gauches et une super-région droite issue de la fusion des n régions droites. Ainsi les résultats de segmentation sont améliorés par des fusions successives.

Le coût de ressemblance symbolique entre une région gauche A_i et une région droite B_j est donné par :

$$C(A_i, B_j) = \sum_{p=1}^q c_p f_p(A_i, B_j)$$

où c_p et f_p sont respectivement le coefficient et la fonction de coût relatifs à l'attribut d'indice p :

$$f_p(A_i, B_j) = \frac{\text{Min}(Att_p(A_i), Att_p(B_j))}{\text{Max}(Att_p(A_i), Att_p(B_j))}$$

Att_p étant un attribut associé à une région parmi la surface, l'ordonnée du barycentre et les ordonnées haute et basse du cadre minimal de la région.

A l'étape courante, on traite l'hypothèse de meilleur coût en mettant en correspondance les points frontières des deux super-régions concernées. Si le rapport du nombre de points appariés sur le périmètre des régions est supérieur à un seuil, alors l'hypothèse est acceptée et devient un appariement validé. Dans le cas contraire, celle-ci est éliminée et on passe à l'hypothèse suivante.

Mécanisme de propagation

Lorsqu'un appariement est validé, il peut servir de base à une propagation en proposant de nouvelles hypothèses portant sur les régions voisines. Ceci se fait par une étude de la disparité le long de la frontière des régions appariées. Elle doit vérifier les contraintes strictes d'appartenance au domaine de disparité, de continuité, de limite du gradient de disparité et d'invariance topologique. Une valeur de disparité vérifiant ces contraintes sur l'abscisse curviligne s de la frontière vote pour l'appariement des régions voisines gauche et droite correspondant à s (voir figure-6)

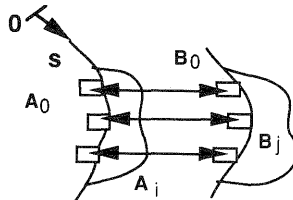


Figure-6 : Propagation à partir des régions mères A_0 et B_0 : 3 votes successifs pour une hypothèse $[A_i, B_j]$.

Une fois la frontière parcourue, nous disposons d'un ensemble d'hypothèses d'appariements sur les régions adjacentes qu'il va falloir rendre cohérent. Nous avons opté pour une technique de programmation dynamique, qui nous garantit la préservation de l'ordre des régions voisines parcourues le long de la frontière et la possibilité d'appariements asymétriques.

Ces hypothèses d'appariement sont alors rangées dans la liste ordonnée suivant leur coût de ressemblance et serviront à leur tour de base à une nouvelle propagation.

De cette façon, les mises en correspondance entre régions croissent au fur et à mesure autour d'appariements déjà obtenus sous le critère implicite d'invariance des relations d'adjacence. On espère ainsi parcourir l'ensemble des régions existantes. L'algorithme développé correspond à la recherche d'une composante connexe dans le graphe d'association défini par les deux graphes d'adjacence <Amblar-75>.

Mise à jour de la liste et remise en cause d'hypothèses

La mise à jour de la liste se fait par l'insertion d'une nouvelle hypothèse $H^{new} = [A_i^{new} \in [1..p], B_j^{new} \in [1..q]]$. Il existe 3 types de situations :

1. Les régions A_i^{new} et B_j^{new} n'existent pas dans la liste. L'insertion de H^{new} se fait suivant le coût de ressemblance entre ses deux super-régions.
2. Une ou plusieurs régions de H^{new} participent à d'autres hypothèses déjà présentes dans la liste. Il peut y avoir conflit entre ces hypothèses et H^{new} , entraînant une remise en cause de certaines. Dans ce cas, nous récupérons les hypothèses concernées et nous sélectionnons parmi toutes les combinaisons celle qui correspond au meilleur coût. Les hypothèses d'appariement, au même titre que les régions, sont fusionnées si l'association des régions qui les composent améliore le coût. Les hypothèses non retenues sont alors retirées de la liste. Par ce principe, il y a une gestion dynamique de la liste, dans laquelle les hypothèses sont confirmées ou éliminées si elles sont incompatibles avec d'autres hypothèses plus fortes. La convergence de l'algorithme est assurée par le choix d'une hypothèse de

meilleur coût, écartant tout risque de cycle périodique d'insertion et d'élimination d'une même hypothèse.

3. Une des régions de H^{new} correspond à un appariement déjà réalisé, c'est à dire à une hypothèse validée ayant déjà servi de base à une propagation. Si la fusion de H^{new} avec l'appariement validé améliore son coût initial, on est parvenu par la propagation à corriger des défauts de segmentation. Si la fusion de H^{new} dégrade le coût, H^{new} est détruite, car une hypothèse ne peut remettre en cause un appariement validé.

Résultats

Nous présentons sur la figure-7 le résultat d'une propagation. Les graphes superposés aux images sont des sous-graphes des graphes d'adjacence ayant participé à la mise en correspondance. Seuls les nœuds ayant donné lieu à une propagation sont représentés avec un numéro correspondant à l'étape de leur validation. De même seuls les arcs faisant état d'une propagation sont représentés.

La propagation a été initialisée à partir de deux hypothèses correspondant aux nœuds [1,1'] et [2,2'], et a permis la correction de la segmentation du nœud [3,3'] pour sa région droite (en noir) lors de l'insertion de l'hypothèse [7,7'].

L'expérimentation de cette méthode a montré qu'il est difficile de parcourir l'ensemble des régions, même lorsque le seuil de validation d'une hypothèse est très souple, et que les régions restantes correspondent aux zones mal segmentées sur lesquelles la mise en correspondance de points risque le plus souvent d'échouer.

IV.2 Initialisation de l'algorithme

Pour être lancé, l'algorithme nécessite au-moins une hypothèse initiale d'appariement, mais de meilleurs résultats sont obtenus si l'on dispose de plusieurs hypothèses initiales réparties sur toute l'image.

Ces hypothèses initiales résultent, soient d'une désignation manuelle, soit d'un algorithme d'initialisation automatique qui, dans l'exemple présenté, s'appuie sur les zones de très grande

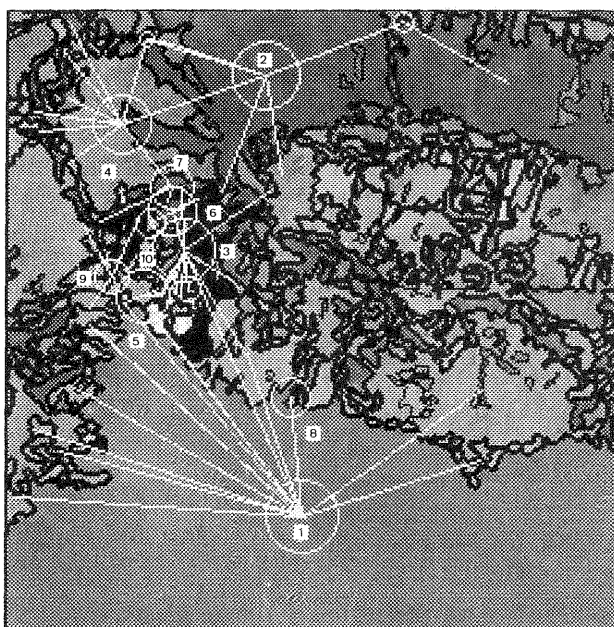
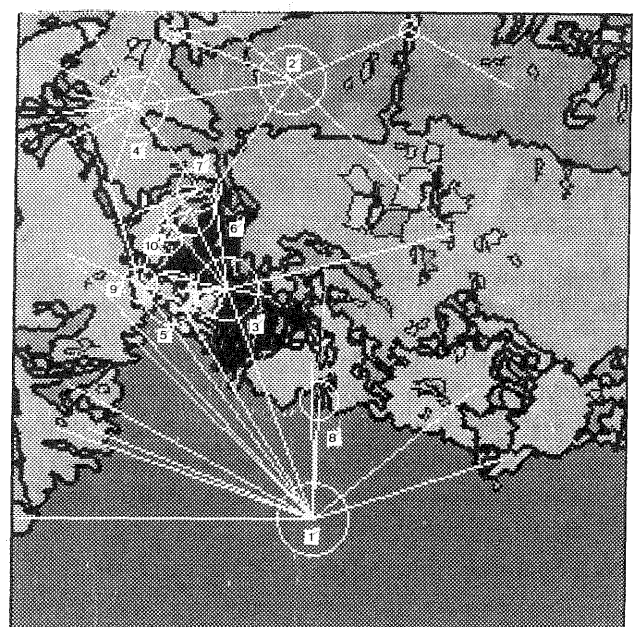


Figure-7 : Graphe de propagation sur l'image gauche ...



et sur l'image droite

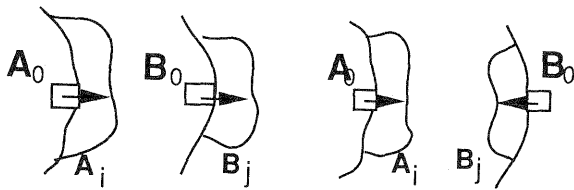
taille (lacs, forêts) aisément indentifiables.

IV.3 Détection des zones de diachronisme par application de contraintes

Comme nous l'avons dit, l'étape de mise en correspondance symbolique permet de détecter des zones où de grandes difficultés d'appariement sont rencontrées.

Ces zones sont identifiées par la vérification de quatre contraintes :

1. la limite du domaine de disparité, traduisant une limite inférieure et une limite supérieure de l'altitude,
2. la limite du gradient de disparité, traduisant une limite supérieure de la pente du terrain,
3. la contrainte de continuité le long des frontières, qui s'exprime de la façon suivante : *une chaîne connexe de points (correspondant à une frontière) représente la projection d'une courbe continue sur le terrain,*
4. une contrainte topologique, qui assure qu'il n'y a pas permutation de deux zones adjacentes lors du parcours de la frontière (figure-8).



Appariement accepté Appariement refusé
Figure-8 : Contrainte topologique

Une zone diachrone est définie comme une portion de frontière le long de laquelle l'une de ces quatre contraintes n'est pas vérifiée par les valeurs de disparité. Nous avons choisi de ne retenir que les portions d'une longueur supérieure à 10 pixels (figure-9).

Certaines de ces zones correspondent à des défauts de segmentation, qui pourront être corrigés par des fusions lors de la phase de remise en cause du processus d'appariement.

D'autres traduisent la présence d'un diachronisme local auquel il semble difficile d'apporter des corrections (présence de brume, changement de niveaux des eaux).

IV.4 Programmation dynamique

Lorsqu'une hypothèse d'appariement est validée, l'étude de la disparité le long des frontières permet de générer une série d'hypothèses d'appariement entre les régions voisines à partir des régions mères appariées. C'est le processus de propagation.

Le suivi de l'abscisse curviligne d'une région mère gauche donne la séquence de ses régions voisines auxquelles correspond une séquence de régions droites, homologues à la séquence gauche au regard des valeurs de disparité vérifiant les contraintes.

Nous avons proposé une méthode de programmation dynamique pour mettre en correspondance ces deux séquences de façon à garantir l'ordre des régions adjacentes aux régions mères, et de confirmer des hypothèses d'appariements

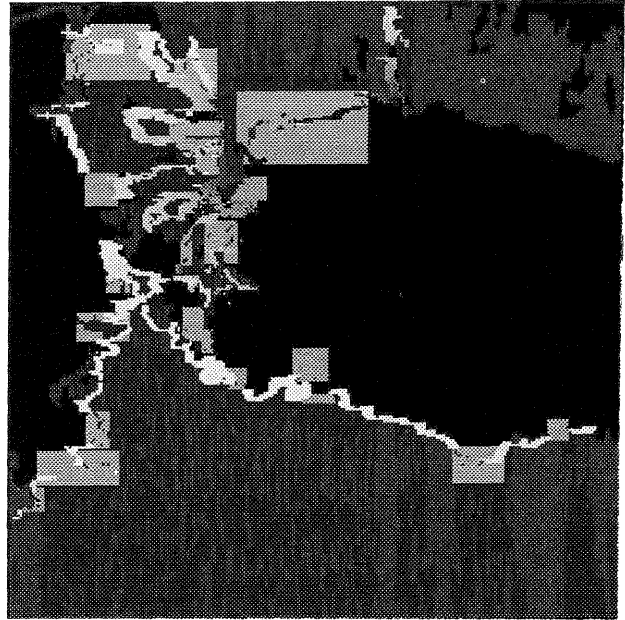


Figure-9 : Détection des zones de diachronisme : Les zones de diachronisme sont délimitées par des rectangles minimaux les entourant.

asymétriques. Les cinq configurations décrites par la figure-10 résument toutes les situations envisagées par cet algorithme.

V. DETERMINATION D'UNE INFORMATION DENSE

Le passage à une information dense se fait par l'intermédiaire de primitives points comme pour les méthodes classiques, mais en tenant compte des informations induites par la mise en correspondance des régions. Le pilotage de la primitive région intervient à plusieurs niveaux.

D'abord les valeurs de disparité initialisées à partir des frontières sont considérées comme définitives (venant d'une primitive plus fiable, elles ne sont pas changées). Elles peuvent servir de germes à un algorithme de croissance de région comme celui proposé par Otto et Chau <Otto-89>, inspiré de la méthode des moindres carrés développée par Gruen <Gruen-85>. Les paramètres de la modélisation photométrique entre

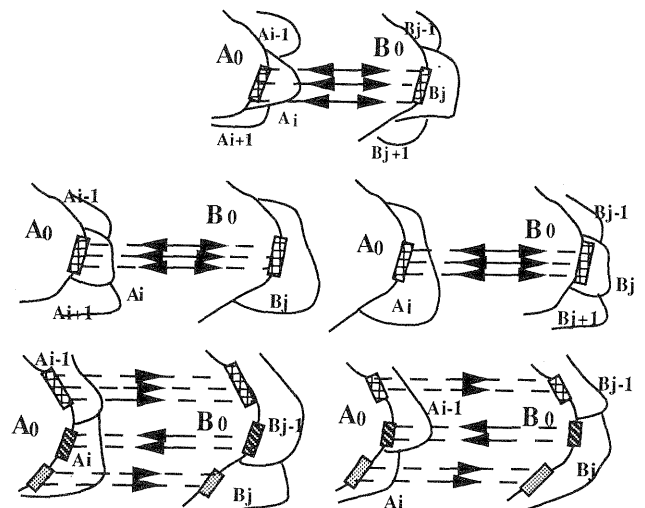


Figure-10 : Les 5 configurations de mise en correspondance des régions adjacentes à deux régions mères $[A_0, B_0]$

les images sont alors déterminés par les attributs photométriques des régions segmentées. Ils n'ont pas à être calculés, ce qui accélère l'algorithme.

Ensuite à un niveau de connaissance supérieure, la segmentation en régions peut permettre de traiter le problème des surfaces sans texture comme le lac. Ces régions sont caractérisées par une faible variance, un indice d'humidité important (calculé à partir de l'information XS) et une valeur de disparité constante le long des frontières. Une simple interpolation de la disparité à un niveau constant peut être effectuée sur la zone segmentée. De cette façon, on limite l'influence de ces zones sur la phase de mise en correspondance.

Enfin l'analyse des paramètres de validation des mises en correspondance présentée dans la méthode de Gruen <Gruen-85> doit permettre de révéler les zones de diachronisme restantes, qui n'ont pas pu être traitées par la primitive région. Ces zones doivent être de taille petite et de contraste faible pour ne pas avoir été segmentées. Leur influence sur l'étape de mise en correspondance semble limitée. De plus, elle pourra être résorbée lors de l'étape de reconstruction de surface.

VI. CONCLUSIONS

Nous avons présenté dans cet article une méthode originale de stéréorestitution mettant en œuvre deux types de primitives : la région et le point.

L'objectif de cette méthode est avant tout d'être moins sensible à la qualité intrinsèque des images en localisant les sources d'erreurs afin de limiter leur influence sur les autres parties de la scène.

Nous y parvenons grâce à l'emploi d'une primitive région, primitive plus riche que celles habituellement utilisées. Un processus de collaboration a été présenté entre les deux primitives pour l'élaboration d'un MNT dense. Il procède de façon hiérarchique en exploitant l'information dérivée de la primitive région (valeurs de disparité établies sur les frontières et localisation des zones de diachronisme) pour initialiser et contraindre la mise en correspondance de points. De cette façon, il est possible de qualifier la fiabilité des parties du MNT, ce qui apparaît indispensable pour un produit constituant le premier chaînon de l'exploitation des données satellitaires.

RÉFÉRENCES :

[AMBL-75] **A. P. Ambler, H. G. Barrow, C. M. Brown, R. M. Burstall, R. J. Popplestone** : *A versatile computer controlled assembly system*, Artificial Intelligence, Vol. 6, N° 2, pp 129-156, 1975.

[COHE-89] **L. Cohen, L. Vinet, P. T. Sander, A. Gagalowicz** : *Hierarchical region based stereo matching*, Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR, San Diego, June 89, pp 113-130.

[DAY-89] **T. Day, J. P. Muller** : *Digital elevation model production by stereo-matching SPOT image-pairs : a comparison of algorithms*, Image and Vision Computing, Vol. 7, N° 2, May 1989, pp 95-101.

[GAGA-87] **A. Gagalowicz, J-P. Cocquerez** : *Un nouvel algorithme de mise en correspondance de régions dans des paires d'images stéréo*. Proc. AFCET, Reconnaissance des formes et intelligence artificielle, 6ième congrès, Antibes, Novembre 87, pp 315-329.

[GREE-89] **J. S. Greenfield, A. F. Schenk** : *Experiments with edge-based stereo matching*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 55, N° 12, December 89, pp 1771-1777.

[GRIM-83] **W. E. L. Grimson** : *An implementation of a computational theory of visual surface interpolation*, Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 22, pp 39-63, 1983.

[GRUE-85] **A. W. Gruen** : *Adaptive least squares correlation : a powerful image matching technique*, South Africa Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography, Vol. 14, N° 3, pp 175-187, 1985.

[GUIC-83] **H. Guichard** : *Etude théorique de la précision dans l'exploitation cartographique d'un satellite à défilement. Application à SPOT*, Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection, N° 30, 1983, pp 15-26.

[HANN-89] **M. J. Hannah** : *A system for digital stereo matching*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 55, N° 12, December 89, pp 1765-1770.

[KRAT-89] **V. Kratky** : *Rigorous photogrammetric processing of SPOT images at CCM Canada*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 44, 1989, pp 53-71.

[OTTO-89] **G. P. Otto, T. K. W. Chau** : *Region-growing algorithm for matching of terrain images*, Image and Vision Computing, Vol. 7, N° 2, May 1989, pp 83-94.

[SUK-83] **M. Suk, S. M. Chung** : *A New Image Segmentation Technique based on Partition Mode Test*, Pattern Recognition Vol. 16, N° 5, 1983, pp 469-480.

[TU-90] **X-W. Tu, B. Dubuisson** : *3-D information derivation from a pair of binocular images*, Pattern Recognition, Vol. 23, N° 3/4, pp 223-235, 1990.