



HAL
open science

MESSIE : un systeme multi specialistes en vision. Application a l'interpretation en imagerie aerienne

Philippe Garnesson, Gérard Giraudon, Philippe Montesinos

► **To cite this version:**

Philippe Garnesson, Gérard Giraudon, Philippe Montesinos. MESSIE : un systeme multi specialistes en vision. Application a l'interpretation en imagerie aerienne. [Rapport de recherche] RR-1012, INRIA. 1989. inria-00075546

HAL Id: inria-00075546

<https://inria.hal.science/inria-00075546>

Submitted on 24 May 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

IRIA

UNITE DE RECHERCHE
IRIA-SOPHIA ANTIPOLIS

Institut National
de Recherche
en Informatique
et en Automatique

Domaine de Voluceau
Rocquencourt
B.P.105
78153 Le Chesnay Cedex
France
Tél. (1) 39 63 55 11

Rapports de Recherche

N° 1012

Programme 2

MESSIE : UN SYSTEME MULTI SPECIALISTES EN VISION APPLICATION A L'INTERPRETATION EN IMAGERIE AERIENNE

**Philippe GARNESSON
Gérard GIRAUDON
Philippe MONTESINOS**

Avril 1989



★ RR - 1 0 1 2 ★

**MESSIE : UN SYSTEME MULTI
SPECIALISTES EN VISION
APPLICATION A L'INTERPRETATION EN
IMAGERIE AERIENNE**

**MESSIE : A MULTI EXPERT SYSTEM IN
COMPUTER VISION
APPLICATION FOR AERIAL IMAGERY
INTERPRETATION**

Philippe GARNESSON

Gérard GIRAUDON

Philippe MONTESINOS

INRIA Sophia Antipolis
Route des Lucioles
06560 VALBONNE

Mars 1989

abstract

We present, in this paper, the first results we have obtained about the detection of man-made objects in aerial imagery. At the lowest level, our Multi Expert System (MESSIE) uses both region and edge segmentation to obtain obvious features. These features are line segments from edge chains and region boundaries. The strategy at higher levels is based upon hierarchical detection of "salient" objects. Depending on the results, MESSIE activates specialised low level procedures to confirm object hypotheses. The system organization is based on a blackboard architecture. We give results on the detection of roads and buildings in suburban images.

Résumé

Nous présentons dans ce rapport, les premiers résultats que nous avons obtenus sur la spécification d'un système à base de connaissance pour l'interprétation de structures faites de main d'homme dans l'imagerie aérienne sans connaissance de carte liée à la région à interpréter. Ce système, appelé MESSIE est un système multi-spécialiste bâti autour d'une architecture de type tableau noir. Il s'agit d'une interprétation hiérarchique et opportuniste. Le but premier de MESSIE est d'interpréter le plus rapidement possible les objets dit "évidents" de la scène à partir de primitives images bas niveau (chaînes, segments, régions). A partir, des premières hypothèses émises (phase chaînage avant), MESSIE émet alors de nouvelles hypothèses et les valide par des retours bas niveau sur l'image (phase chaînage arrière). Nous présentons des résultats sur la détection de routes et de bâtiments dans des images d'agglomérations. ¹

¹This work is supported by the Esprit Project 1588.

Table des matières

1 INTRODUCTION	5
2 PRINCIPE GENERAL	7
2.1 Préliminaire	7
2.2 MESSIE	8
2.2.1 Stratégie et contrôle	8
2.2.2 Représentation des connaissances	9
2.2.3 Représentation des Données et Base de Faits	10
2.2.4 Outils et environnement	11
3 LE BAS NIVEAU OU DESCRIPTION DE LA SEGMENTATION	12
3.1 Nature des données	12
3.2 Prétraitement	15
3.3 Segmentation Contour	15
3.4 Segmentation Région	16
3.5 Choix des primitives	17
4 INTERPRETATION DES ROUTES	18
4.1 Expertise humaine	18
4.1.1 Les routes évidentes	18
4.1.2 Les routes non évidentes	19
4.2 Spécification du problème	19
4.2.1 Objectif	19
4.2.2 Présentation de la stratégie	20
4.2.3 Les objets manipulés par le système	21
4.3 Recherche d'une route	27
4.3.1 Recherche d'un germe	27
4.3.2 Prolonger un germe de route	28
4.3.3 Optimisation	30
4.3.4 Les paramètres choisis	31

TABLE DES MATIÈRES

4

4.4	Les résultats	34
4.4.1	Une image sans difficulté	34
4.4.2	Une image délicate	37
4.4.3	Une trace de l'exécution	42
5	INTERPRETATION DES BATIMENTS	51
5.1	Expertise humaine	51
5.1.1	Les objets évidents	51
5.1.2	Les objets non évidents	52
5.2	Données	52
5.2.1	La segmentation des régions claires	52
5.2.2	La segmentation des régions sombres	53
5.2.3	Le suivi de contours et l'approximation polygonale	53
5.3	Stratégie	54
5.3.1	Recherche d'objets rectangulaires	54
5.3.2	Recherche des ombres	56
5.4	Algorithmes	58
5.4.1	Algorithme de recherche des rectangles	58
5.4.2	Algorithme de recherche des ombres	60
5.5	Résultats	60
6	CONCLUSION	70

1 INTRODUCTION

Le problème de l'interprétation et de la compréhension des images est le but fondamental en Vision par Ordinateur. Dès l'émergence de la problématique de la vision artificielle, de nombreux travaux ont été réalisés sur ce domaine. On peut citer en particulier les travaux réalisés sur le "monde des blocs". Aujourd'hui, on pense que le problème est plus compliqué que ne le laissaient entendre ces premiers travaux. Il est à peu près certain que l'interprétation demande, et de manière non exhaustive :

- des primitives images robustes et cohérentes en fonction de ce que l'on veut interpréter
- un système qui puisse prendre en compte les erreurs et les ambiguïtés inévitables qui sont attachées à ces primitives.
- une connaissance hétérogène, opportuniste et à plusieurs niveaux d'abstraction permettant à la fois de créer des objets du domaine et de raisonner à partir de modèles aussi bien géométriques et contextuels que génériques.
- une structuration correcte des données permettant le passage efficace entre le Bas Niveau (Segmentation) et le Haut Niveau (Interprétation).

Pour cela, un des axes de recherche à explorer, est la coopération de plusieurs bases de connaissance associées aux différentes tâches à résoudre, et pouvant prendre en compte plusieurs types de primitives issues de la segmentation de l'image.

Le but que l'on cherche à atteindre dans ce projet, est l'interprétation automatique des structures faites de main d'homme dans une image aérienne en utilisant un système multi experts appelé encore multi spécialistes, bâti autour d'une architecture de type tableau noir ("blackboard"). Dans un premier temps et pour ce rapport nous considérerons que nous n'avons pas de connaissance extérieure, de type carte symbolique de la région par exemple. Il s'agit en l'occurrence de faire une interprétation basée uniquement sur une connaissance générique des objets susceptibles d'être dans l'image.

Nous présentons dans ce rapport les premiers travaux que nous avons menés dans le cadre du projet Esprit SPAN No 1588, sous contrat THOMSON-CSF, sur

- la spécification de la Segmentation de l'image, ce qui comprend les choix des primitives images et des algorithmes associés vis à vis de leurs utilisations ultérieures.
- la spécification de l'expertise vision vis à vis du Haut Niveau et de sa mise en oeuvre sur blackboard à partir des primitives images issues du Bas Niveau.

Le plan de ce rapport comprend quatre parties. Dans la première partie, nous présentons le principe général de la mise en oeuvre de l'expertise et donnons la stratégie que nous

avons choisi pour aborder le problème de l'interprétation et en particulier pour celui de la reconnaissance des routes et des bâtiments de la scène. Nous explicitons les outils et les structures nécessaires. Nous montrons la nécessité d'aborder le problème de manière hiérarchique, hiérarchie qui va depuis les objets dits évidents jusqu'aux objets interprétés grâce au contexte. Dans la deuxième partie, nous développons le principe de segmentation que nous avons choisi (segmentation contour - segmentation région). Nous présentons le choix des primitives images (chaînes de contour, régions, segments de droite), des algorithmes et des paramètres de ces algorithmes ainsi que des structures de données. Dans la troisième partie, nous développons l'expertise pour la détection des routes et montrons les résultats sur des exemples. A la quatrième partie, nous itérons cette fois pour les bâtiments. Enfin nous donnons la conclusion sur la spécification de l'expertise vision pour le problème de l'interprétation d'images aériennes.

2 PRINCIPE GENERAL

2.1 Préliminaire

Il existe une nombreuse littérature sur le problème de l'interprétation des images aériennes depuis le début des années 80.

Parmi ces travaux, on peut citer l'article de synthèse de Binford [BIN82] sur les systèmes d'analyse d'images utilisant de la connaissance, les travaux de Nagao et Matsuyama [NAG80] sur l'interprétation de scènes suburbaines dans une imagerie multispectrale, les travaux de Lowe sur le groupement perceptuel [LOW85], les travaux de Levine et Nazif [NAZ84] sur l'utilisation de système expert pour la segmentation régions, les travaux de l'équipe de Riseman autour du système d'analyse de scène VISIONS [HAN78], et en particulier l'application de la coopération contour-région de manière hiérarchique [REN84] pour le problème de l'interprétation des aéroports. Toujours pour les aéroports, les travaux de McKeown [McK85] sont intéressants car ils mettent en oeuvre une base de connaissances avec contrôle hiérarchique construisant des objets de plus en plus élaborés et faisant intervenir une connaissance explicite à chaque niveau. McKeown utilise plusieurs sources d'information, images multispectrales, images stéréo, et il se donne un modèle d'aéroport construit à la main sur lequel il vient projeter (cohérence spatiale et mesure de distance) les hypothèses d'objets. Plus proche de nos propres hypothèses de travail, nous pouvons citer le papier de Huertas [HUE88] sur la détection de bâtiments utilisant des modèles génériques avec l'utilisation de l'information stéréo et de la présence des ombres. Enfin, on peut citer les travaux de Fua [FUA88] sur l'interprétation vue comme un problème d'optimisation de l'information entre géométrie et radiométrie, bien qu'il n'utilise pas l'aspect heuristique de la connaissance, mais cherche plutôt à arriver à la description de fonctions "objectives".

De cette nombreuse littérature et pour notre problème spécifique, nous avons émis les remarques suivantes:

- Absence de modèle contraint, contrairement à [McK85] ce qui implique l'utilisation de modèles génériques issus du sens commun : qu'est-ce qu'une route, un bâtiment ?
- Nécessité d'avoir plusieurs bases de connaissance, une par type d'objet à interpréter
- Nécessité d'avoir une base de faits commune permettant la mise en place d'une stratégie globale au niveau de la scène : exploiter le contexte
- Nécessité de contrôle descendant par émission d'hypothèses devant être vérifiées éventuellement par des retours bas niveau sur l'image originale
- Nécessité d'éviter l'explosion combinatoire des hypothèses émises

- Nécessité de hiérarchie pour la stratégie : commencer par des buts simples, puis comportement opportuniste en fonction des résultats
- Nécessité d'organisation hiérarchique des objets : décomposition arborescente par règles d'assemblages de primitives symboliques
- Nécessité d'explicitation d'une connaissance générique basée à la fois sur de la connaissance géométrique et de la connaissance radiométrique des objets que l'on désire interpréter.

2.2 MESSIE

A partir des remarques ci-dessus, nous allons décrire maintenant notre approche du problème. Cette approche s'inscrit dans la réalisation d'un démonstrateur appelé MESSIE (Multi Expert System for Scene Interpretation and Evaluation) pour l'interprétation des routes et des bâtiments dans une image aérienne de résolution 80 cm par pixel en n'ayant qu'une connaissance générique des objets.

Pour cela, notre démarche s'organise autour de trois principes :

1. le premier porte sur la stratégie et son contrôle
2. le deuxième porte sur la représentation de la connaissance
3. le troisième porte sur les données et la représentation de la base de faits

2.2.1 Stratégie et contrôle

La densité de l'information dans une image aérienne est trop grande pour pouvoir l'exploiter sans une approche hiérarchique. Dans la démarche classique de l'approche pyramidale, on considère que les pixels de l'image n'ont pas tous la même qualité informationnelle. Il semble ici illusoire de considérer que tous les objets qui composent la scène apportent la même quantité d'information vis à vis de l'interprétation de la scène. A la question "que veut-on trouver ?" dans la phrase "chercher les routes et les bâtiments", il semble plus important d'essayer de trouver un autoroute que de chercher à trouver un chemin de terre. Mais derrière la sémantique de ces objets, c'est en fait à leur caractère "exceptionnel" et/ou "remarquable" que nous cherchons à faire référence. La plupart du temps, ces caractéristiques se traduisent au niveau de l'interprétation humaine sous le vocable "qui saute aux yeux" donc d'évidence. Un objet évident est un objet que l'oeil humain voit en premier dans la scène. Il est en général macroscopique, à géométrie simple, homogène dans sa radiométrie, et bien contrasté par rapport à son environnement.

La connaissance d'objets identifiés dans une scène et replacés dans leur relation spatiale permet alors de guider plus finement la recherche en émettant des hypothèses précises avec des contraintes fortes : par exemple

- si deux bâtiments semblables et topologiquement proches sont déjà trouvés, alors rechercher en priorité un bâtiment dans la même zone avec des caractéristiques semblables (orientation, taille etc...)
- si une hypothèse route est émise alors rechercher des véhicules sur la route.

Pour cela, nous mettons en place la stratégie suivante :

- Bas Niveau
 - Segmentation contour avec une liste de paramètres fixés a priori dont le but est d'extraire les routes
 - Segmentation région, par une technique de segmentation partielle cherchant à localiser les régions les plus claires de l'image.
- Puis passage au Haut Niveau
 - Aucune hypothèse d'objet est émise : Commencer la recherche par les objets les plus évidents de la scène au sens de la définition donnée ci-dessus. Cette phase est dirigée par les données (data-driven)
 - Une ou plusieurs hypothèses sont émises alors : valider par retour bas niveau et/ou prise en compte du contexte.
 - Un ou plusieurs objets sont trouvés alors : émettre une hypothèse précise avec des contraintes fortes. Ces deux dernières phases sont dirigées par les buts (model-driven).

Le processus peut se dérouler de manière itérative jusqu'à ce qu'un nombre d'objets suffisant soit trouvé ou jusqu'à ce qu'aucun objet ne soit plus créé.

2.2.2 Représentation des connaissances

La connaissance que nous voulons mettre dans MESSIE est d'une très grande variété. Nous donnons ci-dessous quelques exemples pratiques de type de connaissance que nous voulons mettre en oeuvre.

- Nous devons être capable de pouvoir décrire la connaissance des modèles génériques
⇒ connaissance de la géométrie et connaissance de la radiométrie des objets ⇒ objet structuré, représentation arborescente
- Nous voulons être capable d'utiliser de la connaissance sous forme de paquets de règles à activer dans un ordre précis ⇒ des procédures à déclencher obligatoirement.
- Mais nous voulons aussi être capable d'inférer une hypothèse à partir d'un comportement opportuniste, lié à la détection d'objets particuliers dans un contexte donné
⇒ règles à activer en fonction d'un résultat

- Nous voulons à la fois un contrôle ascendant et descendant pouvant s'expliquer sous forme simple et modifiable pour des besoins de mise au point.

Après une étude sur les différents mode de représentation des connaissances dans le domaine de l'Intelligence Artificielle, nous avons conclu que notre problème se situait à la frontière de l'I.A. et de la Reconnaissance de Forme et que par conséquent notre choix se portait sur les langages orientés objets associés aux règles de production

La spécificité des objets à trouver, la description de la connaissance des relations des objets entre eux, les niveaux hiérarchiques différents, la mise en place de la connaissance générique d'une image aérienne, impliquent une connaissance particulière pour chaque un des objets, pour les relations entre les objets et pour la stratégie à adopter en fonction du contexte. Nous retrouvons cela par exemple dans [McK85] où cinq systèmes successifs et différents sont activés (construction, évaluation locale, consistance, zones fonctionnelles, mise en accord avec le modèle de l'aéroport)

Cela implique la construction de plusieurs systèmes experts appelés aussi spécialistes, activables sur contrôle d'un superviseur en accord avec la stratégie courante.

Actuellement MESSIE comporte trois groupes de spécialistes :

1. Le premier regroupe la connaissance nécessaire à la construction et la détection des routes (voir Chap 4). Il travaille sur des données de type segments de droite issus de la segmentation contour. En fonction de la requête demandée par le superviseur, il essaie de trouver toutes les routes, seulement certaines routes, des embryons de routes et gère lui même ses retours bas niveau. Il peut se focaliser sur certaines données, analyser une seule primitive ou au contraire analyser toutes les primitives.
2. Le deuxième regroupe la connaissance nécessaire à la détection des bâtiments (voir Chap 5). Ce système est en fait décomposé en deux spécialistes: un pour la détection du bâtiment lui-même et l'autre pour la détection des ombres de bâtiments. Ces deux systèmes s'appuient sur des données qui sont issus de la segmentation région (segments de droite du périmètre de la région et radiométrie de la région). En fonction de la requête émise par le superviseur, il essaie de trouver tous les bâtiments ou seulement certains bâtiments. Le premier peut ou non activer le second en fonction de la demande du superviseur.
3. Le troisième système expert, pour l'instant embryonnaire, représente la connaissance générique d'une scène. Il sait analyser les relations entre les objets trouvés (connaissance spatiale), raisonner au niveau sémantique et surtout émettre des buts à valider.

2.2.3 Représentation des Données et Base de Faits

Le bas niveau réalise deux types segmentation, une segmentation contour et une segmentation région.

Les primitives issues de ces segmentations sont (voir chap 3) :

- les chaînes de contour, et les segments de droite associés
- les régions exprimées sous forme de :
 - la chaîne périmètre, et les segments de droite associés
 - la radiométrie de chaque région et le graphe d'adjacence.

Les primitives qui sont passées au Haut Niveau sont en fait uniquement les segments de droite issus des deux segmentations, avec dans leur entête les caractéristiques respectivement sur les chaînes (numéro et longueur) et sur les régions (numéro, surface, et radiométrie moyenne).

Ces primitives sont définies comme des objets structurés du domaine. Le domaine est défini comme une base de faits hiérarchisée commune à l'ensemble des S.E., appelée blackboard. Il ne s'agit pas ici de mettre en place toute la structure d'un blackboard comme défini par Haynes [HAY83]. Il s'agit de définir un domaine commun et accessible par tous. Tous les objets créés y seront stockés et exprimés sous forme d'objets structurés avec des mécanismes d'héritages (d'un objet, on accède aux éléments le composant, etc...)

De manière à accélérer les recherches lors des mesures de voisinage, l'espace spatial (l'image) est découpé en zones définies comme des "buckets", de recouvrement paramétrable. Un bucket est défini par ses coordonnées et contient la liste des primitives qui le traversent. De même, une primitive contient la liste des buckets qu'elle traverse. Les buckets sont des objets du domaine, et peuvent être manipulés comme tels (voir chapitre 4).

2.2.4 Outils et environnement

Le système est écrit dans un langage orienté-objet appelé CEYX [HUL85], lui-même écrit avec Le-Lisp [CHA86]. Un interpréteur de règles a été écrit permettant la création des systèmes experts et de leur contrôle afin de valider les spécifications énoncées ci-dessus. Cet interpréteur a d'ailleurs été repris pour le système OCAPI [THO88]. La particularité de cet interpréteur est qu'il permet d'écrire des règles qui contiennent leurs propres structures de contrôle, voir [MONT89] pour plus de détails.

3 LE BAS NIVEAU OU DESCRIPTION DE LA SEGMENTATION

Le but du Bas Niveau est de fournir un ensemble de primitives images à caractère symbolique permettant la mise en oeuvre de raisonnements déduits de l'expertise humaine pour l'interprétation de l'image. Dans ce cadre, nous devons répondre à trois questions :

1. Que veut-on calculer ?
2. Comment va-t-on le calculer ?
3. Comment va-t-on le représenter ?

Dans ce chapitre, nous allons essayer de répondre aux deux premières questions. Pour la troisième, nous renverrons le lecteur aux références [GAR87] [GIR89]. Nous analyserons tout d'abord la nature des données que nous avons à traiter. Puis, nous donnerons les résultats d'une étude exhaustive que nous avons menée sur les fonctions de prétraitement, sur la segmentation contour et la segmentation région.

3.1 Nature des données

L'image sur laquelle l'étude s'est basée représente une photographie aérienne obtenue auprès de l'Institut Géographique National, et numérisée par THOMSON-CSF. Cette image représente une vue de Cannes-Mandelieu. La numérisation a été effectuée avec les caractéristiques suivantes:

- Le pas d'échantillonnage représente environ 85 cm au sol. La taille de l'image numérique est de 4096x4096 pixels, soit environ 3.4x3.4 km de surface sol.
- La quantification est de 8 bits par pixel.

Cette image est intéressante car la nature des objets présents est très diverse : mer, zone montagneuse, routes et autoroutes, zone urbaine, aéroport, forêt. La résolution de 85 cm en fait une image très riche en détail, donc en hautes fréquences. C'est une caractéristique dont il faut tenir compte. Nous présentons sur l'image No 3.1 une vue complète de la zone avec un facteur de réduction de 64. Une image à pleine résolution peut être trouvée dans l'image No 3.2.

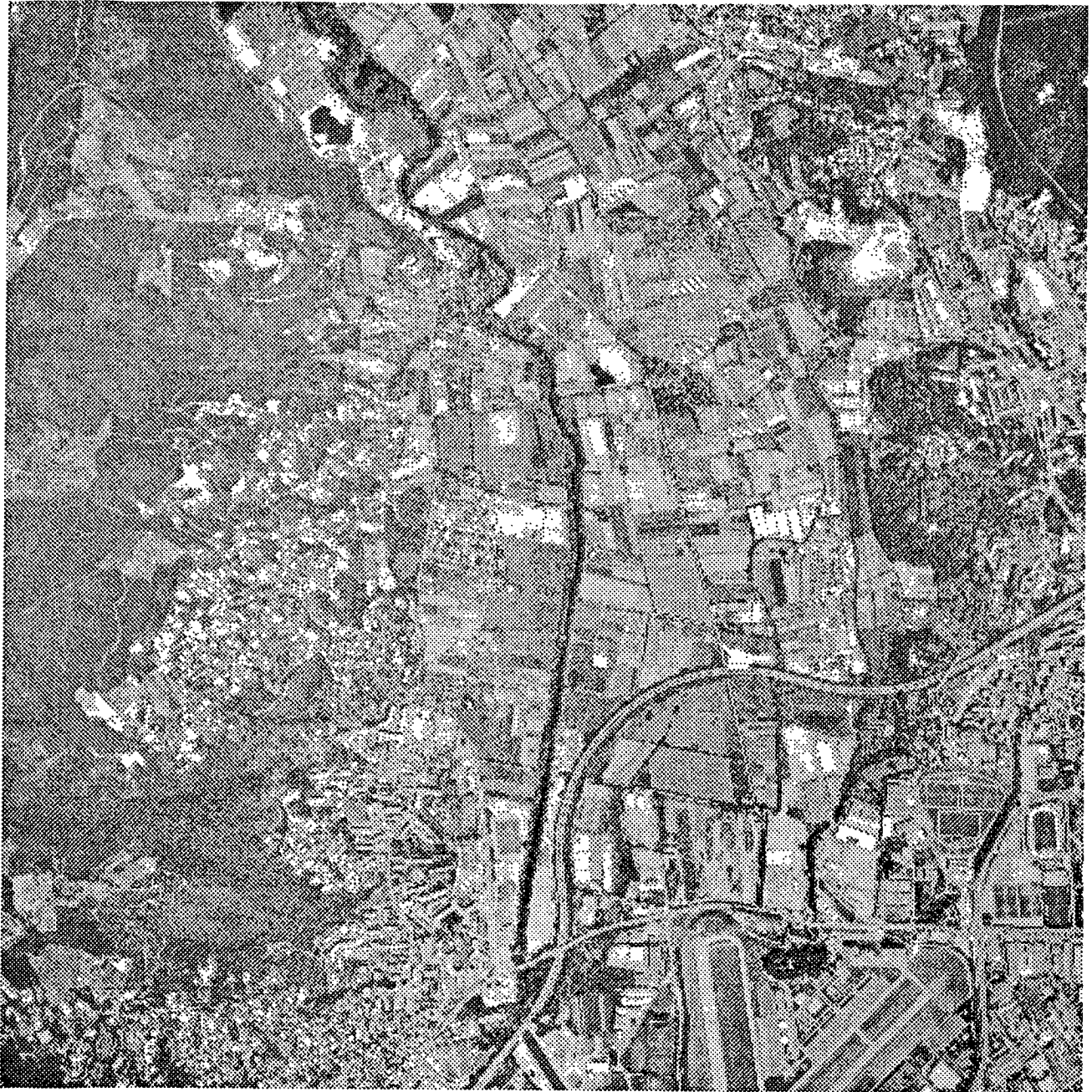


Image No 3.1 : Scène totale 512x512 à la résolution 7 mètres

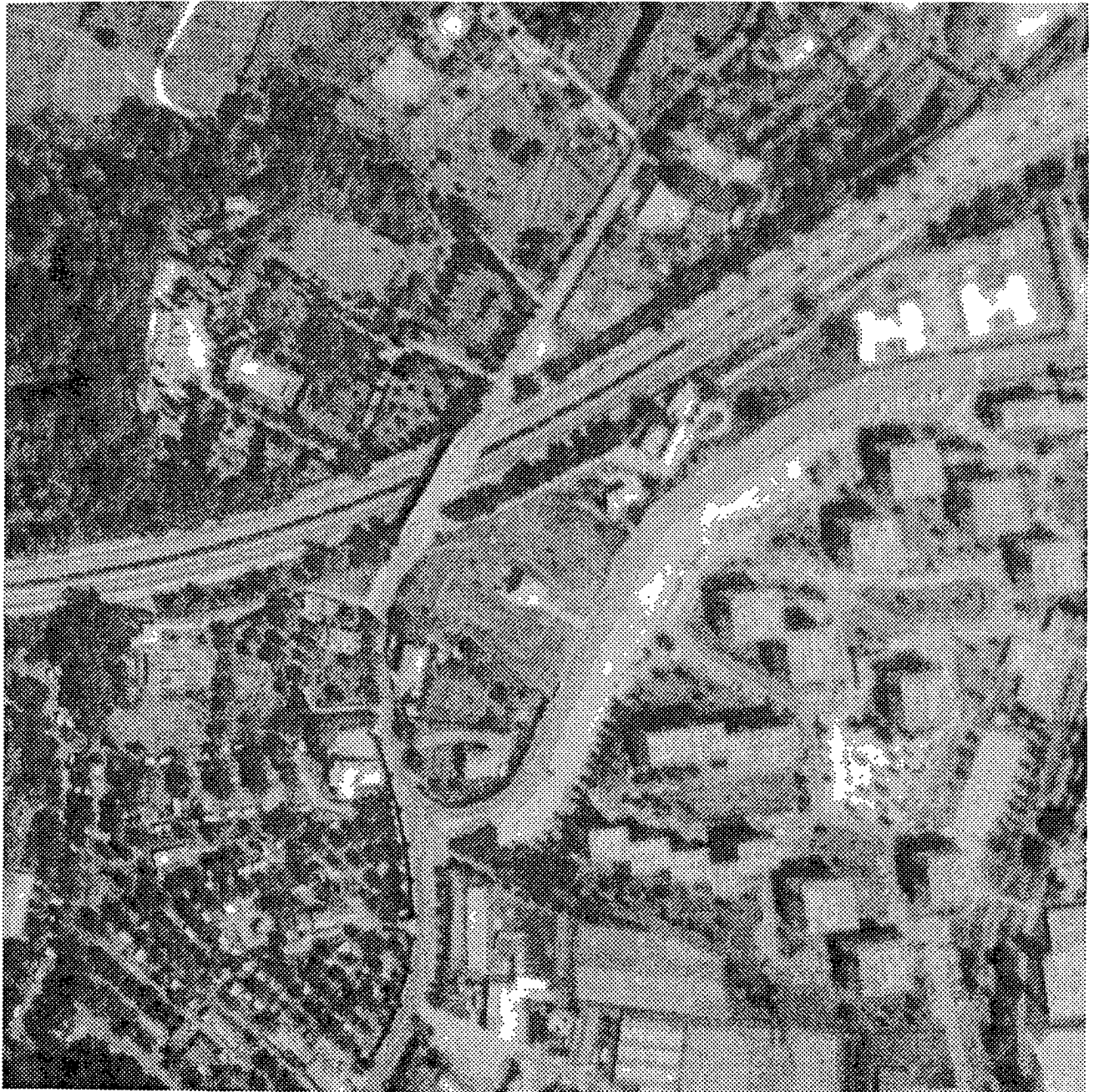


Image No 3.2 : Image 512x512 à la pleine résolution (85 cm)

3.2 Prétraitement

Le but d'un prétraitement est dans le cas qui nous intéresse de trouver une méthode qui puisse améliorer les phases de segmentation. c'est à dire qui puisse améliorer la qualité des primitives extraites. Nous avons réalisé une étude exhaustive de différentes méthodes par rapport aux résultats de la segmentation. Les méthodes testées sont les suivantes:

- filtrage moyenne (réduction du bruit)
- filtrage médian (réduction du bruit)
- ouverture et fermeture de la morphologie mathématique (élimination des petites structures)
- filtrage passe-haut (amélioration des détails)

La conclusion que nous pouvons tirer :

- Il semble souhaitable de lisser l'image avant d'effectuer une détection de contour (voir section contour)
- Par contre, il peut être intéressant d'effectuer un filtrage passe haut avant d'effectuer une segmentation région, surtout dans le cas de la segmentation par seuillage itératif (voir section région).
- L'approche pyramidale, que nous n'avons pas encore intégré dans ce travail, paraît être une solution efficace en vue d'un traitement complet de l'image 4096x4096.

3.3 Segmentation Contour

Une segmentation est définie comme une partition de l'image au sens d'un critère donné. Ici, le critère est défini comme une transition brutale de contraste dans l'échelle des niveaux de gris, c'est à dire sur l'existence d'un contour. L'entrée de cette phase est l'image brute ou prétraitée, la sortie est l'ensemble des chaînes de contour. Après une étude exhaustive, nous avons choisi la chaîne de traitements suivants:

- Filtrage de gradient par le filtre de Deriche [DER87]
- Suppression des non maxima locaux
- Seuillage par hystérésis
- Chainage des points de contour [GIR87a]

L'analyse paramétrique de ces algorithmes nous a permis de faire les constatations suivantes :

- Le filtrage de Deriche ne possède qu'un seul paramètre qui régit la bande passante du filtre, plus a est grand et plus le filtre est sensible aux micro contrastes de l'image. Pour la première phase (chaînage avant), nous avons choisi $a=0.7$, ce qui permet de lisser l'image et d'obtenir les contours les plus marqués dans l'image. Pour une analyse plus fine, $a=1.1$ semble convenir
- Le seuillage par hystérésis possède deux paramètres, le seuil bas et le seuil haut. Nous avons toujours le seuil bas $=0$ et la valeur du seuil haut représente 5 pour-cent des pixels de contour.
- L'algorithme de chaînage ne possède qu'un seul paramètre, la longueur minimale des chaînes faiblement liées. A pleine résolution, nous avons toujours pris 40 comme longueur minimale ce qui élimine les objets contrastés de 32 mètres de périmètre environ.

3.4 Segmentation Région

La deuxième grande classe des techniques de segmentation consiste à extraire les régions de l'image. Une région est un ensemble de pixels pour lesquels une mesure d'homogénéité est vraie. Le problème est le choix de la mesure d'homogénéité.

Nous avons testé différentes méthodes parmi lesquelles:

- L'algorithme de croissance de région développé par Monga et Wrobel [MONG88], où on réalise une croissance itérative avec une liste de prédicat
- L'algorithme de croissance de région par seuillage itératif avec coopération contour que nous avons développé dans un cadre différent [GIR87b]

En règle générale, les résultats obtenus sont riches en information même si les algorithmes utilisés sont forts différents dans leur complexité. Si la méthode de Monga reste la plus complète et la plus porteuse d'information, elle est aussi la plus difficile à mettre en oeuvre. Cette difficulté est due d'une part à sa complexité (coût mémoire surtout) et d'autre part à la difficulté à trouver de manière efficace et automatique les différents seuils. ces seuils globaux sont par ailleurs peu performants et devraient être, à notre avis adaptatifs. La segmentation par coopération contour-région est intéressante par la qualité des régions pertinentes obtenues. Sa capacité à focaliser l'extraction sur une zone de niveau de gris particulière présente des avantages si l'on désire commencer par une segmentation sélective plutôt que par une segmentation globale, qui est bien la stratégie choisie pour MESSIE. En effet, on peut choisir ainsi de segmenter les régions claires ou sombres indépendamment.

Le nombre de paramètres de cette méthode est 3. Nous avons choisi les valeurs suivantes:

- paramètre 1: nombre de niveau de gris pris en compte = 256

- paramètre 2: le nombre de seuils = 127
- paramètre 3: pourcentage de points de contour connexe à la région = 5 pour-cent.

Dernière remarque, si l'on désire chercher des ombres de bâtiments, il est nécessaire de travailler à pleine résolution.

3.5 Choix des primitives

Nous venons de voir les différentes méthodes que nous utilisons pour segmenter l'image. Les primitives sur lesquelles nous avons choisi de nous appuyer pour l'interprétation sont en fait des segments de droite, résultant de l'approximation polygonale soit :

- des chaînes de contour de contraste
- des frontières des régions

Dans chaque cas, les segments sont structurés [GIR89] et contiennent une description des primitives dont ils sont issus. Par exemple, un segment de contour contient l'information de la chaîne dont il est issu, la longueur de cette chaîne, et les numéros des autres segments composants cette chaîne. Si l'on désire des renseignements plus complets sur la chaîne, il est alors nécessaire d'aller chercher le fichier correspondant.

4 INTERPRETATION DES ROUTES

4.1 Expertise humaine

Les images sur lesquelles on travaille contiennent suffisamment d'informations pour qu'une expertise humaine permette de reconstituer de façon satisfaisante le réseau routier.

Parmi ce réseau routier, on peut distinguer deux catégories de routes, les routes évidentes, celles que l'on perçoit en premier, et les autres. On va mettre en évidence les mécanismes qui permettent cette distinction. Voir, à ce sujet, [LOW85].

Il est à noter que la résolution à laquelle on travaille est suffisante pour discerner les deux bords de la route.

4.1.1 Les routes évidentes

Pour percevoir les routes évidentes on peut s'appuyer sur deux critères fondamentaux, la géométrie et la radiométrie.

- Pour la géométrie on peut s'appuyer sur:
 - La surface: A l'échelle de l'image les routes les plus évidentes sont des objets macroscopiques. Par exemple, une autoroute et même une route nationale traversent souvent l'image. Cette remarque est d'autant plus intéressante que ce critère est souvent discriminant pour identifier une route.
 - La forme: Les routes sont des objets allongés dont la largeur est stable. De plus les variations d'orientation de ces routes correspondent à des virages et impliquent donc des variations relativement lentes.
Le critère de forme est essentiel et permet de faire la distinction entre une route et des objets tels que maisons, champs ou rivières.
- Pour la radiométrie on peut s'appuyer sur:
 - La radiométrie correspondant au revêtement de la route. C'est à dire les valeurs de ces niveaux de gris. Elle est souvent dans une plage restreinte ce qui permet de saisir la route dans sa globalité.
 - Le contraste entre la radiométrie de la route et son environnement.
Les arbres, les maisons les cultures qui bordent une route font que ce contraste est souvent élevé.
 - La texture: Le revêtement est homogène, on distingue parfois les lignes blanches ou des bordures centrales.

4.1.2 Les routes non évidentes

Dans le cas des objets non évidents, contrairement aux routes évidentes, les critères relatifs à la géométrie et à la radiométrie ne sont plus suffisants pour détecter et valider des hypothèses de routes.

- Pour la géométrie :
 - La surface : Les objets non évidents sont souvent des chemins de terre, de petites routes ou encore des routes dont seule une partie est bien visible. On a donc maintenant affaire à des objets microscopiques, et on ne peut plus s'appuyer sur ce critère étant donné le nombre important d'objets appartenant à cette catégorie (arbres, maisons ...)
 - La forme : En milieu urbain ou dans le cas de petites routes, on ne peut plus s'attendre à trouver des structures longues et droites, il faut prendre en compte les notions de virages et d'intersections.
- La radiométrie.
 - La radiométrie, la texture . Elle peut ne pas être stable à cause d'ombres sur la route ou d'un changement de revêtement, ou encore la présence d'un pont. Il peut y avoir absence du contraste avec les bas côtés, par exemple présence de parking. Dans ce cas, on est donc incapable de détecter les deux bords de la route.

L'observation de ces caractéristiques montre que la détection de ces routes implique l'utilisation de critères plus élaborés.

C'est en s'intéressant à deux autres nouveaux critères qu'on pourra résoudre ce problème.

- Un critère relatif à la fonction : Pour confirmer une hypothèse de route, on peut rechercher la présence de ligne blanche, terre plein ou même de véhicules.
- Un critère relatif au contexte : Dans certains cas, on détecte la route en s'aidant de son contexte.
Par exemple, une hypothèse de route peut être émise grâce à un alignement d'arbres ou de maisons qui la borde. On peut aussi donner l'exemple d'une route qui disparaît sous un pont, on sait alors que la route doit réapparaître un peu plus loin.

4.2 Spécification du problème

4.2.1 Objectif

Pour détecter le réseau routier, on doit prendre en compte différents types de connaissances:

- La géométrie.
- La radiométrie.
- Le type de routes
- Le contraste

Le problème, est qu'il n'est pas possible de considérer simultanément ces quatre critères. Notre approche consiste à trouver en premier lieu les routes évidentes en utilisant la géométrie et la radiométrie.

Ensuite, en confrontant les résultats d'autres bases de connaissances, le superviseur pourra prendre en compte le contexte pour guider la recherche.

On décrit ici comment trouver rapidement les routes évidentes. Parmi celles-ci, on doit pouvoir orienter la recherche en fonction de la largeur de la route. Ceci permet de sélectionner les autoroutes avant les routes.

Cette recherche doit pouvoir intégrer le fait que l'information de départ est bruitée et incomplète.

4.2.2 Présentation de la stratégie

Comment isoler une route dans l'image

Les données de bases sont des pixels. A ce stade, parmi les critères que nous avons recensés pour identifier une route, aucun n'est facilement exploitable.

Néanmoins, on a vu que les bords des routes correspondaient souvent à une zone de contraste, au moins pour les routes les plus évidentes. Cette remarque est très intéressante, dans la mesure où il existe plusieurs techniques classiques qui permettent d'extraire les zones de contraste dans une image.

Ceci étant fait, la plupart des critères que nous avons définis pour les routes évidentes peuvent être utilisés. Il reste donc à distinguer parmi ces zones de contrastes celles représentant les bords des routes et celles des autres bords des objets de l'image.

Pour ce faire, on va utiliser les critères suivants:

- La surface: Si les techniques de bas niveau permettent de mettre en évidence un long contraste, on peut espérer que celui-ci soit un bord de route. La mesure de cette longueur est un excellent critère et peut même guider la recherche des routes les plus évidentes.
- La forme: On peut facilement avoir une idée de la rectitude de l'objet, par contre, pour évaluer la largeur de l'objet, il faut être capable de mettre en correspondance deux bords de routes. Ceci peut être fait de façon géométrique sachant qu'on recherche deux structures dont l'éloignement est constant.

- La radiométrie par rapport à l'environnement: Une recherche basée sur le contraste implique que ce critère est correct. Néanmoins, on peut encore améliorer ce résultat en mettant en correspondance des contrastes cohérents. Nous expliciterons plus tard cette remarque.

Les critères de forme et de contraste nous permettent d'isoler des zones susceptibles d'être des routes. Parmi les critères d'une route évidente, il reste à vérifier la radiométrie de la route et sa texture.

On sait, en fonction des deux bords qui ont été mis en correspondance, où faire cette vérification dans l'image de départ.

Si cette vérification est concluante, on a alors trouvé dans l'image deux bords qui sont sensés former une partie de route.

Comment prolonger une route

On vient de voir qu'on est capable de trouver un "germe" de route. Il est peu probable que ce germe représente la globalité de la route.

On va donc essayer de le prolonger en le "raccordant" à d'autres portions. On répète cette opération tant qu'on arrive à ajouter de nouvelles portions.

Pour rechercher une nouvelle portion, on utilise une stratégie opportuniste qui tient compte de la partie de la route qui a été trouvée.

Cela signifie qu'à chaque fois qu'on prolonge, on choisit parmi les différentes possibilités celle qui correspond le mieux avec l'hypothèse courante.

Ce choix repose sur la minimisation de deux critères, la variation d'orientation et la variation de largeur entre les deux portions.

Cette stratégie opportuniste nous permet d'émettre rapidement des hypothèses et réduit considérablement la complexité de la recherche.

D'un point de vue technique, prolonger une portion de route signifie rechercher deux bords parallèles qui permettent de faire croître la portion courante. Il faut prendre en compte les problèmes de bruits sur la route et donc tolérer l'absence d'un des deux bords, voire les deux sur une faible distance.

4.2.3 Les objets manipulés par le système

Le monde des chaînes

On a vu la nécessité d'extraire les zones de contraste de l'image. Il existe plusieurs techniques basées, soit sur une approche région, soit sur une approche contour. On ne s'intéresse pas ici à ces différentes techniques et on se contentera d'en exploiter les résultats. Les résultats de ces techniques permettent d'isoler les pixels de contours, mais on ne sait pas encore à cette phase manipuler ces contours, si ce n'est visuellement.

On voit donc la nécessité de structurer ces objets afin de manipuler des primitives qui représentent effectivement des contours. Ces primitives sont appelées chaînes et sont créées par un utilitaire qui "chaîne" les points connexes [GIR87a].

Chaque chaîne est caractérisée par:

- Un numéro: identificateur.
- Une liste de pixels connexes deux à deux.

Le monde des segments

La représentation des contours sous forme de chaînes pose deux problèmes essentiels pour la détection des routes:

- Les opérations de bases: Il est peu efficace d'exprimer des notions de parallélisme ou de rectitude au niveau des pixels.
- La masse des données: Conserver tous les pixels de contours n'offre pas d'intérêt et est en outre très coûteux en espace mémoire.

On peut s'affranchir de ces problèmes en faisant une approximation polygonale des chaînes. Chaque chaîne est alors représentée par un certain nombre de segments. Cette représentation résoud les deux problèmes auxquels on était confronté.

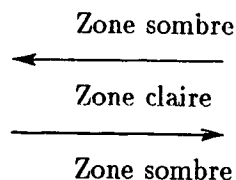
- Les opérations de bases : dans le monde des segments, les notions de parallélisme, orientation, éloignement s'expriment de façon très simple.
- La masse des données: L'approche segment est très intéressante car elle permet de représenter la globalité de l'image avec un nombre de primitives peu coûteux en espace mémoire. En effet, un segment peut être codé par les deux points de ses extrémités.

De plus, si l'espace mémoire n'est pas suffisant, une heuristique nous permet d'éliminer certains de ces segments. Cette heuristique est basée sur certains attributs des routes évidentes, à savoir que ce sont des objets macroscopiques et de formes allongés. Cette observation permet de favoriser l'élimination des segments des petites chaînes.

La notion de segment peut être enrichie en fixant une orientation à chacun des segments. Cette orientation est fixée de façon à ce que dans le repère orienté défini par le premier et deuxième point du segment, la zone la plus sombre soit toujours à droite du repère. Le premier et deuxième point seront appelés respectivement extrémités de début et de fin.

Cette convention améliore la recherche des routes. En effet, la partie centrale de la route étant souvent uniforme et contrastée de la même façon sur chacun des bords, il est préférable de trouver des segments d'orientations opposées. On parlera alors de segments antiparallèles.

Exemple:



Chaque segment est caractérisé par:

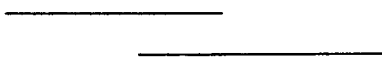
- Un numéro: identificateur.
- Deux extrémités: localisation du segment.
- Une longueur: distance entre les deux extrémités.
- Une orientation: orientation définie par les deux extrémités et le contraste.
- Le numéro de la chaîne dont est issu le segment.

Le monde des boîtes

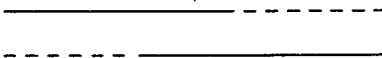
On a mis en évidence, dans le chapitre concernant la présentation de la stratégie, la nécessité de faire la correspondance entre les segments de chacun des bords de la route. Cette mise en correspondance nous conduit à manipuler des paires de segments, une paire de segments sera représentée par un nouvel objet appelé boîte. Voici les raisons qui nous ont incité à créer cet objet:

- Le recouvrement:

Si on a deux segments parallèles qui sont sensés représentés
Les bords d'une route,



on peut alors étendre les segments ainsi,



On a pu de façon très locale déduire de l'information. La boîte
relative à cet objet est représentée schématiquement,



- Le parallélisme:

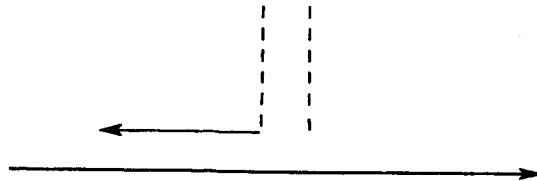
On peut vouloir associer deux segments dont les orientations respectives varient légèrement. On calcule alors une orientation moyenne.

- Réduction de la complexité:

Initialement la paire de segment est localisée par quatre points, en utilisant une boîte, on peut se contenter de deux points qui faciliteront par la suite le traitement. Ces deux points passent par l'axe de la boîte et correspondent au milieu de chacune des extrémités de la boîte. (Voir le schéma récapitulatif).

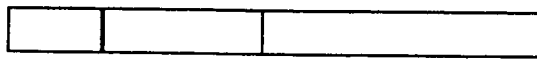
- Création des intersections potentielles:

Si le chevauchement des deux segments n'est pas parfait, on peut être dans la configuration d'une intersection,



Il est alors dommage de perdre cette information potentielle.

En fait, dans ce cas, on crée non pas une boîte, mais 3 boîtes,



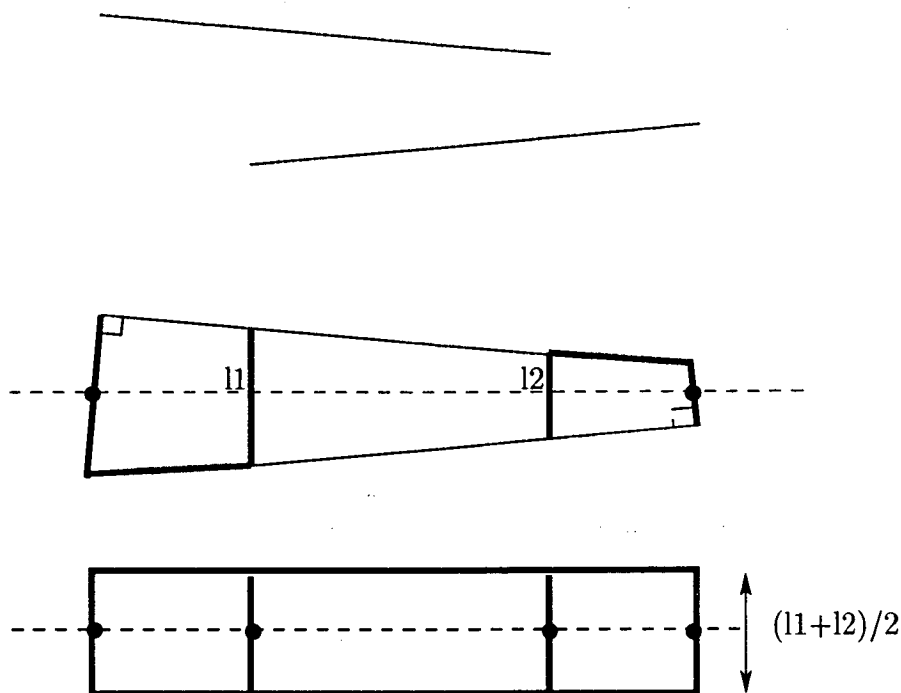
Bien entendu, cette coupure n'implique pas une déconnection des 3 boîtes, on va établir une liaison entre chacune des boîtes. Cette liaison sera appelée jonction.

Chaque boîte est caractérisée par:

- Deux extrémités: localisation de la boîte.
- Une largeur: éloignement moyen des 2 segments.
- Une orientation: orientation définie par l'axe de la boîte.
- Ses jonctions: elles permettront de prolonger la route.
- Un coefficient de vraisemblance: suivant le recouvrement et le parallélisme une boîte a plus ou moins de chance de représenter une portion de route. C'est ce qu'exprime ce coefficient qui appartient à l'intervalle $[0, 1]$.

La boîte est donc un objet qui permet de s'affranchir des problèmes numériques et d'exprimer la connaissance à un niveau plus symbolique.

Schéma récapitulatif de la construction d'une boîte:



Les buckets

Comme on a pu le voir dans la présentation de la stratégie, une large partie du travail consiste à mettre en correspondance des segments, que ce soit pour rechercher des germes de routes ou pour les prolonger. Bien entendu, cette mise en correspondance peut se faire dans l'ensemble de l'image, mais cela va augmenter fortement les temps de calcul. Ceci est d'autant plus regrettable, qu'il n'y a aucune raison d'essayer d'apparier des segments qui sont distants dans le monde réel de quelques kilomètres.

La solution mise en oeuvre, pour résoudre ce problème consiste à découper l'image en sous image de taille régulière, chaque sous image étant appelée bucket.

Dans une phase d'initialisation, on calcule donc:

- Pour chacun des buckets, les segments qui le traversent.
- Pour chacun des segments, les buckets qu'il traverse.
- Une méthode permettant de déterminer à quel bucket appartient un point.

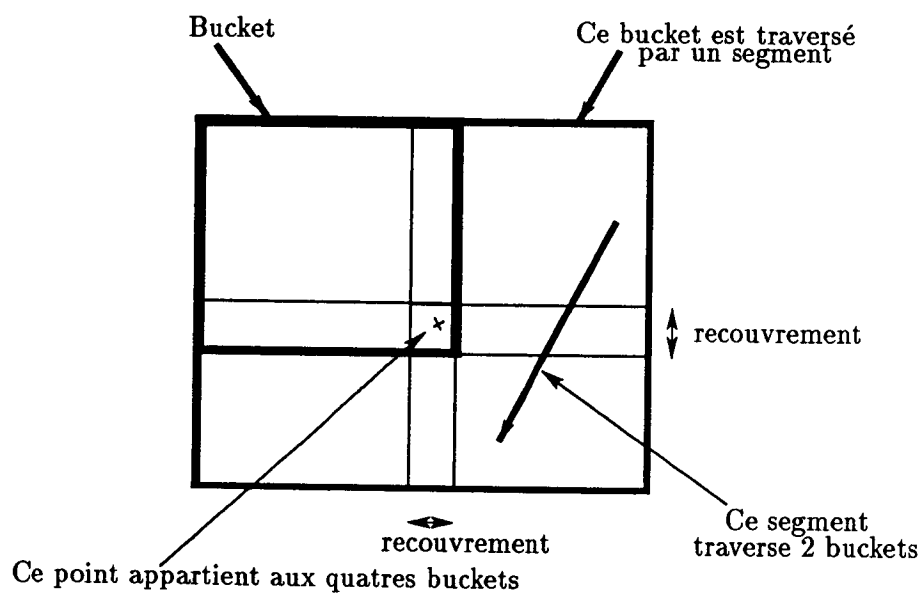
On est alors capable de réduire considérablement le nombre de segments mis en oeuvre pour les mises en correspondance.

Pour éviter d'avoir à écrire par la suite des algorithmes où on est obligé de prendre les

voisins du bucket courant, on utilise des buckets recouvrants. Le recouvrement des buckets est fonction de la largeur maximum des routes que l'on désire détecter et du bruit supposé.

Par la suite on ne parlera plus de ces buckets, mais leur utilisation sera sous-entendue à chaque fois qu'elle sera possible.

Représentation schématique des buckets:



4.3 Recherche d'une route

On a vu que la recherche d'une route se décompose en deux étapes, la recherche d'un germe et le prolongement de ce germe.

Nous allons détailler ces deux étapes.

4.3.1 Recherche d'un germe

Sélection de la meilleure chaîne

Une des difficultés de l'objectif qu'on s'est fixé est d'émettre des hypothèses de route en fonction de leur "évidence" dans l'image.

Pour résoudre ce problème l'heuristique que nous avons mis en oeuvre consiste à parcourir les chaînes en fonction de leur longueur, et pour chacune d'elles, construire toutes les boîtes possibles. On choisit ensuite la meilleure.

On pourrait améliorer cette heuristique:

- En effet, certaines chaînes sont effectivement longues sans pour autant être des bords de route. Une étude de la courbure de ces chaînes devrait permettre dans la majorité des cas d'éliminer les mauvaises chaînes (rivière, bordure d'arbres).
- On pourrait également envisager une approche plus "naturelle":
Si on recherche les routes évidentes on peut espérer que les deux bords de la route sont bien marqués et qu'on est donc capable de trouver, non pas une meilleure chaîne, mais un couple de meilleures chaînes. Néanmoins, cette technique est basée sur une hypothèse qui n'est pas toujours vraie, à savoir que les deux bords sont bien marqués. Il arrive en effet souvent que les bords soient coupés à cause d'une ombre sur la route, d'un carrefour ou d'une imperfection du bas côté.

Nécessité de valider le germe

On a remarqué dans le chapitre concernant l'expertise humaine que parfois le contexte d'une route peut faciliter sa détection. Paradoxalement, ces contextes particuliers peuvent nous conduire à choisir un germe qui respecte tous les critères géométriques mais dont l'axe va être centré sur le contexte particulier (un bâtiment, une rangée d'arbre) plutôt que sur la route.

La seule méthode fiable pour lever cette ambiguïté est d'étudier la texture du germe.

La texture doit faire apparaître un alignement dans le sens de la route. En effet les lignes blanches, les bordures centrales et les bandes de roulement provoquent cet alignement. On peut également rechercher des "anomalies" de type véhicules.

Dans la mise en oeuvre de la base de connaissance, on s'est contenté d'étudier l'écart-type et la moyenne de la radiométrie. On a pris soin de ne pas prendre en compte les bords de la route souvent bruités et imprécis. Les résultats ainsi obtenus sont souvent significatifs. Dans un premier temps, nous avons pris comme critère de texture uniquement le paramètre écart-type qui est lié à l'homogénéité du revêtement, et n'avons pas utilisé jusqu'à présent

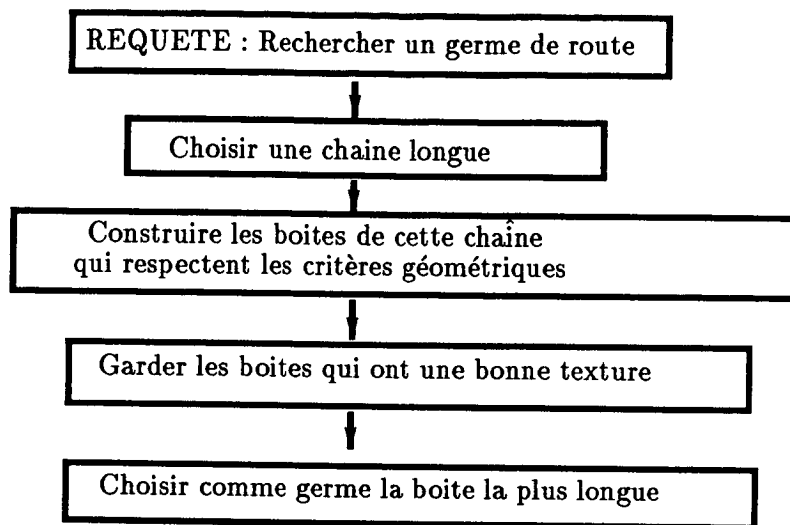
une caractéristique de texture de type syntaxique (bandes blanches par exemple).

Le "meilleur" germe

Le choix est tout d'abord guidé par la largeur de la route recherchée. Ensuite, on ne garde que les boîtes dont la texture respecte les normes qu'on s'est fixé.

On choisit alors le germe le plus long, ce choix étant pondéré par les résultats de la texture.

Schéma récapitulatif des techniques mises en oeuvre pour la recherche du germe:



4.3.2 Prolonger un germe de route

Une fois qu'on a initialisé une route avec une boîte, on va essayer de la prolonger, c'est à dire essayer d'ajouter de nouvelles boîtes, puis réitérer ce principe tant que possible.

Pour réaliser rapidement le processus, nous allons utiliser une heuristique basée sur des critères d'orientation, de distance et de largeur.

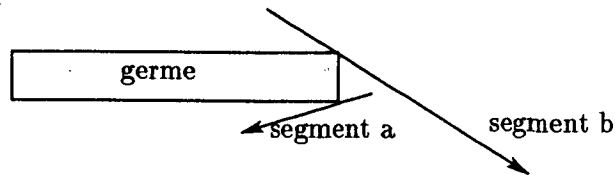
D'autres techniques, comme la programmation dynamique, pourraient être employées mais conduiraient à des coûts plus importants.

Comment construire les nouvelles boîtes

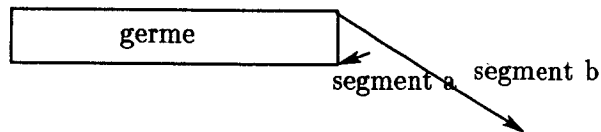
En fonction de l'extrémité du germe qu'on cherche à prolonger, on peut en utilisant les buckets déterminer un nombre restreint de segments susceptibles de convenir.

Pour améliorer la construction des boîtes, on effectue un prétraitement sur les segments. Ce prétraitement consiste à couper certains des segments de façon à construire uniquement des boîtes qui vont faire progresser la route.

Au départ :



Après le traitement :



A partir des segments ainsi obtenus, on construit les boîtes susceptibles de convenir. Cela signifie qu'on ne construit que les boîtes qui vérifient des critères qui sont fonctions de:

- L'orientation du germe
- La largeur du germe
- La distance entre le germe et les segments

Comment choisir une boîte

Quand on a créé plusieurs boîtes, il faut alors en choisir une:

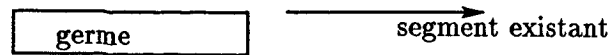
Pour ce faire, on favorise la boîte qui est la mieux alignée par rapport à la direction courante de la route.

On vérifie alors la texture de cette boîte, si elle convient on va effectivement la choisir, sinon on en choisit une autre.

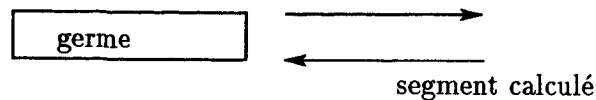
Si on ne trouve aucune boîte correcte, on peut espérer qu'un seul des deux bords de la route a été détecté.

Dans ce cas, on calcule le deuxième segment en fonction de celui trouvé et de la route actuelle. Cela permet d'avoir des boîtes homogènes.

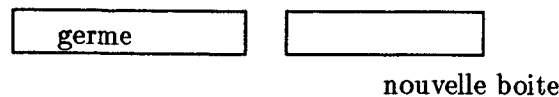
Exemple de création d'une boîte avec un segment :



Après la génération du segment



On est alors capable de créer une boîte



On effectue alors le même traitement que pour les boîtes précédentes.

En cas d'un nouvel échec le comportement actuel est d'abandonner la prolongation de la route. On pourrait envisager une stratégie plus élaborée. On peut alors en effet faire deux suppositions:

- La route est localement interrompue : on peut alors supposer qu'il y a ou du bruit ou un pont et donc envisager de prolonger la route en tolérant une distance plus grande entre la route et la nouvelle boîte.
- On a commis une erreur : on n'est peut être pas sur une route. Il faut alors remettre en cause la dernière hypothèse.

Comment remettre en cause une erreur (Backtracking)

A chaque fois qu'on prolonge une boîte, on essaie de choisir la meilleure boîte. Il se peut que ce choix se révèle incorrect.

Il faut alors être capable de remettre en cause la ou les dernières boîtes ajoutées.

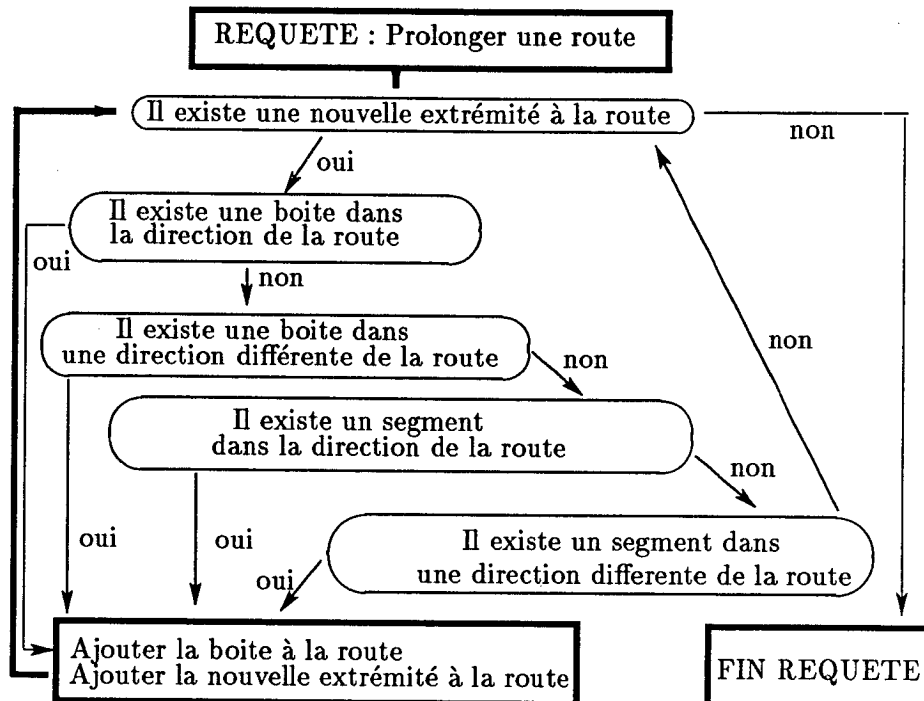
Pour permettre ce retour arrière, il est souhaitable, à chaque fois qu'on prolonge la route, de mémoriser la liste des boîtes possibles, ou tout au moins, d'être capable de les recalculer. Pour faciliter ce retour, les boîtes de la route sont chaînées. Ce chaînage permet également de gérer les intersections de routes. Le réseau routier est donc codé comme un graphe.

4.3.3 Optimisation

Afin de réduire la complexité du problème, on a mis en oeuvre différentes heuristiques basées sur l'expertise humaine.

- Etablir un cône de recherche : le prolongement d'une route se fait généralement sans changer de direction. On recherche donc en premier les boîtes qui vérifient cette propriété, c'est seulement en cas d'échec qu'on s'intéresse aux autres boîtes.
- Réduire les vérifications de texture : les retours bas niveau sont coûteux en temps machine. C'est pourquoi, on essaie de limiter le nombre de ces vérifications. C'est ainsi que ces vérifications n'ont pas été jugées utiles quand on arrive à prolonger une portion sans changer de chaîne.

Schéma représentant la stratégie utilisée pour prolonger une route:



4.3.4 Les paramètres choisis

Le développement de la base de connaissance nous a conduits à fixer un certain nombre de paramètres. On distingue trois catégories de paramètres.

- Les paramètres dépendant de l'objectif

Ces paramètres permettent de guider la recherche et donc d'obtenir plus rapidement un résultat.

- La largeur de la route : l'utilisateur doit indiquer la largeur minimum et maximum des routes qu'il tolère. Sachant qu'un chemin fait au moins 2,5 mètres et un autoroute 25 mètres, on arrive facilement à isoler les autoroutes ou les routes nationales.

- Les paramètres dépendant de l'image.

On a essayé de développer une base de connaissance qui soit indépendante de l'image à traiter. Néanmoins, quand on contrôle la texture de la route il est nécessaire de se fixer des plages de tolérance.

- Le niveau de gris et l'écart type : quand on fait des retours bas niveau, le premier problème est de savoir où faire ce retour dans l'image et le deuxième est de savoir si on doit ou non valider les résultats de ce retour.

Le premier problème provient du fait que si on fait le retour bas niveau à l'emplacement de la boîte, les erreurs qu'on a commis en calculant la boîte plus les erreurs qui existent réellement sur les bords des routes vont fausser les résultats. La solution mise en oeuvre consiste à choisir une boîte un peu moins large que celle qui a été calculée.

Le deuxième problème a été résolu en faisant une étude statistique sur différentes images. On distingue deux cas, les germes de routes et les autres boîtes. Pour les germes, on impose un écart type inférieur à 14 et une moyenne de la radiométrie supérieure à 160. Dans les autres cas, un écart type inférieur à 20 et une moyenne supérieure à 160.

Le choix de ces paramètres pourrait être amélioré en les pondérant en fonction de la portion de la route qui a déjà été trouvée.

- Les autres paramètres.

Les autres paramètres utilisés sont liés aux heuristiques que nous nous avons utilisés et à des problèmes de calculs numériques.

La plupart de ces paramètres peuvent s'exprimer en fonction de critères dépendant de la portion de la route qui a été détectée.

Quand ce n'est pas le cas, on choisit des seuils suffisamment "lâches" pour s'adapter à toutes les images.

Nous allons détailler ces différents paramètres :

- La distance tolérée entre deux boîtes :
en fonction de la distance qui sépare deux boîtes, on s'autorise ou non à les joindre.
On a choisi pour ce seuil la largeur de la boîte qu'on essaie de prolonger. On a essayé de pondérer ce seuil, mais l'expérience a montré que ce seuil est souvent suffisant, et qu'au delà on s'expose à commettre des erreurs.
- Le parallélisme des segments :
L'approximation polygonale qui a été faite pour calculer les segments implique que les orientations des segments soient des valeurs approchées. De plus, si on apparie deux segments, les erreurs peuvent s'ajouter. Concrètement cela signifie qu'il faut tolérer des erreurs relativement importantes. On a pris 10 degrés.
Dans le cas particulier des germes, on réduit ce seuil pour augmenter les chances d'avoir un germe valide. On a pris 5 degrés.

- La variation de largeur entre deux boites :
Ce paramètre contrôle que la largeur de la route reste constante. Pour les mêmes raisons que précédemment, il est nécessaire de tolérer des variations assez fortes. On autorise des variations de 50%.
- Les cônes de recherche :
Suivant la stratégie utilisée, on cherche à prolonger la route dans la même direction ou au contraire dans une direction différente. En fait, quand on prolonge dans la même direction on autorise une certaine erreur. Cette erreur est exprimée par un cône de recherche, ce cône est de 45 degrés dans le premier cas et de 300 degrés dans le deuxième.
- La longueur minimum des chaînes permettant de "démarrer" une route:
La recherche des routes est orientée en choisissant en priorité les chaînes les plus longues. Ce critère indique à partir de quel moment on considère qu'une chaîne est trop courte pour être un bord de route significatif. Ce seuil est exprimé en nombre de pixels. En pratique, ce paramètre pour les routes les plus évidentes est fixé à 50% de la dimension de l'image, et à 10 % pour les autres routes.
- La longueur minimum du germe de la route :
Pour améliorer la recherche d'un germe correcte, on impose que la longueur de la boite correspondant à ce germe soit supérieure à 2 fois la largeur de ce germe.
- La longueur minimum des segments :
Quand on prolonge en utilisant un seul segment, on impose que celui-ci soit suffisamment long, à savoir au moins la moitié de la largeur de la portion de route associée.
- La dimension des buckets :
Deux paramètres déterminent les buckets, leur taille et leur recouvrement. Le recouvrement est simple à calculer, c'est le maximum entre la largeur maximum de la route et la distance tolérée entre deux boites.
Le choix de la taille est plus intuitif : plus les buckets sont petits meilleure sera l'opération de prolongement, mais plus le nombre de buckets croît... On a fixé cette taille à trois fois le recouvrement.

4.4 Les résultats

On présente deux types de résultats.

Le premier correspond à la représentation graphique de la mise en oeuvre de la base de connaissance sur deux images différentes. La première de ces images est un exemple sans difficulté, la seconde est plus délicate. Les routes sont représentées schématiquement par les boîtes qui les composent.

Le deuxième type de résultat est la trace commentée du système expert pour la détection d'une des routes.

4.4.1 Une image sans difficulté

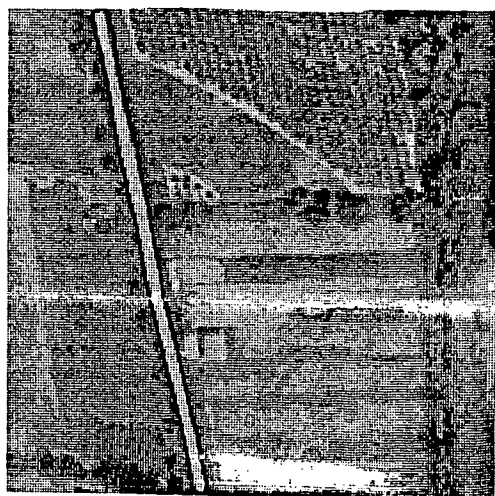
L'image initiale

Elle est composée de 256 x 256 pixels.



L'expertise humaine

Les routes évidentes



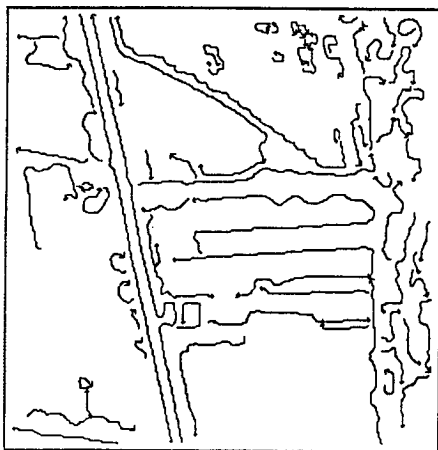
Les routes non évidentes :



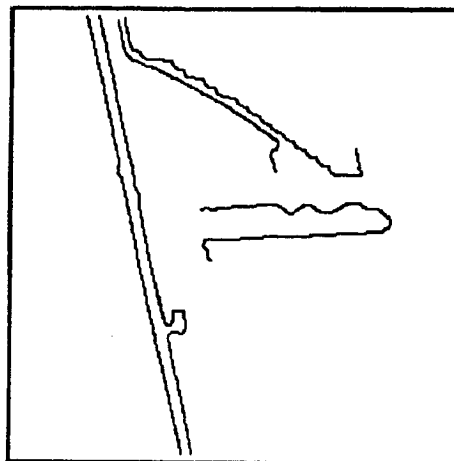
Les chaînes

Les chaînes permettent de représenter l'essentiel de l'information qui nous intéresse avec environ 7% des pixels. Ces pixels sont structurés en 86 chaînes. Parmi celles-ci, on vérifie que les plus longues nous permettent d'isoler les bords des routes les plus évidentes.

Toutes les chaînes

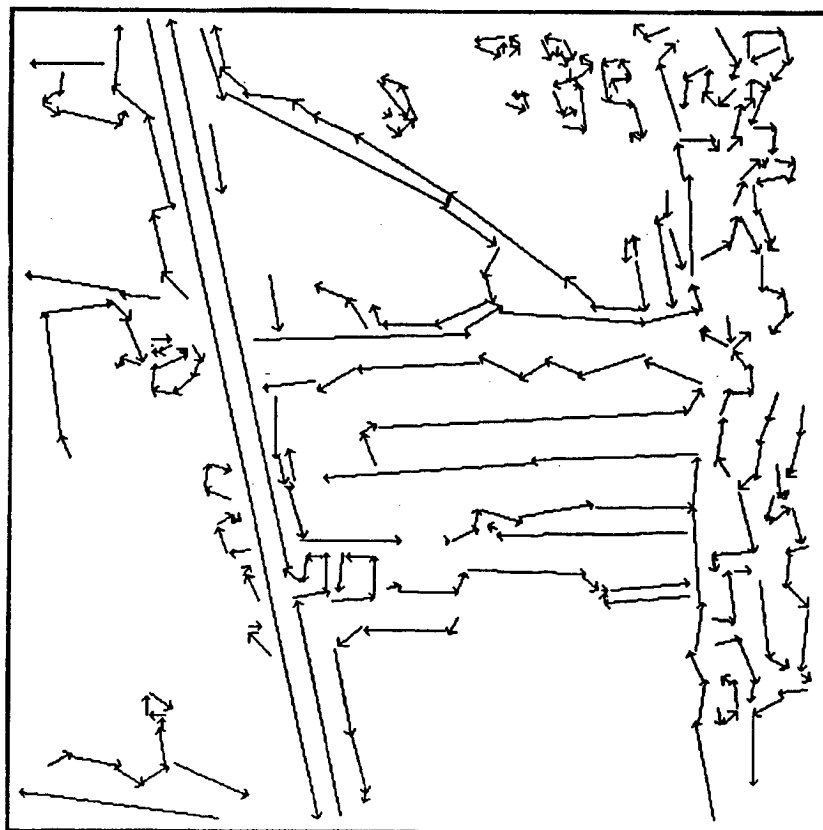


Les 5 chaînes les plus longues :

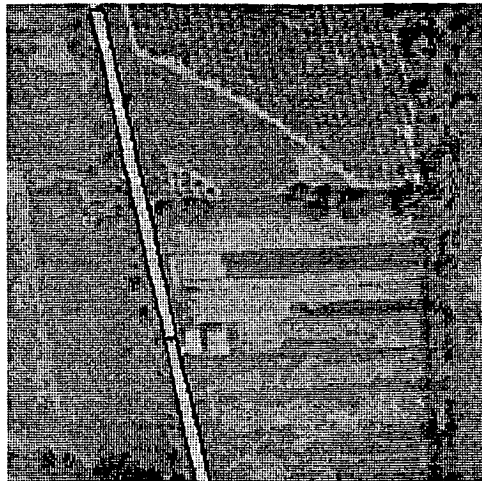


Les segments

Le nombre de segments est de 274, cela signifie qu'on n'utilise plus maintenant qu'environ 1% des pixels de l'image initiale.

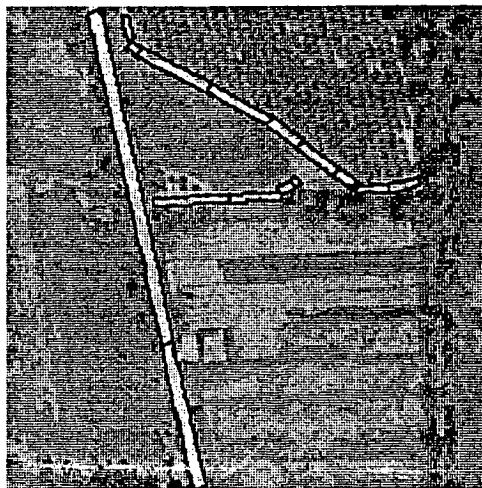


La route la plus évidente détectée par le système



Cette route correspond à la première hypothèse émise.

L'ensemble des routes détectées par le système

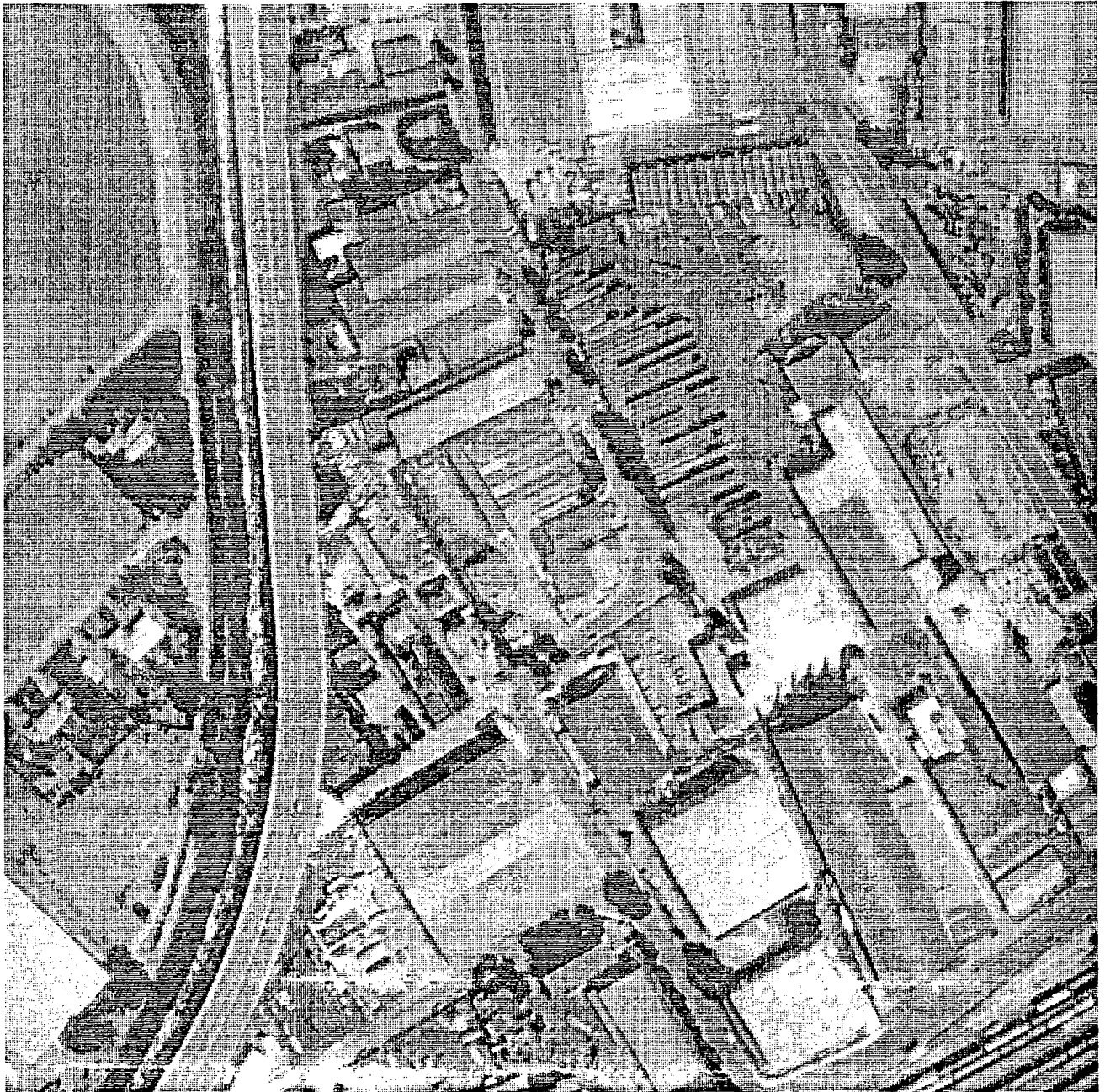


Etant donné le contraste important des bords des chemins, on a réussi à les détecter.

4.4.2 Une image délicate

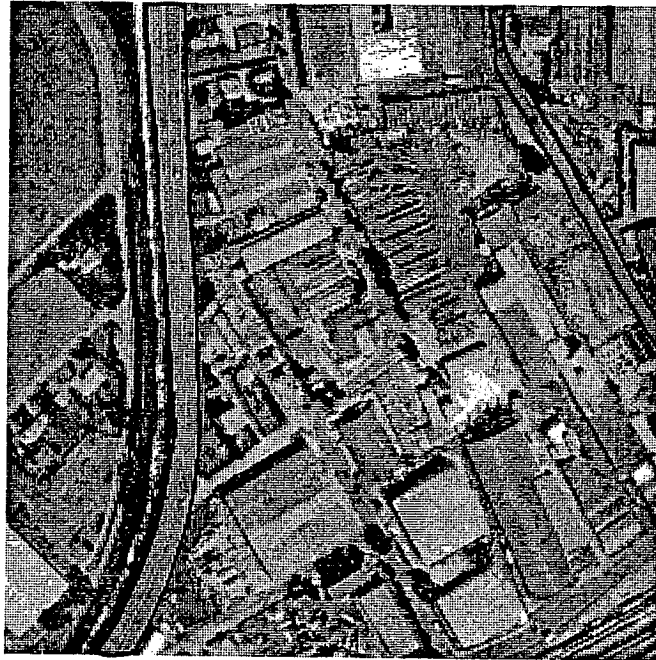
L'image initiale

Cette image est composée de 512 x 512 pixels.



L'expertise humaine

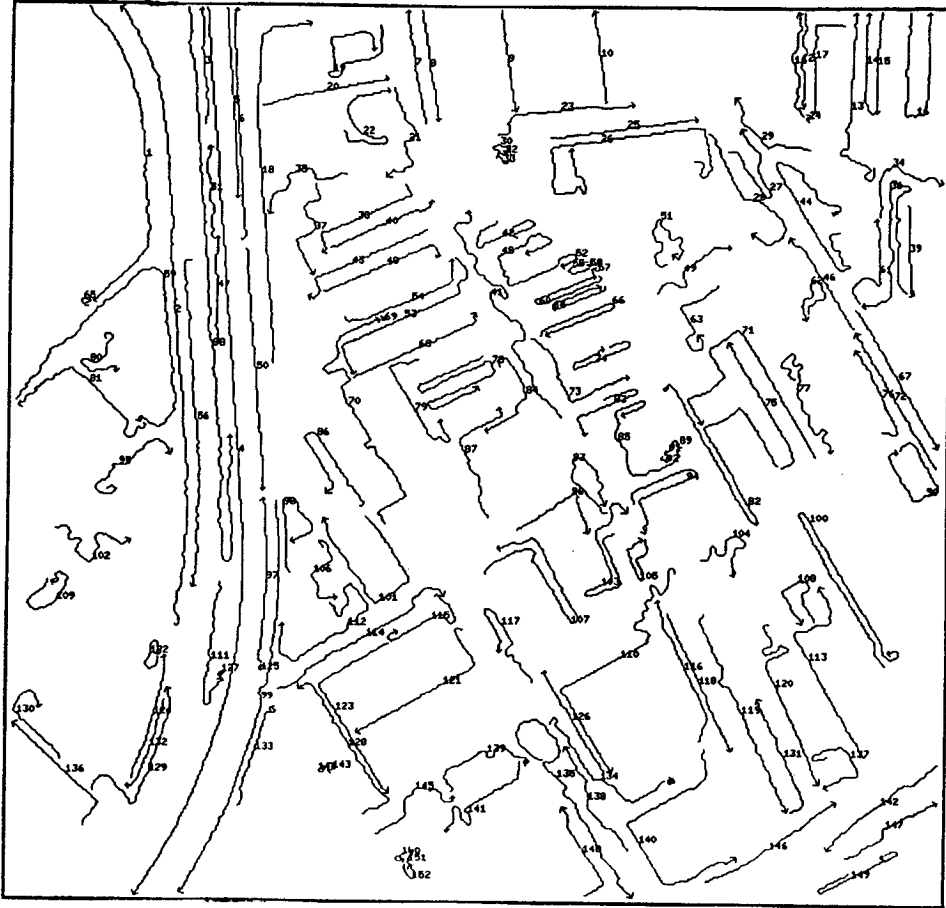
Les routes évidentes



Les routes non évidentes

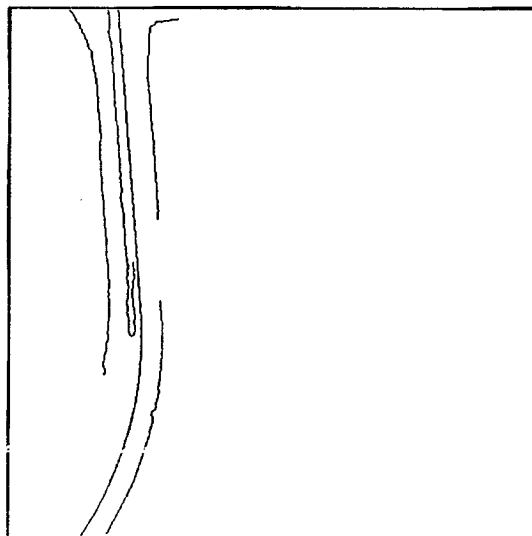
Dans ce cas, même l'analyse humaine ne peut distinguer avec certitudes certaines routes.



Les chaînes**Toutes les chaînes****Les 5 chaînes les plus longues :**

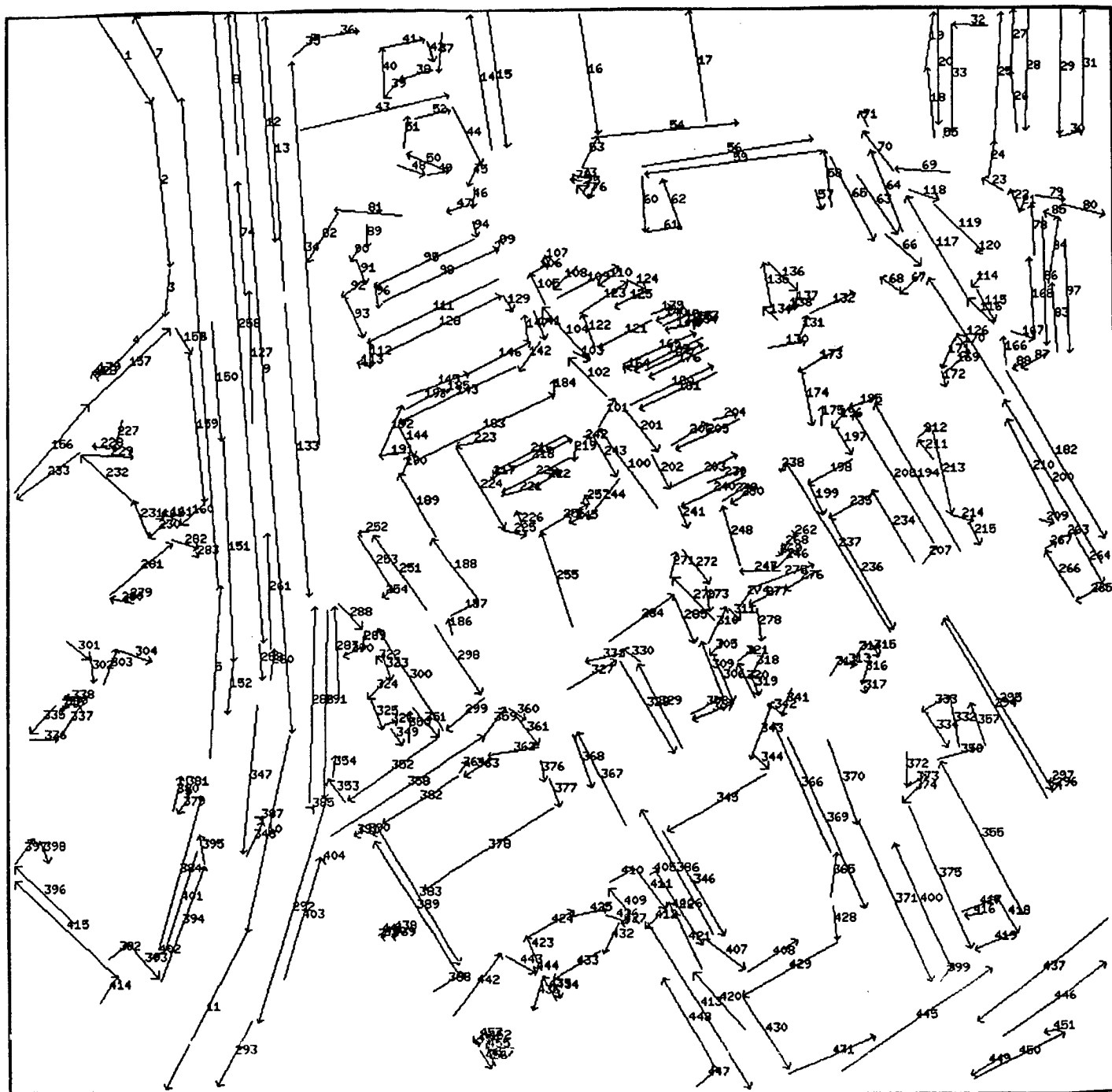
Les chaînes permettent de représenter l'essentiel de l'information qui nous intéresse avec environ 5% des pixels. Ces pixels sont structurés en 152 chaînes.

Contrairement à l'image précédente, les chaînes les plus longues ne permettent pas de mettre en évidence toutes les routes les plus évidentes.



Les segments

Le nombre de segments est de 457, cela signifie qu'on n'utilise plus maintenant qu' environ 0,4% des pixels de l'image initiale.



Les routes les plus évidentes détectées par le système

Parmi les que routes reconnues comme évidentes, celle à droite de l'image n'a pas été trouvée en deuxième position car les chaînes qui représentent ses bords sont fragmentées. Ces deux routes correspondent à celles dont la longueur est supérieur à moitié de la taille de l'image.

L'ensemble des routes retenues par le système

Ces cinq routes ont été sélectionnées parmi onze autres, en utilisant un critère de longueur.

On a ainsi réussi à éliminer un certain nombre de bâtiments qui constituaient d'excellents germes.

Néanmoins les deux hypothèses de routes (en bas à droite) ne sont pas valides.



4.4.3 Une trace de l'exécution

On commente une trace partielle de l'exécution relative à la détection de l'autoroute et de la route en haut à droite sur la deuxième image.

Pour comprendre cette trace il faut se référer aux fichiers de chaînes et de segments de cette image.

```
*****
Selection de la chaine 4 de longueur 510
*****
```

on a pris la chaîne la plus longue

```
creation de la boite 9-6
    Controle de la texture :
        ng=125.6055   ecart_type=44.63264
    -> texture incorrecte : 125.6055 <= 160
creation de la boite 9-8
    Controle de la texture :
        ng=162.3781   ecart_type=30.6554
    -> texture incorrecte : 30.6554 >= 20
creation de la boite 9-13
    Controle de la texture :
        ng=193.0235   ecart_type=6.834716
        ng=199.       ecart_type=8.091146
        ng=184.2646   ecart_type=4.998067
    -> texture correcte
creation de la boite 9-34
    Controle de la texture :
        ng=187.4384   ecart_type=8.224613
        ng=195.2671   ecart_type=12.0089
        ng=182.4454   ecart_type=7.849098
    -> texture correcte
creation de la boite 9-74
    Controle de la texture :
        ng=130.037    ecart_type=20.03554
    -> texture incorrecte : 130.037 <= 160
creation de la boite 9-261
    Controle de la texture :
        ng=94.17857   ecart_type=7.193157
    -> texture incorrecte : 94.17857 <= 160
creation de la boite 9-286
    Controle de la texture :
        ng=184.2749   ecart_type=7.662437
```

```

          ng=190.4091  ecart_type=6.977034
          ng=181.8971  ecart_type=7.626045
      -> texture correcte
creation de la boite 9-287
      Controle de la texture :
          ng=183.2991  ecart_type=6.648795
          ng=186.8404  ecart_type=9.30307
          ng=181.607   ecart_type=7.024988
      -> texture correcte
creation de la boite 9-127
      Controle de la texture :
          ng=117.0794  ecart_type=19.74401
      -> texture incorrecte : 117.0794 <= 160
creation de la boite 10-354
      Controle de la texture :
          ng=183.5147  ecart_type=5.741868
          ng=181.554   ecart_type=5.626293
          ng=181.0058  ecart_type=8.537075
      -> texture correcte
creation de la boite 10-403
      Controle de la texture :
          ng=179.6447  ecart_type=8.213942
          ng=182.9765  ecart_type=8.258175
          ng=181.2955  ecart_type=7.411377
      -> texture correcte
creation de la boite 11-394
      Controle de la texture :
          ng=93.61798  ecart_type=30.97884
      -> texture incorrecte : 93.61798 <= 160

```

Liste des boites retenues :

On a construit plusieurs boites le long de la chaîne sélectionnée.

En fait, on construit 3 boites avec chaque couple de segments.

On ne retient que les couples de segments dont les 3 boites sont validées avec la texture.

```

9-13: dimension = 341.698 * 12.61523 , ng = 193.0235 ecart type = 6.834716
9-34: dimension = 341.698 * 23.55357 , ng = 187.4384 ecart type = 8.224613
9-286: dimension = 375.0453 * 13.81841 , ng = 184.2749 ecart type = 7.662437
9-287: dimension = 341.6973 * 23.97889 , ng = 183.2991 ecart type = 6.648795
10-354: dimension = 94.91922 * 23.04076 , ng = 183.5147 ecart type = 5.741868
10-403: dimension = 112.4543 * 24.41434 , ng = 179.6447 ecart type = 8.213942
=====

```

Creation d'une nouvelle route avec les boites 10-403

chaines : 4:133

longueur : 41.92301
 largeur : 24.41434

*Parmi les différents germes trouvés, on a choisi le plus large.
 On essaie maintenant de prolonger le germe*

 Prolonger une des extremités de la boîte 10-403 (103.9606 degrés) :

1/ On recherche une paire de segments de même direction

On n'a pas réussi à associer la paire de segments 11 et 293 car le segment 293 est trop éloigné. Néanmoins, la stratégie qui consiste à prolonger avec un seul segment a été retenue car la vérification de texture a été correcte.

2/ On recherche une paire de segments de directions différentes

3/ On recherche un seul segment de même direction

on trouve la boîte 11-9999 (116.616 degrés)

le numéro 9999 représente un segment virtuel.

Contrôle de la texture :

ng=178.8672 ecart_type=7.620085

-> texture correcte

=> 11-9999 correcte

on trouve la boîte 292-9999 (106.6741 degrés)

Contrôle de la texture :

ng=179.7975 ecart_type=7.441085

-> texture correcte

=> 292-9999 correcte

=> on sélectionne la boîte 11-9999 qu'on ajoute à la route

chaines : 4:9999

longueur : 69.98785

largeur : 24.41434

 Prolonger une des extremités de la boîte 11-9999 (103.9606 degrés) :

1/ On recherche une paire de segments de même direction

2/ On recherche une paire de segments de directions différentes

3/ On recherche un seul segment de même direction

4/ On recherche un seul segment de direction différente

On est bloqué sur cette extrémité : c'est normal on a atteint le bord de l'image.

 Prolonger une des extremités de la boîte 10-403 (103.9606 degrés) :

Cette extrémité correspond à la deuxième extrémité du germe.

- 1/ On recherche une paire de segments de même direction
 - 2/ On recherche une paire de segments de directions différentes
 - 3/ On recherche un seul segment de même direction
 - on trouve la boîte 9-9999 (85.83809 degrés)
 - Contrôle de la texture :
 - ng=185.8726 ecart_type=9.005476
 - > texture correcte
 - => 9-9999 correcte
 - on trouve la boîte 286-9999 (91.44348 degrés)
 - Contrôle de la texture :
 - ng=141.8926 ecart_type=42.87424
 - > texture incorrecte : 141.8926 <= 160
 - on trouve la boîte 291-9999 (91.15668 degrés)
 - Contrôle de la texture :
 - ng=183.9765 ecart_type=7.732849
 - > texture correcte
 - => 291-9999 correcte
 - on trouve la boîte 347-9999 (96.24023 degrés)
 - Contrôle de la texture :
 - ng=134.7377 ecart_type=48.39859
 - > texture incorrecte : 134.7377 <= 160
- => on sélectionne la boîte 9-9999 qu'on ajoute à la route
- | | |
|----------|------------|
| chaines | : 4:9999 |
| longueur | : 341.6973 |
| largeur | : 24.41434 |

 Prolonger une des extremités de la boîte 9-9999 (103.9606 degrés) :

- 1/ On recherche une paire de segments de même direction
 - 2/ On recherche une paire de segments de directions différentes
 - 3/ On recherche un seul segment de même direction
 - 4/ On recherche un seul segment de direction différente
 - on trouve la boîte 35-9999 (136.4549 degrés)
 - Contrôle de la texture :
 - ng=188.1035 ecart_type=14.91287
 - > texture correcte
 - => 35-9999 correcte
 - on trouve la boîte 36-9999 (171.7406 degrés)
 - > trop loin (26.52727 >= 24.41434)
- => on sélectionne la boîte 35-9999 qu'on ajoute à la route

```

chaines      : 18:9999
longueur     : 12.30832
largeur      : 24.41434

```

En prolongeant l'autoroute avec cette boite on commet une erreur, on aurait facilement pu l'éviter.

On sait qu'une autoroute est un objet dont l'orientation ne varie que très peu, il n'est donc pas souhaitable de mettre en oeuvre dans ce contexte une recherche qui tolère un changement important de direction.

Prolonger une des extremités de la boite 35-9999 (103.9606 degres) :

- 1/ On recherche une paire de segments de meme direction
- 2/ On recherche une paire de segments de directions differentes
- 3/ On recherche un seul segment de meme direction
- 4/ On recherche un seul segment de direction differente

on trouve la boite 34-9999 (86.29462 degres)

Controle de la texture :

ng=134.0504 ecart_type=42.55933

-> texture incorrecte : 134.0504 <= 160

on trouve la boite 36-9999 (171.7406 degres)

Controle de la texture :

ng=178.2261 ecart_type=20.97908

-> texture incorrecte : 20.97908 >= 20

On va maintenant recherché la route issu de la chaîne 44.

Selection de la chaine 44 de longueur 143

creation de la boite 115-117

Controle de la texture :

ng=103.6667 ecart_type=25.98505

-> texture incorrecte : 103.6667 <= 160

creation de la boite 115-126

Controle de la texture :

ng=159.1006 ecart_type=23.09323

-> texture incorrecte : 159.1006 <= 160

creation de la boite 115-170

-> trop courte (22.80969 < (largeur*2)=37.95676)
 creation de la boite 117-63

Controle de la texture :

ng=163.844 ecart_type=5.177787
 ng=163.2298 ecart_type=6.072313
 ng=168.6987 ecart_type=12.64023

-> texture correcte

creation de la boite 117-65

Controle de la texture :

ng=179.8089 ecart_type=19.49235
 ng=159.4597 ecart_type=35.23559

-> texture du germe incorrecte : 159.4597 <= 160

Liste des boites retenues :

117-63: dimension = 76.34441 * 13.37323 , ng = 163.844 ecart type = 5.177787

=====
 Creation d'une nouvelle route avec les boites 117-63

chaines : 44:27
 longueur : 13.77241
 largeur : 13.37323

 Prolonger une des extremités de la boite 117-63 (58.13156 degrés) :

- 1/ On recherche une paire de segments de meme direction
- 2/ On recherche une paire de segments de directions differentes
- 3/ On recherche un seul segment de meme direction

Dans la phase de prétraitement des segments retenus, on a été conduit à raccourcir les segments 64 et 65

on trouve la boite 64-9999 (68.3508 degrés)

Controle de la texture :

ng=170.8065 ecart_type=13.21873

-> texture correcte

=> 64-9999 correcte

on trouve la boite 65-9999 (61.75289 degrés)

Controle de la texture :

ng=163.7745 ecart_type=10.95622

-> texture correcte

=> 65-9999 correcte

on trouve la boite 70-9999 (53.30264 degrés)

Controle de la texture :

ng=165.7462 ecart_type=17.04771

-> texture correcte

=> 70-9999 correcte

=> on selectionne la boite 70-9999 qu'on ajoute a la route

La boîte sélectionnée est celle dont l'extrémité est la plus proche de la portion de route actuelle.

```
chaines      : 29:9999
longueur     : 15.38707
largeur      : 13.37323
```

Prolonger une des extremités de la boîte 70-9999 (58.13156 degrés) :

- 1/ On recherche une paire de segments de meme direction
- 2/ On recherche une paire de segments de directions differentes
- 3/ On recherche un seul segment de meme direction

on trouve la boîte 71-9999 (59.03241 degrés)

Controle de la texture :

ng=162.0694 ecart_type=9.126192

-> texture correcte

=> 71-9999 correcte

=> on selectionne la boîte 71-9999 qu'on ajoute a la route

```
chaines      : 29:9999
longueur     : 8.060431
largeur      : 13.37323
```

Prolonger une des extremités de la boîte 71-9999 (58.13156 degrés) :

- 1/ On recherche une paire de segments de meme direction
- 2/ On recherche une paire de segments de directions differentes
- 3/ On recherche un seul segment de meme direction
- 4/ On recherche un seul segment de direction differente

on trouve la boîte 56-9999 (171.6946 degrés)

-> trop loin (15.92779 >= 13.37323)

on trouve la boîte 59-9999 (171.8445 degrés)

-> trop loin (13.85869 >= 13.37323)

Prolonger une des extremités de la boîte 117-63 (58.13156 degrés) :

- 1/ On recherche une paire de segments de meme direction
- 2/ On recherche une paire de segments de directions differentes
- 3/ On recherche un seul segment de meme direction

on trouve la boîte 115-9999 (55.03135 degrés)

Controle de la texture :

ng=154.4077 ecart_type=26.80343

-> texture incorrecte : 154.4077 <= 160

Le contrôle de la texture nous permet de conclure que ce segment n'est pas un bord de route.

on trouve la boîte 116-9999 (45.72809 degrés)

Controle de la texture :
 ng=170.9493 ecart_type=7.266378
 -> texture correcte
 => 116-9999 correcte
 on trouve la boite 126-9999 (57.27243 degres)
 Controle de la texture :
 ng=173.5499 ecart_type=14.62084
 -> texture correcte
 => 126-9999 correcte
 on trouve la boite 170-9999 (54.72775 degres)
 Controle de la texture :
 ng=175.8192 ecart_type=5.894279
 -> texture correcte
 => 170-9999 correcte
 => on selectionne la boite 116-9999 qu'on ajoute a la route
 chaines : 44:9999
 longueur : 16.95126
 largeur : 13.37323

 Prolonger une des extremités de la boite 116-9999 (58.13156 degres) :

- 1/ On recherche une paire de segments de meme direction
- 2/ On recherche une paire de segments de directions differentes
- 3/ On recherche un seul segment de meme direction

on trouve la boite 126-9999 (57.27243 degres)
 Controle de la texture :
 ng=177.7468 ecart_type=14.21993
 -> texture correcte
 => 126-9999 correcte
 => on selectionne la boite 126-9999 qu'on ajoute a la route
 chaines : 46:9999
 longueur : 29.17362
 largeur : 13.37323

 Prolonger une des extremités de la boite 126-9999 (58.13156 degres) :

- 1/ On recherche une paire de segments de meme direction
- on trouve la boite 182-210 (60.04779 degres)

 Controle de la texture :
 ng=169.2188 ecart_type=10.33522
 ng=171.807 ecart_type=13.62674
 ng=168.0137 ecart_type=15.4764
 -> texture correcte
 => 182-210 correcte
 => on selectionne la boite 182-210 qu'on ajoute a la route
 chaines : 67:76

longueur : 11.44378
largeur : 12.77601

Prolonger une des extremités de la boîte 182-210 (58.13156 degrés) :

- 1/ On recherche une paire de segments de même direction
- 2/ On recherche une paire de segments de directions différentes
- 3/ On recherche un seul segment de même direction

on trouve la boîte 200-9999 (59.64447 degrés)

Contrôle de la texture :

ng=103.4348 ecart_type=25.27671

-> texture incorrecte : 103.4348 <= 160

on trouve la boîte 264-9999 (61.44549 degrés)

Contrôle de la texture :

ng=161.7826 ecart_type=6.116328

-> texture correcte

=> 264-9999 correcte

on trouve la boîte 266-9999 (58.86926 degrés)

Contrôle de la texture :

ng=103.5242 ecart_type=19.42457

-> texture incorrecte : 103.5242 <= 160

=> on sélectionne la boîte 264-9999 qu'on ajoute à la route

chaines : 90:9999
longueur : 18.27829
largeur : 12.77601

Prolonger une des extremités de la boîte 264-9999 (58.13156 degrés) :

- 1/ On recherche une paire de segments de même direction
- 2/ On recherche une paire de segments de directions différentes
- 3/ On recherche un seul segment de même direction
- 4/ On recherche un seul segment de direction différente

on trouve la boîte 265-9999 (155.4784 degrés)

Contrôle de la texture :

ng=172.233 ecart_type=33.09887

-> texture incorrecte : 33.09887 >= 20

5 INTERPRETATION DES BATIMENTS

5.1 Expertise humaine

5.1.1 Les objets évidents

A la vue d'une image, l'oeil humain est tout d'abord attiré par les objets présentant des caractéristiques évidentes. Ainsi lorsque l'on cherche des bâtiments dans une image aérienne, les premiers bâtiments trouvés sont généralement des objets dont la radiométrie, élevée et homogène présente un fort contraste par rapport au fond. A ces caractéristiques radiométriques s'ajoutent encore des caractéristiques géométriques et contextuelles. Les caractéristiques géométriques sont : des formes simples (rectangle, carré...) et une surface suffisamment grande. La présence d'autres bâtiments ou d'ombres va renforcer le caractère évident d'un bâtiment; ces propriétés sont considérées comme des caractéristiques contextuelles.

Les caractéristiques radiométriques

Les objets évidents d'un point de vue radiométrique sont des objets dont la radiométrie est élevée et homogène. Dans les images aériennes, on peut trouver plusieurs types d'objets répondant à cette contrainte, par exemple des parkings, des toits plats de hangars ou d'immeubles dont l'inclinaison constante par rapport à l'éclairage du soleil donne des plages de niveaux de gris uniformes.

Les caractéristiques géométriques

Les bâtiments évidents d'une image font partie d'une classe d'objets de forme approximativement rectangulaire et de taille suffisamment grande. on retrouve encore ici les parkings ou les toits de hangars ou d'immeubles. Les caractéristiques géométriques sont essentielles en reconnaissance des formes, elles font appel à des processus de plus haut niveau que les extractions de primitives dans les images, c'est à dire à des processus de groupement de ces primitives en objets plus compliqués (rectangles, carrés...)

Les caractéristiques contextuelles

Les ombres de bâtiments sont un exemple de caractéristiques contextuelles. En effet un objet répondant aux caractéristiques précédentes peut être classifié comme bâtiment si une ombre est présente dans un voisinage de l'objet et dans une direction fixée par la position du soleil.

Les ombres présentent des caractéristiques radiométriques homogènes, mais contrairement aux bâtiments, il s'agit ici d'une région sombre. La géométrie de l'ombre peut être déduite de celle du bâtiment, elle entoure le côté du bâtiment opposé à la direction du soleil.

Ceci met en jeu des processus de haut niveau appelant à une interprétation partielle de la scène, pour différencier par exemple un bâtiment d'un parking ou d'un champ.

5.1.2 Les objets non évidents

Lors d'une deuxième phase, l'expert humain recherche les bâtiments moins faciles, présentant des caractéristiques différentes tant radiométriques que géométriques ou contextuelles. Par exemple, il n'impose plus à la radiométrie d'être constante, mais de contenir deux ou plusieurs zones constantes caractérisant des toits en pentes dont la radiométrie varie selon l'incidence du soleil sur le toit. Les caractéristiques géométriques évoluent elles aussi, permettant de trouver des bâtiments plus petits ou de formes architecturales variées, maisons individuelles, bâtiments comportant des cours intérieures, des formes circulaires etc... Les caractéristiques contextuelles vont permettre de décider si un objet est un bâtiment, par exemple en tenant compte d'alignement d'objets déjà classés comme bâtiments, de groupement de bâtiments, de la présence de cheminées ou fenêtres sur les toits etc... Enfin dans tous les cas, la présence d'ombres est nécessaire, ces ombres devront alors posséder une géométrie compatible avec celle du bâtiment supposé.

5.2 Données

L'étude de l'expertise humaine apporte des éléments de choix d'une méthodologie de segmentation pour la reconnaissance automatique de bâtiments dans des images aériennes.

Les méthodes et algorithmes choisis appartiennent à plusieurs classes de processus, des algorithmes de traitements d'image bas niveau aux algorithmes de reconnaissance de formes. Nous débutons la recherche des bâtiments évidents de la scène par une segmentation régions, puis nous réalisons un suivi de contours et une approximation polygonale sur les périmètres des régions détectées.

5.2.1 La segmentation des régions claires

La segmentation choisie est une méthode de croissance de régions par seuillage itératif avec arrêt de croissance par blocage aux contours. Le blocage aux contours est défini à l'aide d'une carte de contours calculée par un filtre de Deriche et un seuillage par hystérésis. Cette méthode fournit une segmentation partielle de l'image, contenant les structures brillantes par rapport au fond dont les bâtiments évidents. Ceci permet une réduction de la complexité du problème par diminution du nombre de régions et par voie de conséquence du nombre de segments qu'aurait fournis une segmentation globale.

Les paramètres de croissance et d'arrêt ont été définis après une étude exhaustive. On peut citer les paramètres optimaux de détection pour des bâtiments sur l'image à pleine résolution:

nombre de seuillages	: 64
seuil minimum	: .5
bruit d'arrêt au contour	: .05
distance au contour maximum	: 2

taille minimum : 100
taille maximum : 1000

5.2.2 La segmentation des régions sombres

Parmi les régions sombres, on trouve les haies d'arbres, les forêts, et les ombres de bâtiments. La méthode de segmentation des régions sombres est la même que celle utilisée pour segmenter les régions claires. Cependant le traitement se fait sur le négatif de l'image.

5.2.3 Le suivi de contours et l'approximation polygonale

L'étape de suivi de contours débute par un étiquetage permettant de récupérer les régions sous forme de listes de pixels, puis calcule le périmètre ainsi que le suivi de contours en 8 connexité. Le suivi de contours fournit un ensemble de structures de données "Régions-contours" contenant un certain nombre d'attributs calculés sur la région.

Region-contour :

- nom
- surface
- nom-region
- centre-x
- centre-y
- Xmin
- Ymin
- Xmax
- Ymax
- moyenne
- ecart-type
- circonference

L'approximation polygonale, fournit un ensemble de segments approximatés aux moindres carrés, caractérisant la forme des régions. Ces segments sont constitués d'une structure de données "Segment" contenant un certain nombre d'attributs caractéristiques de l'objet segment lui même et de deux maillons: le pixel début et le pixel fin.

Segment :

- nom
- longueur
- orientation
- nom-chaine-mere
- nombre-maillons
- nombre-segments

Maillon :
x
y
ng

C'est donc un ensemble de structures de données "Régions-contours" ainsi qu'un ensemble de listes de structures de données "Segment" avec leurs maillons associés, qui constituent la base de faits du système d'interprétation pour les bâtiments. Les processus de reconnaissance vont rechercher des formes remarquables (rectangles ou carrés) dans cette base de faits.

5.3 Stratégie

La stratégie de recherche des bâtiments remarquables se déroule en deux phases : recherche d'objets rectangulaires puis vérification par la recherche d'ombres.

5.3.1 Recherche d'objets rectangulaires

La recherche d'objets de formes rectangulaires essaie de trouver des indices de bâtiments par groupement de primitives image, régions et segments constituant l'approximation polygonale des périmètres des régions. Cette recherche de bâtiments se déroule en quatre phases principales.

Pour chaque région:

- Recherche d'angles droits.
- Recherche des U.
- Recherche des rectangles.
- Elimination des conflits.

Cette stratégie de recherche permet de s'affranchir des problèmes de fusion de régions liés à la segmentation région. En effet nous n'imposons aux segments d'être consécutifs que dans la première phase, c'est à dire dans la recherche d'angles droits. Ainsi, une région "Bâtiment" qui aurait été fusionnée avec une région voisine sera quand même détectée s'il est possible de trouver quatre angles droits dont un au moins est formé de deux segments consécutifs.

On donne les paramètres de recherche des bâtiments, les tolérances d'angles sont exprimées en degrés et les distances en pixel.

tolerance angles droits	20
tolerance antiparallelisme	20

longueur minimale segments	5
longueur maximale segments	150
distance maximale segments	20
surface minimale	10
surface maximale	5000

Les angles droits

Cette première phase recherche tous les segments consécutifs formant approximativement un angle droit parmi la liste des segments chaînés de la région considérée. La recherche d'angles droits engendre des germes sur lesquels les phases suivantes vont essayer de greffer des segments pour engendrer des rectangles. Le choix de segments consécutifs accélère la recherche (processus en $O(n)$) et engendre des angles droits de degré de confiance élevé.

Les paramètres utilisés pour la recherche des angles droits sont:

- la tolérance sur les angles droits c'est à dire qu'un angle droit est compris entre 70 et 110 degrés
- les longueurs minimales et maximales pour les segments, c'est à dire que les segments constitutifs de l'angle droit ont une longueur comprise entre 5 et 150 pixels.

Au cours de l'implémentation, il est apparu nécessaire de faire précéder cette phase par une phase appelée débruitage. En effet, de nombreuses fois, l'angle droit se trouve cassé par un petit segment. On élimine ce problème en effectuant la fusion du petit segment dans le plus grand segment consécutif d'orientation similaire.

Les "U"

La phase de recherche de "U" essaie de créer des objets constitués de trois segments, et formés à partir d'un angle droit et d'un segment. A cette phase tous les objets "U" possibles sont engendrés à l'aide des angles droits et des segments de la région considérée. Un segment ajouté à un angle droit n'est plus obligatoirement consécutif à un des segments de l'angle droit mais doit uniquement répondre à des contraintes géométriques, d'orientation, de position et de longueur.

La recherche des U utilise deux paramètres supplémentaires par rapport aux angles droits:

- la distance maximale entre segments
- la tolérance d'antiparallélisme

Les Rectangles

La phase de création de rectangles, engendre des objets de formes approximativement rectangulaires par combinaison des "U" de la région courante, deux à deux. La phase de création de rectangles, combine des "U" possédant deux segments en commun, un segment en commun ou aucun segment en commun.

La phase de création de rectangles utilise les mêmes paramètres que la phase de création des "U".

Elimination des conflits

De part leur construction, les objets ainsi formés peuvent se superposer plus ou moins partiellement, ou contenir des segments en commun. Cette dernière étape est chargée de supprimer les inconsistences, c'est à dire, de garder le meilleur objet parmi les objets en conflit. Les rectangles sont fermés (calcul des sommets), et le meilleur objet est choisi au sens d'un critère de surface (on garde le polygone dont la surface est la plus grande).

La phase d'élimination des conflits utilise les deux paramètres de surface:

- la surface minimale: 10 pixels
- la surface maximale: 5000 pixels

5.3.2 Recherche des ombres

Cette phase tente de valider les hypothèses de bâtiments créés à l'étape précédente par la présence d'ombres dans l'image. La recherche des ombres se déroule elle aussi en quatre étapes.

Pour chaque hypothèse de bâtiment,

1. Calcul de la position de l'ombre par rapport au bâtiment.
2. Recherche de l'ombre par retour bas niveau.
3. Segmentation de l'ombre dans le cas d'ombre en "L".
4. Validation du couple bâtiment ombre.

Calcul de la position de l'ombre

Le calcul de la position de l'ombre se fait par dilatation du polygone bâtiment d'une épaisseur fixée. Selon la direction du soleil, on obtient alors un nouveau polygone englobant une ombre éventuelle. On calcule un rectangle englobant ce nouveau polygone donnant les coordonnées images d'une fenêtre dans laquelle on va rechercher l'ombre.

Recherche de l'ombre par retour bas niveau

La recherche de l'ombre par retour bas niveau se fait par croissance de région par seuillage itératif sur la vidéo inverse de l'image et dans la fenêtre calculée précédemment. Comme pour les régions claires, on effectue un étiquetage puis un suivi de contour et une approximation polygonale sur les périmètres des régions extraites. Pour chaque région, on calcule ses sommets comme points d'intersection de segments consécutifs.

Les paramètres de retour bas niveau sur les ombres sont :

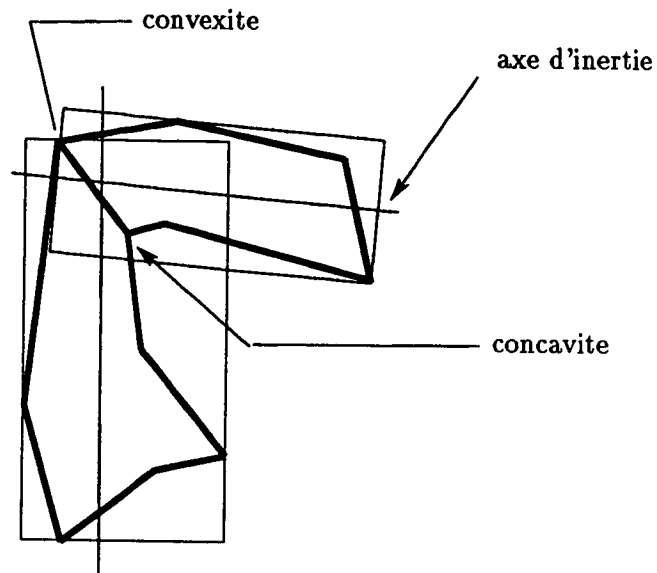
nombre de seuillages	: 90
seuil minimum	: .3
bruit d'arrêt au contour	: .05
distance au contour maximum	: 2
taille minimum	: 100
taille maximum	: 1000

Segmentation de l'ombre dans le cas d'ombre en "L"

Dans le cas le plus général, l'ombre cherchée doit avoir une forme de "L". Nous segmentons cette ombre en deux sous-régions dont les axes d'inertie correspondent chacun à une branche du "L". L'ombre est coupée selon deux sommets, un sommet étant une concavité, l'autre une convexité.

Ces deux sommets sont choisis comme minimisant la fonction suivante :

somme des carrés des surfaces des rectangles englobant les deux sous régions selon leurs axes d'inertie.



Segmentation des ombres selon les axes d'inertie.

Validation du couple bâtiment ombre

Cette dernière étape est la comparaison de l'orientation des axes des deux sous régions avec l'orientation attendue pour l'ombre du bâtiment. Le bâtiment est alors soit validé soit invalidé.

5.4 Algorithmes

5.4.1 Algorithme de recherche des rectangles

Cet algorithme est implémenté sous forme de base de connaissance "MESSIE", la plupart des règles sont contenues dans des séquences appelées de manière déterministe comme un algorithme classique.

- Pour toute region: (appel de la sequence 'Batiments')
- Sequence 'Batiments'
 - Recherche des angles droits
 - Recherche des U
 - (sequence creation-des-U)
 - Elimination des U inutiles
 - Fusion des U
 - (Sequence fusion-des-U-deux-segments-en-commun)
 - Creation des carres
 - (Sequence creation-des-carres-U-un-seul-segment-en-commun)
 - (Sequence creation-des-carres-U-deux-segments-en-commun)
 - (Sequence creation-des-carres-U-zero-segments-en-commun)
 - Elimination de rectangles a quatre segments en double
 - Elimination de rectangles a quatre segments contenus dans un rectangle a cinq segments
 - Elimination de rectangles a quatre segments contenus dans un rectangle a six segments
 - Elimination de rectangles a cinq segments contenus dans un rectangle a six segments
 - Calcul des sommets
 - Elimination de rectangles conflictuels (critere de surface)
 - Fusion de segments des rectangles

5.4.2 Algorithme de recherche des ombres

La recherche des ombres est elle aussi implémentée sous forme de base de connaissance "MESSIE". Cette base de connaissance est activée par la présence d'hypothèses de bâtiments dans le blackboard.

- Pour toute region:
 - Pour tout rectangle:
 - (appel de la sequence "Regions-bas-niveau")
 - Sequence "Regions-bas-niveau"
 - Calcul de la dilatation du batiment
 - Calcul du rectangle englobant le batiment
 - Retour bas niveau (calcul des segments des regions sombres)
 - Pour toute region sombre (du retour bas niveau courant)
 - Sequence "Ombre"
 - Calcul des sous regions
 - comparaison de l'orientation des axes
 - avec les cotes du rectangle:
 - creation du couple ombre-batiment.

5.5 Résultats

Nous donnons les résultats sous forme d'images :

Recherche des rectangles

- image 5.1 : Image originale.
- image 5.2 : Croissance de régions (creg4g).
- image 5.3 : Ouverture de deux pixels de l'image 5.2.
- image 5.4 : Segments obtenus par approximation polygonale des contours de régions.
- image 5.5 : Segments débruités.
- image 5.6 : Les angles droits.
- image 5.7 : Les U.
- image 5.8 : Les rectangles.

- image 5.9 : Les bâtiments présumés.

Recherche des ombres

- image 5.10 : fenêtres de retour bas niveau.
- image 5.11 : Exemple d'ombre.
- image 5.12 : Segmentation de l'ombre en deux sous régions.
- image 5.13 : Validation des couples ombre-bâtiment.



Image 5.1 : image brute



Image 5.2 : croissance de région



Image 5.3 : ouverture



Image 5.4 : segments



Image 5.5 : segments débruités

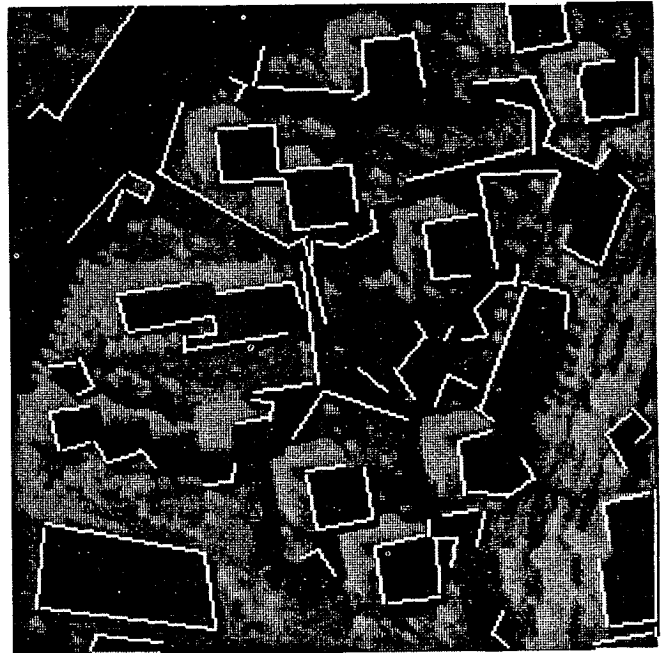


Image 5.6 : angles droits

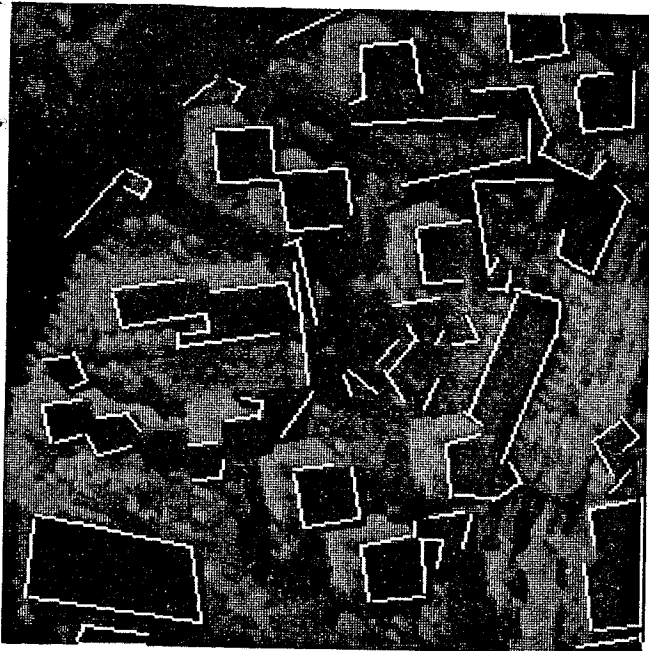


Image 5.7 : les U

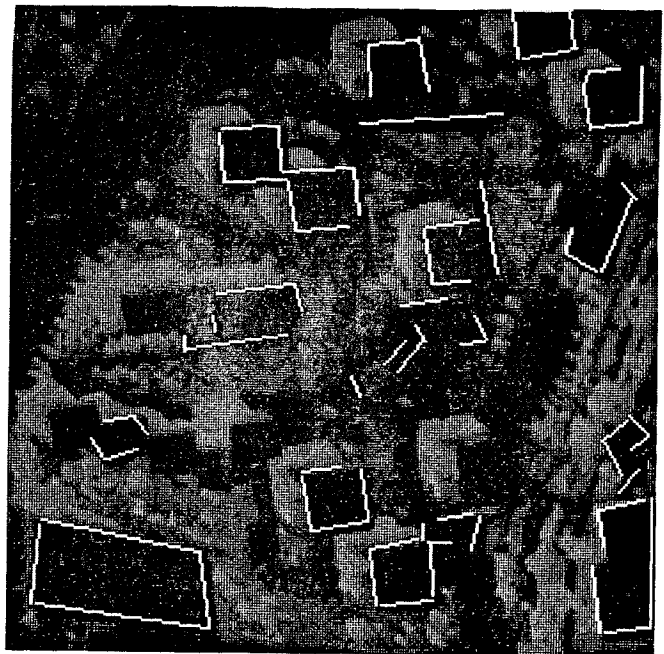


Image 5.8 : les rectangles



Image 5.9 : hypothèse bâtiments

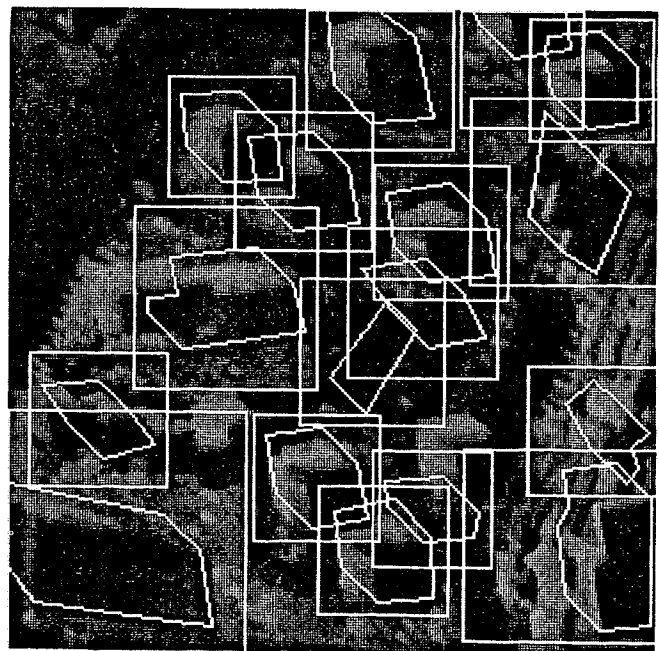


Image 5.10 : retour bas-niveau



Image 5.11 : Exemple d'ombre



Image 5.12 : Segmentation ombre

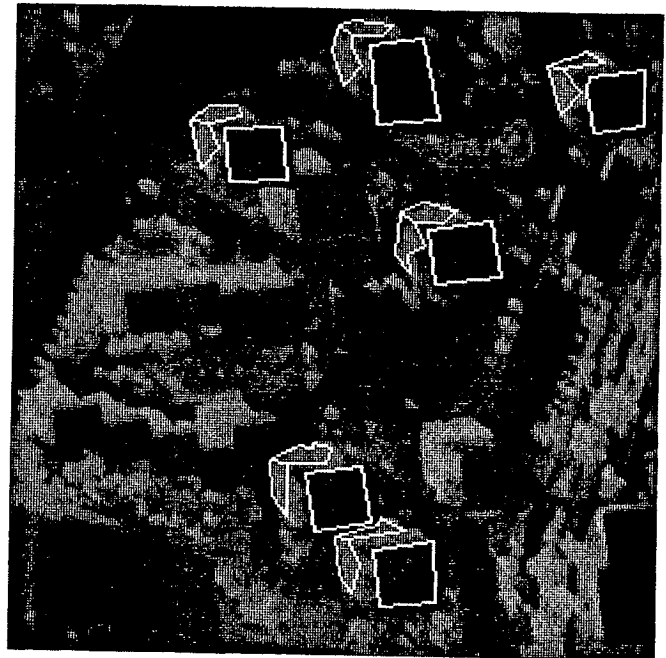


Image 5.13 : Validation

Pour plus de détails, nous donnons ci-dessous, les résultats partiels de l'exécution obtenus avec la séquence de traitements décrite précédemment pour la recherche des rectangles sur la region 3 de l'image 5.3 (les numéros des segments se rapportent à l'image 5.14)

```
*****
Selection de la REGION 3 : du segment 1 au segment 163
*****
```

il n'y a pas de critère pour choisir une région plutôt qu'une autre, elles sont prises de manière itérative

Phase 1 : débruitage des segments

Afin de réduire le nombre de petits segments, on fusionne les segments consécutifs présentant un angle faible (quasi-colinéaires)

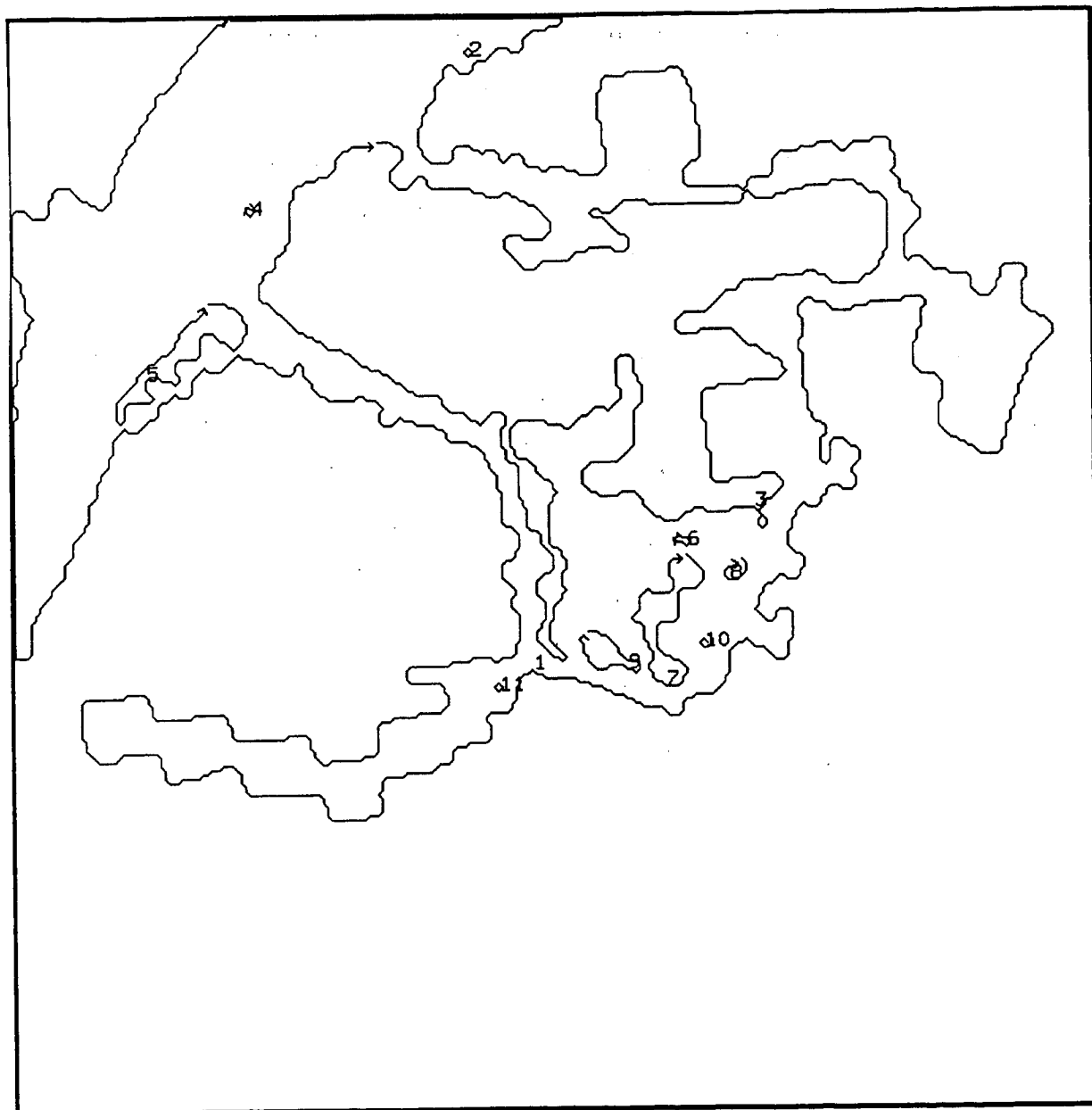


Image 5.14.a : Frontière de la région 3

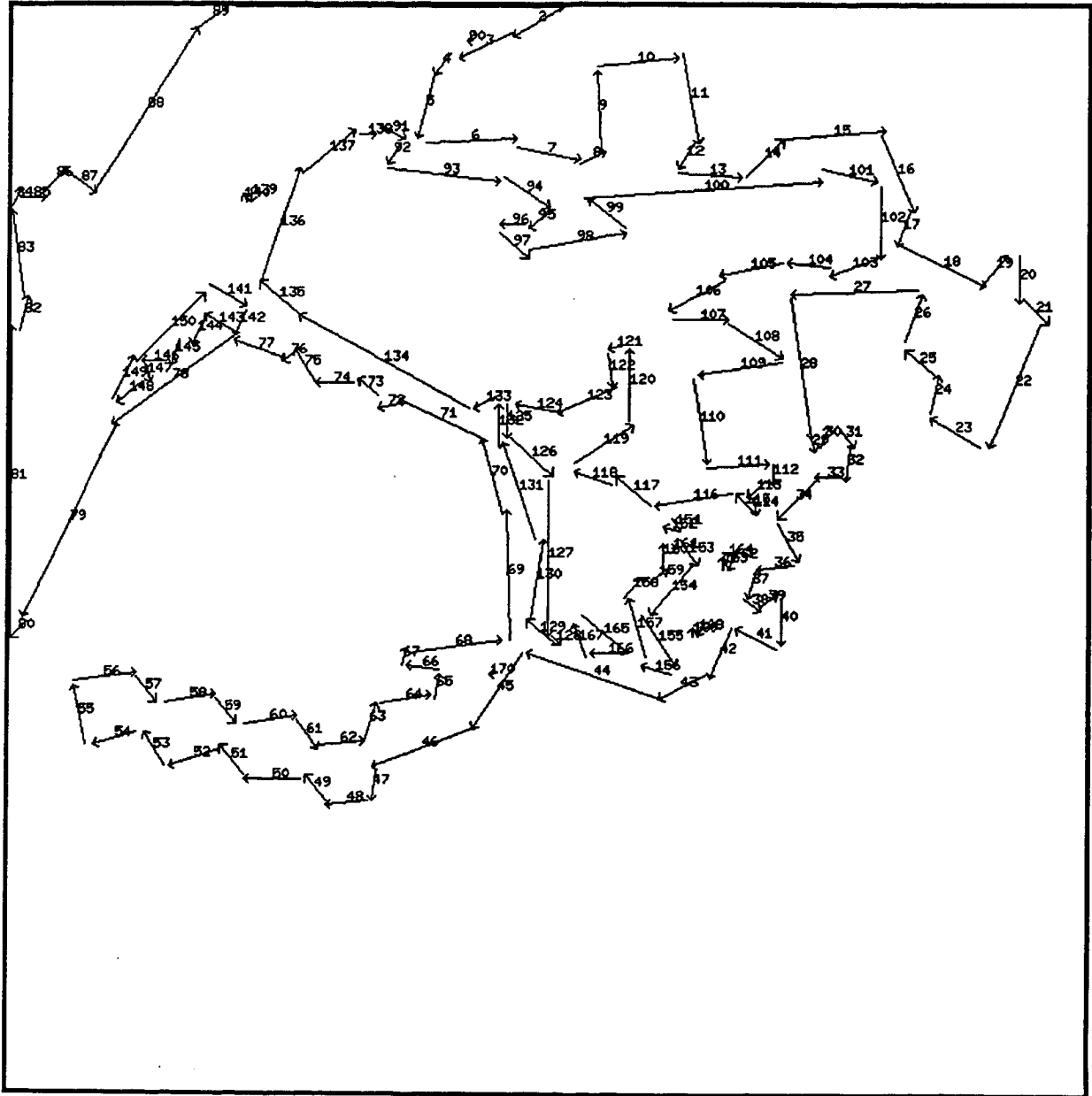


Image 5.14.b : L'approximation polygonale de la région 3

debruitage segments colineaires : -159 -158
 debruitage segments colineaires : -151 -153
 debruitage segments colineaires : -145 -144
 debruitage segments colineaires : -150 -149
 debruitage segments colineaires : -105 -104
 debruitage segments colineaires : 14 -103
 debruitage segments colineaires : -106 15
 debruitage segments colineaires : -132 -131
 debruitage segments colineaires : -135 -134
 debruitage segments colineaires : 88 89
 debruitage segments colineaires : 81 82
 debruitage segments colineaires : 20 83
 debruitage segments colineaires : 79 80
 debruitage segments colineaires : 69 70
 debruitage segments colineaires : 28 29
 debruitage segments colineaires : 6 7
 debruitage segments colineaires : 2 3

Phase 2: Recherche des angles droits à partir des segments

Angle droit 33 = segm(5 27)	Angle droit 34 = segm(8 9)
Angle droit 35 = segm(9 10)	Angle droit 36 = segm(10 11)
Angle droit 37 = segm(15 16)	Angle droit 38 = segm(17 18)
Angle droit 39 = segm(18 19)	Angle droit 40 = segm(21 22)
Angle droit 41 = segm(22 23)	Angle droit 42 = segm(26 27)
Angle droit 43 = segm(27 24)	Angle droit 44 = segm(32 33)
Angle droit 45 = segm(34 35)	Angle droit 46 = segm(35 36)
Angle droit 47 = segm(41 42)	Angle droit 48 = segm(44 45)
Angle droit 49 = segm(47 48)	Angle droit 50 = segm(51 52)
Angle droit 51 = segm(52 53)	Angle droit 52 = segm(54 55)
Angle droit 53 = segm(55 56)	Angle droit 54 = segm(64 65)
Angle droit 55 = segm(65 66)	Angle droit 56 = segm(68 23)
Angle droit 57 = segm(86 87)	Angle droit 58 = segm(87 19)
Angle droit 59 = segm(-136 18)	Angle droit 60 = segm(-133 17)
Angle droit 61 = segm(-125 -124)	Angle droit 62 = segm(-123 -122)
Angle droit 63 = segm(-111 -110)	Angle droit 64 = segm(-110 -109)
Angle droit 65 = segm(16 -102)	Angle droit 66 = segm(-102 -101)
Angle droit 67 = segm(-92 -91)	Angle droit 68 = segm(-141 13)
Angle droit 69 = segm(12 -143)	Angle droit 70 = segm(-143 -142)
Angle droit 71 = segm(-142 -141)	Angle droit 72 = segm(-155 -154)
Angle droit 73 = segm(-154 -153)	Angle droit 74 = segm(-162 -165)

- [McK85] D. M. McKEOWN, W.A. HARVEY, J. McDERMOTT, "Rule-Based Interpretation of Aerial Imagery", in PAMI, Vol 7, n 5, pp 570-585 September 1985
- [MONG88] O. MONGA et B. WROBEL: "Segmentation d'Images : vers une méthodologie" *Traitement du Signal*, 1988 à paraître.
- [MONT89] P. MONTESINOS et G. GIRAUDON: "A Rule Interpreter for Handling Image Primitives in Scene Analysis", *Rapport de Recherche INRIA*, 1989 à paraître.
- [NAG80] M. NAGAO et T. MATSUYAMA, "A Structural Analysis of Complex Aerial Photographs" New York : Plenum 1980
- [NAZ84] A.M. NAZIF et M.D. LEVINE "Low Level Segmentation: An Expert System", in PAMI Vol 6, n 5, pp 555-577 September 1984
- [REN84] G. REYNOLDS N. IRWIN A. HANSON E. RISEMAN, "Hierarchical Knowledge-directed Object Extraction Using a Combined Region and Line Representation", *Proc. of Work. on Comp. Vision Repres. and Cont.*, Silver Spring pp 238-247, 1984.
- [THO88] M. THONNAT et V. CLEMENT : "OCAPI: A monitoring Tool for the Automatic Control of Image Processing Procedures". IMACS 12th world Congress on Scientific Computation, Paris Juillet 1988

