

Praticiens

Cartographie par ordinateur

La restitution du réseau routier à partir d'images aériennes

Sylvain Airault

**Édition électronique**URL : <http://journals.openedition.org/strates/645>

ISSN : 1777-5442

Éditeur

Laboratoire Ladyss

Édition imprimée

Date de publication : 30 septembre 1997

ISSN : 0768-8067

Référence électroniqueSylvain Airault, « Cartographie par ordinateur », *Strates* [En ligne], 9 | 1997, mis en ligne le 19 octobre 2005, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/strates/645>

Ce document a été généré automatiquement le 19 avril 2019.

Tous droits réservés

Praticiens

Cartographie par ordinateur

La restitution du réseau routier à partir d'images aériennes

Sylvain Airault

- 1 La vision par ordinateur, depuis que le développement du matériel informatique permet de traiter une grande quantité d'informations avec une grande rapidité, est un domaine en plein développement, qui répond à des besoins dans des champs d'application variés comme la robotique, l'imagerie médicale ou l'observation de la terre. L'interprétation d'une image, en empruntant au traitement du signal mais également aux sciences cognitives, cherche à transformer des données strictement numériques (une image est un tableau de valeurs numériques traduisant localement l'intensité lumineuse réfléchie par les objets réels) en données symboliques (des « objets » qui représentent un concept donné, lié à leur nature ou à leur fonction). Ce passage du numérique au symbolique nécessite une abstraction : il faut arriver à lier une représentation particulière et partielle de la réalité à une description plus générale et plus conceptuelle de ce qui est observé. Cette abstraction ne peut se faire qu'en mettant en oeuvre des mécanismes de raisonnement calqués sur le raisonnement humain, qui utilisent à la fois des connaissances (qui peuvent être opératoires – un ensemble de règles – ou factuelles – un ensemble de faits) et des mécanismes d'exploitation de ces connaissances (stratégies d'interprétation).
- 2 L'intérêt de l'Institut Géographique National pour l'interprétation d'image est lié à l'enjeu considérable que représenterait l'automatisation, même très partielle, de la saisie des informations cartographiques à partir des images aériennes. En effet, l'IGN a entrepris, depuis le début des années 90, la constitution d'une Base de Données Topographiques (BD TOPO®), de couverture nationale, destinée à renouveler la cartographie du territoire tout en offrant des possibilités nouvelles grâce au stockage sous forme numérique de l'information. La saisie de cette base de données s'effectue par voie photogrammétrique à partir de couples de photographies aériennes au 1 : 30 000. Son contenu sémantique est très proche de celui des cartes au 1 : 25 000 avec une meilleure précision géométrique (de l'ordre de un mètre en écart-type) et des coordonnées tridimensionnelles sur tous les

objets. Au rythme de production actuel, la saisie complète de la base demanderait environ deux millions d'heures de restitution, étalées sur une période de vingt ans. L'apparition, depuis quelques années, d'appareils de saisie photogrammétrique permettant la manipulation et la visualisation en stéréoscopie d'images numériques va désormais autoriser l'introduction d'une part d'automatisation dans les processus de saisie.

- 3 Nous allons décrire brièvement, dans cet article, les difficultés propres à l'interprétation automatique des images aériennes en vue d'extraire le réseau routier. Nous ne prétendons pas fournir ici une vision synthétique et définitive des problèmes et de leurs solutions, mais juste donner un petit éclairage sur ce domaine et ses problématiques. Nous analyserons dans un premier temps, à partir de quelques exemples, quelles sont les difficultés spécifiques à ce problème. Nous verrons ensuite quelles sont les différentes connaissances à mettre en oeuvre pour reconnaître les routes dans les images, puis un exemple de stratégie d'interprétation utilisant ces connaissances au sein d'un processus complet de restitution automatique du réseau routier.
- 4 Le contexte applicatif que nous nous fixons permet de limiter les problèmes d'interprétation en réduisant le nombre des objets que l'on se propose de détecter dans l'image¹. L'ensemble de ces objets est limité à la fois par le type des images (images aériennes panchromatiques avec une résolution terrain de 50 cm) et par la nature du résultat final que l'on recherche (les routes et les carrefours qui correspondent aux spécifications de saisie de la Base de Données Topographiques).
- 5 L'une des difficultés liée à l'interprétation des images aériennes provient de la grande variabilité de l'apparence que peuvent prendre dans l'image des objets pourtant de même nature cartographique. Cette diversité provient à la fois de la diversité des types de routes (autoroutes, routes nationales, routes communales), de la diversité des paysages (zones de montagne, zones boisées, zones urbaines...) mais aussi des nombreuses variations du contexte local (nature du revêtement, ancienneté de la route, nature des objets situés en bord de route...).
- 6 La description *a priori* que l'on doit faire des routes, qui sera utilisée par le système d'interprétation, doit être suffisamment complexe pour permettre de reconnaître les objets sans ambiguïté mais aussi prendre en compte, autant que possible, des caractéristiques communes à l'ensemble des objets de la classe de manière à les détecter de façon exhaustive.
- 7 Sur les illustrations ci-dessous (figure 1), on trouve trois exemples de routes ayant des caractéristiques très différentes en termes de forme, de taille et d'intensité radiométrique.



Figure 1 : Trois exemples de routes.

- 8 Plusieurs solutions sont envisageables pour faire face à cette diversité :

- 9 – Utiliser une description unique prenant en compte uniquement les caractéristiques communes à toutes les routes.
- 10 – Dresser un inventaire des différentes descriptions possibles pour arriver à une décomposition de la classe « route » en sous-classes homogènes et se ramener au cas précédent.
- 11 – Utiliser des règles floues (une route est *souvent* plus claire que son environnement, il arrive *parfois* qu'une route soit composée de deux chaussées,...). Cette solution est certainement la plus satisfaisante dans la mesure où elle est proche de l'analyse que ferait un photo-interprète humain, mais elle est aussi la plus délicate à mettre en œuvre : le passage entre des règles qualitatives et une prise de décision ne pouvant se faire que sur des critères quantitatifs est difficile.
- 12 Un autre problème tient au fait que, même si on restreint l'interprétation de l'image aux routes, il est impossible de se limiter à la détection des chaussées et de ne pas prendre en compte d'autres types d'objets qui interagissent avec le réseau routier pour former des agglomérats complexes² : véhicules, arbres, ombres, marquage au sol...
- 13 Sur l'illustration suivante (figure 2), la route est partiellement masquée par un arbre et son ombre portée. Il sera donc nécessaire de reconnaître l'arbre en tant que tel et de faire intervenir des connaissances sur la continuité du réseau routier pour interpoler le tracé de la route à travers cet obstacle.



Figure 2 : Une route masquée par un arbre.

- 14 Le réseau routier peut lui-même présenter une certaine complexité, notamment au niveau de certains carrefours. Non seulement de telles structures intègrent d'autres objets que les simples chaussées (terre-plein central, marquage au sol...) mais, de plus, l'arrangement des chaussées entre elles au niveau du carrefour obéit à des règles complexes de circulation.
- 15 Sur l'illustration suivante (figure 3), on trouve l'exemple d'un carrefour complexe, composé de nombreux petits tronçons de chaussées, d'un terre-plein central circulaire, de passages piétons... autant d'objets qu'il sera nécessaire de reconnaître.

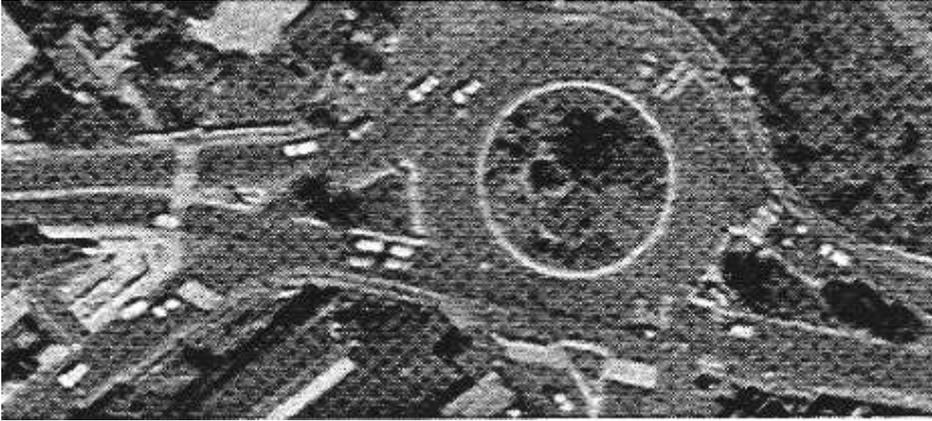


Figure 3 : Exemple d'une structure routière complexe.

- 16 L'exemple suivant montre l'une des difficultés fondamentales de l'interprétation d'image, apparaissant de façon particulièrement flagrante avec des objets de grande taille tels que les routes. Elle est liée au fait que l'interprétation d'une image, telle qu'elle pourrait être effectuée par un photo-interprète, nécessite à la fois une vision locale de l'image pour en saisir tous les détails, et une vision d'ensemble pour voir se dessiner les grands traits du paysage. Sur l'exemple d'une route bordée d'arbres (figure 4), la vision locale ne laisse apparaître qu'une zone fortement texturée, une vision un peu plus lointaine met en évidence la présence d'arbres, et ce n'est que la vue beaucoup plus large qui rend compte de la présence d'une route.

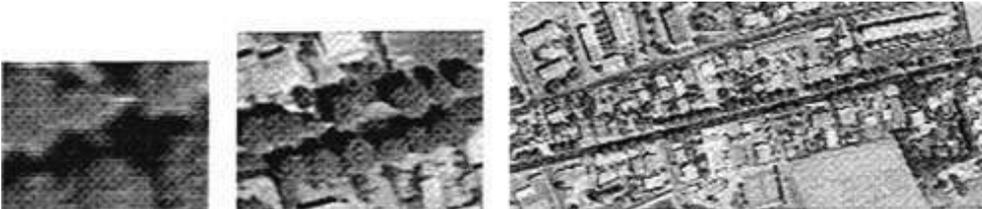


Figure 4 : Une route bordée d'arbre à différentes résolutions.

- 17 Le dernier problème que nous décrivons concerne plus spécifiquement l'application cartographique visée, qui nous oblige à gérer un niveau d'abstraction supplémentaire qui est celui de la carte. En effet, la carte a ses propres spécifications (règles de sélection des objets à représenter, règles de simplification...) qui en font une représentation symbolique différente de celle nécessaire à la compréhension de l'image. Il sera donc indispensable de prévoir des règles de passage entre ces deux représentations, la différence étant particulièrement nette (figure 5) au niveau des carrefours (tous les embranchements ne sont pas représentés) ou des routes à chaussées séparées (un seul trait sur la carte).

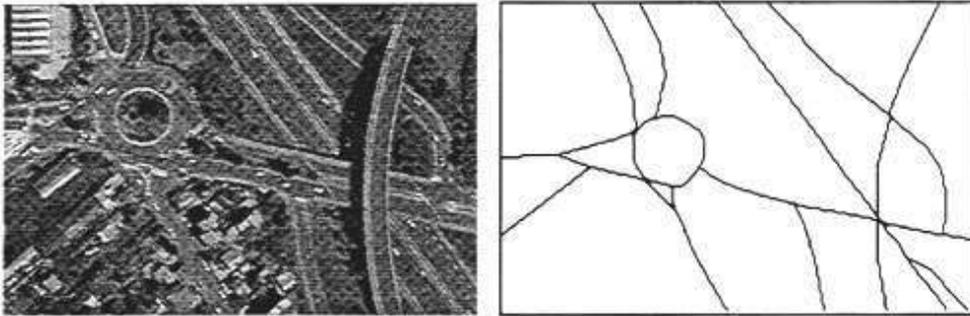


Figure 5 : Représentation des routes dans l'image et sur la carte

- 18 Les différents exemples présentés ci-dessus ne donnent pas une liste exhaustive et structurée des problématiques d'interprétation mais ils font ressortir deux nécessités :
- 19 – La nécessité d'expliciter la connaissance à utiliser pour extraire les routes.
- 20 – La nécessité de définir une stratégie d'interprétation.
- 21 Nous allons étudier successivement ces deux points dans les parties suivantes, en ne donnant, encore une fois, qu'une vision très partielle du problème et de ses solutions.
- 22 De façon générale en interprétation d'image, les connaissances sont séparées en différents types en fonction de leur niveau d'abstraction : du bas-niveau (mesures locales dans l'image : contraste, texture...), au haut-niveau (connaissances sémantiques : nature et fonction des objets).
- 23 Ce type de connaissances regroupe les caractéristiques locales des routes directement mesurables dans l'image. Elles sont destinées à émettre des hypothèses de petites portions de routes qui pourront être validées, invalidées ou complétées par l'application de connaissances de plus haut niveau.
- 24 – Radiométrie homogène de la chaussée : les routes ont, de par leur revêtement, une texture plus homogène que la plupart des objets naturels.
- 25 – Pas de discontinuités radiométriques : toujours en liaison avec l'homogénéité de leur revêtement, les routes ne présentent pas de changements brusques d'intensité le long de leur axe.
- 26 – Fort contraste avec l'environnement immédiat : la plupart des objets qui bordent les routes ont des caractéristiques radiométriques différentes et contrastent fortement avec la chaussée.
- 27 – Forme allongée : les routes ont, même de façon assez locale, une forme allongée, c'est-à-dire que les caractéristiques énoncées précédemment ne seront observables que dans une direction privilégiée qui correspondra à l'orientation de l'axe de la route.
- 28 – Bords parallèles : la chaussée est souvent limitée par deux bords (lignes de fort contraste) parallèles qui définissent l'orientation de la route et la position de son axe. L'écartement entre ces bords est limité par une borne inférieure et une borne supérieure.
- 29 Ces connaissances de niveau intermédiaire ne correspondent pas encore à des connaissances sémantiques sur les objets géographiques eux-mêmes. Elles représentent une prise en compte des caractéristiques géométriques des routes qui nécessite une étude un peu moins locale des premières hypothèses de routes :
- 30 – Longueur importante : les routes sont des objets de grande taille.

- 31 — Pas de variation brutale de la largeur de route : l'écartement entre les deux bords varie rarement de façon brutale sur un même tronçon (en dehors des carrefours).
- 32 — Courbure faible et limitée : la courbure des routes est généralement très faible et, dans tous les cas, limitée par une borne supérieure.
- 33 — Pente faible et limitée : la pente des routes est généralement très faible et, dans tous les cas, limitée par une borne supérieure.
- 34 Les connaissances de haut-niveau sont celles qui font la nature des objets géographiques, leur fonction, et les relations qu'ils entretiennent entre eux. Ces connaissances sont utilisées massivement par un interprète humain dans la mesure où il possède une bonne compréhension du milieu géographique dans son ensemble et de sa cohérence. En revanche, il est difficile d'explicitier de manière exhaustive toutes les connaissances de ce type qui peuvent être utilisées. La liste qui suit ne donne que quelques exemples de celles qui sont fréquemment utilisées dans les systèmes d'interprétation automatique :
- 35 — Topologie du réseau routier : les routes sont organisées en réseau avec très peu d'extrémités libres et jamais de tronçons qui ne soient pas connectés au reste du réseau.
- 36 — Hiérarchie des routes : le réseau routier est hiérarchisé, les routes principales ayant toujours une continuité à travers les carrefours, les routes secondaires venant se raccorder sur des routes principales.
- 37 — Présence d'obstacles : la route peut être localement masquée par un certain nombre d'objets.
- 38 — La route sert au déplacement des véhicules : si l'on détecte des véhicules, on renforcera l'hypothèse de présence d'une route.
- 39 — La route peut desservir des bâtiments : on peut générer une hypothèse forte de prolongation de la route au niveau d'une extrémité libre qui ne se trouverait pas à proximité d'un bâtiment.
- 40 Cette partie décrit un exemple de stratégie qui a été appliqué à l'IGN dans le cadre d'une thèse³. Il ne s'agit bien sûr que de l'une des nombreuses approches que l'on peut envisager pour extraire automatiquement le réseau routier.
- 41 Cette stratégie consiste à dire qu'une grande partie des routes (les plus évidentes) peuvent être extraites selon des critères d'assez bas niveau et que les phases d'interprétation et de raisonnement peuvent n'intervenir que de façon très locale pour lever des ambiguïtés et filtrer des fausses détections. En effet, l'utilisation de mécanismes interprétatifs sur l'ensemble de l'image en partant de rien nécessiterait une modélisation plus complète de la scène, prenant en compte non seulement les objets routiers et ceux qui interagissent avec le réseau routier mais également tous les autres objets que l'on peut rencontrer dans une photographie aérienne.
- 42 L'approche proposée enchaîne les phases suivantes :
- 43 — Extraction d'amorces de routes : cette phase correspond à l'extraction de petites portions de routes répondant parfaitement aux critères locaux de plus bas niveau. Les amorces extraites sont donc issues de zones homogènes, de forme allongée et limitées par des bords parallèles. Sur l'illustration ci-dessous (figure 6), on remarque que la détection est plutôt surabondante, dans la mesure où de nombreuses zones de l'images vérifient les critères, trop locaux pour caractériser les routes. Ces sur-détections seront filtrées au cours des phases suivantes.

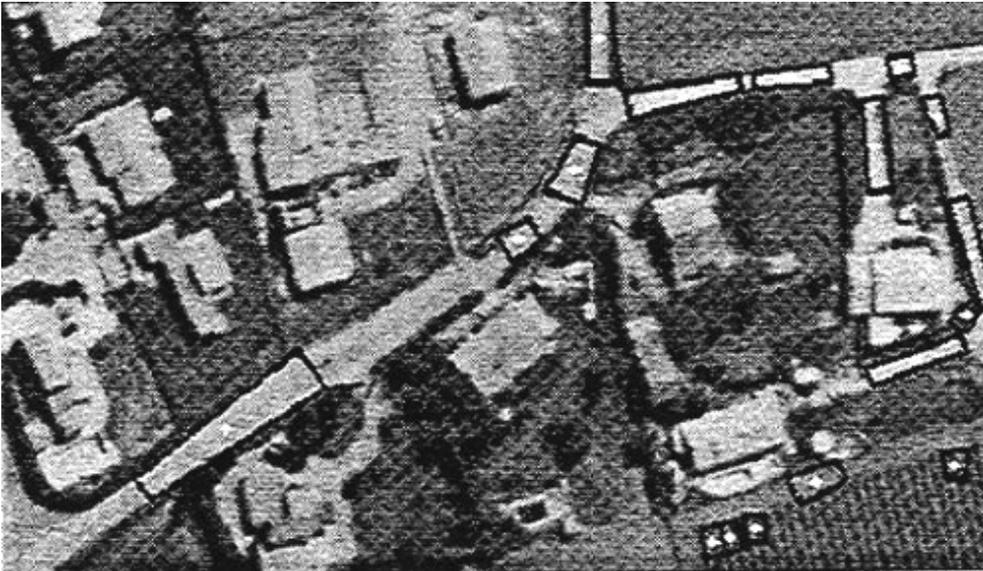


Figure 6 : Détection d'amorces de routes.

- 44 — Suivi de route : à partir de toutes les amorces précédemment détectées, on lance un algorithme de suivi de routes qui cherche à propager autant que possible l'hypothèse de route. Ce suivi de route⁴ cherche à trouver localement et de façon itérative un chemin homogène et des bords parallèles en utilisant à chaque itération l'intensité radiométrique et la largeur de route calculées à l'itération précédente. Sur l'exemple suivant (figure 7), on constate que la détection est relativement fiable mais que de nombreuses interruptions morcellent le réseau. Ces interruptions seront comblées au cours de la phase suivante. Certaines portions de routes n'ont pas été restituées parce qu'aucune amorce n'y avait été détectée.



Figure 7 : Résultat du suivi de routes.

- 45 — Reconstruction du réseau routier : à partir de toutes les hypothèses de routes issues de la phase précédente, on génère des hypothèses de prolongation et de connexion en utilisant les règles sur la topologie du réseau routier pour tenter de construire un réseau connexe à partir des portions de routes éparses. L'exemple suivant (figure 8) montre, en blanc, le résultat du suivi de routes et, en noir, les hypothèses de connexion générées.

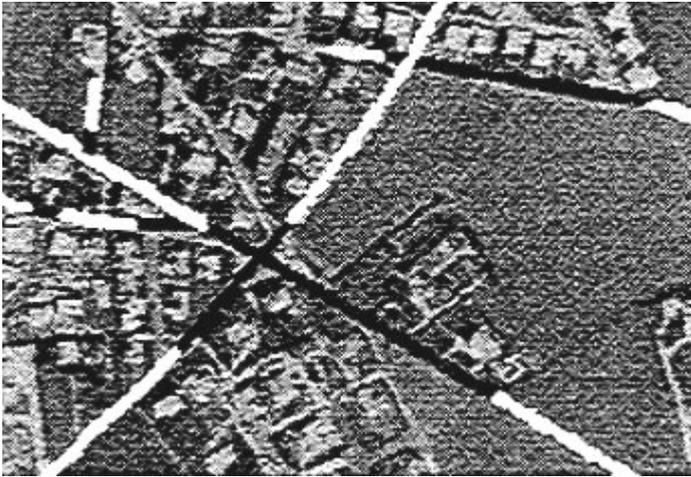


Figure 8 : Résultat de la reconstruction du réseau.

- 46 — Diagnostic sur la nature des différentes hypothèses de route : on limite à ce niveau l'analyse de l'image au voisinage immédiat des hypothèses de routes qui ont été émises. On calcule le long de ces hypothèses de routes un certain nombre d'indicateurs qui vont permettre de réaliser une classification afin d'attribuer à chaque segment de route une classe d'objet. Pour la plupart des segments, on va confirmer l'appartenance à la classe «Routes» mais certains segments deviendront porteur d'une hypothèse d'appartenance à une autre classe : carrefours, ombres, arbres...
- 47 — Confirmation du diagnostic par des modules experts : pour tous les segments qui portent à présent une hypothèse d'appartenance à une classe autre que la classe « Routes », on va confirmer cette hypothèse en ayant recours à des modules experts, spécialement dédiés à la reconnaissance d'un type d'objet donné. Cette identification permettra de décider si l'hypothèse de route est compatible ou non avec le ou les objets reconnus.
- 48 Une évaluation complète du processus a été effectuée sur plusieurs images dans des paysages ruraux et péri-urbains⁵. Il en ressort que :
- 49 — Environ 70 % des routes présentes dans l'image ont été restituées (30 % de sous-détections).
- 50 — Environ 80 % des routes restituées sont vraiment des routes dans l'image (20 % de sur-détections).
- 51 — La précision géométrique des routes extraites se situe autour de 1 mètre en écart-type.
- 52 L'interprétation des images aériennes est un problème complexe et il est illusoire de prétendre égaler le travail d'un interprète humain avant de très nombreuses années, tant les connaissances à mettre en oeuvre et à combiner sont nombreuses et complexes. Cependant, au vu des résultats exposés précédemment, on peut penser que l'enjeu majeur consisterait à augmenter la fiabilité de l'interprétation automatique. En effet, pour bon nombre d'applications, l'exhaustivité n'est pas de première importance dans la mesure où les cas les plus complexes peuvent être traités manuellement par un opérateur, en complément de l'extraction automatique. L'important est plutôt de ne pas obliger l'opérateur à contrôler une à une toutes les routes extraites et d'être pour cela capable d'augmenter la fiabilité de l'interprétation automatique (c'est-à-dire favoriser l'évaluation, par le système lui-même, de la fiabilité de son interprétation).

NOTES

1. RUSKONÉ Renaud, AIRAULT Sylvain & JAMET Olivier (1995), « Road network extraction by local context interpretation », *Image and Signal Processing for Remote Sensing, Satellite Remote Sensing II*, SPIE, volume 2315, pp. 508-518, Paris.
2. Art. cit.
3. RUSKONÉ Renaud (1996), *Extraction automatique du réseau routier par interprétation locale du contexte : application à la production de données cartographiques*, Thèse de doctorat de l'Université de Marne-la-Vallée.
4. AIRAULT Sylvain & JAMET Olivier (1995), « Détection et restitution automatiques du réseau routier à partir d'images aériennes », *Traitement du Signal (TS)*, 12, 2, pp. 189-200, juillet.
5. Cf. AIRAULT Sylvain & JAMET Olivier (1995), « Digital stereoplotting & automatic image interpretation : example of the road network capture », 17th international Cartographic Conference, Barcelone, volume 2, pp 1898-1908, septembre ; et RUSKONÉ Renaud (1996), *op. cit.*

RÉSUMÉS

Cet article décrit les problèmes liés à l'interprétation automatique des images aériennes dans le cadre d'une application cartographique de restitution du réseau routier. Il présente un éclairage sur la complexité des objets à interpréter, puis décrit les différentes connaissances à intégrer dans le système pour reconnaître les objets et, enfin, expose un exemple de stratégie d'utilisation de ces connaissances dans le cadre de la conception d'un système complet de saisie automatique du réseau routier.

Computer mapping program : the road network

The article deals with problems related to the automatic processing of aerial views by a computer mapping program created to track the road network. It highlights the complexity of the information to be processed, describes the different data to be seized for the system to acknowledge the objects and, in conclusion, it illustrates an example of manipulation strategy for a complete road tracking computer system.

INDEX

Mots-clés : cartographie par ordinateur, interprétation automatique, images aériennes, routes

Keywords : computer cartography, automatic data processing, aerial view, road, route

AUTEUR

SYLVAIN AIRAULT

Sylvain AIRAULT est ingénieur à l'Institut Géographique National et y travaille comme chargé de recherches au laboratoire MATIS, dont la fonction est d'étudier les possibilités d'automatisation de la saisie d'informations cartographiques à partir d'images numériques.