



DÉTECTION D'OBJETS COMPLEXES PAR FUSION D'INFORMATIONS

Application à la détection d'aéroports dans les images satellitales

A. MICHEL, L. BENQUET, P. CORNIC
 @mail : michel@onera.fr, benquet@onera.fr, cornic@onera.fr

Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales
 29. avenue de la Division Leclerc, BP 72, 92322 Châtillon Cedex- France

RÉSUMÉ

Cet article aborde quelques problèmes pratiques rencontrés dans le cadre de la détection automatique d'aéroports dans des images satellitales. Nous évoquerons en particulier les difficultés liées à l'utilisation d'informations issues de capteurs différents : problème de géo-référencement imprécis, et de fusion d'algorithmes.

ABSTRACT

This paper deals with practical problems of automatic airport detection in remote sensing. We highlight the difficulties one can find using multi-sensor images : inaccurate localization and algorithm fusion

CONTEXTE - CADRE APPLICATIF

L'exploitation des images obtenues par les satellites d'observation de la Terre pose le problème de la quantité de données recueillies, incompatible avec une exploitation traditionnelle, compte tenu du nombre disponible de photo-interprètes spécialisés. C'est pourquoi, il est apparu nécessaire d'automatiser certaines tâches afin de permettre aux photo-interprètes une exploitation plus efficace des images. Nous nous attachons donc à développer des modules spécialisés, intégrés dans une plateforme, fonctionnant sur des scènes complètes, en mode différé avec les contraintes (processus complètement automatique sans interaction d'un utilisateur) et les avantages (pas de limitation du temps calcul) qui en découlent.

Plusieurs de nos publications exposent de manière détaillée, la méthodologie suivie pour détecter des aéroports dans des images optroniques [BEN 93], [BEN 94], ou radar [MIC 94], [COR 95], aussi cet article met en relief les difficultés induites par l'utilisation d'images satellitales multi-capteurs non géo-codées. Dans la littérature, peu d'auteurs abordent les problèmes liés à l'utilisation de telles images dans un contexte de reconnaissance d'objets. Le cas le plus connu est l'extension de MESSIE [CLE 92] qui traite de la détection de ponts mais à partir d'images optroniques et radar superposables.

La première partie de ce papier présente rapidement la méthode (Figure 1) mise au point pour détecter des aéroports dans un ensemble d'images satellitales de résolution "décimétrique" (entre 10 et 30 mètres). Nous commentons ensuite dans les parties 2 à 6 les principales difficultés que nous avons rencontrées, ainsi que les réponses que nous avons pu y apporter. Elles concernent :

- la gestion d'informations provenant de diverses sources (images satellitales optronique, radar, cartographie numérique) imprécisément géo-référencées
- la modélisation des objets recherchés, le couplage entre objets simples, traitements d'image et capteurs
- la gestion du géo-référencement imprécis des sources
- la valuation des détections et de la performance des algorithmes
- la fusion d'informations (mono-mode multi-algorithmes, et bimode multi-algorithmes)

Enfin nous concluons en évoquant les travaux menés parallèlement pour détecter d'autres types d'objets complexes, ainsi que l'évolution de cette plateforme dans le domaine d'une imagerie de meilleure résolution.

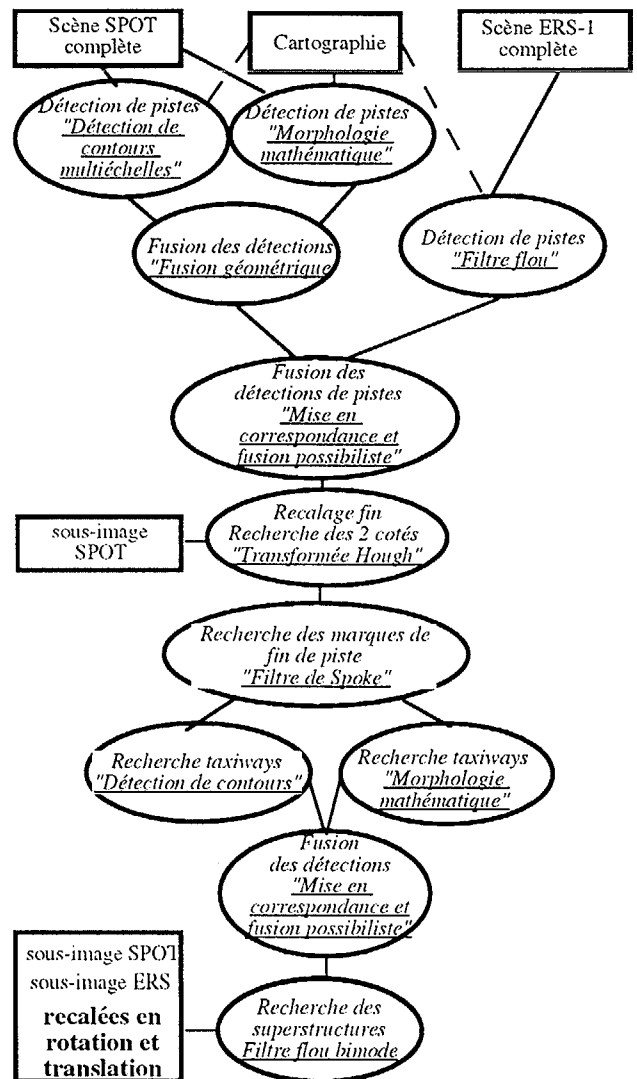
1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA MÉTHODE

L'ensemble de la méthode est présentée Figure 1.

Nous nous sommes attachés à comparer différentes approches (issues de la littérature ou développées spécifiquement) permettant de détecter au mieux l'objet simple recherché (un aéroport est décomposé en objets simples). Nous avons bénéficié pour cela d'une large quantité d'images satellitales, ce qui nous a permis de paramétrer correctement ces modules. Le module le plus performant pour une tâche donnée (détection de contours, classification, recalage,...) a été intégré dans la plateforme. Lorsqu'il s'est avéré que deux méthodes obtenaient des performances complémentaires, elles ont toutes deux été intégrées "parallèlement". Nous n'avons pas adopté une démarche de type

intelligence artificielle, puisque nous ne faisons pas appel à un système à base de règles ; la connaissance (modélisation d'un objet) a été intégrée dans chacun des modules.

Figure 1 - Synopsis du logiciel -



2. APPROCHES MULTI-CAPTEURS (D'ORIGINE



SATELLITALE) ET MULTI-INFORMATIONS (DE TYPE CARTOGRAPHIQUE)

Dans le domaine de la télédétection, l'expérience montre qu'il est indispensable d'utiliser la complémentarité entre les différentes bandes disponibles ; en particulier le mode visible et le mode radar renvoient des réponses très différentes d'un même objet. De part la très grande diversité des paysages, des situations, certains objets peuvent être quasi indiscernables dans un mode, mais apparents dans l'autre.

D'un point de vue opérationnel, il paraît préférable de traiter l'ensemble des informations accessibles sur une zone géographique donnée, sans être dépendant de la disponibilité de l'une d'elle. C'est pourquoi, nous avons développé un système modulaire et adaptatif capable de répondre nominalement, si toutes les informations nécessaires sont disponibles, et de manière dégradée, si une ou plusieurs sources ne peuvent être consultées.

La manière de tirer partie des différentes informations disponibles varie suivant que les données sont "brutes" comme une image satellitale, ou "interprétées" comme une carte ou un modèle numérique de terrain. Dans le premier cas, il est impératif :

- de décrire (forme et radiométrie) chaque objet simple dans chaque mode afin de déterminer ses invariants.

- ex : une piste d'aéroport est perçue par un SAR comme un élément linéaire très sombre, alors qu'elle constitue un ruban peu large limité par deux anti-parallèles sur une image SPOT panchromatique.

- de développer l'algorithme adapté, et de fixer ses paramètres

- ex : filtre flou pour détecter des éléments linéaires très sombres et très homogènes sur une image ERS-1, les variables "très sombres" et "très homogènes" étant définies à partir des réponses d'une surface plane bétonnée ou bitumée d'une part, et d'un histogramme cumulé de la variance locale d'autre part.

Dans le second cas, l'information "interprétée" peut être intégrée de manière plus immédiate :

- ex : élaboration d'un masque à partir de la cartographie numérique pour occulter les zones aquatiques, urbaines, et forestières dont les contours flous tiennent compte à la fois de l'imprécision de localisation des images et de celle de la carte.

Les principales difficultés demeurent la très forte variation radiométrique des pistes d'aéroports dans les images optroniques et la diversité de leur environnement (zone urbaine ou "naturelle", région tempérée ou désertique). La solution que nous envisageons à terme consiste à paramétrer l'algorithme de détection en s'appuyant sur le type de région survolée (climat désertique : image peu contrastée, ...). Par ailleurs, il subsiste la difficulté de détecter de manière fiable les superstructures aéroportuaires dont certaines se situent en limite de résolution des capteurs tant optroniques que radars.

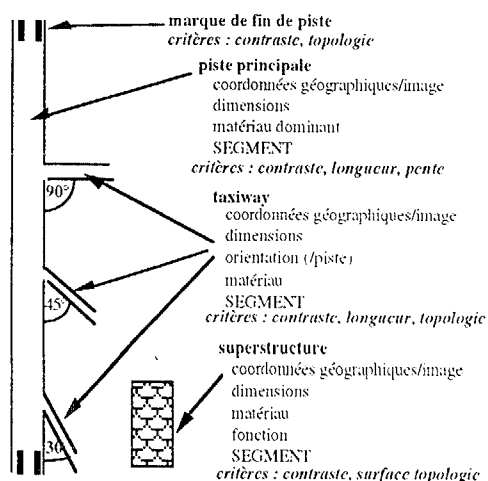
À l'heure actuelle, la plateforme est capable de traiter les images SPOT (P et XS de niveau 1B), LANDSAT TM et ERS, en s'appuyant sur une cartographie numérique, qui même à très petite échelle, comme Digital Chart of the World, constitue une source d'informations très précieuse.

3. MODÉLISATION DES SITES RECHERCHÉS

Une modélisation, même sommaire, permet de formaliser simplement la connaissance attachée aux différents objets recherchés.

Nous avons donc défini une structure hiérarchique permettant de décrire un objet complexe (Figure 2). Elle est déduite de sa réponse dans chacun des deux modes. Un module spécialisé est consacré à la détection de chaque objet dans chaque mode où il peut être discerné.

Figure 2 - Modélisation d'un aéroport -



sCompte tenu de la résolution de l'image ERS, la structure SEGMENT, constitue l'objet commun aux différentes images, c'est donc cette entité qui est utilisée en particulier lors des processus de fusion-recalage. Il donne une approximation polygonale de l'objet et rend compte de ses propriétés intrinsèques et extrinsèques.

La principale difficulté est d'élaborer un modèle suffisamment générique de chaque objet, faisant intervenir à la fois des propriétés dépendantes et indépendantes de la physique du capteur.

Dans le cas où l'on disposerait d'autres capteurs (infrarouge ou de meilleure résolution), il convient de garantir une compatibilité de description. Il s'agit alors de faire évoluer la structure "objet" en complétant les caractéristiques déjà disponibles.

4. GESTION DU GÉO-RÉFÉRENCEMENT IMPRÉCIS

Le géo-référencement constitue un préalable indispensable pour la mise en oeuvre de la fusion multi-sources, ainsi que la prise en compte d'informations de type cartographique. En effet, dans un cas comme dans l'autre, il est indispensable d'avoir une connaissance, même imprécise, de la localisation géographique des objets détectés par rapport à un référentiel commun.

Dans le cas d'utilisation d'une image SAR, il est nécessaire que celle-ci soit *géo-codée*¹, ou, à défaut, mise en conformité avec le géoïde terrestre, si le relief est inconnu. En ce qui concerne l'imagerie optronique, la seule contrainte est la connaissance des coordonnées géographiques d'au moins 3 amers, quels que soient ceux-ci, ainsi que leur imprécision.

Les spécifications des images SPOT indiquent que la localisation géographique des quatre coins délimitant une scène et de son centre est connue avec une incertitude d'environ 1500 mètres (en réalité de l'ordre de 300 mètres). Le passage des coordonnées image aux coordonnées géographiques s'effectue par une transformation de type rotation translation. Chaque objet peut alors être géo-référencé avec l'incertitude associée à l'image.

Le principal problème est de localiser précisément dans une image un objet (segment) géo-référencé dans une autre scène. La transformation recherchée, qui se réduit à une translation et à une légère rotation, peut être estimée globalement par mise en correspondance entre les deux ensembles de détection dans chaque mode (Cf §7.3), puis localement par recalage fin.

Cette dernière étape est nécessaire quand on cherche le correspondant d'un segment (piste) géo-référencé dans l'image ERS dans l'image SPOT (2 anti-parallèles). Les deux côtés de la piste sont alors extraits par transformée de Hough calculée localement sur une image des déclivités [QUI 92].

5. VALUATION DES DÉTECTIONS ET PERFORMANCE DES ALGORITHMES

Afin d'élaborer une décision finale, il est indispensable d'estimer la confiance que l'on a dans la détection d'un objet. Par ailleurs, il est nécessaire de prendre en compte les performances des algorithmes, et plus particulièrement leur probabilité de non détection.

La principale difficulté est l'estimation correcte de la mesure de confiance attachée à chaque détection. La plupart des détecteurs (de contours par exemple) ne fournissent pas une mesure de la confiance caractérisant chaque objet détecté. Nous avons donc développé une fonction qui mesure l'adéquation des caractéristiques de la détection à celles de son modèle.

- Ex : dans le cas de la valuation des pistes, la confiance attribuée à chaque segment est fonction de sa longueur, de sa pente (si l'information altimétrique est disponible), et de son signal (intensité pour l'image radar) (contraste local pour l'image optique) :

$$\text{valuation} = \text{MIN}(\mu(\text{longueur}), \mu(\text{dé nivelé}), \mu(\text{signal}))$$

avec μ : valeur de la fonction d'appartenance.

Les performances des algorithmes sont estimées par apprentissage sur un ensemble d'images représentatives, et synthétisées par leurs matrices de confusion.

La principale difficulté est d'une part de trouver un ensemble de caractéristiques pertinentes pour chacun des objets, et d'autre part de constituer une base d'apprentissage réellement représentative.

6. FUSION D'INFORMATIONS

La fusion d'informations intervient dans différents contextes pour élaborer une décision finale sur la base d'un ensemble de décisions élémentaires.

7.1. Approche mono-mode multi-résolutions

Les images traitées étant des scènes complètes, nous nous sommes attachés à fiabiliser et accélérer les traitements par une approche multi-résolutions. Cette démarche correspond à celle du photo-interprète, qui scrute dans un premier temps l'ensemble de la scène, puis focalise ensuite sur des zones

¹ Contrairement aux images optroniques, ce géocodage ne nécessite pas le concours d'un opérateur.

d'intérêt, remarquable de part leur structure ou leur forme.

Le principe consiste à détecter des segments à une résolution dégradée de 20 mètres puis à confirmer leur validité par une recherche de deux anti-parallèles à pleine résolution. La validation des segments s'établit suivant des critères géométriques et radiométriques.

Compte tenu de la taille des images à traiter et de la technique d'extraction des segments, il est irréaliste de vouloir traiter l'ensemble de la scène en une seule fois. Ce module fonctionne donc par pavés successifs comprenant une zone de recouvrement.

7.2. Approche mono-mode multi-algorithmes

Les objets à détecter présentent de fortes variations radiométriques qu'un détecteur unique ne peut intégrer. Afin de tirer partie de sensibilités complémentaires, plusieurs algorithmes opérant sur une même image sont mis en concurrence.

Un segment est validé si son voisinage contient une alarme issue d'un autre détecteur, ou si la confiance qui lui est accordée est élevée. De plus, deux segments sont fusionnés si des contraintes sur leur voisinage traduisent qu'ils correspondent à un même objet.

Ex : pour la détection des taxiways ou des pistes principales, deux approches sont développées conjointement : la première fait appel au détecteur de contours proposé par C'ANNY et DERICHE, alors que la seconde est basée sur la morphologie mathématique (Photo 1).

La prise en compte de détections provenant de deux algorithmes différents induit une diminution sensible du nombre de non détections. Sur une mosaïque de 35 imagerie SPOT contenant chacune au moins une piste, les résultats sont les suivants :

	Bonne détection	Fausse alarmes	Non détection
SPOT #1	25	12	10
SPOT #2	29	80	6
Fusion SPOT	31	71	4

7.3. Fusion bimode multi -algorithmes

Les détecteurs utilisés, que nous assimilerons à des sources d'informations, fournissent aussi bien pour les images optiques que radar un nombre rédhibitoire de fausses alarmes. Le module de fusion bimode se propose de fiabiliser le processus de détection en ramenant à une valeur acceptable le taux de fausses alarmes, tout en minimisant le taux de non détection, afin de fournir in fine une aide efficace aux photo-interprètes.

Les traitements se déroulent en deux étapes. La première ne fait appel qu'à des considérations géométriques, tandis que la deuxième élabore une décision finale en fonction de l'ensemble des informations disponibles.

Les détecteurs (sources) opérant sur les images Spot et Ers fournissent chacun un ensemble de détections, se présentant sous forme de segments évalués par un degré de confiance. Il s'agit alors de filtrer ces détections en ne conservant que les plus pertinentes. Du fait du processus d'élaboration des images radar, les détections issues de ERS peuvent être correctement géo-référencées. Ce n'est pas le cas de celles issues de SPOT qui sont tributaires de l'incertitude de localisation de la scène.

La première étape consiste en une mise en correspondance destinée à déterminer quelles sont dans les deux ensembles, les détections relatives à une même entité physique.

L'estimation des paramètres de la déformation se fait par émission-propagation d'hypothèses d'appariement, formulées sous des contraintes d'orientation et de distance de segments candidats. En première approximation, on peut se limiter à la recherche d'une translation. Chaque paire d'hypothèses conduit à un vecteur de recalage. La solution retenue est celle qui permet de valider le maximum d'hypothèses initialement formulées.

A l'issue de la mise en correspondance, un certain nombre de détections sont associées, on est alors en présence de déclarations concordantes. Les détections qui ne sont pas mises en correspondance traduisent une situation conflictuelle :

- ou bien il s'agit une fausse alarme,
- ou bien il y a non détection dans l'un des deux modes.

La deuxième étape élabore une décision finale prise en fonction d'une valuation calculée en tenant compte des appariements. La nouvelle valuation de chaque segment est calculée par un opérateur de fusion qui intègre une mesure de conflit entre les sources. L'opérateur renforce d'autant plus la confiance en une déclaration que les sources sont concordantes et l'affaiblit d'autant plus qu'elles sont discordantes. Lorsque deux détections sont appariées, ce sont leurs valuations qui sont directement utilisées. Dans le cas d'une situation conflictuelle, une valuation 'fictive', calculée à partir de la matrice de confusion et reflétant les performances de l'algorithme en terme de non détection, est utilisée conjointement avec la valuation du segment.

La limitation à une translation pour assurer la mise en correspondance des

détections atteint rapidement ses limites dès lors que le terrain est accidenté et que l'on ne dispose pas de MNT, car elle ne permet pas la prise en compte des déformations locales induites par le relief.

Dans la région de Sébastopol, sur une scène complète, l'ensemble du processus donne les résultats suivants:

	Bonne détection	Fausse alarmes	Non détection
SPOT #1	3	157	0
SPOT #2	3	217	0
Fusion SPOT	3	115	0
ERS	2	11	1
Fusion bimode	3	8	0
aéroports	3	2	0

Les Photos 1 et 2 illustrent la réduction sensible des fausses alarmes sur un extrait de la scène complète. Dans la région de Minsk, sur une scène complète, l'ensemble des processus donne les résultats suivants:

	Bonne détection	Fausse alarmes	Non détection
SPOT #1	3	284	1
SPOT #2	3	105	1
Fusion SPOT	3	52	1
ERS	3	225	0
Fusion bimode	3	21	1
aéroports	3	6	1

La recherche des infrastructures effectuée ensuite permet donc de diminuer sensiblement le nombre de fausses alarmes. La principale source de confusion est constituée par les autoroutes ou les routes rectilignes importantes.

L'aéroport non détecté se situe en centre ville et ses pistes sont très peu contrastées ; seule l'image ERS le détecte, mais avec une valuation qui ne lui permet pas d'être conservé à l'issue du processus de fusion bimode. En outre, le quatrième aéroport ne se situe pas dans l'image ERS (les images SPOT et ERS ne se recouvrent pas en totalité).

7. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La réalisation de cette plateforme nous a permis d'apprécier l'apport d'informations issues de capteurs différents pour détecter un objet complexe dans un ensemble d'images satellitaires. Les méthodes élaborées, tant au niveau de la modélisation des objets que de la gestion du géo-référencement imprécis ou de la fusion d'algorithmes ont démontré leur efficacité et peuvent être mis en œuvre pour détecter d'autres types d'objets. Cependant, même dans le cas le plus favorable d'un objet complexe bien spécifié comme un aéroport, d'une cartographie numérique et d'une imagerie bimode (SPOT et ERS-1), le taux de non détections n'est pas nul.

Nos axes de recherche concernent les traitements sur des capteurs de meilleure résolution ou opérant dans d'autres gammes de fréquence, afin de passer du stade de la détection, à celui de la reconnaissance. Pour ce faire, nous développons des modules spécialisés sur l'interfaçage traitements/capteurs.

8. BIBLIOGRAPHIE

- BEN 94 L. BENQUET, T. QUIGUER, - Airport recognition using contextual information. 7th EU'SIPCO, Edinburgh, Sept 13-16, 1994.
- BEN 93 Extraction automatique d'aéroports dans les images du satellite SPOT, 14ème colloque GRETSI, pp 795-798, Sept 1993.
- CLE 92 V. CLEMENT, G. GIRAUDON, S. HOUZELLE - A knowledge based system interpretation for fusion of SAR and SPOT images, Proceeding of SPIE, 1992.
- COR95 P. CORNIC, A. MICHEL - De la création d'algorithmes à la coopération d'algorithmes en contexte multi-capteurs, à paraître dans la revue Traitement du Signal.
- MIC 94 MICHEL Alain- Airport detection using a simple model, multi-source image and altimetric model, SPIE, Rome, Sept 26-30, 1994.
- QUI 92 QUIGUER Thierry - A fast and autoadaptive morphological segmentation operator for a 3D intelligent vision sensor, CAAI Montréal, June 1-3, pp 2121-2124.



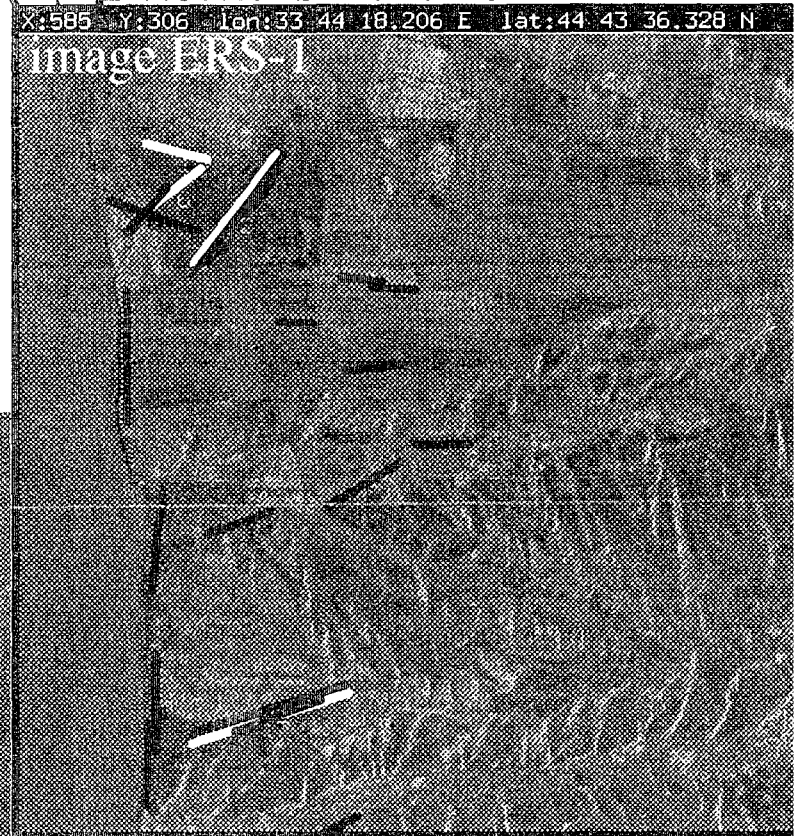
Détections SPOT (morphologie mathématique)

Détections SPOT (détecteur de contours)

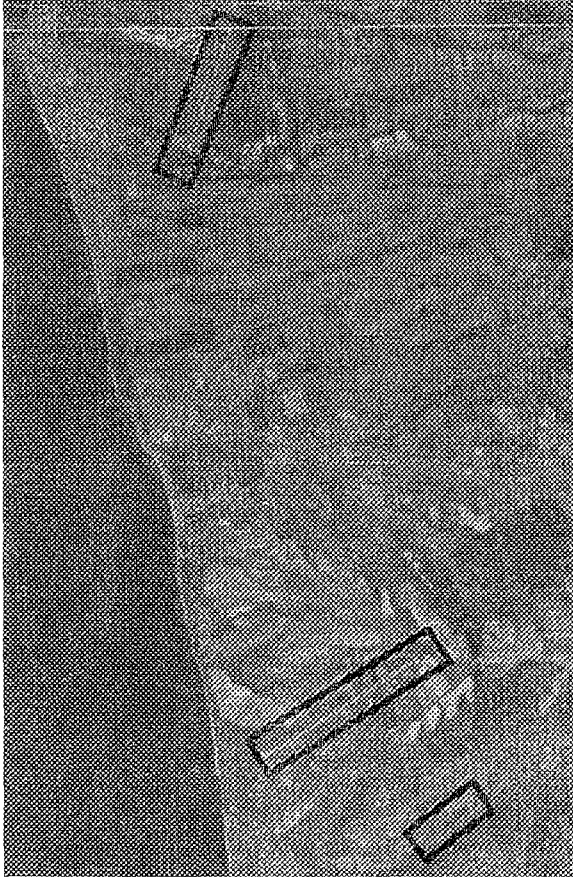
Détections ERS (filtre flou)


quit

1 Détections monomodes





2 Fusion des détections




Pistes détectées 

Piste 

Fin de piste 

Batiment 

Taxiway 

3 Assemblage du site

