

L'écrit et le document

Interprétation de document par cycles « perceptifs » de construction d'objets cohérents. Application aux données cadastrales

Document Interpretation Using Perceptive Cycles to Build Coherent Objects. Application to the French Cadastral Maps

par Jean-Marc OGIER *, Rémy MULLOT **, Jacques LABICHE **, Yves LECOURTIER **

* Laboratoire LASTI, ENSSAT Lannion, 6, rue de Kérampont F-22300 Lannion cedex

** Laboratoire La3i-PSI, Université de Rouen, F-76821 Mont Saint Aignan cedex

Résumé

Notre méthodologie d'interprétation des documents cadastraux français s'appuie sur un certain nombre de résultats d'études sur la perception visuelle ainsi que sur une description hiérarchisée du document. La stratégie utilisée, basée sur le « modèle » du document, repose sur une approche mixte comportant différents « points de vue » de l'image à traiter.

Les résultats de cette analyse mixte mettent en évidence l'apparition d'objets non interprétables au sens du cadastre, du fait de la présence d'incohérences sémantiques. Une stratégie d'analyse est alors proposée et permet, grâce à des cycles d'aller-retours entre les traitements hauts et bas niveaux, de résoudre les incohérences de façon autonome, ceci afin d'interpréter au plus sûr la planche cadastrale.

Mots clés : Interprétation de documents, intelligence artificielle, traitement d'image, modèle de documents.

Abstract

The methodology we have used for the interpretation of the French cadastral documents focuses on a number of studied results of the visual perception and a hierarchical description of the document. The strategy used has been based on the « model » document, employing a mixed approach including various « points of view » about the image to be processed.

The results of this mixed analysis reveal the appearance of non-interpretable objects on the cadaster, due to the presence of incoherent semantics. Thanks to the return cycles between the high and low level processing, an analytical strategy is proposed and allows, in order to independently cure the incoherence, thus to attain the most reliable interpretation of the cadastral map.

Key words : Document interpretation, artificial intelligence, image processing, model of documents.

1. Introduction

Le développement actuel des études concernant l'analyse automatique de documents cartographiques est lié à un besoin croissant des industriels et des collectivités locales dans le domaine de l'exploitation des plans et des cartes. L'objectif de l'interprétation de cartes est de faciliter l'exploitation des documents en proposant un ensemble d'étapes permettant la transformation de la carte papier en un stockage numérique interprété [Antoine 91][Boatto 92][Desseilligny 94].

Le nombre de services utilisant les planches cadastrales comme support décisionnel (réseau EDF, collectivités locales, télécommunications, services fiscaux...) connaît une croissance importante depuis ces cinq dernières années. Le cadastre est donc un

domaine particulièrement touché par la nécessité d'une informatisation, le nombre de documents sur support papier étant très important. Il faut savoir qu'aujourd'hui le cadastre comporte 590.000 feuilles de plans, 97 millions de parcelles, 35,5 millions de locaux et surtout **2 millions** de changements à appliquer chaque année.

Ce type de problème est également soulevé à l'étranger puisque l'on trouve de nombreux projets d'informatisation de l'homologue du cadastre dans des pays comme la Hollande [Jansen 93], l'Italie [Boatto 92], la Tchécoslovaquie, la Suède ou la Russie [Spannar 94]. En tout état de cause, l'ensemble des écrits sur ce sujet met en évidence le coût élevé de la saisie manuelle des données et de la numérisation d'un plan (le temps de numérisation d'une planche cadastrale française est de 1 à 4 jours). Un problème soulevé est également le souci de stockage « intelligent » de l'information, notamment sur des projets importants où les risques d'incohérences des informations deviennent rapidement cruciaux.

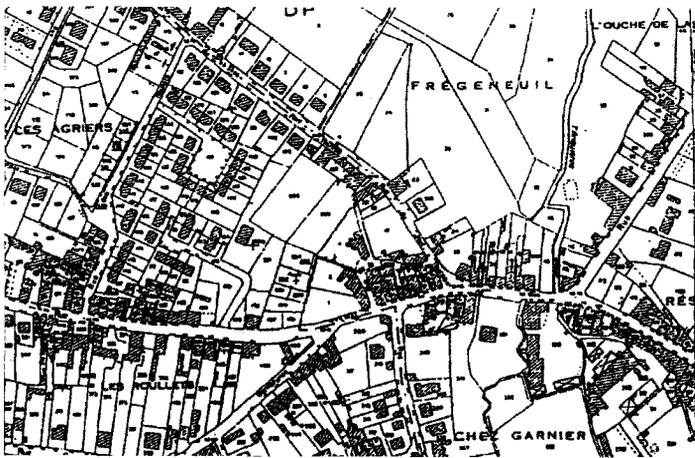


Figure 1. – Exemple de planche cadastrale.

Nous proposons dans cet article une chaîne complète de traitements permettant l'interprétation du cadastre français. La première étape de ce traitement automatique est la numérisation par scanner du document qui permet le passage du document papier à un format « pixel », exploitable par l'ordinateur. L'interprétation de la carte regroupe l'ensemble des techniques permettant le passage du document « pixel » à un format de haut niveau « objet ». La notion d'objet permet de regrouper au sein d'une même entité la représentation géométrique et sémantique des différentes classes d'éléments présents sur le document. Insérés dans une base de données spécifique « Système d'Information Géographique » (S.I.G.) [Pornon 90][Jeansoulin 89], les objets facilitent la mise à jour du document et permettent de répondre à des requêtes de haut niveau comme l'optimisation de parcours, la simulation d'événements, ...

2. Méthodologie

Le problème de l'interprétation de document est un problème complexe, pour lequel il convient de choisir la meilleure stratégie de résolution possible. Cette stratégie de résolution est fondamentale puisqu'elle induit à la fois les outils de traitement d'image bas niveau, la construction des objets du cadastre, ainsi que les processus de réanalyse des données contaminées (données erronées mais cohérentes au sens de l'interprétation). Pour notre part, deux principes de base nous ont permis de mettre en place une stratégie de résolution s'appuyant sur des principes cognitifs : il s'agit d'une part, de la mise en œuvre de l'expertise, c'est à dire de la connaissance d'un modèle du document traité [Antoine 91], et d'autre part, de l'interprétation basée sur les différents modes de perception en exploitant les hypothèses émises pour tenter d'expliquer la vision humaine.

2.1. LA REPRÉSENTATION DE L'EXPERTISE : LE MODÈLE DU DOCUMENT

La reconnaissance d'un objet est difficile pour un observateur s'il n'en a pas une représentation mentale a priori [Neishev 89]. Pour un système artificiel d'interprétation, le problème est similaire et il est nécessaire d'intégrer cette notion de modèle si l'objectif est d'obtenir une représentation proche de celle traitée par l'agent du cadastre.

Pour réaliser cette modélisation, nous partons du principe que tout document graphique correspond à un agencement particulier d'un ensemble de primitives de base (traits, pointillés, ...), et de règles de regroupement de ces primitives pour la représentation d'objets [Joseph 92][Pasternak 93]. Celles-ci peuvent être complexes dans le cas de schémas mécaniques [Vaxivière 92][Joseph 92][Antoine 92] ou cartographiques [Kasturi 88][Desseilligny 94], nécessitant parfois un apprentissage de la lecture pour un utilisateur. La difficulté principale d'un dispositif d'interprétation est la gestion des liens sémantiques entre objets (frontières entre zones texturées, limites entre objets, objets imbriqués...). Dans le cas des plans cadastraux, cette correspondance physique-logique est relativement élémentaire, puisqu'il existe peu de relations entre les différentes entités autres que la mitoyenneté. A partir de cette représentation détaillée des entités sur le document (tant d'un point de vue graphique que logique) et des relations entre elles, le modèle du document propose une première structuration hiérarchique du document. Dans le cas du cadastre, un modèle à quatre niveaux (figure 2) peut être proposé.

A partir de la représentation de ce modèle, il est possible de choisir la stratégie de résolution du problème, suivant une approche de type multi-spécialistes, chaque spécialiste ayant un objectif particulier et des connaissances restreintes par rapport au problème général de l'interprétation (spécialistes de bas niveaux, gestion des liens sémantiques). Suivant cette distribution des connaissances et du raisonnement [Erceau 91], chaque spécialiste participe, grâce à sa contribution locale, à la résolution globale du problème. Ces spécialistes, dans notre cas, suivent une stratégie pilotée par la cohérence des données (pertinence des informations), et s'inspirent de quelques principes classiques connus en perception visuelle [Caston 93].

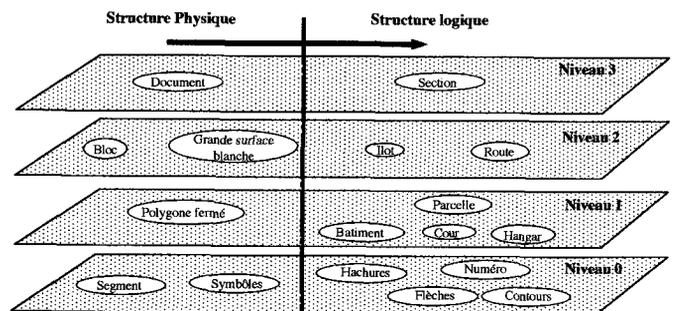


Figure 2. – Le « Modèle » du cadastre.

2.2. LA REPRÉSENTATION SIMPLIFIÉE DES DIFFÉRENTS MODES DE PERCEPTION

Le second principe que nous utilisons pour la mise en place de notre système d'interprétation d'images est inspiré de concepts cognitifs relatifs aux différents modes de perception visuelle auxquels un observateur fait appel lorsqu'il analyse une scène [Caston 93]. Ces différents modes de perception peuvent être très synthétiquement regroupés en deux approches.

La première est globale : sans tenir compte des détails, un observateur a une perception « globale » de la planche ou du schéma, et émet des hypothèses sur la structure du document présenté.

La seconde est plus locale ou « analytique ». Elle consiste à rechercher sur un document des informations précises en ayant une connaissance a priori sur les caractéristiques des informations recherchées puisque pilotées par une « intention » (parcelle N° 134 par exemple)[Otto 92]. Dès lors, un processus cyclique entre ces deux modes fait évoluer l'interprétation, jusqu'à ce que la perception de l'image constitue un ensemble cohérent en fonction de l'intention initiale. En cas d'ambiguïté, des oscillations entre les deux modes de perception peuvent survenir.

Dans le cas de l'interprétation du cadastre, nous avons envisagé une représentation simplifiée du système de perception visuelle permettant de « simuler » ce cycle existant entre les différents modes de perception suscités. Dans notre cas, parcourir le cycle revient à effectuer des communications entre différents « points de vue » issus d'images réduites rappelant la vision périphérique (approche globale) et de l'image haute définition rappelant la vision fovéale (approche analytique) [Caston 93].

3. Mise en place d'une stratégie d'interprétation

A partir de ces deux principes, nous avons adopté une stratégie mixte (ascendante – descendante) s'appuyant sur la représentation des connaissances utilisant la notion d'objet. Chaque entité cadastrale est liée à un objet comportant un ensemble d'informations provenant des attributs qui le composent (Construction), et pouvant directement gérer la pertinence de ces informations en fonction de celles devant le constituer (Cohérence). La partie montante du dispositif (figure 3) correspond à l'enchaînement des traitements des différentes couches présentées au paragraphe 2.1.

Cette représentation intègre le modèle du document, mais également, au plus bas niveau, les différents modes de perception visuelle. Une analyse plus fine de ce niveau laisse apparaître l'enchaînement des opérateurs, ainsi que l'interaction entre l'approche globale et l'approche analytique (figure 4).

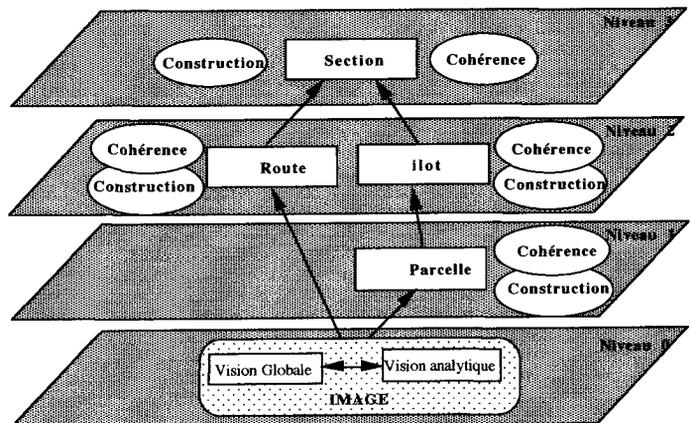


Figure 3. – Approche montante de l'interprétation.

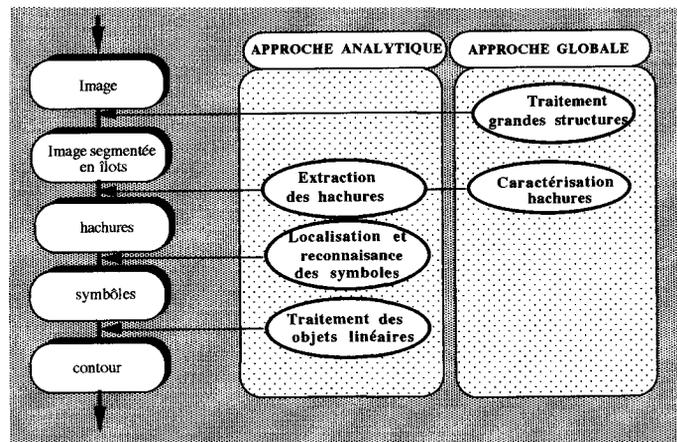


Figure 4. – Opérateurs du niveau 0.

Nous présenterons dans les paragraphes suivants, les différents opérateurs du niveau 0, ainsi que les interactions entre les deux approches. Puis nous analyserons la gestion de la cohérence des données à partir des objets reconstruits.

3.1. VISION GLOBALE ET ÉMISSION D'HYPOTHÈSES

La vision globale, telle que nous l'envisageons, consiste à donner une « première impression » du document à traiter. Cette démarche originale, que l'on retrouve chez [Sato 92][Culhane 92], propose d'émettre des hypothèses sur le contenu du document, à partir d'images basse résolution simulées par des réductions. Dans le cas du cadastre, nous exploitons deux informations immédiatement détectables dès l'observation d'une planche : la présence de grandes structures (îlots, routes...) et la présence de

zones de densité supérieure à la moyenne (zones texturées, zones hachurées). Les analyses d'images multi-résolutions permettent, par adaptation de la résolution et du critère de réduction [Viard 92], de représenter « l'intention » de l'observateur [Otto 92] en mettant en évidence un type d'information particulier.

- Concernant les grandes structures, la vue globale permet une segmentation des grands objets suivant un critère de connexité : chaque regroupement de parcelles mitoyennes (îlots) est bordé par une ou plusieurs routes, ou par la limite de section. On définit ainsi un ensemble d'îlots sur la planche formant la section. Notre dispositif d'interprétation s'appuie sur ce découpage naturel de l'image, évitant ainsi certains problèmes liés à la segmentation des images en cartographie. En effet, la taille des images à traiter est telle ($12\,400 \times 8\,900$ pixels soit 100 Mo pour une planche cadastrale) qu'un découpage est nécessaire pour pouvoir les traiter sans engendrer de saturation mémoire. Le découpage de l'image [Lefrère 93][Desseilligny 94] est souvent réalisé de façon arbitraire, sans tenir compte de l'information présente sur le document traité. Le problème de la reconstitution de vecteurs interrompus se pose alors.

Remarquons enfin que cette segmentation permet une adaptation de nos algorithmes de bas niveau sur chacun des îlots. En effet, parmi les conventions de dessin imposées au dessinateur d'une planche cadastrale, certaines concernent les règles d'homogénéité. Les hachures, par exemple, doivent avoir la même inclinaison au sein d'un même îlot. Le fait de traiter îlot par îlot permet donc d'adapter les paramètres des extracteurs bas niveau d'un îlot à l'autre.

- La seconde proposition concerne la perception visuelle du contraste des zones du cadastre. Si on analyse rapidement une planche, il apparaît très nettement des plages comportant une densité de pixels noirs élevée. Ces densités sont principalement dues aux hachures caractérisant les surfaces bâties. Il semble donc naturel d'exploiter cette information afin de fournir à l'analyse locale (extracteur de hachures), les coordonnées des zones de l'image ne comportant que des hachures, ceci sur chacun des îlots. L'approche analytique disposera donc, pour chaque îlot, d'une zone comportant le plus grand nombre d'échantillons de la texture, lui permettant une paramétrisation optimale de ses extracteurs par apprentissage sur ces zones.

Lors du processus de réduction, l'image initiale est parcourue par une fenêtre permettant de mesurer la densité de pixels noirs. La taille de cette fenêtre est déterminée à partir de la moyenne du motif de base de la texture sur une base représentative de planches. Si cette densité est proche de celle rencontrée sur cette base, le processus crée un point « hachure possible » dans l'image réduite.

Un regroupement de points « hachure possible » (pixels) dans l'image réduite peut être considéré comme un facteur favorable pour la présence de zones hachurées dans l'image initiale. Plus ce regroupement est important, moins il comporte de point « hachure peu probable », plus la confiance associée à la présence de la hachure est grande.

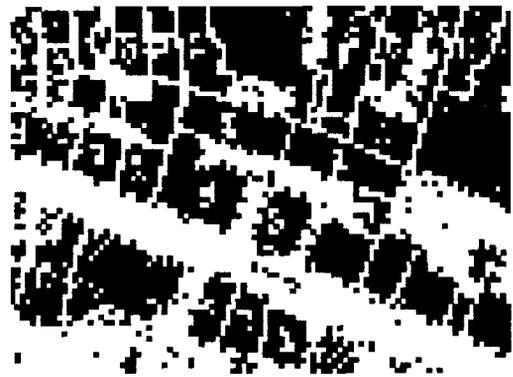


Figure 5.1. – Image réduite des hachures.

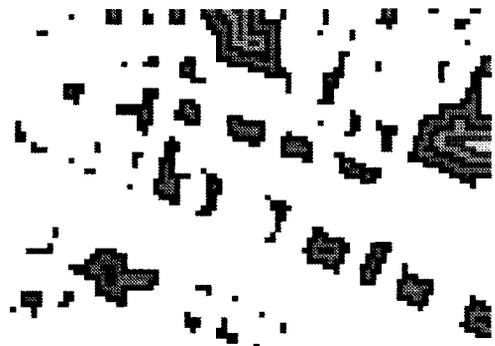


Figure 5.2. – Indice d'intériorité des zones hachurées.

La détection de ces zones est réalisée par une mesure de degré d'intériorité dans l'image réduite. Ce processus revient à localiser les composantes connexes les plus importantes, pour lesquelles le nombre d'Euler est proche de 1 et la compacité est la plus faible possible ($C = \frac{\text{Périmètre}^2}{\text{Surface}}$) au sens de [Besançon 88]. Les algorithmes détaillés sont définis dans [Ogier 94].

Cette approche originale utilise une stratégie comparable à celle de l'attention sélective. Elle applique différents algorithmes de réduction sur l'image, *dépendant du type d'objets recherchés*. Nous avons, dans cette étude, limité les échanges à ces deux informations : grandes structures et extraction de hachures. Cependant, d'autres contributions de l'approche globale sont envisageables : topologie des routes, localisation des grands objets linéaires (droites), ...

3.2. LA VISION ANALYTIQUE : VALIDATION DES HYPOTHÈSES ET EXTRACTION D'ATTRIBUTS

La difficulté de l'analyse bas niveau des données cadastrales vient du fait que les différents objets sont représentés par la même couleur de tracé, voire la même épaisseur de trait. Il convient

alors de caractériser la spécificité de tel ou tel objet par certains attributs caractéristiques suivant son voisinage local, régional, ou global.

Dans la littérature, les différentes approches analytiques vont de l'utilisation d'outils classiques disponibles dans des bibliothèques de traitements d'images [Pasternak 93] pour s'intéresser au système d'interprétation de la base de connaissances, au développement d'outils de plus en plus robustes, cherchant ainsi à répondre de façon générique à une classe de problèmes [Kasturi 92]. Notre approche est intermédiaire; il s'agit, en effet, d'utiliser des outils performants, sans pour cela rendre prohibitive la complexité des algorithmes, ni draconiennes les exigences sur leurs performances. Suivant notre méthodologie, chaque traitement de bas niveau comporte une *compétence*. Aussi, nous cherchons à couvrir le « spectre » des problématiques possibles par de multiples compétences, en acceptant qu'un algorithme « oublie » d'extraire une primitive. En terme d'implémentation, le dispositif d'interprétation de document dispose donc d'une chaîne de base de traitements composée d'un ensemble d'outils de traitement d'image. Cette chaîne est décrite précisément dans [Ogier 94], ainsi que les extracteurs dont nous allons présenter brièvement les principes. Notons enfin que tous ces outils sont paramétrables par les spécialistes de haut niveau et n'en demeure pas moins des opérateurs robustes.

- Le traitement des zones texturées.

Le processus d'extraction des zones texturées consiste à extraire de l'image, les traits ne correspondant qu'à de la texture par rapport à ceux formant les traits de contours des parcelles et les caractères. Lors de l'approche globale, un apprentissage des caractéristiques statistiques et structurelles des hachures présentes a été réalisé. Chaque îlot dispose donc de zones ne comportant que des hachures probables. La caractérisation des primitives de base de la hachure est alors simplifiée [Volet 87] puisque l'extracteur dispose de zones d'apprentissage représentatives.

Pour l'extraction des zones hachurées, la technique utilise un « masque » élastique permettant d'émettre des hypothèses sur la présence de texture là où les paramètres statistiques appris sont proches de ceux caractérisés. Les zones hypothétiques détectées sont appelées « germes » de hachures. A partir de ces germes, des critères statistiques plus globaux permettent de vérifier s'il est possible de propager les hachures hypothétiques. Lorsque le degré de propagation est suffisant, la zone analysée est définitivement marquée comme zone hachurée. A l'issue de cette étape, la segmentation de la couche « hachure » est réalisée (figure 6) mais pourra être remise en cause par des processus de gestion de la cohérence de l'îlot, en relâchant localement les contraintes sévères imposées à l'extracteur.

- Le traitement de l'information textuelle.

L'information textuelle contenue dans les planches cadastrales porte à la fois sur les noms des villes, des quartiers, numéros de boîtes aux lettres, mais également sur des numéros spécifiques au cadastre : les numéros de parcelles. D'un point de vue traitement,

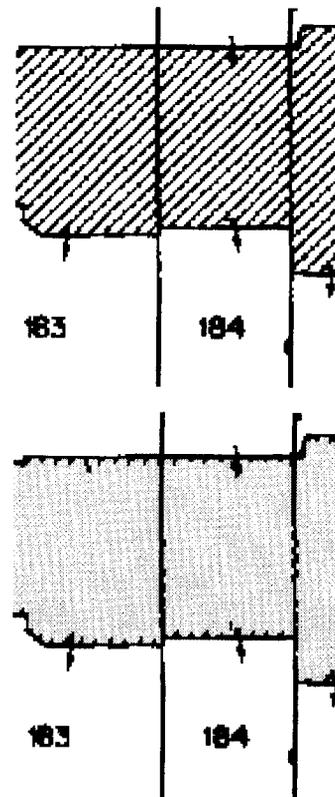


Figure 6. – Extraction des hachures.

l'outil chargé de l'analyse de l'information textuelle doit s'affranchir des contraintes liées aux documents cadastraux (multi-orientation, taille variable des caractères, variabilité dans l'écriture, ...) afin de remplir sa mission : localiser, recenser, reconnaître les caractères et les symboles, et les regrouper en toponymes. Des « allers-retours » entre ces différents niveaux peuvent éventuellement être déclenchés en cas d'ambiguïté lors de l'interprétation, en fonction du contexte global de l'îlot, de la route, et de la section.

Après avoir extrait les caractères et les symboles (composantes connexes de taille maximale prédéfinie, accidents de texture), un ensemble de sondes circulaires (figure 7.1) sont appliquées sur l'objet afin de constituer une « signature » de chacune des formes (figure 7.2) [Ogier 94].

Afin de définir la « distance » entre la signature de la forme inconnue et celles des formes prototypes connues du dispositif, un calcul permet de déterminer le coefficient de corrélation linéaire maximum. Une fois les signatures recalées, différents critères permettent de mesurer la distance entre le profil observé recalé et le profil prototype (distance de Kullback, distance Euclidienne, ...).

- Le traitement des objets linéaires.

Les objets linéaires sont, à l'issue de la phase d'extraction des hachures, puis des caractères, les bords de parcelles, les hangars, ... Notre démarche consiste à extraire le centre du trait, à le polygonaliser afin de ne retirer que les coordonnées extrêmes des traits,

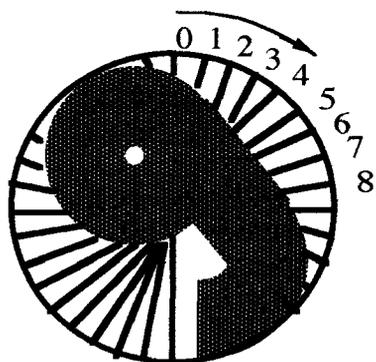


Figure 7.1. – Sondes extérieures.



Figure 7.2. – Signature du chiffre « 5 ».

puis à recalculer ce vecteur afin de s'assurer de la bonne superposition du segment reconstitué avec l'image.

L'extraction du centre des traits repose sur une technique originale de suivi de trait [Ogier 93a] qui permet d'extraire de façon très rapide le pseudo-squelette des objets linéaires. Dès lors, une phase de polygonalisation du tracé à base de moindres carrés [Vallée 93] permet d'extraire une suite de segments de droites formant les bords de parcelles. Cette approche a pour intérêt principal son caractère global et une bonne insensibilité au bruit.

A l'issue de cette phase de polygonalisation, la précision des vecteurs retenus est vérifiée par une technique de superposition avec l'image pixel de départ. Cette technique d'analyse de la qualité de superposition des vecteurs sur l'image pixel est assimilable à une mesure de Hausdorff [Coster 90] [Huttenlocher 93]. En cas de non conformité, un processus de déplacement progressif du vecteur extrait est déclenché afin d'obtenir la meilleure superposition entre le trait synthétique et le trait pixel de l'image de départ. La précision obtenue par ce traitement est d'environ 1/10^{ème} de millimètre papier.

Pour chacun de ces traitements, une contrainte de robustesse a été appliquée, ceci afin de disposer d'une relative forte confiance quant aux résultats obtenus. Cette robustesse porte parfois préjudice aux performances de l'extracteur. Cependant, les contraintes peuvent être relâchées localement lors de l'analyse de la cohérence.

4. La cohérence distribuée

A la suite de ces traitements sur l'image par les opérateurs de bas niveau, les données extraites sont alors regroupées pour construire des objets du document, au sens du cadastre. La construction

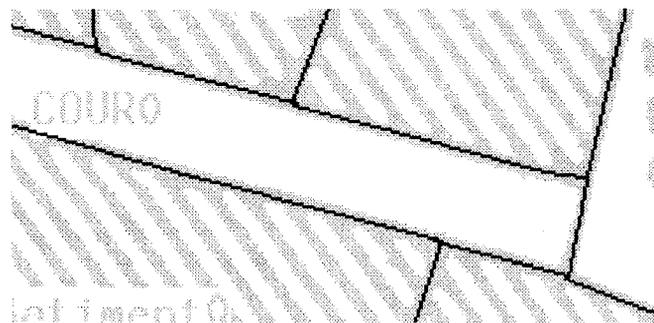


Figure 8. – Extraction des objets linéaires.

de ces objets cadastraux correspond aux niveaux 1, 2 et 3 de l'approche montante présentée sur la figure 3, en relation avec le modèle hiérarchique du document (figure 2). S'agissant d'interpréter ces documents, la cohérence des données (parcelles, îlots, routes, ...) constitue un des éléments fondamentaux de la base à construire [Ogier 93b]. En liaison directe avec la distribution du raisonnement et des connaissances sur les différents niveaux, la cohérence peut être analysée de façon hiérarchique.

Nous définissons ici deux types de cohérence dont la vérification est inspirée de concepts cognitifs.

4.1. COHÉRENCE INTERNE OU LOCALE

Le premier type de cohérence dite « interne ou locale » résulte de l'analyse des attributs d'un objet donné. Un objet est caractérisé par une cohérence interne si tous les attributs devant le constituer sont présents. Le premier niveau hiérarchique comporte une cohérence sémantique des entités cadastrales élémentaires (bâtiments, cours). Celle-ci est liée à la construction des contours fermés (association surface-liste de vecteurs) ainsi qu'à l'affectation de leurs attributs, (présence de hachures, présence ou absence de caractères, de flèches et enfin, d'objets non identifiés). Cette cohérence est dite « interne » car elle ne concerne que l'entité considérée sans tenir compte d'informations sur les entités voisines (parcelle, îlot). Cette notion de cohérence interne se localise à chacun des niveaux de reconstruction des objets du cadastre, c'est-à-dire qu'elle est gérée au niveau des parcelles, des îlots, des routes et de la planche cadastrale. Pour un niveau, la cohérence interne d'un objet dépend de la cohérence des objets qu'il contient et d'autres critères sémantiques liés au niveau.

4.2. COHÉRENCE EXTERNE OU GLOBALE

Le second type de cohérence est appelée « externe ou globale ». Cette notion, contrairement à la notion de cohérence interne, tient compte du voisinage de l'objet traité. Si un objet comporte tous

ses attributs et répond à la sémantique du niveau considéré, il est défini comme cohérent interne; si de plus, tous les objets qui lui sont mitoyens sont également cohérents internes, cet objet devient plus fiable pour la construction du niveau hiérarchique supérieur (la parcelle pour l'îlot, par exemple). Il est alors déclaré « cohérent externe ».

Dans le cas de parcelles, la cohérence externe a pour objectif la construction progressive de la cohérence interne d'un îlot. Sur un niveau donné, cette gestion peut s'apparenter à la construction d'un puzzle dont les pièces maîtresses sont celles cohérentes externes : aspect social du dialogue à partir de germes de croissance. Il existe trois types d'objets pour lesquels la cohérence externe est recherchée : les parcelles, les îlots et les routes.

Notre dispositif fait transiter les informations vers le niveau 3 sans tenter de résoudre les incohérences sur chacun des niveaux 1 et 2. Dès lors, on dispose d'une première interprétation pour laquelle les éléments les plus fiables sont ceux dont la cohérence est externe. Dans cette représentation, la cohérence externe des objets d'un niveau est, entre autre, le critère de détermination de la cohérence interne de l'objet du niveau supérieur.

4.3. PRINCIPE DE GESTION DE LA COHÉRENCE DES OBJETS

Nous avons présenté, au paragraphe précédent, les définitions des différents types de cohérences. Ces cohérences externes et internes suivent un principe de gestion appliqué à chaque niveau, lors de la construction des objets et de l'analyse de leur cohérence. Cette gestion est réalisée en deux temps pour chacun des niveaux, l'un concernant la cohérence interne, l'autre la cohérence externe. Dans un premier temps, chaque objet définit, de façon interne, un indice caractérisant sa cohérence sémantique, en relation avec le niveau hiérarchique auquel il appartient. Cet indice est caractérisé à l'issue de la construction de l'objet, lors de l'analyse de sa cohérence. Afin d'illustrer cette notion, une parcelle est déclarée cohérente interne si :

- son contour est formé par un ensemble continu de vecteurs,
- elle dispose d'un numéro ou est rattachée par une flèche à une autre parcelle,
- elle est de taille suffisante.

Ce transport « interne » de la cohérence est fondamental car il permet une auto-organisation des données suivant ce critère [Erceau 91]. Il permet d'éviter la création de superviseurs complexes chargés de la cohérence à tous les niveaux du dispositif et allège considérablement la gestion globale des données. L'information sur la cohérence peut alors s'apparenter de façon schématique à un tableau, dans lequel les éléments à 1 sont les éléments cohérents internes et les éléments à 0 sont incohérents (figure 9).

Dans un deuxième temps, l'évaluation de la cohérence externe consiste à scruter ce tableau et à rechercher les objets cohérents externes par simple analyse de mitoyenneté : objets entourés que

par des objets cohérents internes. Afin d'illustrer ce principe, nous présentons sur les figures 9.1 et 9.2, l'analyse de la cohérence de la parcelle 135. Dans le cas de la figure 9.1, toutes les parcelles sont cohérentes internes (au sens du critère énoncé précédemment). Dès lors, la parcelle 135 devient cohérente externe (indice 2). La cohérence externe des autres parcelles dépend de leur environnement, au même titre que la parcelle 135.

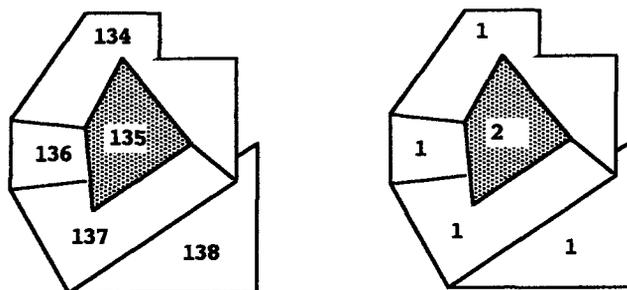


Figure 9.1. - Cohérence externe.

Dans le cas de la figure 9.2, la parcelle cadastrale située entre la parcelle 135 et 137 ne dispose pas de numéro et n'est pas rattachée à une parcelle voisine par une flèche. Elle est donc incohérente (indice 0) au sens du critère précédent. Dès lors, la parcelle 135 ne peut donc pas être cohérente externe. Cette information est alors véhiculée dans l'objet correspondant, sans tenter de résoudre l'incohérence lors de cette première analyse.

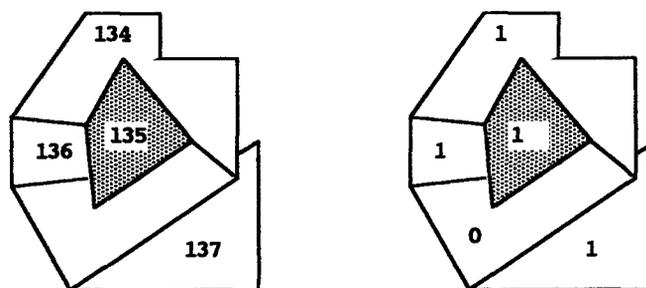


Figure 9.2. - Incohérence externe.

Les éléments alors reconnus cohérents externes sur leur niveau correspondent à des objets fiables, sur lesquels les modifications ne seront autorisées que par le niveau hiérarchique supérieur (les parcelles reconnues cohérentes externes, par exemple, ne pourront être modifiées que par la gestion de la cohérence de l'îlot sur lequel elles se trouvent).

Par contre, les objets incohérents peuvent subir des modifications lors de la gestion des incohérences de leur niveau.

4.3.1. Incohérences et « Solutions remèdes »

Une incohérence est donc décrite comme une mauvaise description d'un objet du cadastre. Cette description venant principalement des opérateurs bas niveau (et de façon plus marginale des règles de construction des objets), il convient soit de redéclencher

ces opérateurs en faisant varier les paramètres des différents outils [Ogier 93b], soit d'utiliser d'autres extracteurs plus adaptés à la donnée traitée, si on veut résoudre les incohérences à l'issue de la phase de gestion de la cohérence. Nous utilisons ainsi la complémentarité des algorithmes de traitement d'image bas niveau. Dans le cas où les redéclenchements ne permettent pas de résoudre l'incohérence, il est nécessaire de « rendre » la main à l'opérateur qui prend la décision finale, ceci afin de d'éviter des cycles abusifs non convergents. Dans ce cas, aucun traitement n'a pu résoudre le problème d'incohérence : soit la donnée est trop perturbée (figure 10), soit les extracteurs ne sont pas adaptés.



Figure 10. – Données trop perturbées pour l'interprétation automatique.

Afin de simplifier la gestion de la cohérence sémantique de chacun des niveaux, certains types d'incohérences ont été spécifiés, ceci afin de proposer des *solutions remèdes*. Une expertise de l'utilisateur doit permettre, grâce à son expérience du dispositif d'interprétation, de déceler la source de l'incohérence. Dès lors, le ou les processus de résolution possibles sont identifiés (de la même façon qu'un vaccin peut être élaboré dès lors que le virus a été parfaitement identifié). Une correspondance entre un type d'incohérence et un ensemble de processus remèdes susceptibles de le résoudre est mise en place, à travers une table de « type d'incohérence » reliée à une table de « processus remède ». Cette table est initialisée suivant l'expérience du système (tests supervisés), et l'expertise de l'utilisateur. Dans le cas où un remède n'existe pas encore, le dispositif doit signifier à l'utilisateur son incapacité à résoudre l'incohérence, et lui demander s'il souhaite proposer une nouvelle solution remède. Cependant, toutes les garanties doivent être prises afin de proposer une solution remède en fonction des « symptômes analysés ». La difficulté du spécialiste est de discerner les symptômes multiples, pouvant correspondre à deux solutions remèdes. La notion de remède prioritaire est utilisée, sachant que toute solution envisagée ne sera validée que si l'incohérence est réellement gérée, c'est dire que l'objet incohérent devient cohérent. La notion de remède « prioritaire » est à relier avec l'efficacité du remède.

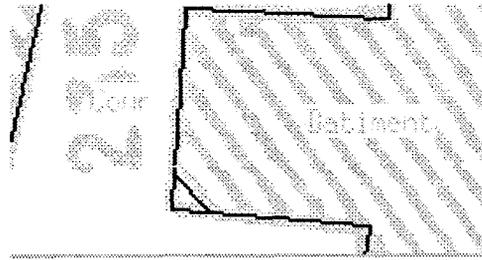


Figure 11. – Détection d'une incohérence.

A titre d'illustration (figure 11 et 12), un petit objet, de type parcelle, est détecté au centre de cette image à l'issue de l'approche montante. Cet objet trop petit provient d'un « oubli » de l'extracteur de hachures, le segment oublié étant trop petit pour valider la hachure hypothétique détectée. Au niveau de la gestion de la cohérence, cette parcelle incohérente (ne dispose pas de numéro, et est trop petite) est mitoyenne à deux parcelles cohérentes internes. Dès lors, une image incluant ces trois parcelles est créée à partir de l'image initiale. Le symptôme détecté étant « parcelle sans numéro et trop petite », la première solution remède consiste à de nouveau extraire les hachures sur cette image (et non sur l'ensemble de l'îlot), en relâchant les contraintes de l'extracteur. A l'issue de ce nouveau traitement de bas niveau, cette parcelle incohérente disparaît. Dès lors, l'incohérence est levée à condition que les deux autres parcelles ainsi traitées soient toujours cohérentes (même si les contours sont modifiés). Par contre, si cette solution remède ne permet pas de supprimer cette petite parcelle, ou si les deux parcelles cohérentes deviennent incohérentes ou confondues, la solution remède est alors rejetée.

Sur cette figure 12, le redéclenchement automatique de l'extracteur de hachures avec modification des paramètres permet de résoudre l'incohérence.

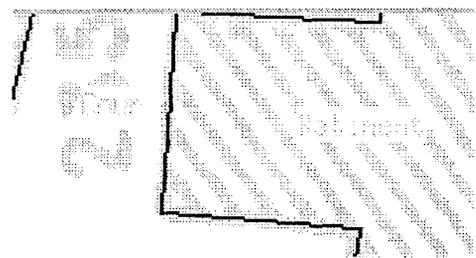


Figure 12. – Gestion de l'incohérence.

4.3.2. Cycle de gestion des incohérences

Lors de l'analyse d'une incohérence, la règle de base consiste à identifier l'ensemble des processus remèdes et les règles d'évolution des paramètres associés. Le processus remède prioritaire (le plus efficace pour ce type d'incohérence au sens de l'« expérience » du système) est alors placé en tête de liste pour tenter de lever l'incohérence résiduelle.

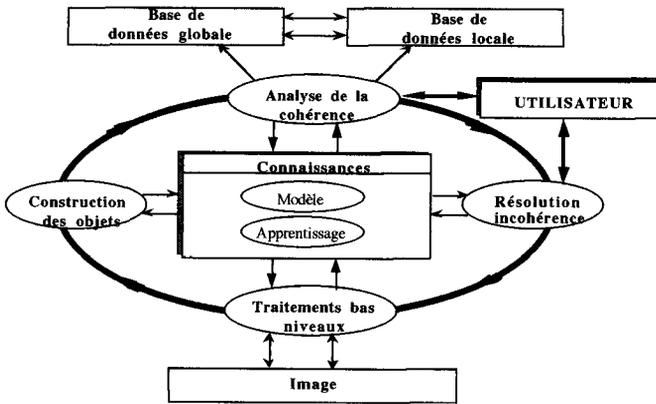


Figure 13. – Cycle de gestion de cohérence.

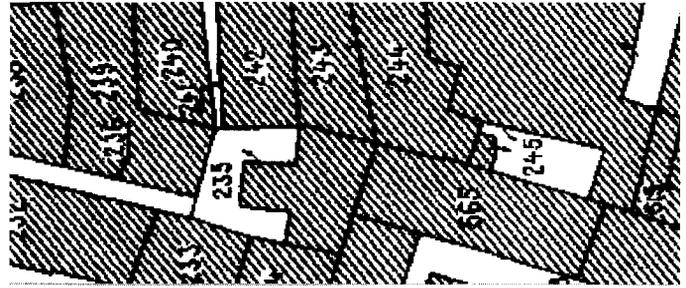


Figure 14. – Image source.



Figure 15. – Résultats de l'interprétation.

Si l'incohérence n'est pas levée par l'ensemble de ces remèdes, le dispositif mémorise l'absence de solution et une intervention ultérieure de l'utilisateur est nécessaire lors de sessions dédiées à la correction en fin de session d'interprétation. Par contre, si elle est correctement gérée, le couple (type d'incohérence, solution remède (paramètres)) est mémorisé. Ce processus de mémorisation, analogue à un apprentissage, offre alors de nouvelles connaissances au système, et peut modifier l'ordonnancement des solutions remèdes dans la table de correspondance (type d'incohérence-solution remède). La solution remède prioritaire peut donc être remplacée à tout moment par une autre.

L'incohérence gérée, la base de données globale se réactualise. L'ensemble de ce dispositif est schématisé sur le cycle de gestion de la cohérence (figure 13). Ce schéma trouve certaines correspondances avec le modèle du mécanisme de raisonnement proposé par certains neurophysiologistes, repris par des cognitivistes. Selon notre schéma, le mécanisme d'apprentissage peut être apparenté à la mémoire procédurale, et la base de données locale à la mémoire à « court terme ». Au fur et à mesure de l'interprétation des données, la base de données est alimentée par un ensemble d'entités cohérentes. Nous présentons sur la figure 14 un exemple de portion de carte nécessitant une intervention utilisateur lors de la phase dédiée au traitement manuel des incohérences résiduelles, afin de résoudre l'incohérence liée à la parcelle 241 trop complexe pour une interprétation automatique.

5. Conclusion

La stratégie d'interprétation de documents que nous proposons constitue un point de liaison réel entre les méthodes de reconnaissance de formes, et les principes de raisonnement en Intelligence Artificielle. L'originalité de ce travail repose donc à la fois sur la mise en place d'outils de bas niveau fiables traitant l'image pixelaire, et sur leur intégration dans un processus de raisonnement.

Ce travail est une contribution à l'interprétation du document. Il doit cependant être affiné, afin d'améliorer les capacités d'apprentissage du système en fonction du problème rencontré. La structure choisie permet d'enrichir le dispositif progressivement suivant deux axes :

- Le premier consiste à fournir de nouveaux outils bas niveau venant en complément de ceux déjà disponibles. Chaque traitement de bas niveau proposé, ne doit être considéré que comme une contribution, un point de vue de l'interprétation.
- Le second axe consiste à enrichir le système de nouvelles solutions pour la gestion des incohérences. Des liaisons *Symptôme-Solution Remède* peuvent amener le système à apprendre les méthodes de résolutions de problèmes d'interprétation, suivant un critère d'autonomie.

Concernant la généralité, le dispositif peut répondre logiquement au problème d'interprétation de documents comportant une structuration similaire à celle des données cadastrales. Chacun des objets construits est inclus dans un objet de plus haut niveau constitué d'objets de même type. Il s'agit donc d'un « emboîtement » des données. La cohérence d'un objet dépend donc directement des objets de niveau inférieur qui le composent. Tout type de document comportant cette structuration peut utiliser la structure et la démarche proposée.

BIBLIOGRAPHIE

- [Antoine 91] D. Antoine, « Interprétation des plans cadastraux français à partir d'un modèle », *Thèse de Doctorat, Institut Polytechnique de Lorraine*, Février 1991.
- [Antoine 92] D. Antoine, Collin S., Tombre K., « Analysis of technical documents : The REDRAW system », *Structured Document Analysis*, Baird H.S., Bunke H., Yamamoto K. editors, Springer-Verlag, 1992, pp. 385-402.
- [Besançon 88] J. Besançon, « Vision par ordinateur en deux et trois dimensions », *Edition Eyrolles*, 1988.
- [Boatto 92] L. Boatto & al., « An interpretation System for Land Register Maps », *IEEE Computer Magazine*, volume 25, n°7, Juillet 1992, pp. 25-33.
- [Caston 93] J. Caston, « Psychophysologie », *Collection Elipse*, Volume 1, Editions Masson, 1993.
- [Coster 90] M. Coster, J.L. Chermant, « Précis d'analyse d'image », *Presses du CNRS*, 1989.
- [Culhane 92] S.M. Culhane, J.K. Tsotsos, « A prototype for Data-Driven Visual Attention », *Proceedings of the 11th International Conference on Pattern Recognition*, Den Haag (Netherlands), volume 1, 1992, pp. 36-40.
- [Deseilligny 94] M.P. Deseilligny, « Lecture automatique de cartes », *Thèse de doctorat de l'Université de Paris V*, Octobre 1994.
- [Erceau 91] J. Erceau, J. Feber, « L'intelligence artificielle distribuée », *La recherche*, volume 22, n°233, Juin 1991, pages 750-758.
- [Hartog 95] den Hartog, « A framework for Knowledge-based map interpretation », *PhD thesis, T.U. Delft, Septembre 1995*
- [Huttenlocher 93] D.P. Huttenlocher, G. Klanderman, J. Rucklidge, « Comparing images using the Hausdorff Distance », *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)*, volume 15, n°9, Septembre 1993, pp. 850-863.
- [Janssen 95] R.D.T. Janssen, « The applications of model-based image processing to interpretation of maps », *PhD thesis, T.U. Delft, Septembre 1995*.
- [Jeansoulin 89] R. Jeansoulin, « Système d'Information Géographique orienté objet : GOODIES », *Actes du 7ème Congrès Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle (RFIA)*, Paris, Tome 1, 1989, pages 115-124.
- [Joseph 92] S.H. Joseph, P. Pridmore, « Knowledge-Directed Interpretation of Mechanical Engineering Drawings », *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, volume 14, n°9, Septembre 1992, pp. 928-940.
- [Kasturi 88] R. Kasturi, J. Alemany, « Information Extraction from Images of Paper-Based Maps », *IEEE Transactions on Software Engineering*, volume 14, n°5, 1988, pp. 671-675.
- [Kasturi 92] R. Kasturi, R. Raman, C. Chennubhotla, L. O'Gorman, « An Overview of Techniques for Graphics recognition », *Structured Document Analysis*, Baird H.S., Bunke H., Yamamoto K. editors, Springer-Verlag, 1992, pp. 285-324.
- [Lefrère 93] L. Lefrère, « Contribution au développement d'outils pour l'analyse automatique de documents cartographiques », *Thèse de Doctorat de l'Université de Rouen*, Octobre 1993.
- [Neissev 89] U. Neissev, « Direct perception and recognition as distinct perceptual Systems », *cognitive Science Society Adresse*, 1989.
- [Ogier 93a] J.M. Ogier, R. Mullot, J. Labiche, Y. Lecourtier, « Attribute Extraction for French Map Interpretation », *Proceedings of 2nd International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR'93)*, Tsukuba Science City (Japan), Octobre 1993, pp. 672-675.
- [Ogier 93b] J.M. Ogier & al., « Human visual perception principles may be used to build intelligent pattern recognition softwares : application to French map Interpretation », *Proceedings of 2nd IEEE International Workshop on Robot and Human Communication (ROMAN'93)*, Tokyo (Japan), 1993, pp. 130-135.
- [Ogier 94] J.M. Ogier, « Contribution à l'analyse automatique de documents cartographiques : Interprétation de données cadastrales », *Thèse de Doctorat de l'Université de Rouen*, Janvier 1994.
- [Otto 92] I. Otto, P. Grandguillaume, L. Boutkhil, Y. Burnod, « Direct and indirect cooperation between temporal and parietal networks for invariant visual cooperation », *Journal of Cognitive Neuroscience*, volume 4, n°1, 1992, pp. 35-57.
- [Pasternak 93] B. Pasternak, B. Neumann, « Adaptable drawing interpretation using object oriented and constraint based graphic specification », *Proceedings of 2nd International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR'93)*, Tsukuba Science City (Japan), Octobre 1993, pages 359-364.
- [Pornon 90] H. Pornon, « SIG : Des concepts aux réalisations », *Collection Source Technique de l'Urbanisme*, Edition Hermès, 1990.
- [Sato 92] Y. Sato, M. Toyoda, « Active Vision with two differentiated Visual Fields », *Proceedings of 11th International Conference of Pattern Recognition*, Den Haag (Netherlands), volume 1, 1992, pages 31-35.
- [Spannar 94] G. Spannar, L. Eliasson, S. Svenson, « Toward a Russian cadastral and land information system: Results from the chudovo project », *GIS Europe Magazine*, Volume 3, n°6, Juillet 1994 pages 42-44.
- [Vallée 93] T. Vallée, R. Mullot, Y. Lecourtier, « Curve polygonalisation and primitives extraction for on-line handwriting recognition », *Proceedings of international Conference on Handwriting and Drawing (IGS)*, Paris, Juillet 1993, pages 64-66.
- [Vaxivière 92] P. Vaxivière, K. Tombre, « CELESTIN : CAD conversion of Mechanical Drawings », *IEEE Computer Magazine*, volume 25, n°7, Juillet 1992, pp. 46-54.
- [Viard 92] C. Viard-Gaudin, D. Barba, « Extraction robuste et structuration des informations par une approche multirésolution pour la localisation bloc adresse sur les objets postaux plats », *Bigre*, n°80, Juillet 1992, pages 48-56.
- [Volet 87] P. Volet, « Analyse et synthèse d'images de textures structurées », *Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique de Lausanne*, 1987.

Manuscrit reçu le 3 Janvier 1996.

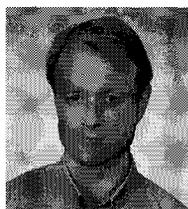
LES AUTEURS

Jean-Marc OGIER



Jean-Marc Ogier est né en 1967. Sa thèse de doctorat de l'Université de Rouen, soutenue en 1994, portait sur la conception d'une chaîne complète d'interprétation d'image appliquée au cadastre français. Il est actuellement Maître de conférences à l'Université de Rennes où il enseigne à l'IUT de Lannion, et développe ses recherches au LASTI, laboratoire de l'ENSSAT. Ses activités portent essentiellement sur la classification et l'interprétation d'images.

Rémy MULLOT



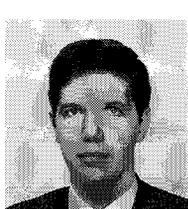
Rémy Mullot est né le 6 mai 1963. Sa formation en Informatique Industrielle et Automatique lui permettra de soutenir sa thèse de doctorat de l'Université de Rouen en Janvier 1991 au sein du laboratoire La3I-LACIS, dans le domaine de la reconnaissance de caractères. Depuis Octobre 1991, il est maître de conférences à l'Université de Rouen. Ses thèmes de recherche sont axés vers l'interprétation de documents techniques suivant des concepts « vision active ».

Jacques LABICHE



Jacques Labiche est né le 19 Janvier 1945. Après un doctorat de troisième cycle de Physique du solide, soutenu à l'Université de Rouen en 1975, une thèse d'état de Physique soutenu à Bordeaux en 1984, il devient en 1986 maître de Conférences à l'IUT de Rouen. Parallèlement, il réoriente son domaine de recherche vers la reconnaissance de caractères et de documents au sein du La3I-LACIS. Depuis 1994, Professeur à l'Université de Caen, il co-dirige un laboratoire d'automatique (LACP) où il développe une stratégie « vision active » pour la saisie de documents.

Yves LECOURTIER



Yves Lecourtier a soutenu un doctorat de 3ème cycle en traitement du signal en 1978 puis un doctorat d'état en automatique théorique en 1985 à l'Université Paris-Sud. Son domaine de recherche portait alors principalement sur l'étude des propriétés structurelles des modèles dynamiques décrits par équations d'état. Professeur à l'Université de Rouen depuis 1987, il a réorienté ses activités vers la reconnaissance de formes et les réseaux neuro-mimétiques avec applications principales à l'analyse de documents et la reconnaissance de l'écrit. Il préside actuellement le GRCE, groupe de recherche en communication écrite, qui rassemble les chercheurs français du domaine.