PHOTOGRAMMETRIE NUMÉRIQUE ET INTERPRÉTATION D'IMAGE : EXEMPLE D'UN PROCESSUS DE SAISIE DU RÉSEAU ROUTIER

Par Sylvain AIRAULT - Olivier JAMET
Laboratoire MATIS[1]
Institut Géographique National - 2, avenue Pasteur - 94160 Saint-Mandé

MOTS-CLÉS

Photogrammétrie numérique, reconnaissance d'objets, images aériennes, détection de routes, interface utilisateur

KEYWORDS

Digital photogrammetry, object recognition, aerial images, road detection, user interface

RÉSUMÉ

Dans le cadre de la constitution de sa base de données topographiques, l'IGN se pose les problèmes liés à l'automatisation des chaînes de saisie photogrammétrique. Basé sur l'expérience acquise autour de la restitution automatique du réseau routier, ce papier fait état des difficultés rencontrées, aussi bien dans le domaine de l'extraction automatique elle-même que dans celui de l'intégration des algorithmes dans un contexte opérationnel. On y trouvera la présentation et l'évaluation d'une approche semi-automatique, peu ambitieuse en termes de degré d'automatisation mais visant une opérationnalité à court terme, et puis une ouverture sur les différentes solutions envisagées à plus long terme pour une automatisation plus complète.

ABSTRACT

Within the framework of the French topographic database production, IGN is working on problems related to the photogrammetric data capture automation. Based on our experience around the road network automatic extraction, this paper puts forward the highlighted difficulties as well in the field of the automatic extraction itself as in the one of the algorithms integration in an operational context. One will find a presentation and an evaluation of a semi-automatic approach, not very ambitious in terms of automation level but looking for a short term efficiency, and then an overture on the different solutions we are thinking of for a more complete automation.

1. Introduction

L'IGN[2] a entrepris, depuis le début des années 90, la constitution d'une base de données topographiques[3]. La saisie s'effectue par voie photogrammétrique à partir de photographies au 1:30000. Le contenu sémantique de cette base de données est très proche de celui des cartes topographiques au 1:25000 avec une meilleure précision géométrique (de l'ordre de un mètre en écart-type) et des coordonnées tri-dimentionnelles sur tous les objets. L'apparition des restituteurs numériques dans les chaînes de production va désormais permettre d'introduire une part d'automatisation dans les processus de saisie, en appliquant sur les images numériques des techniques issues du domaine de la reconnaissance de formes ou de celui de l'intelligence artificielle. L'un des sujets sur lesquels l'IGN est le plus avancé concerne l'automatisation de la saisie des routes. L'interprétation automatique des images, même pour des objets assez simples tels que les routes, est une tâche difficile pour un grand nombre de raisons qui font que l'automatisation totale de la saisie est un objectif qui ne sera pas atteint avant de nombreuses années. Cependant, il semble d'ores et déjà possible de rendre opérationnelles des approches semi-automatiques, en étant moins ambitieux en termes de niveau d'automatisation mais en recherchant une efficacité à court terme. Cet article présente en premier lieu quelques problèmes liés à l'interprétation automatique des images, puis il décrit notre méthode semi-automatique de saisie du réseau routier ainsi que l'évaluation de son opérationnalité. Enfin, en guise de conclusion, il donne une ouverture sur différentes solutions apportant une automatisation plus complète.

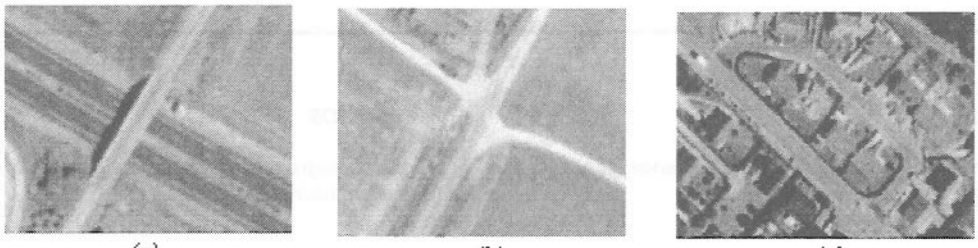
2. Problèmes liés à l'automatisation de la saisie photogrammétrique

Deux sortes de difficultés se posent dans le cadre de l'automatisation de la saisie : les principales d'entre elles sont liées au processus d'interprétation lui-même mais il existe également des difficultés concernant l'intégration des outils d'interprétation dans le processus traditionnel de saisie.

[1] Méthodes d'Analyse et de Traitement d'Images pour la Stéréo-restitution.
[2] Institut Géographique National (France)
[3] BDtopo

2.1. Difficultés liées au processus d'interprétation

La diversité de l'apparence des objets dans les image est telle que l'un des points critiques est lié à la difficulté de définir un modèle générique des objets que l'on cherche, modèle suffisamment complexe pour détecter les objets sans ambiguïté mais prenant par ailleurs en compte la diversité possible au sein d'une même classe d'objets. Sur la figure suivante (Figure 1), on trouve trois exemples de routes avec des caractéristiques fort différentes en termes de forme, taille et niveau de gris.



(a) (b) (c)

Figure 1 : trois exemples de routes

Des objets complexes apparaissent souvent dans les images, complexes dans le sens où ils sont composés de plusieurs objets élémentaires de différentes natures. Sur l'illustration suivante (Figure 2), on trouve une structure routière complexe composée de nombreuses petites portions de routes, d'arbres, d'ombres, de véhicules, de marquage au sol,...

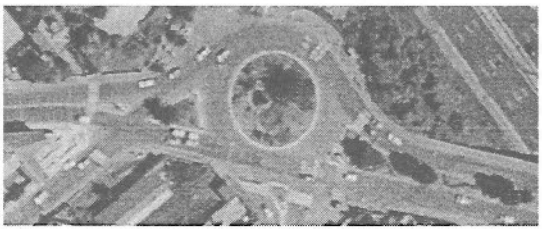


Figure 2 : exemple d'une structure routière complexe

De nombreux objets (particulièrement les routes), nécessitent une approche multi-échelles pour être interprétés, même dans le cas d'une interprétation humaine.

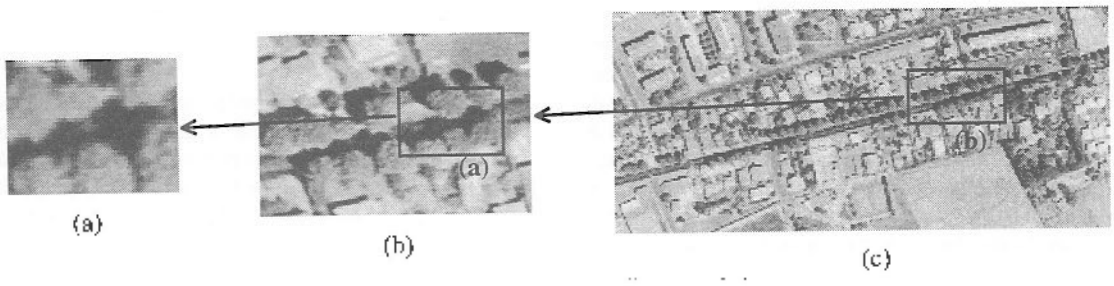


Figure 3 : une route bordée d'arbres à différentes résolutions

Sur cette illustration (Figure 3), on trouve un exemple pour lequel on a besoin d'une vue large pour comprendre la scène. Sur la première image, on ne reconnait rien ; sur la seconde, on reconnait des arbres et il faut attendre la dernière pour voir qu'il s'agit d'une route bordée d'arbres.

Même lorsqu'un objet a été extrait avec succès de l'image, il est encore nécessaire de mettre le résultat de l'extraction en concordance avec le modèle de données et les spécifications de la base de données, qui ne donnent pas toujours une représentation fidèle de la réalité (contrairement à l'image). On peut voir sur les illustrations suivantes (Figure 4) les différences qui peuvent exister entre la base de données et l'image, surtout dans le cas du carrefour complexe et des autoroutes.

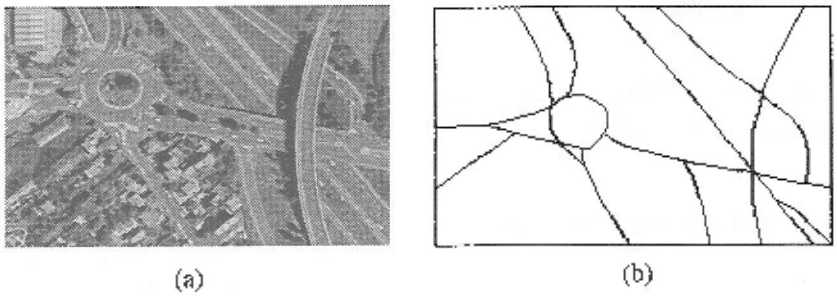


Figure 4 : des routes représentées dans l'image et dans la base de données

2.2. Difficultés liées à l'intégration dans le processus traditionnel

De nombreux projets de systèmes d'interprétation complètement automatiques ont été décrits dans la littérature [1,2,3,4] mais, face aux difficultés citées précédemment, un certain nombre d'auteurs commencent à présenter des approches semi-automatiques [5,6,7]. Les méthodes semi-automatiques sont une bonne alternative aux systèmes «tout-automatiques» dans la mesure où les tâches les plus complexes peuvent être laissées à la charge de l'opérateur et les plus coûteuses en temps peuvent être réalisées par l'ordinateur. Les tâches qui sont habituellement laissées à la charge de l'utilisateur sont les suivantes :

- indication des amorces de routes : cette étape correspond à l'identification de l'objet («Il y a une route ici») et éventuellement à une initialisation appropriée des conditions de départ de la propagation (choix d'un modèle spécifique adapté au contexte).
- prise de décision : lorsqu'un problème survient (l'image ne correspond plus au modèle de route), l'opérateur a plus de facilités que l'ordinateur pour décider s'il faut s'arrêter ou continuer.
- validation : l'évaluation de la fiabilité des résultats par les algorithmes eux-mêmes est sans doute la tâche la plus délicate dans le cas d'un système tout-automatique. Pour un opérateur humain, un rapide regard suffit à voir si le résultat est correct ou pas.

Les tâches qui sont généralement laissées à la charge de l'ordinateur sont les suivantes :

- propagation de l'hypothèse de la présence d'une route.
- calcul de la géométrie précise de la route.

Mais quelques difficultés nouvelles apparaissent avec l'utilisation des méthodes semi-automatiques qui concernent l'intégration de l'algorithme dans un environnement interactif :

- *contrainte de temps-réel* : il est plus facile d'intégrer l'algorithme d'extraction automatique s'il est capable de fonctionner en temps-réel, c'est à dire d'être plus rapide que ne le serait la saisie

manuelle. Cependant, il est possible d'imaginer l'utilisation d'un réseau routier pré-calculé avec un affichage en temps-réel du résultat à la demande de l'opérateur.

- *choix entre fiabilité et exhaustivité* : il est important de donner une préférence à la fiabilité au détriment de l'exhaustivité (en ayant des critères d'arrêt robustes). Les corrections manuelles à effectuer après une extraction automatique peuvent être longues et il est donc préférable que l'algorithme ne donne aucune réponse plutôt que de donner une mauvaise réponse.
- *lien entre la contribution de l'opérateur et la fiabilité* : plus la contribution de l'opérateur est importante, plus l'extraction automatique doit être fiable. Par exemple, avec les méthodes exclusivement basées sur des techniques de «contours actifs», l'utilisateur doit indiquer manuellement un tracé approximatif de la route et il est indispensable que l'algorithme ait un taux de succès très élevé pour «rentabiliser» cet investissement de temps qui pourrait être totalement perdu en cas d'échec de l'algorithme. En revanche, avec d'autres types d'interactions, réclamant une contribution moins importante de la part de l'opérateur (par exemple, un seul point à indiquer manuellement), on peut tolérer un taux d'échecs plus important.

3. L'approche semi-automatique : l'algorithme de suivi de routes

3.1. Présentation générale de la méthode

L'originalité principale de la méthode est de séparer le processus d'extraction de routes en deux phases successives [8] : une pour la détection grossière de la route (en utilisant seulement des contraintes radiométriques) et une pour le calcul de la géométrie précise de l'axe de route (en utilisant seulement des contraintes géométriques). Cette séparation repose sur quelques constats :

- l'absence de contraintes géométriques assure la continuité de la détection même lorsque la route est partiellement masquée par des obstacles de petite taille (ombres, arbres, véhicules,...).
- une contrainte géométrique trop stricte dans la phase de détection ne permettrait pas de s'adapter à la diversité des routes, tant peut être variable le tracé des routes secondaires.
- les contraintes géométriques ne peuvent pas être appliquées correctement sur des portions trop locales de routes.

3.2. La phase de détection

L'algorithme de suivi de routes est principalement basé sur l'optimisation d'un critère textural. Sachant que les routes sont des objets allongés et homogènes, nous optimisons un critère d'homogénéité directionnelle [8] calculé sur une longueur suffisamment importante pour être caractéristique de la texture spécifique des routes, qui n'est pas isotrope (les routes sont des objets allongés et leur homogénéité doit être mesurée le long de l'axe de route). Optimiser ce critère sur un ensemble important de segments permet de suivre la forme de la route et de passer au travers de certains obstacles de petites dimensions.

Calcul local de l'homogénéité : la variance des niveaux de gris est calculée pour toutes les directions de propagation possibles sur des voisinages allongés de longueur variable (Figure 5). Les possibles positions suivantes sont calculées en fonction de l'orientation et de la longueur du voisinage qui minimise la variance.

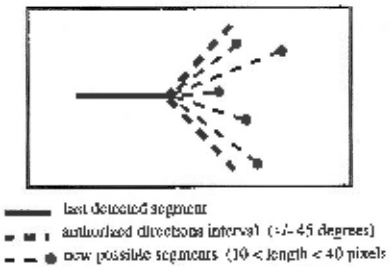


Figure 5 : calcul local de l'homogénéité

Choix du meilleur chemin : nous utilisons cette mesure locale de l'homogénéité pour construire à chaque nouvelle position sur la route un arbre de chemins possibles (un chemin étant un ensemble de segments) en retenant à chaque niveau de profondeur les segments les plus homogènes autour de la direction courante. Une fois que l'arbre a été construit (Figure 6), le meilleur chemin est déterminé comme étant celui qui minimise la variance, maximise la longueur totale et qui est le plus rectiligne (cette dernière composante de la fonction de coût ne doit pas être considérée comme une contrainte géométrique forte, elle sert seulement à donner un petit avantage au chemin le plus régulier lorsque plusieurs candidats ont une homogénéité identique). Calculer un coût sur tout un chemin permet de rendre le suivi de routes assez fiable et permet de franchir des virages à forte courbure (Figure 6) et de nombreux obstacles (changement de revêtement, arbres, véhicules,...)

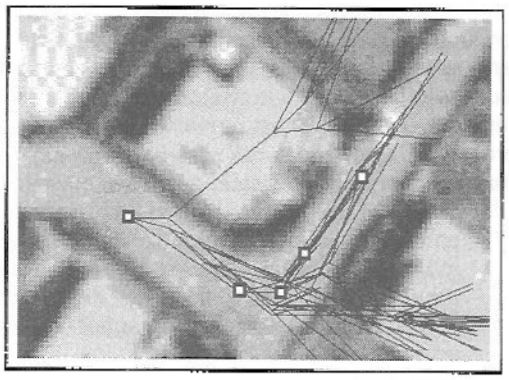


Figure 6 : arbre des chemins possibles (carrés blancs pour le meilleur chemin)

3.3. La phase d'ajustement géométrique

Les routes ainsi détectées n'ont pas forcément une géométrie correcte dans la mesure où le critère d'homogénéité assure juste que le tracé se trouve entre les deux bords de la route. Nous avons donc à ce niveau deux objectifs : lisser le résultat pour donner un «aspect cartographique» au tracé et en même temps garder un bon ajustement de ce tracé sur des points qui auraient été détectés avec une bonne géométrie. Nous avons donc besoin d'une méthode pour estimer localement la position de l'axe de la route et d'une méthode pour lisser le tracé entre ces positions connues.

Détection des bords de route : pendant la phase de détection, une extraction des bords de routes est réalisée, d'une part pour recaler localement la détection sur l'axe de route (lorsque la détection est bonne), et d'autre part, pour calculer des indicateurs de confiance sur la géométrie de la détection en vue d'un ajustement plus global. La technique utilisée consiste à assimiler localement les bords de routes à des droites parallèles et à chercher la meilleure paire de segments dans un gradient calculé suivant la direction orthogonale à l'orientation courante de la route.

Ajustement géométrique utilisant des Splines : nous utilisons des Splines du second ordre pour lisser le tracé des routes détectées, particulièrement sur les portions pour lesquelles les bords n'ont pas été reconnus.

Les Splines d'ajustement nous donne une représentation correcte dans la mesure où :

- les routes sont plutôt bien représentées par des courbes de courbure minimale. Nous utilisons à peu près le même modèle géométrique que celui utilisé dans les méthodes de contours actifs, fréquemment employés dans les problèmes d'extraction de routes [8].
- nous pouvons introduire des poids dans le calcul des Splines pour prendre en compte les points avec une plus ou moins grande influence selon la confiance que l'on a en leur localisation.

3.4. Les critères d'arrêt

L'algorithme de suivi de routes peut s'arrêter selon plusieurs critères : variance trop importante, changement brutal de la radiométrie ou trop grande dispersion spatiale de l'arbre de recherche. Ce dernier est le critère d'arrêt le plus discriminant dans la mesure où il prend en compte l'aspect anisotrope de l'homogénéité des routes (empêchant, par exemple, que le suivi s'égare dans un champ dont la radiométrie et la texture seraient proche de celles de la route).

4. L'approche semi-automatique : l'interface utilisateur

Pour évaluer la contribution possible de notre méthode dans un contexte opérationnel, il est nécessaire de développer un prototype sur lequel elle puisse être testée par des opérateurs habitués à la saisie manuelle. Ce prototype doit intégrer différentes fonctionnalités, dont certaines sont communes à tous les systèmes manipulant des images numériques ou à tous les SIG, d'autres étant plus spécifiques à l'extraction semi-automatique des routes.

4.1. Fonctionnalités communes à tous les systèmes utilisant des images numériques

Gestion des images : nous devons travailler avec des images de grandes dimensions (au moins un couple d'images à haute-résolution = 2 x 6000 x 12000 pixels). Comme la contrainte d'avoir un suivi de routes en temps-réel nécessite un accès rapide aux données, nous utilisons des images compressées pour réduire les temps de lecture sur disque. Les images sont décompressées au fil des besoins quand la zone de travail change.

Gestion de l'affichage : plusieurs vues à plusieurs résolutions sont nécessaires suivant que l'on effectue de la saisie manuelle, le contrôle d'une route extraite automatiquement ou bien que l'on souhaite se déplacer dans le couple.

4.2. Fonctionnalités communes avec les SIG

Gestion d'une structure de donnée : nous avons besoin d'une structure simple de graphe pour modéliser les routes (comme des arcs) et les carrefours (comme des noeuds).

Outils de saisie manuelle : nous avons besoin d'un outil pour saisir manuellement (point par point) les routes qui ne peuvent pas être extraites automatiquement.

Outils de manipulation du graphe : nous avons besoin des outils classiques des SIG comme la destruction d'objets (complète ou partielle), le déplacement de points, le rattachement à un objet existant,...

4.3. Fonctionnalités spécifiques

Outil d'extraction automatique : le module d'extraction automatique peut être activé à partir de deux points indiqués manuellement (un point, une direction). Ensuite, la propagation peut s'interrompre d'elle même ou être arrêtée par l'opérateur. L'outil automatique doit fonctionner en temps-réel, être suffisamment rapide pour être plus efficace que la saisie manuelle mais pas trop rapide non plus afin de permettre un contrôle visuel par l'opérateur.

Transition rapide entre le mode manuel et le mode automatique : lorsqu'une route est en train d'être extraite automatiquement, l'opérateur peut être amené à saisir manuellement quelques points si un obstacle se présente et doit pouvoir revenir facilement au mode automatique.

Rattachement automatique aux objets existants : dans le cas du suivi automatique, l'algorithme doit être capable de trouver automatiquement les connections aux objets existants et de choisir automatiquement entre le prolongement du dernier segment ou le raccord au point le plus proche.

Retour en arrière : lorsque le suivi de routes s'interrompt, il est parfois trop tard... Il est alors nécessaire de disposer d'une fonction qui offre la possibilité de revenir rapidement au dernier point correct.

Outil spécifique de correction géométrique : l'ajustement géométrique donne parfois de mauvais résultats (lorsque les bords de routes ne sont pas suffisamment contrastés) mais les erreurs sont toujours les mêmes. Elles peuvent être corrigées grâce à un outil spécifique qui ne déplace pas un point isolé mais tout un voisinage.

Utilisation de plusieurs résolutions : dans le cadre d'une extraction automatique, la résolution utilisée pour le calcul et celle utilisée pour l'affichage sont totalement indépendantes. Nous espérons qu'il sera plus rapide de calculer le résultat sur une image à haute-résolution et de l'afficher sur une image à plus basse-résolution.

Calcul du Z : la visualisation 2-D demande (même dans le cas d'une saisie manuelle) un calcul a posteriori des valeur du Z, soit en utilisant un MNT associé, soit en calculant localement la corrélation entre les profils de routes sur les deux images du couple. L'évaluation qui suit correspond à la version 2-D du logiciel (sans calcul du Z).

Gestion d'un fichier de journalisation : il parait intéressant de conserver dans un fichier le détail des actions de l'opérateur dans le but d'analyser son comportement et de calculer des indicateurs statistiques.

5. Approche semi-automatique : évaluation de l'opérationnalité de la méthode

5.1. Méthodologie : quelle sorte d'évaluation ?

L'évaluation de l'opérationnalité d'une méthode d'extraction automatique (ou semi-automatique) est un problème complexe, tant les paramètres sont nombreux à avoir une influence sur le résultat final :

Influence de l'image : le terme «d'image» recouvre ici plusieurs sens, faisant référence aussi bien au type de paysage décrit par l'image (zone urbaine, sub-urbaine, zone rurale, spécificités régionales,...) qu'à la qualité de l'image numérique (bruit, contraste,...) ou encore la résolution des images. Ce paramètre est sans doute le plus important et aussi celui pour lequel il est le plus difficile de reconnaître l'influence sans faire un nombre très important de tests.

Influence de l'opérateur : il peut être intéressant d'évaluer l'influence de l'expérience de l'opérateur (Existe-t'il une utilisation optimale de l'algorithme ? Est-ce que l'opérateur peut atteindre cette utilisation optimale avec l'habitude de l'outil ?) et de la connaissance de l'opérateur (Est-ce que l'opérateur utilise mieux l'outil s'il en connaît le fonctionnement ?).

Influence des paramètres du suivi de routes : cette évaluation concerne particulièrement les seuils attachés aux critères d'arrêt du suivi. Les valeurs des seuils vont servir à fixer le rapport entre fiabilité et exhaustivité (Avec des seuils bas, l'algorithme va s'arrêter souvent mais ne se trompera quasiment jamais ; avec des seuils hauts, le suivi se trompera plus souvent et réclamera de nombreuses reprises manuelles).

Influence de l'interface opérateur : l'interface utilisateur joue toujours un rôle important dans les applications interactives. L'un des paramètres important ici est sans doute la résolution (et la taille) de la portion d'image affichée.

Influence du «hardware» : avec une mémoire plus étendue (afin de charger toute l'image en mémoire) et un processeur plus rapide, l'extraction automatique serait sans doute plus efficace.

Les mesures les plus intéressantes que l'on peut effectuer pour évaluer le résultat final en fonction de ces différents paramètres sont : d'une part la qualité géométrique du résultat (qui doit vérifier les spécifications de notre base de données) et, d'autre part, les temps de saisie (qui doivent être aussi faibles que possible et au moins aussi faibles que ceux de la saisie manuelle).

Les données de référence à utiliser pour l'évaluation sont faciles à désigner : l'extraction semi-automatique doit être comparée à une saisie manuelle. Concernant la qualité géométrique du résultat, l'écart-type des différences entre les deux graphes (manuel & semi-automatique) doit être inférieur ou égal à un seuil donné par les spécifications de la base (2,5 mètres sur les carrefours, 1 mètre sur les tronçons). En ce qui concerne les temps de saisie, la saisie semi-automatique sera comparée à une saisie manuelle avec la même plate-forme afin de se rendre indépendant de l'ergonomie de saisie.

L'évaluation que nous proposons dans ce papier est incomplète : les mesures effectuées concernent uniquement 4 images (Figure 7) sans analyser l'influence des autres paramètres :

nom	*échelle photo*	*pas numérisation*	*résolution sol*	*paysage*	*longueur réseau*
Montpellier	1:30000	20 µm	60 cm	urbain	55 km
Valréas1	1:30000	20 µm	60 cm	sub-urbain	20 km
Valréas2	1:20000	20 µm	40 cm	sub-urbain	20 km
St-Cast	1:30000	15 µm	45 cm	rural	22 km

Figure 7 : description des sites test

Qualité géométrique : la méthode que nous utilisons consiste à mettre en correspondance les deux graphes à comparer et à calculer ensuite des indicateurs statistiques comme la moyenne des écarts, l'écart moyen quadratique ou l'écart-type.

Pour la mise en correspondance des deux graphes, la méthodologie est la suivante :

- découpage du graphe en segments de longueur fixe.
- recherche pour chaque point de son plus proche voisin sur l'autre graphe en mesurant une distance «point à segment».

Cette mesure n'est pas symétrique et nous devrons pour chaque série de mesures mettre en correspondance le premier graphe avec le second mais aussi le second avec le premier.

Comme on peut le voir sur la figure (Figure 8), la différence entre les deux mesures peut mettre en évidence une différence de niveau de généralisation entre les deux graphes. Si le graphe (2) est plus détaillé que le graphe (1), la distance (2)—>(1) sera plus importante que la distance (1)—>(2).

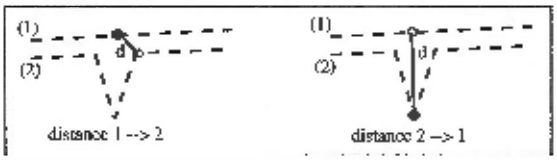


Figure 8 : deux mises en correspondance possibles entre le graphe (1) et la graphe (2)

Pour calculer les indicateurs statistiques, un seuil est déterminé d'après l'histogramme des écarts afin d'éliminer les plus aberrants d'entre eux. Pour cette raison, nous associons à chaque série de mesures un seuil et une proportion de points rejetés.

Temps de saisie : pour calculer les temps de saisie, nous utilisons un fichier de journalisation qui est créé pendant la session de saisie et qui contient les dates correspondant à chaque action. Les différentes mesures intéressantes sont les suivantes :

- la durée totale de la session.
- la durée de l'extraction automatique.
- la durée de la saisie manuelle.
- la durée des «interruptions» (qui représente le temps passé entre le moment où le suivi de routes s'arrête et celui où l'opérateur prend une décision).
- la durée des déplacements dans l'image (qui représente les temps d'accès aux images lorsque la zone de travail change).
- la durée des corrections (qui correspond au temps passé à utiliser les outils de manipulation du graphe).

Le temps total ne correspondra jamais à la somme de tous les autres temps dans la mesure où :

- il y a toujours un temps important d'inactivité.
- le temps des déplacements dans l'image est aussi inclus dans les temps de saisie (automatiques ou manuels).

En ce qui concerne les temps de saisie (total, automatique et manuel), nous pouvons leur associer la longueur de réseau correspondante, la vitesse de saisie étant la mesure qui permettra la comparaison entre les différents sites.

5.2. Evaluation de la qualité géométrique

L'évaluation géométrique n'a été réalisée que sur deux sites test : Valréas2 et St-Cast. Sur le premier site (Valréas2, Figure 9), la saisie semi-automatique (appelée auto) est comparée à une saisie manuelle sur la même plate-forme (appelée ref) ainsi qu'à la base de données existante (appelée BDT pour Base de Données Topographiques). Sur le second site (St-Cast, Figure 10), nous avons deux saisies semi-automatiques (appelées (1) et (2)) à comparer à une saisie manuelle.

Tous les résultats sont données en mètres (à partir de la résolution moyenne des images).

VALREAS2	n	seuil	% rejetés	mx	my	mxy	σ xy	emqxy
auto - ref	1748	3,4	2,6	-0,05	0,12	0,67	0,92	0,93
ref - auto	1680	3,9	38,3	0,05	-0,15	0,71	0,97	0,99
auto - BDT	1751	5,4	2,4	0,04	0,15	1,20	1,53	1,54
BDT - auto	1681	6,3	36,4	-0,01	-0,17	1,29	1,69	1,70
BDT - ref	2621	5,1	3,8	0,03	-0,05	1,08	1,42	1,42
ref - BDT	2617	4,9	0,9	-0,03	0,03	1,05	1,37	1,37

Figure 9 : évaluation géométrique des routes sur le site de Valréas2

ST-CAST	n	seuil	% rejetés	mx	my	mxy	σxy	cmqxy
(1) - man	2123	2,9	3,8	0,20	0,20	0,60	0,75	0,80
man - (1)	2059	2,9	5,3	-0,19	-0,21	0,61	0,76	0,82
(2) - man	1581	2,7	0,7	0,13	0,08	0,58	0,76	0,77
man - (2)	1529	2,8	29,7	-0,13	-0,09	0,59	0,76	0,78
(1) - (2)	1552	2,7	29,6	0,04	0,08	0,43	0,68	0,69
(2) - (1)	1550	2,4	2,6	-0,05	-0,08	0,43	0,67	0,67

Figure 10 : évaluation géométrique des routes sur le site de St-Cast

Comme il est expliqué au paragraphe 4.2.1., nous avons réalisé des mesures doubles pour voir si les deux réseaux comparés ont le même niveau de détail (dans ce cas, les deux mesures seraient égales).

On peut remarquer dans les différentes tables que :

- les spécifications de précision géométrique sont globalement respectées (moins d'un mètre).
- les deux mesures sont parfaitement symétriques (pas de différence entre les distances moyennes du graphe (1) vers le graphe (2) et celles du graphe (2) vers le graphe (1)) et l'on peut en déduire les extractions automatiques, grâce au lissage, ont le même niveau de détail que les saisies manuelles.
- la qualité géométrique des extractions automatiques semble même légèrement meilleure que celle de la base de données existante (voir Figure 9, les meilleurs résultats sont entre auto et ref) et que celle de la saisie manuelle (voir Figure 10, les meilleurs résultats sont entre (1) et (2)).

5.3. Evaluation des temps de saisie

Pour chacun de nos quatre sites test, nous avons réalisé (Figure 11) une comparaison entre la saisie manuelle et la saisie semi-automatique en termes de performances : temps de saisie et longueur de réseau correspondante.

	temps total (mm:ss)	longueur totale (km)	vitesse totale (km/h)	temps auto (mm:ss)	longueur auto (km)	vitesse auto (km/h)	temps manuel (mm:ss)	longueur manuelle (km)	vitesse manuelle (km/h)
Montpellier (manuel)	49:03	49,0	59				31:56	49,0	92
(semi-automatique)	47:44	54,5	68	12:32	37,8	180	5:52	16,8	171
Valreas1 (manuel)	18:22	17,2	56				12:38	17,2	81
(semi-automatique)	17:11	19,3	67	4:41	14,7	188	1:28	4,6	187
Valreas2 (manuel)	12:27	16,1	77				9:31	16,1	101
(semi-automatique)	9:29	14,7	93	2:43	12,6	277	1:24	2,2	93
St-Cast (manuel)	26:46	19,7	44				19:15	19,7	61
(semi-automatique)	16:22	22,2	81	5:11	19,1	221	1:20	3,0	136

Figure 11 : temps et vitesse de saisie pour les extractions manuelles et semi-automatiques

Nous pouvons voir dans cette table que :

- la méthode semi-automatique permet toujours de gagner du temps mais jamais d'en gagner énormément. Sur le site en zone rurale, le rapport entre le temps de saisie semi-automatique et le temps de saisie manuelle est de 1 à 2 ; en zone urbaine, il n'est que de 1 à 1,2.
- une grande partie du réseau peut être extrait automatiquement (70% dans le contexte urbain, 85% dans le contexte rural).
- même lorsqu'une grande partie du réseau est extraite automatiquement, on ne gagne pas un temps important à cause du cumul de tous les temps «d'inactivité» inhérents à tout processus interactif.

5.4. Conclusion

Il est trop tôt pour conclure définitivement sur l'opérationnalité de notre méthode semi-automatique de saisie du réseau routier et d'autres tests seront nécessaires pour confirmer les premières conclusions.

Ces premières conclusions sont :

- il est possible de gagner du temps avec une méthode semi-automatique, même avec la version actuelle de l'algorithme qui ne permet pourtant que de suivre les routes simples (sans obstacles ou configurations complexes du réseau).
- la méthode semi-automatique semble plus efficace dans un contexte rural où les portions de routes sont longues (peu de carrefours et les tracés plus sinueux qu'en milieu urbain (ce qui réclame un temps de saisie manuelle plus important).
- il semble difficile de gagner beaucoup de temps avec une méthode semi-automatique à cause du temps perdu à se déplacer dans l'image et à cause des temps de latence entre la fin d'une action et le début de la suivante.
- la qualité géométrique du résultat est conforme aux spécifications de la Base de Données Topographiques (autour de 1 mètre d'emq).

6. Perspectives : vers une automatisation plus importante

Si la méthode semi-automatique peut d'ores et déjà permettre de gagner du temps, un gain plus important de productivité ne pourra venir que d'une automatisation plus complète du processus. Pour cette automatisation plus complète, nous devons travailler dans les deux directions suivantes :

- vers plus de fiabilité : notre algorithme, même en ne suivant qu'une seule sorte de routes, est capable d'extraire automatiquement 70% à 85% du réseau. Si nous parvenons à valider automatiquement une telle proportion de la saisie sans avoir recours à une session interactive, le gain de productivité sera important.
- vers plus d'exhaustivité : l'autre façon d'accroître la productivité est d'essayer de traiter d'autres types de routes et d'autres types de contextes, même lorsque la continuité de la route est interrompue par une occlusion accidentelle. Ce point de vue n'est pas complètement différent du premier dans la mesure où une validation fiable du réseau extrait automatiquement devra mettre en oeuvre une interprétation complexe se basant sur les objets du contexte (maisons près des bords de routes, voitures sur les chaussées,...).

Parallèlement au développement de l'approche semi-automatique, nous travaillons sur d'autres approches visant une automatisation plus complète :

- une approche utilisant des données externes pour guider la détection automatique : l'utilisation de données externes (comme des cartes numérisées [9] ou des bases de données à faible résolution [10]) permet d'initialiser la détection avec une position approchée des routes et de prendre en compte une information sémantique riche pour aider à l'extraction automatique. Les connaissances sémantiques dont on peut tirer profit concernent à la fois les attributs de la route elle-même (importance administrative, nombre de voies,...) et les objets situés dans son voisinage (occupation du sol, bâtiments, réseau hydrographique,...). Cette information peut-être utilisée notamment pour choisir localement l'algorithme d'extraction et les paramètres appropriés, dans le but d'adapter localement le modèle de routes au contexte et donc d'accroître la fiabilité et l'exhaustivité de la détection.
- une approche complètement automatique utilisant seulement l'image et une connaissance a priori sur les objets cherchés : cette approche [4] se base sur une détection initiale d'amorces de routes à partir desquelles on lance l'algorithme de suivi de routes. Ceci doit constituer une initialisation fiable à un processus d'interprétation ; chaque arrêt du suivi est interprété comme l'hypothèse de la présence d'un obstacle (rangée d'arbres, ombre,...). La nature de l'obstacle doit être identifiée en utilisant plusieurs «spécialistes», chacun d'entre eux étant capable de reconnaître un type d'obstacles. Cette identification permet alors de confirmer l'hypothèse de la présence de la route et d'assurer la continuité de l'extraction à travers l'obstacle.

Références

[1] M.A. FISCHLER, J.M. TENENBAUM & H.C. WOLF, «Detection of roads and linear structures in low resolution aerial imagery using a multisource knowledge integration technique», Computer graphics and image processing, pp. 201-223, 1981.

[2] D. Mc KEOWN & J. DELINGER, «Cooperative methods for road traking in aerial imagery», Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition, Ann Arbor, june 5-9, 1988.

[3] P. GARNESSON, G. GIRAUDON & P. MONTESINOS. Messie: un système multi-spécialistes en vision. Application en imagerie aérienne. INRIA research report, april 1989.

[4] R. RUSKONÉ, S. AIRAULT & O. JAMET, «Road network interpretation : a topological hypothesis driven system», ISPRS Commission III, Munich, September 1994.

[5] C. HEIPKE, A. ENGLISCH, T. SPEER, S. STIER & R. KUTKA, «Semi-Automatic Extraction of Roads from Aerial Images», ISPRS Commission III, Munich, September 1994.

[6] A. GRUEN & H. LI, «Semi-Automatic Road Extraction by Dynamic Programming», ISPRS Commission III, Munich, September 1994.

[7] S. AIRAULT & O. JAMET, «Automatisation de la saisie des routes sur images aériennes». Bul. S.F.P.T., n.131, pp. 12-23, December 1993.

[8] S. AIRAULT & O. JAMET, «Détection et restitution automatiques du réseau routier sur images aériennes», Congrès RFIA, Paris, janvier 1994.

[9] P. GUERIN, S. AIRAULT, H. MAITRE & O. JAMET, «Interprétation conjointe cartes scannées et images aériennes», 3ème colloque national sur l'écrit et le document, Rouen, France, pp 185-194, juillet 94.

[10] G. BORDES, G. GIRAUDON & O. JAMET, «GIS-guided interpretation of aerial imagery : application to the automatic road extraction», Digital Photogrammetry and Remote-Sensing, St-Petersburg, June 1995.

Remarque

Cet article est la traduction française de celui paru dans les actes de la 17ème Conférence Cartographique Internationale (Barcelone, septembre 1995) sous le titre : «Digital stereoplotting & image interpretation : example of the road network capture process».