



HAL
open science

Méthodes pour réaliser un historique de l'évolution du bâti : utilisation de cartes anciennes, du cadastre et de photographies aériennes

François-Xavier Robin, Pascale Gondeaux, Pierre Vigné, Vincent Demeules

► To cite this version:

François-Xavier Robin, Pascale Gondeaux, Pierre Vigné, Vincent Demeules. Méthodes pour réaliser un historique de l'évolution du bâti : utilisation de cartes anciennes, du cadastre et de photographies aériennes. [Rapport de recherche] Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU). 2007, 88 p., photos, tableaux, figures en couleur, graphiques. hal-02162440

HAL Id: hal-02162440

<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02162440v1>

Submitted on 21 Jun 2019

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.

Méthodes pour réaliser un historique de l'évolution du bâti

*Utilisation de cartes anciennes,
du cadastre et de photographies aériennes*

Certu

centre d'Études sur les réseaux,
les transports, l'urbanisme
et les constructions publiques
9, rue Juliette Récamier
69456 Lyon Cedex 06
téléphone: 04 72 74 58 00
télécopie: 04 72 74 59 00
www.certu.fr

Les collections du Certu

Collection Rapports d'étude : Cette collection se compose de publications proposant des informations inédites, analysant et explorant de nouveaux champs d'investigation. Cependant l'évolution des idées est susceptible de remettre en cause le contenu de ces rapports.

Collection Débats : Publications recueillant des contributions d'experts d'origines diverses, autour d'un thème spécifique. Les contributions présentées n'engagent que leurs auteurs.

Collection Dossiers : Ouvrages faisant le point sur un sujet précis assez limité, correspondant soit à une technique nouvelle, soit à un problème nouveau non traité dans la littérature courante. Le sujet de l'ouvrage s'adresse plutôt aux professionnels confirmés. Ils pourront y trouver des repères qui les aideront dans leur démarche. Mais le contenu présenté ne doit pas être considéré comme une recommandation à appliquer sans discernement, et des solutions différentes pourront être adoptées selon les circonstances.

Collection Références : Cette collection comporte les guides techniques, les ouvrages méthodologiques et les autres ouvrages qui, sur un champ donné, présentent de manière pédagogique ce que le professionnel doit savoir. Le Certu a suivi une démarche de validation du contenu et atteste que celui-ci reflète l'état de l'art. Il recommande au professionnel de ne pas s'écarter des solutions préconisées dans le document sans avoir pris l'avis d'experts reconnus.

Catalogue des publications disponible sur <http://www.certu.fr>

NOTICE ANALYTIQUE

N° procert : 13080-24

Organisme commanditaire : Certu		
Titre : Méthodes pour réaliser un historique de l'évolution du bâti		
Sous-titre : Utilisation de cartes anciennes, du cadastre et de photographies aériennes	Date d'achèvement : septembre 2007	Langue : français
Organisme auteur : Cete Normandie-Centre	Rédacteur: François-Xavier Robin, Pascale Gondeaux, DIACT Pierre Vigné et Vincent Demeules, DIOA	Relecteurs assurance-qualité: Magali Di Salvo Certu François Salgé DGUHC
<p>Résumé</p> <p>L'objectif de cette étude est de présenter deux familles de méthodes permettant de réaliser un « historique du bâti », c'est-à-dire de créer des couches d'occupation des sols multodate sous SIG.</p> <p>La première famille de méthodes consiste à exploiter de deux manières (une extraction automatique et une photointerprétation à l'écran) des clichés anciens préalablement intégrés dans un SIG (orthorectifiés). La seconde famille de méthodes consiste à exploiter par interprétation à l'écran deux sources différentes : des cartes IGN anciennes au 1:25 000 ou 1:50 000 et des planches cadastrales.</p> <p>Les modes d'intégration, de création de la couche d'occupation des sols et d'exploitation sont indiqués pour chaque méthode. Les limites, coûts et reproductibilité sont également présentés. Un tableau de synthèse montre les avantages et inconvénients de chaque méthode.</p>		
Mots-clés : observation ; urbanisation ; historique ; bâti ; SIG ; photointerprétation ; cartes anciennes ; orthorectification ; géomatique urbaine		Diffusion : pdf web
Nombre de pages : 88	Confidentialité : non	Bibliographie : non

Sommaire

1. Présentation.....	7
1.1 Objectifs de l'étude.....	7
1.2 Choix de l'aire d'étude.....	8
1.3 Les méthodes étudiées.....	10
2. Préalable commun : choix de la nomenclature.....	11
3. Famille A : utilisation de clichés anciens.....	13
3.1 Sélection des clichés et intégration dans un SIG.....	13
3.2 Méthode A1 : extraction automatique.....	17
3.3 Méthode A2 : photointerprétation.....	26
3.4 Synthèse des deux méthodes.....	37
4. Famille B : utilisation de cartes et plans anciens.....	38
4.1 Méthode B1 : utilisation de cartes anciennes.....	38
4.2 Méthode B2 : utilisation du cadastre.....	47
4.3 Synthèse des deux méthodes.....	53
5. Comparaison des méthodes et des résultats obtenus.....	54
6. ANNEXES.....	58
6.1 Annexe 1 : Présentation des principales nomenclatures d'occupation des sols.....	58
6.2 Annexe 2 : Intégration des clichés dans un SIG.....	66
6.3 Annexe 3 : Méthode détaillée d'extraction automatique du bâti.....	75
6.4 Annexe 4 : Règles de photo-interprétation.....	82
TABLE DES MATIERES	85

1. Présentation

1.1 Objectifs de l'étude

La loi SRU a donné une nouvelle ambition aux politiques d'aménagement du territoire pour une gestion équilibrée des espaces urbanisés, naturels et ruraux. Les phénomènes d'urbanisation sont aujourd'hui mal connus dans leur localisation et leur rythme temporel.

La mise en évidence des évolutions du bâti est une demande parmi les plus fortes exprimée par les chargés d'études. Elles permettent d'acquérir des connaissances, mises en forme d'observatoires et également d'établir les préconisations pour les documents d'urbanisme à élaborer.

Dans cette optique un problème se pose aux services qui veulent créer des observatoires d'évolution de l'occupation du sol. Comment remonter dans le passé de manière à disposer d'informations sur l'occupation du sol ?

Partant de ce constat et fort de son expérience, le CETE Normandie Centre a proposé au CERTU de réaliser une étude méthodologique qui donnerait les clés aux services pour opérer des analyses diachroniques.

L'agglomération rouennaise semble tout à fait adaptée comme zone test. En effet, le CETE dispose déjà sous forme de scans des clichés des missions IGN de 1947, 1963, 1978, 1989, 1994, 1999 ainsi que de la BDOrtho 2003. Le CETE a réalisé cette étude sur une zone de l'agglomération rouennaise située dans un secteur inondable (mis en évidence dans les PPRI).

Sur le secteur de l'agglomération rouennaise, l'étude propose :

- de tester des données anciennes (disponibilité, qualité, coût...) ;
- de mettre en oeuvre, de comparer et de donner les limites de quatre méthodes de délimitation de l'urbanisation :
 - télédétection,
 - photo interprétation,
 - levé à partir de cartes IGN,
 - levé à partir de feuilles cadastrales.

À chaque fin de chapitre, le lecteur trouvera des recommandations qui l'aideront dans son choix méthodologique.

1.2 Choix de l'aire d'étude

Le choix de l'aire d'étude s'est naturellement porté sur l'agglomération de Rouen pour laquelle le CETE dispose de données à différentes dates ou peut aisément les mobiliser grâce à des partenariats locaux. Le choix précis de l'aire d'étude répond à plusieurs critères :

- les différents types de données doivent être disponibles sur la totalité de l'aire d'étude (critère qui s'est avéré finalement peu contraignant en particulier pour les cartes anciennes et les photographies aériennes car les agglomérations de la taille de celle de Rouen sont plutôt bien couvertes) ;
- l'aire d'étude doit présenter un panel varié de types d'occupation du sol. Ainsi l'urbanisation doit être composée à la fois d'urbain dense, de péri-urbanisation, de bâti diffus ou encore de zones industrielles ou commerciales. En terme de surfaces non bâties, il semble intéressant que des espaces naturels (forêts, zones humides) ou des zones cultivées (champs, vergers) soient représentés car ce sont les milieux au détriment desquels se fait le plus souvent l'accroissement des surfaces artificialisées. De plus, on peut penser que le type d'occupation du sol aura un impact sur l'application des différentes méthodes – on sait déjà par expérience qu'il est déterminant pour la méthode d'extraction automatique du bâti – d'où l'importance d'inclure des milieux les plus variés possibles ;
- le relief est un élément à prendre en considération. La zone d'étude comprend une zone de plateau, un méandre de la Seine mais aussi des falaises abruptes ;
- l'aire d'étude doit inclure des zones différenciées en terme d'évolution de l'urbanisation : zones proches du centre avec une évolution faible ou nulle de la surface bâtie, communes « satellites » avec une urbanisation galopante ;
- la surface de l'aire d'étude doit rester limitée à une portion de l'agglomération pour des raisons de temps de traitement des données.

L'aire d'étude maximale retenue correspond à une bande de 17 km de large (Ouest-Est) sur 7 km (Nord-Sud) soit 119 km².

Pour des raisons inhérentes à l'application de chaque méthode (disponibilité des données, temps de traitement), cette surface a été réduite pour l'application de certaines méthodes.

La figure ci-après présente les différentes zones d'étude. Le cadre jaune correspond à la zone traitée par télédétection. La zone bleu est le secteur étudié avec les cartes anciennes et les clichés aériens anciens. Enfin la surface orange correspond à la commune analysée avec le cadastre. Au maximum, l'aire d'étude intéresse une dizaine de communes.

À titre d'information, le tableau reprend la population des différentes communes sur la période 1936-1999 qui s'apparente à la période sur laquelle l'évolution du bâti a été suivie dans cette étude (toutes méthodes confondues).

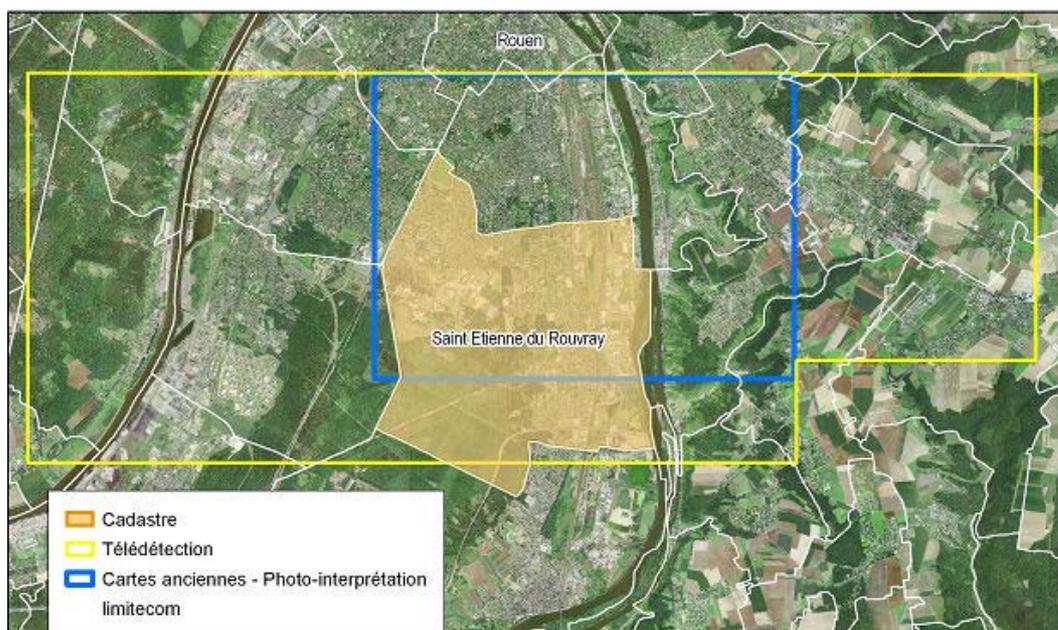
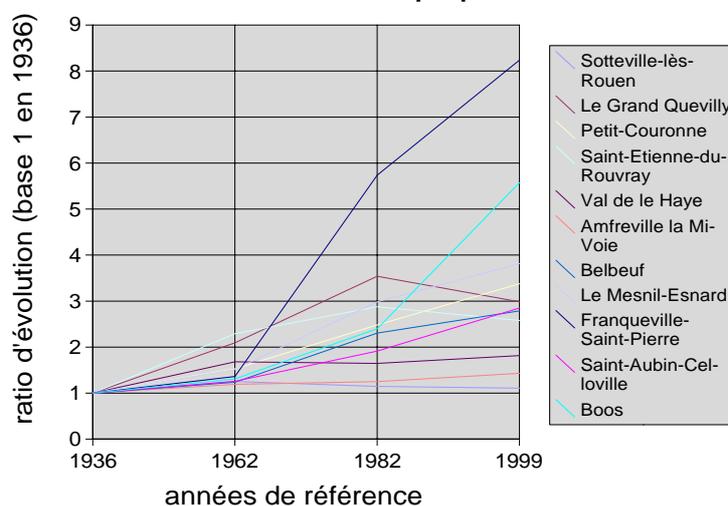


Illustration 1: Zone d'étude

Nom	Pop 1936	Pop 1962	Pop 1982	Pop 1999	Écart 36-62 / 62-99 / 36-99
Sotheville-lès-Rouen	26657	33443	30558	29553	+29 % / -12 % / +11 %
Le Grand Quevilly	8942	18727	31650	26679	+109 % / +42 % / +198 %
Petit-Couronne	2553	3901	6340	8621	+53 % / +121 % / +238 %
Saint-Etienne-du-Rouvray	11275	25833	32444	29092	+129 % / +13 % / +158 %
Val de le Haye	434	729	715	789	+68 % / +8 % / +82 %
Amfreville la Mi-Voie	2006	2389	2509	2869	+19 % / +20 % / +43 %
Belbeuf	729	901	1681	2032	+24 % / +126 % / +179 %
Le Mesnil-Esnard	1701	2577	5076	6486	+51% / +152% / +281%
Franqueville-Saint-Pierre	619	842	3551	5099	+36 % / +506% / +724%
Saint-Aubin-Celloville	356	447	681	1015	+26% / +127% / +185%
Boos	515	674	1236	2870	+31% / +326% / +457%

évolution de la population



1.3 Les méthodes étudiées

Deux grandes familles de méthodes seront étudiées dans ce rapport : les méthodes basées sur l'utilisation de clichés anciens et les méthodes basées sur l'utilisation de cartes et plans anciens.

Si pour la première famille il s'agit bien de deux méthodes de traitement différentes, pour la seconde famille il s'agit d'exploiter deux sources différentes : cartes IGN et cadastre.

Les chapitres suivants vont présenter par type de données et par type de traitements quelles sont les étapes à suivre pour intégrer des données anciennes dans un Système d'Information Géographique (SIG), les traiter, les analyser de manière à obtenir une couche plus ou moins détaillée de l'urbanisation

2. Préalable commun : choix de la nomenclature

Une nomenclature est un ensemble de règles régissant l'appellation et la classification, ici, de l'occupation du sol. La thématique retenue va conditionner le choix d'une nomenclature¹. Avant toute chose, il est donc capital de s'assurer que la nomenclature envisagée répondra bien à la problématique. Il faut noter également que selon la méthode choisie, toutes les nomenclatures ne seront pas possibles.

2.1.1 Quelques nomenclatures

On trouvera en **Annexe 1** une présentation détaillée des principales nomenclatures utilisées en France, avec un renvoi pour plus d'informations sur les sites internet dédiés. Quatre nomenclatures sont présentées : celle de **SPOT Théma**, de **Corine Land Cover**, du **MOS** de l'Île-de-France et de **l'IPLI** :

- **SPOT Théma** est une base de données d'occupation des sols à l'échelle des agglomérations, disponible sur la France métropolitaine. SPOT Théma possède une nomenclature emboîtée sur deux niveaux
- la base de données géographiques **Corine Land Cover** est produite dans le cadre du programme européen Corine, de coordination de l'information sur l'environnement. Elle dispose d'une nomenclature hiérarchisée en trois niveaux. La nomenclature dans le domaine urbain est relativement pauvre, surtout dans la distinction des différents tissus urbains à vocation d'habitat qui ne se fait que par deux postes. Un quatrième niveau semble indispensable ;
- depuis 1982, le **Mode d'Occupation du Sol (MOS)** assure un suivi régulier de l'occupation du sol de l'Île-de-France. Actualisé régulièrement depuis sa première édition de 1982, le MOS permet de suivre et d'analyser en détail l'évolution de l'occupation du sol sur tout le territoire régional. La nomenclature du MOS contient cinq niveaux ;
- la mise en oeuvre d'un **Inventaire Permanent du Littoral (IPLI)** a été décidée en 1977 dans le cadre d'un Comité interministériel d'aménagement du territoire. La mission confiée à l'IPLI était de constituer et de gérer une banque de données graphiques et statistiques, actualisable tous les cinq ans, et visant à produire des données d'observation de l'état et de l'évolution du littoral, sur une bande de 5 km de part et d'autre du trait de côte. La nomenclature de l'IPLI est une nomenclature emboîtée à deux niveaux.

2.1.2 La nomenclature retenue

La nomenclature retenue pour cette étude est la nomenclature Corine Land Cover. Par défaut, ce n'est pourtant pas celle qui est la plus appropriée pour analyser les évolutions de l'urbanisation. Le choix s'est porté sur Corine Land Cover pour quatre raisons:

- dans le cadre de cette étude méthodologique dont le sujet n'est pas d'étudier les nomenclatures, il paraît pertinent de retenir une nomenclature connue des acteurs de la géomatique. L'intérêt est qu'il n'est pas nécessaire de détailler son contenu ;
- d'une façon plus opérationnelle, avec l'adoption de la Directive Inspire et sa transposition dans les deux prochaines années dans le droit français, Corine Land Cover sera très probablement la nomenclature de référence à l'échelon des pays de l'Union Européenne ;

1 Voir aussi : CETE DE LYON, *Les bases de données géographiques d'occupation du sol : volet tache urbaine – Descriptif et comparatif de 6 bases de données*, Certu, Lyon, septembre 2005

- techniquement, cette nomenclature ne dispose pas de postes ambigus et ne s'intéresse qu'à l'occupation du sol et non à son usage ;
- enfin cette classification emboîtée offre la possibilité de créer de nouveaux niveaux plus riches, plus détaillés.

2.1.3 Recommandations

Un service ayant à analyser des données anciennes dans un Système d'Information Géographique veillera plus particulièrement aux points suivants:

- disposer d'une nomenclature adaptée à la problématique posée ;
- utiliser une nomenclature ouverte, si possible emboîtée, qui pourra être enrichie ;
- le cas échéant si une nomenclature est déjà adoptée par d'autres services sur le même territoire (un département, le littoral...), il est fortement recommandé, pour des raisons d'homogénéité, d'utiliser la nomenclature mise en place ;
- disposer d'une nomenclature permettant des passerelles avec d'autres classifications ;
- utiliser une nomenclature connue du plus grand nombre d'acteurs du territoire ;
- **il est recommandé d'éviter de créer sa propre nomenclature.**

3. Famille A : utilisation de clichés anciens

L'usage des photographies aériennes s'est développé à partir des années 40 et généralisé depuis. Elles ont été grandement utilisées après guerre dans le cadre de la reconstruction.

Ce type de support étant largement diffusé, à un prix abordable, et avec une fréquence de mise à jour compatible avec le suivi de l'urbanisation, il nous a semblé intéressant de les utiliser pour réaliser un historique du bâti sur l'agglomération de Rouen.

Deux types de méthodes sont envisageables pour mener à bien ce travail à partir de photos aériennes : une méthode automatique basée sur la télédétection, une méthode manuelle classique basée sur la photointerprétation.

Afin de mettre en œuvre ces deux méthodes de caractérisation de l'occupation du sol, il est nécessaire d'inclure les photos aériennes dans un outil SIG. Pour les photos disponibles au format papier, cette opération est assez lourde dans la mesure où elle implique une numérisation, un géoréférencement et un assemblage (mosaïque) des clichés.

Ces différentes étapes préalables au travail de délimitation du bâti ainsi que le détail d'application des deux méthodes – manuelle et automatique – font l'objet de ce chapitre et sont détaillés en **Annexe 2**.

3.1 Sélection des clichés et intégration dans un SIG

3.1.1 Sélection des clichés anciens

Pour cette étude, plusieurs missions aériennes étaient disponibles, datées de 1947 à 1994, acquises par l'Agglomération de ROUEN auprès de l'IGN et couvrant, suivant les années tout ou partie de l'agglomération. Il s'agit là de photographies au format papier noir et blanc pour les photos antérieures à 1990 et de photographies couleur pour l'année 1994.

En plus, nous avons utilisé pour l'étude deux orthophotographies (donnée numérique cette fois) : la BDOrtho[®] de l'IGN dont dispose le CETE (prises de vues datant de 1999) ainsi qu'une orthophotographie mise à notre disposition par l'Agglomération de Rouen pour l'étude (prise de vue datant de 2004).

La première étape a été de sélectionner les clichés aériens, en fonction des limites de l'aire d'étude parmi l'ensemble des clichés mis à disposition par l'Agglomération de Rouen.

Année	Mission	Couleur	Échelle
1947	Mission 1947/250 1711-1911 P Le Havre/Rouen Ouest	non	1:27 000
	Mission 1947/250 2010-2111 P St Saens		1:26 000
	Mission 1947/250 2011-2111 P Rouen est/Gournay		1:26 000
1963	Mission 1963/250 1811-2011 P Pont Audemer/Rouen Est	non	1:25 000
1978	Mission 1978/300 1911-2111 P Rouen Ouest / Beauvais	non	1:30 000
1989	Mission 1989 F 1811-2111/300 P Pont Audemer/Rouen Est	non	1:30 000
1994	Mission 1994 FD 27-76 couleur	oui	1:30 000

Pour des raisons de temps de traitement, il n'était pas possible de traiter toutes les dates. L'année 1947 a été abandonnée car, à première vue, la qualité des clichés ne permettrait pas d'obtenir de bons résultats avec la méthode automatique ou, du moins, elle aurait dû faire l'objet d'un traitement particulier alors que la répétabilité de la méthode est un objectif visé.

L'année 1994 a elle aussi été écarté car jugée trop proche de l'année 1999 pour laquelle nous disposons d'une orthophotographie numérique (BDOrtho) directement intégrable sous SIG.

Finalement, d'une part l'aire d'étude et d'autre part les arbitrages ci-dessus, les photos aériennes sélectionnées sont² :

Clichés papier			
Date	Mission	Échelle	Nbre de clichés*
1963 (Mars)	Mission 1963/250 1811-2011 P Pont Audemer/Rouen Est	1:25 000	11
1978 (Oct)	Mission 1978/300 1911-2111 P Rouen Ouest / Beauvais	1:30 000	13
1989 (Juin)	Mission 1989 F 1811-2111/300 P Pont Audemer/Rouen Est	1:30 000	10
Orthophotographie numérique			
Date	Base de donnée	Résolution	
1999	BD Ortho IGN	1 pixel = 50 cm x 50 cm au sol	
2004 (Juil)	Orthophotographie Agglo de Rouen	1 pixel = 25 cm x 25 cm au sol	

3.1.2 Intégration des clichés dans un SIG

Les étapes sont décrites précisément en **Annexe 2**. L'intégration se décompose en quatre phases: **numérisation** des clichés, **géoréférencement** puis **mosaïquage** et enfin **enregistrement** dans le format approprié³.

La première phase de l'intégration des clichés aériens consiste à **numériser** les clichés papiers. Les contraintes pour cette étape sont liées aux nécessités du géoréférencement des clichés, ce qui a nécessité de scanner toutes les photos avec les paramètres de prise de vue à gauche et les points fiduciaux, et des traitements ultérieurs qui seront appliqués pour mettre en évidence l'urbanisation (détermination du pas de scannage optimum). L'objectif visé est d'obtenir un compromis entre une résolution autorisant des traitements de photointerprétation et la taille des fichiers permettant une manipulation aisée dans les logiciels. Il semble après tests que le choix d'une résolution du scannage de l'ordre de 300 ou 400 dpi soit suffisante et la taille des fichiers reste raisonnable pour une exploitation optimale.

Dans le cadre de cette étude, les caractéristiques suivantes ont été appliquées pour le scannage:

- orientation des clichés : paramètres de prise de vue de la photo à gauche ;
- fenêtre de scannage : inclus au moins les 4 (ou 8) points fiduciaux ;
- résolution du scannage : 400dpi.

Le scannage en tant que tel est plutôt rapide. On peut compter un temps de cinq minutes maximum pour la numérisation et l'enregistrement de l'image au format .tif.

La seconde phase de l'intégration concerne le **géoréférencement** des clichés numérisés obtenus suite à l'opération de scannage. Cela consiste à attribuer à chaque pixel de l'image un couple de coordonnées x,y dans le système de projection choisi. Deux solutions s'offraient à nous pour mettre en projection les clichés :

- soit une **orthorectification** : méthode *a priori* la plus précise mais qui demande, en plus d'une image (ou carte...ou autre) de référence déjà calée, des informations supplémentaires comme un modèle numérique de terrain et les paramètres de prise

2 Étant donnée l'importance des zones de recouvrement, seul 1 cliché sur 2 est retenu sur un même axe de vol.

3 Pour plus d'information : CERTU, *Orthophotographies- Définition et mise en œuvre appliquée à la BD ORTHO® de l'IGN* (Isbn : 2-11-090413-8), Certu, Lyon, novembre 2003

de vue. Le but de l'orthorectification est en fait d'appliquer un modèle « parfait » permettant de passer de la photo au terrain ;

- soit un **redressement** qui applique un modèle de transformation de la photo vers la donnée de référence et ne nécessite pas de données d'entrée.

Les résultats du redressement ayant donné des résultats non satisfaisants, à cause de la non prise en compte du relief assez prononcé sur la zone d'étude, nous avons donc décidé d'orthorectifier les clichés.

Dans le cadre de cette étude, les données ont été orthorectifiées à l'aide des données suivantes :

- un modèle numérique de terrain : la BDAlti(c) de l'IGN au pas de 50 m. *A priori*, les caractéristiques du terrain (MNT) changent peu, nous avons donc utilisé le même MNT pour toutes les dates ;
- les paramètres de prise de vue : pour les années 1978 et 1989. Nous avons obtenu de la part de l'IGN les caractéristiques des missions (hauteur de vol, marque de la caméra) ainsi que les certificats de calibrage de ces caméras.

L'orthorectification a été réalisée à partir du logiciel ER-MAPPER v6.4.

L'orthorectification nécessite de déterminer des points de correspondance entre la photo et le terrain (points de calage). La composante multodate du travail implique un calage précis d'une date par rapport à l'autre. Pour limiter les écarts, nous avons dans la mesure du possible conservé les mêmes points d'amers d'une date à l'autre.

Une fois les clichés orthorectifiés, leur calage a été contrôlé par transparence en superposant les dates. Cette méthode rapide de mise en œuvre permet de localiser très rapidement les écarts importants et de les corriger (par modification ou ajout de points d'amers).

L'orthorectification d'un cliché nécessite un temps de travail assez long et assez variable selon les clichés. L'opération la plus longue est la recherche des points de calage. On peut estimer le temps de travail moyen à 2 h par cliché pour une orthorectification avec environ 20 points de calage. Le temps de traitement varie peu d'un cliché à l'autre. Le travail de redressement, même s'il demande au départ moins de données à mettre en œuvre, s'avère presque plus long et pour un résultat nettement moins bon. On peut l'estimer à 2h30 avec une forte variabilité d'un cliché à l'autre.

La troisième phase de l'intégration consiste, à partir des clichés numérisés et géoréférencés, à créer une orthophotographie sur la zone d'étude par **mosaïquage** (regroupement de clichés et amélioration de l'ensemble). L'opération de mosaïquage consiste à éliminer les bordures de clichés, réduire et traiter les zones de recouvrement et homogénéiser les couleurs et leur dynamique sur l'ensemble de la zone d'étude.

Une fois le travail de mosaïquage des clichés achevé, il s'agit **d'enregistrer** la mosaïque sous forme d'un seul fichier. Les contraintes inhérentes à ce stade sont de limiter la taille du fichier et d'utiliser un format d'image intégrable avec ses paramètres de géoréférencement sur une plate-forme SIG.

Différents formats de fichiers ont été testés : tif, jpeg, ecw, jpeg 2000. La comparaison taille/qualité montre l'intérêt des formats ecw et jpeg 2000 qui utilisent tous les deux une méthode de compression dite « par ondelettes ».

Nous avons utilisé pour la suite des traitements le format ecw car le calage est conservé dans MapInfo, contrairement au format jpg2000.

Le temps de travail pour une mosaïque, peut être estimé de 2 à 3h. La mosaïque de 1963 pour laquelle certains clichés sont moins bien calés, a demandé 3h de travail et les deux autres un peu plus de 2h.

3.1.3 Recommandations

Sélection des clichés anciens

Pour le choix des missions aériennes, il est recommandé de :

- disposer d'une couverture aérienne du territoire à une date (éviter d'utiliser plusieurs dates, même si elles sont proches, pour couvrir une zone d'étude) ;
- faire un contrôle qualité des clichés avant de se lancer dans l'opération.

Numérisation des clichés

Choisir la résolution de la numérisation des clichés en fonction de la problématique recherchée et de l'étendue du territoire à traiter.

Techniquement:

- résolution moyenne recommandée: 400 dpi ;
- scanner l'ensemble du cliché ;
- orienter le cliché au Nord lors du scannage.

Géoréférencement des clichés numérisés

Pré requis indispensable:

- disposer d'un référentiel pour caler géométriquement les clichés ;
- avoir un logiciel d'orthorectification (ErMapper, Envi...).

Il est préférable de privilégier l'orthorectification au redressement pour obtenir une meilleure qualité. Les conditions nécessaires sont:

- de disposer d'un modèle numérique de terrain ;
- de connaître les paramètres de prise de vues.

En moyenne, il faut compter 20 points de calage par cliché pour obtenir une orthorectification satisfaisante.

Mosaïquage des clichés géoréférencés

Pour MapInfo, le format ecw est à privilégier.

Pour les autres logiciels SIG, il est recommandé d'utiliser le format jpeg 2000.

Temps de travail pour l'ensemble des opérations

2h05 par cliché + 2h00 pour 50 km² pour le mosaïquage.

3.2 Méthode A1 : extraction automatique

Ce chapitre présente une méthode de délimitation de l'urbanisation. Elle consiste à extraire la tache urbaine par télédétection en privilégiant au maximum les traitements automatiques et la répétabilité.

3.2.1 Méthode

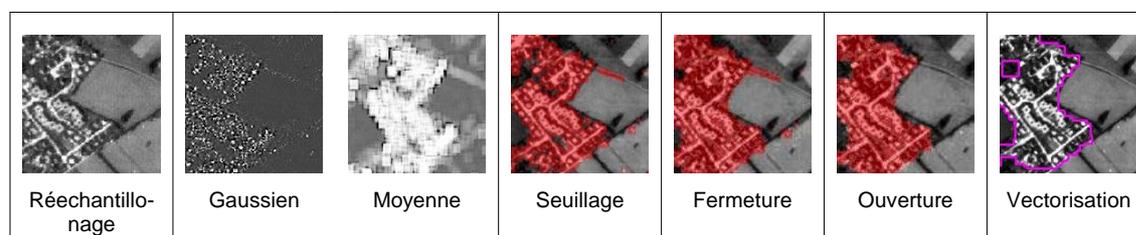
Le travail d'extraction automatique de l'occupation du sol se limite à la détection de la tache urbaine. La méthode, dans son état d'avancement actuel, et sans l'apport de données exogènes ne permet pas de donner beaucoup plus d'indications que « bâti » ou « non bâti ». La méthode est décrite précisément en Annexe 3.

Ce travail est basé sur une méthode développée par la DRE Midi-Pyrénées (Mireille Muller et Pascal Astruc) sur la base d'images satellites adaptées par la suite au traitement de photographies aériennes par la DRE Basse-Normandie et le CETE Normandie-Centre⁴. Cette étude montrait l'intérêt d'une méthode automatique pour traiter un territoire vaste⁵ à partir d'une orthophotographie récente. Le but du travail mené ici est de tester si l'application de cette méthode est envisageable dans l'optique d'un traitement multodate à partir de photographies anciennes.

Nous regarderons en particulier si le fait d'utiliser des photographies de qualité et d'aspect différent influe sur le résultat. En effet, le but de la présente étude est d'élaborer des méthodes répétables pour réaliser des traitements multidates. Si, pour chaque date, la méthode doit être totalement reparamétrée, l'intérêt d'un traitement automatique est fortement compromis.

La méthode est basée sur le traitement de la **texture** (\pm forme des objets) de l'image et non sur la **radiométrie** (\pm couleurs). Elle est donc tout à fait applicable sur des photographies noir et blanc. La méthode est appliquée date par date indépendamment les unes des autres.

La méthode se décompose en 6 étapes : **rééchantillonnage**, **filtrage**, **seuillage**, **filtrage par morphologie mathématique**, **vectorisation** et enfin **corrections manuelles**.



La première étape consiste à **rééchantillonner** l'image en la passant à une résolution de 2.5 m au sol. Cette résolution est adaptée à l'extraction du bâti : elle est de l'ordre de grandeur des éléments qu'on cherche à détecter.

L'étape suivante consiste à appliquer à l'image un **filtre** adapté à l'analyse texturale. Le filtre permet de rehausser les régions où les changements de luminance sont rapides, qui sont plutôt caractéristiques des zones bâties par rapports aux espaces naturels, plus homogènes. Le résultat obtenu est ensuite **moyenné**.

La partie la plus délicate et demandant l'intervention et l'œil de l'opérateur est le **seuillage** qui permet de passer à une première ébauche d'une image binaire « bâti/non bâti ».

Le choix du seuil doit permettre de répondre à deux objectifs. Tout d'abord obtenir une tache urbaine la plus exhaustive possible sur les zones bâties denses (limiter les trous). Ensuite obtenir les zones de bâti diffus dans le péri-urbain et sur les communes plus rurales. Il s'agit à

4 CERTU, *Utilisation de la télédétection pour la mesure de la tache urbaine*, 2004, fiche de 4 pages, Certu, Lyon, novembre 2004 (www.certu.fr)

5 La tache urbaine a été extraite sur l'ensemble du territoire bas-normand avec une unité minimale de collecte d'un hectare

cette étape d'arriver à une sorte de compromis sachant que les imperfections obtenues à cette étape pourront être en partie corrigées lors des suivantes.

L'étape suivante de **filtrage par morphologie mathématique** est réalisé sur la base des opérations classiques de morphologie mathématique que sont l'**ouverture** et la **fermeture**. L'opération de fermeture qui enchaîne **dilatation** et **érosion** a pour but de supprimer une partie des trous « parasites » inclus dans la tache urbaine issue du seuillage. L'opération d'ouverture est l'inverse de la fermeture puisqu'elle enchaîne érosion et dilatation. Son rôle est de supprimer les éléments parasites détectés comme du bâti ainsi que les éléments linéaires de type route ou haies. Suite à ces opérations de morphologie mathématique, nous obtenons une tache urbaine plus satisfaisante, notamment en terme de simplicité des contours et d'exhaustivité, que la première ébauche issue du seuillage.

Cette étape marque la fin des traitements automatiques - plus ou moins assistés - en ce qui concerne la délimitation du contour de la tache urbaine. Les imperfections de cette extraction automatique devront être **corrigées manuellement**.

La tache urbaine obtenue suite aux étapes précédentes est une image binaire codée 1 pour le bâti et 0 pour le reste. La **vectorisation** consiste à transformer les mailles contiguës de valeur 1 (bâti) en objets vecteurs polygonaux.

La tache urbaine extraite par traitements automatiques comporte des imperfections. Certains polygones considérés comme du bâti n'en sont pas en réalité et, inversement, des zones bâties ne sont pas détectées. Le travail de **correction**, uniquement manuel dans cette étape, consiste pour l'opérateur à supprimer ou modifier les contours des polygones existants ou à en créer de nouveaux.

Le but de cette étude étant avant tout méthodologique, il ne s'agit pas ici d'obtenir un contour de tache urbaine parfait mais plutôt de se rendre compte du résultat qu'on peut obtenir par traitement automatique afin de le comparer avec d'autres méthodes. Les corrections manuelles ont donc été limitées au maximum (suppression des grosses zones non bâties, modification grossière des contours les plus erronés). Il s'agit de réduire au maximum le temps consacré aux corrections manuelles afin de juger de l'efficacité de la méthode.

3.2.2 Résultats

L'objectif de cette étude étant de proposer des méthodes répétables sur plusieurs dates, nous avons, pour chacune des dates étudiées (1963, 1978, 1989, 1999 et 2004) appliqué le plus fidèlement possible les six étapes décrites dans le paragraphe précédent.

Dans un premier temps, les résultats sont présentés tels quels, avec une analyse de l'évolution par année et par commune. Les problèmes rencontrés, les erreurs observées relevant des limites de la méthode employées ainsi que les améliorations possibles seront discutés dans le paragraphe suivant.

3.2.2.1 Statistiques globales

Le tableau ci-dessous reprend la surface couverte par la tache urbaine par année.

Année	1963	1978	1989	1999	2004
Superficie	31 km ²	39 km ²	42 km ²	41 km ²	42 km ²

Une remarque s'impose immédiatement en observant cette synthèse : la surface de la tache urbaine s'accroît de 1963 à 1989 puis elle diminue de 1989 à 1999. Ceci ne correspond pas à une réalité terrain mais est liée à la détection par la méthode d'extraction automatique. Cette diminution de la tache urbaine pour l'année 1999 s'observe aussi pour l'année 2004 relativement aux trois premières dates.

Validité des premiers résultats et améliorations possibles

Précision des contours

En observant les contours date par date, il s'avère que la délimitation de la tache urbaine est beaucoup plus précise pour les années 1999 et 2004. Ces deux dates correspondent à celles pour lesquelles nous disposons d'une orthophotographie couleur alors que pour les autres dates nous disposons de clichés noir et blanc.

Pour les autres années, on a des contours beaucoup plus grossiers qui s'écartent de la limite du bâti et qui ont tendance à majorer la tache urbaine.

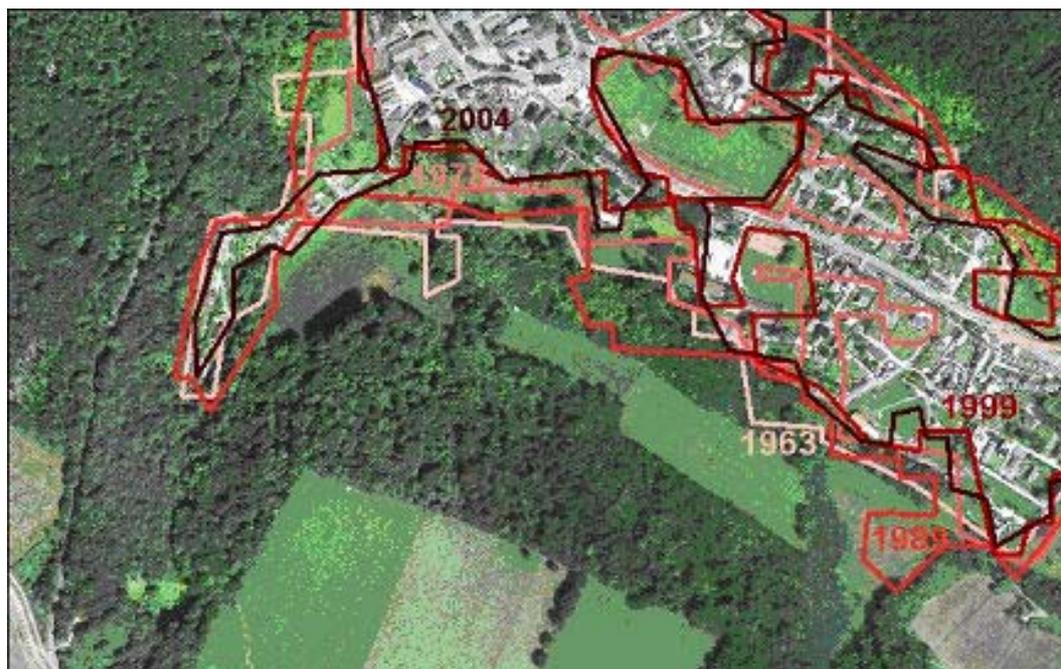


Illustration 2 : limites du bâti détectées en fonction de l'année à St Aubin Epinay (fond 2004)

Les limites 1999 et 2004 sont celles qui « collent » le mieux aux limites réelles.

Sur cette partie de la commune de St Aubin Epinay dont l'urbanisation n'a que peu évolué *a priori*, la surface détectée varie suivant les années.

1963	1978	1989	1999	2004
0.32 km ²	0.26 km ²	0.38 km ²	0.22 km ²	0.24 km ²

Limites de détection

La végétation

De plus, s'ajoute à cette imprécision sur les contours un nombre important d'erreurs de détection pour les années 1963, 1978, et 1989 en particulier. De nombreuses zones sont détectées comme des zones bâties en appliquant la méthode décrite précédemment alors qu'il s'agit en fait d'une autre occupation du sol (plantations et forêts en particulier). Il s'agit d'une limite de cette méthode qui affecte les résultats principalement en zone rurale.

Les cas les plus fréquents et les plus problématiques sont :

- les parcelles de forêt avec une densité de plantations assez faibles notamment les parcelles de plantation récentes ou les parcelles comprenant de gros arbres largement espacés. Ces zones peuvent cependant être assez rapidement éliminées par une correction manuelle car il y a peu de risque de confusion ;

- les vergers et notamment les vergers attenants à des zones bâties. Ce cas est plus délicat car une correction manuelle implique une reprise des contours qui n'est pas vraiment envisageable dans le cadre d'une méthode automatique (cela reviendrait à faire une photointerprétation).

Ce problème lié à la proximité en terme de texture sur les photographies des zones bâties (en particulier le bâti lâche) et des vergers a posé des problèmes pour l'année 1963 notamment. Sur les communes rurales des plateaux Est, les cours plantées sont très nombreuses et sont extraites comme étant du bâti. L'exemple ci-dessous l'illustre bien.



Illustration 3 : Les vergers nombreux autour du hameau de Celloville sont détectés comme étant du bâti (similitude dans la texture de l'image) – Année 1963

Les zones industrielles et commerciales

À l'inverse, certaines zones urbanisées ne sont pas reconnues en tant que telles. C'est notamment le cas des grandes zones industrielles et/ou commerciales. Il s'agit d'une limite importante de la méthode qui avait déjà été soulevée lors de l'étude sur la tache urbaine en Basse-Normandie. En effet, ces grandes zones, du point de vue de leur texture apparente sur l'image, diffèrent des autres zones urbanisées. Les changements de luminance des pixels y sont beaucoup moins rapides, on y rencontre de grandes surfaces (toits d'usines, parkings) homogènes radiométriquement. Or, le principe de base de la méthode est de considérer comme du bâti les zones très hétérogènes en luminance.

Ce problème concerne principalement les zones périurbaines sur lesquelles sont généralement construites les grandes zones d'activité et d'industrie. Il se rencontre aussi sur les grandes zones d'équipement comme les gros nœuds routiers ou les gares de triages. Cette faiblesse de la méthode existe pour toutes les dates.

Toutes les zones industrielles et commerciales sont donc extraites avec une précision approximative et nécessitent des corrections manuelles importantes.

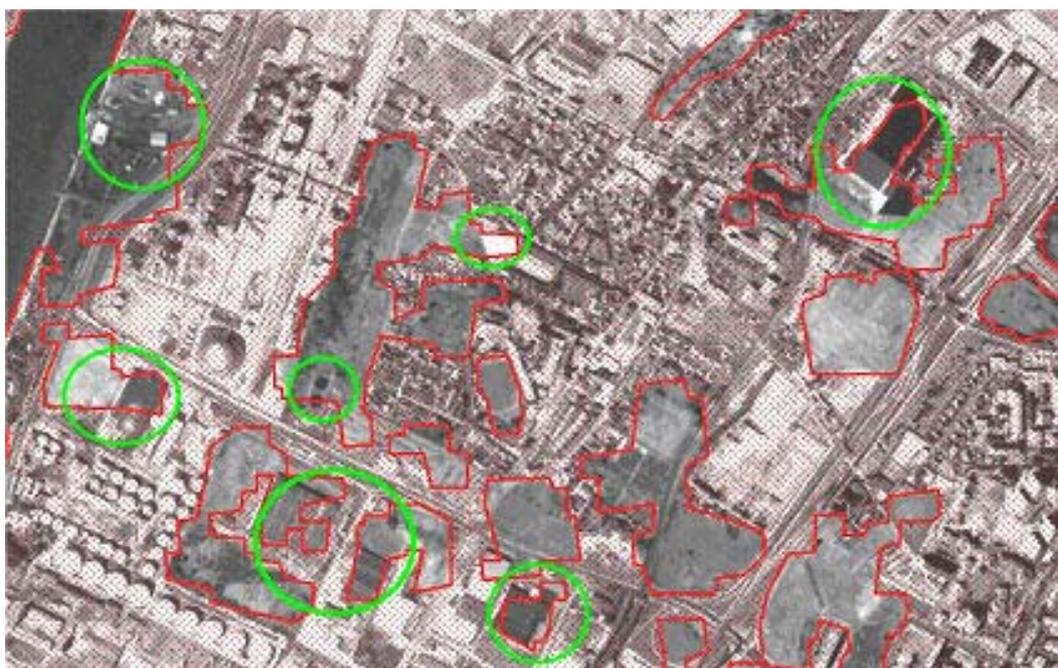


Illustration 4: Manque d'exhaustivité de la détection sur la ZI du Grand-Quevilly (secteur du Bois-Cany) – Année 1989

3.2.2.2 Statistiques sur une partie de commune

La suite d'illustrations présentée ci-après permet de suivre l'évolution sur une partie de la commune de Franqueville-Saint-Pierre. Cette commune des plateaux Est de Rouen a connu une extension importante pendant la période étudiée.



Illustration 5 : Tache urbaine sur une partie de la commune Franqueville-Saint-Pierre Année 1963

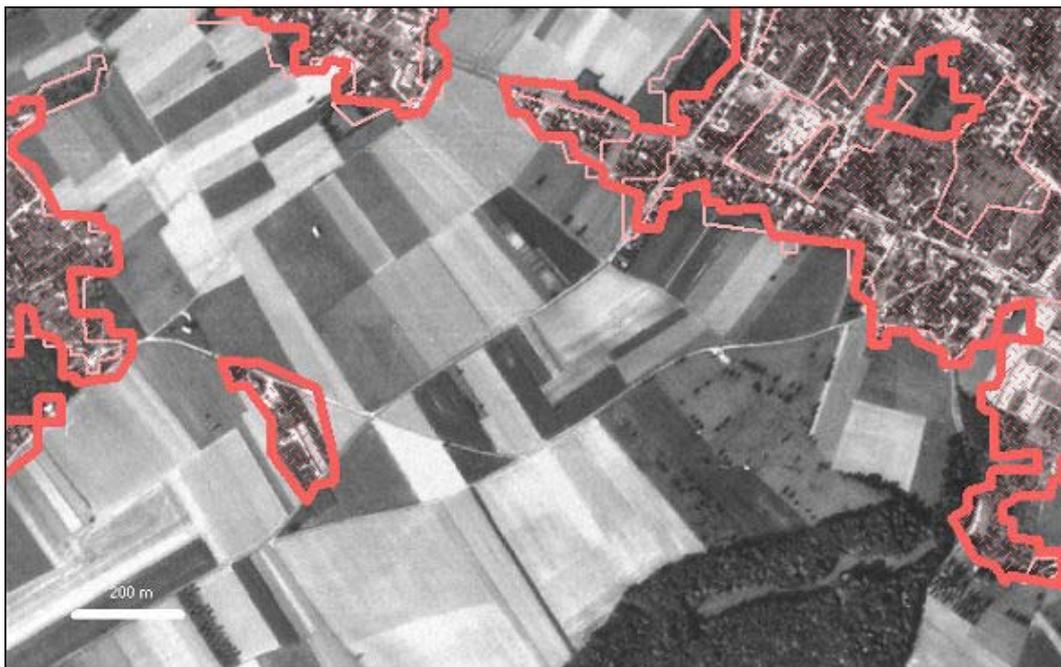


Illustration 6 : Tache urbaine sur une partie de la commune Franqueville-Saint-Pierre Année 1978



Illustration 7 : Tache urbaine sur une partie de la commune Franqueville-Saint-Pierre Année 1989



Illustration 8 : Tache urbaine sur une partie de la commune Franqueville-Saint-Pierre Année 1999

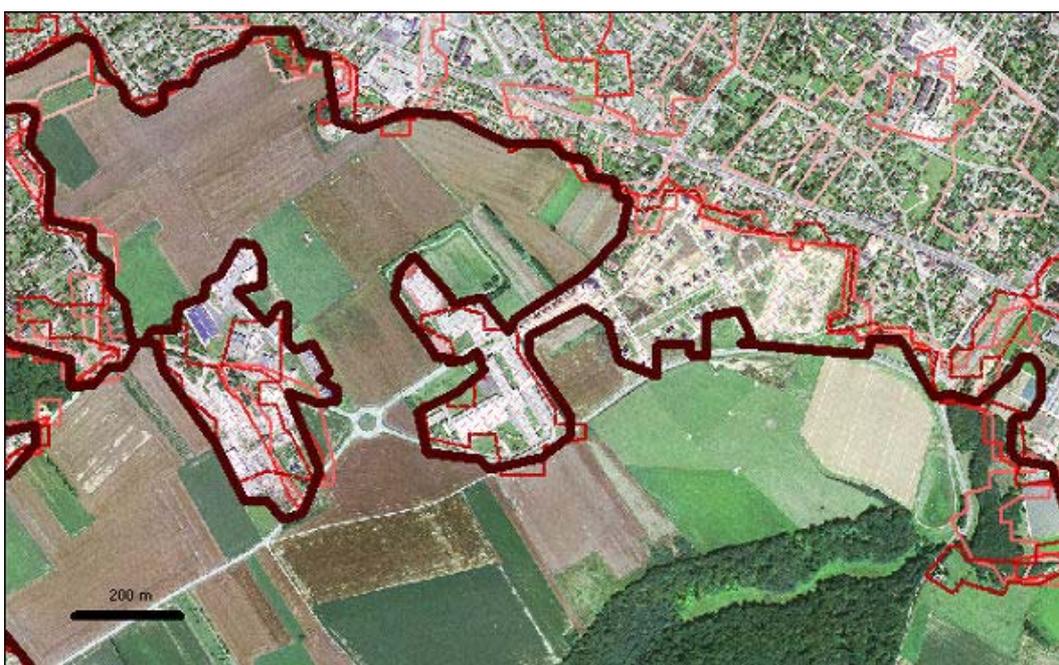


Illustration 9 : Tache urbaine sur une partie de la commune Franqueville-Saint-Pierre Année 2004

L'évolution de la tache urbaine sur une partie de la commune de Franqueville-Saint-Pierre en fonction de l'année :

1963	1978	1989	1999	2004
0,43 km ²	0,59 km ²	0,73 km ²	0,77 km ²	1,00 km ²

On observe bien ici, contrairement au résultat global sur la zone d'étude, une évolution croissante de la superficie de la tache urbaine sur cette partie de la commune de Franqueville-Saint-Pierre.

Cet exemple montre bien que malgré des imprécisions de détection localisées (contours approximatifs, lacunes) inhérentes à la méthode, un suivi de l'évolution globale par la méthode d'extraction automatique est possible.

Afin de limiter les erreurs qui rendent tout de même cette méthode incertaine par rapport aux méthodes de photointerprétation où l'opérateur contrôle complètement le résultat, nous proposons dans le chapitre suivant un post-traitement basé sur la définition d'une limite maximale de l'évolution de la tache urbaine.

3.2.3 Définition d'une tache urbaine maximale

Il ne s'agit pas d'une remise en cause de la méthode élaborée précédemment mais plutôt d'une exploitation différente (orientée) des résultats afin de limiter les erreurs. Il ne semble effectivement pas vraiment satisfaisant d'utiliser de manière brute les résultats issus d'une méthode qui montrerait de manière fautive une diminution des surfaces bâties à l'échelle de l'aire d'étude (même si les erreurs peuvent être expliquées).

L'idée de ce traitement est de dire que les surfaces artificialisées croissent en général avec les années (sauf cas exceptionnels). Ainsi, dans l'optique d'un traitement multidate, la tache urbaine à la date la plus récente correspond à l'extension maximale des surfaces artificialisées toutes dates confondues.

On considère donc que la limite de la tache urbaine à la date la plus avancée, soit 2004 dans cette étude, constitue une enveloppe contenant intégralement les taches urbaines aux dates antérieures.

Cette hypothèse semble tout à fait réaliste car les cas où un espace artificialisé disparaît pour être rendu au milieu naturel peuvent être considérés comme marginaux (peut être des cas de friches, renouvellement urbaines, etc.).

L'intérêt de ce travail est multiple :

- il limite *a priori* les erreurs de détection et les imprécisions de contour dès lors que le périmètre de la tache urbaine en 2004 a été correctement défini ;
- il apporte un gain en temps de correction pour les dates antérieures à 2004 car les zones d'erreurs possibles sont désormais bornées ;
- la tache urbaine « de référence » pour le travail est celle pour laquelle on a la meilleure précision par extraction automatique.

Pour appliquer cette démarche, il est particulièrement important de soigner le travail d'extraction de la tache urbaine 2004. En particulier, il faut s'assurer de son exhaustivité car une zone bâtie qui en est exclue l'est automatiquement pour les autres dates. Les zones à contrôler spécifiquement sont les zones d'activité (industrielle ou commerciale) puisque, comme cela a déjà été noté, ce sont celles que l'extraction automatique a le plus de mal à détecter du fait de la présence de grandes surfaces homogènes (toits de grands bâtiments, parkings etc).

Le tableau suivant donne les surfaces bâties sur l'ensemble de l'aire d'étude en appliquant cette démarche avec, en comparaison, les résultats qui avaient été obtenus par une exploitation brute des résultats de l'extraction automatique.

Année	Surface bâtie En appliquant une limite maximale de la tache urbaine pour l'année 2004	Surface bâtie Résultats bruts issus de l'extraction automatique
1963	25,7 km ²	31,1 km ²
1978	33,4 km ²	39,4 km ²
1989	36,6 km ²	42,4 km ²
1999	37,5 km ²	40,7 km ²
2004	42,0 km ²	42,0 km ²

Les surfaces calculées ainsi semblent beaucoup plus réalistes par rapport à celles issues directement de l'extraction. En effet, comme cela avait déjà été souligné, ces premiers résultats étaient systématiquement majorants et non-cohérents d'une date à l'autre.

Cette démarche est donc à privilégier pour l'exploitation des résultats lors de comparaisons de date à date, ce qui semble être l'intérêt principal de ce type de travail. Elle présente l'avantage :

- de donner des résultats globaux plus réalistes ;
- de donner des contours plus précis ;
- de limiter les corrections.

A priori, le seul biais introduit par cette démarche, concerne l'exclusion de zones construites avant 2004 et qui seraient redevenues non construites à cette date. Cette éventualité semble assez marginale et le risque d'erreur négligeable devant l'apport de cette méthode d'exploitation des résultats. On peut d'ailleurs s'en assurer en contrôlant a posteriori les zones détectées comme du bâti pour les dates antérieures et situées en dehors du périmètre de la tache urbaine 2004.

3.2.4 Conclusion et limites

La méthode d'extraction de la tache urbaine telle qu'elle a été affinée, en la limitant à son extension correspondant à la date la plus récente donne de bon résultats.

Par contre, on a vu que la seule application de la méthode d'extraction automatique, même avec un soin maximum, ne donne pas des résultats satisfaisants. L'hétérogénéité des caractéristiques des clichés aériens pour chaque date en est la cause principale.

La méthode adoptée permet pour les années 1963 et 1978 d'améliorer considérablement la qualité des résultats notamment en éliminant automatiquement par l'application du masque les grandes zones de vergers qui étaient détectées comme du bâti.

Comme cela a été indiqué précédemment, il est important que la date utilisée comme référence pour déterminer l'extension maximale de la tache urbaine soit traitée avec une grande attention, en particulier en terme d'exhaustivité.

On peut notamment envisager, en particulier pour les zones délicates à détecter comme les zones d'activité, l'apport de données exogènes pour limiter les corrections manuelles.

On gardera à l'esprit, que cette démarche ne résout pas pour les dates antérieures les erreurs de détection (en plus ou en moins) à l'intérieur de l'enveloppe. Parmi les problèmes de détection éventuels qui ont été évoqués dans les pages précédentes, celui de l'exhaustivité pour la détection des zones industrielles et d'activité reste entier. Seule une correction manuelle est envisageable dans ce cas.

Temps de travail

Pour la partie automatique du traitement, on peut estimer le temps de travail à 2 heures par date environ en comptant le temps « machine ». Il est à noter que contrairement à un traitement manuel, ce temps global varie peu avec la surface à traiter. C'est l'aspect intéressant du traitement automatique.

Pour ce qui est des corrections manuelles, le temps à passer varie en fonction de l'année et surtout de la limite de précision que l'on se fixe. L'objet de cette partie étant d'évaluer une méthode automatique, nous avons souhaité limiter au maximum les corrections manuelles.

Les temps de correction ont été limités à 1 heure pour chaque date pour une aire d'étude de 100 km² environ. Le temps de travail pour l'ensemble des opérations est de 3h par date, comprenant le traitement automatique et les corrections manuelles.

3.2.5 Recommandations

D'une manière générale, il est recommandé de suivre les étapes suivantes :

- traitement de la date la plus récente par extraction automatique ;
- correction manuelle soignée de la tache urbaine obtenue: la tache urbaine la plus récente est obtenue, elle devient le référentiel ;
- création d'une enveloppe à partir de la tache urbaine la plus récente qui servira de masque pour les autres dates ;
- extraction automatique pour les autres dates ;
- application du masque à la tache urbaine de chaque date ;
- correction manuelle rapide pour chaque date.

En suivant cette démarche, les résultats globaux sont plus satisfaisants, les contours entre chaque date sont plus cohérents et les comparaisons diachroniques sont rendus possibles.

Le travail de télédétection à partir d'orthophotographie en noir et blanc ne permet pas, en traitements automatiques, de sortir d'autres éléments comme les espaces naturels, agricoles ou encore une distinction de plusieurs classes du bâti à l'intérieur de la tache urbaine. La nomenclature possible est donc relativement pauvre.

La raison principale vient du fait de la faible richesses spectrale des orthophotographies. Pour réaliser un tel travail , il est indispensable de faire appel à des images satellites, ou pour le moins d'images couleurs associée à de l'infra-rouge qui autorisent la création par classification tenant compte de la radiométrie de couches d'occupation du sol. dans ce cas, il est envisageable d'obtenir une dizaine de postes, sans l'aide de données exogènes.

3.3 Méthode A2 : photointerprétation

Ce chapitre présente une méthode de délimitation de l'occupation du sol par photointerprétation à l'écran. Dans ce chapitre, on tentera de délimiter toute l'occupation du sol et pas seulement l'urbanisation.

L'expérience dans le domaine du suivi de l'occupation du sol montre qu'il est préférable de suivre la démarche chronologique suivante:

- délimitation de l'occupation du sol à partir de la date la plus récente avec le support image le plus précis, en l'occurrence l'orthophotographie 2004 couleur.
- mise en évidence des changements de l'occupation du sol à des dates plus anciennes en affichant la couche d'occupation du sol 2004 sur l'image ancienne.

Cette méthode présente deux avantages. En premier lieu, les orthophotographies aux dates les plus récentes sont plus riches et de meilleure qualité, il est donc possible d'en tirer le maximum d'informations.

En second lieu, cette méthode évite de créer des micro-polygones parasites. Les contours des zones n'ayant pas évolué sont rigoureusement identiques. Alors qu'un levé date par date va générer des petites surfaces au moment du croisement diachronique puisque les sommets des contours ne seront pas placés strictement au même endroit.

Cet aspect est illustré par la figure ci-après.



Illustration 10 : contours différents et identiques

3.3.1 Méthode pour la saisie de la couche de référence

La photointerprétation peut être définie comme un travail d'analyse et de mesure exécuté à partir de photographies, simples ou stéréoscopiques (BRUNET, 1993). La photointerprétation est pratiquée depuis de nombreuses années dans le domaine de la photographie aérienne. Cette étude thématique d'une image aérienne ou spatiale s'effectue à partir de l'analyse des informations préalablement obtenues par photo-identification et vise à l'identification des objets contenus ou plus simplement à leur localisation.

On peut chercher à identifier d'une part le contenant, ou plus simplement à le tracer, et d'autre part, le contenu. Dans un parcellaire rural, par exemple, la propriété bâtie est souvent aisément reconnaissable.

Le principe consiste à délimiter des unités spatiales. Il s'agit de zones dont la couverture peut être considérée comme homogène, ou être perçue comme une combinaison de zones élémentaires qui représente une structure d'occupation identifiée dans la nomenclature.

Les règles de photointerprétation utilisées dans cette étude sont détaillées en **Annexe 4**.

En résumé, les règles suivantes ont été respectées dans le cadre de cette étude :

- la taille du plus petit polygone est fixée à 1000 m² ;
- les éléments linéaires tels que les routes, les cours d'eau, les plages, les dunes sont considérés si leur largeur est supérieure à 25 mètres ;
- l'échelle de photo-interprétation est fixée au 1:5 000 ;
- les limites entre zones urbanisées sont la parcelle lorsqu'on voit un mur de clôture ou une haie séparative. Lorsque la parcelle n'est pas visible, la limite prend en compte une parcelle moyenne des habitations voisines ;
- les zones industrielles sont détournées en suivant leur limite de parcelle également. Peuvent être compris en zones industrielles, les parkings clients ou du personnel, les zones de stockage, les stations d'épuration de la zone ;
- lorsqu'une route est limite d'une zone, le contour suit son axe.

La méthode de photointerprétation choisie est la photointerprétation assistée par ordinateur (PIAO). Comme elle permet des aides à la saisie et l'implémentation directe de la base de donnée, cette méthode est à privilégier.

La structuration de la couche d'occupation du sol est la suivante :

Méthodes pour réaliser un historique de l'évolution du bâti

ID	CLC3_2004	Surface
Identifiant logiciel des objets	Code occupation du sol du 3 ^e niveau de la nomenclature Corine Land Cover (cf chapitre 1)	Surface de chaque entité dans l'unité de la couche

À l'issue de ces étapes, il est possible de commencer la photointerprétation de l'occupation du sol et de remplir au fur et à mesure le champ CLC3_2004 en respectant les règles fixées. Un contrôle qualité est effectué en dernière étape.

3.3.2 Résultats pour la couche de référence



Historique du bâti

Occupation du sol 2004 par photointerprétation



- Tissu urbain continu
- Tissu urbain discontinu
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés
- Décharges
- Chantiers
- Espaces verts urbains
- Equipements sportifs et de loisirs
- Terres arables hors périmètres d'irrigation
- Prairies
- Forêts de feuillus
- Forêts de conifères
- Pelouses et pâturages naturels
- Landes et broussailles
- Forêt et végétation arbustive en mutation
- Marais intérieurs
- Cours et voies d'eau

0 500 1 000 1 500 Mètres

Sources : Ortho CAR 2004
Réalisation : DEIOA/Service Environnement et Géomatique, mai 2007

Libellé	Surfaces (en ha)	Surfaces des postes regroupés (en ha)
Tissu urbain continu	320,5	2 468,25
Tissu urbain discontinu	1 151,2	
Zones industrielles et commerciales	586,5	
Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	213,7	
Décharges	15,6	
Chantiers	27,4	
Espaces verts urbains	61,6	
Equipements sportifs et de loisirs	91,9	323,6
Terres arables hors périmètres d'irrigation	138,3	
Prairies	185,3	
Forêts de feuillus	636,4	790,9
Forêts de conifères	58,0	
Pelouses et pâturages naturels	15,4	
Landes et broussailles	45,7	
Forêt et végétation arbustive en mutation	35,4	
Marais intérieurs	32,8	32,8
Cours et voies d'eau	140,0	140

La carte ci-contre présente le résultat de la photo-interprétation pour l'année 2004 avec le tableau affichant en hectares les surfaces d'occupation du sol au niveau 3 de la nomenclature (détaillée) et au niveau 1 (regroupée).

3.3.3 Méthode pour la saisie des couches anciennes

Pour permettre des analyses diachroniques, il est indispensable de disposer de couches d'occupation du sol avec la même précision géométrique et sémantique que la couche créée à partir de la donnée image la plus récente. La création de ces couches doit donc passer obligatoirement par une étape préalable qui va consister en la création des orthophotographies des clichés aériens anciens (cf **Annexe 2**).

1^{ère} étape : superposition de la couche référentielle sur les orthophotographies anciennes

La couche d'occupation du sol « référentiel » est affichée successivement sur les orthophotographies 1999, puis 1989, 1978 et enfin 1963

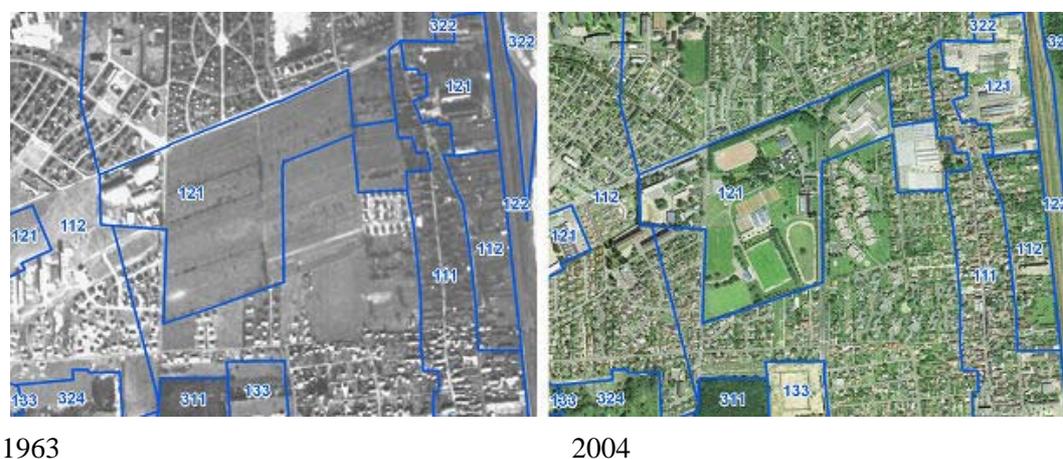


Illustration 11: Exemple de superposition de l'occupation du sol 2004 avec les codes Corine Land Cover les images 1963 et 2004

Ces superpositions sont parfaites puisque les orthophotographies anciennes comme l'occupation du sol 2004 ont été créées à partir du même référentiel à grande échelle : l'orthophotographie 2004 de la Communauté d'Agglomération de Rouen.

2^e étape : modification de la table attributaire

Dans la table attributaire de la couche d'occupation du sol 2004 figure le champ CLC3_2004. Il contient les codes d'occupation du sol en 2004. Un champ de l'occupation du sol des dates anciennes est créée: CLC3_1963, CLC3_1978, CLC3_1989, CLC3_1999.

Désormais la table attributaire de la couche d'occupation du sol contient les champs suivants :

Méthodes pour réaliser un historique de l'évolution du bâti

ID	CLC3_1963	CLC3_1978	CLC3_1989	CLC3_1999	CLC3_2004	Surface
Identifiant logiciel des objets	Code de l'occupation du sol 1963 (3 ^e niveau de Corine Land Cover	Code de l'occupation du sol 1978 (3 ^e niveau de Corine Land Cover	Code de l'occupation du sol 1989 (3 ^e niveau de Corine Land Cover	Code de l'occupation du sol 1999 (3 ^e niveau de Corine Land Cover	Code de l'occupation du sol 2004 (3 ^e niveau de Corine Land Cover	Surface de chaque entité dans l'unité de la couche

3^e étape : saisie des données

Cette étape sera la même pour toutes les dates. L'exemple retenu est l'année 1963.

Une photo-interprétation est opérée à partir de la donnée image ancienne pour renseigner le champ CLC3_1963 qui présente l'état de l'occupation du sol tel qu'il était en 1963.

Le renseignement de cet attribut se fait en sélectionnant les entités une à une et en les découpant ou en les fusionnant si nécessaire comme l'illustre la figure ci-après.

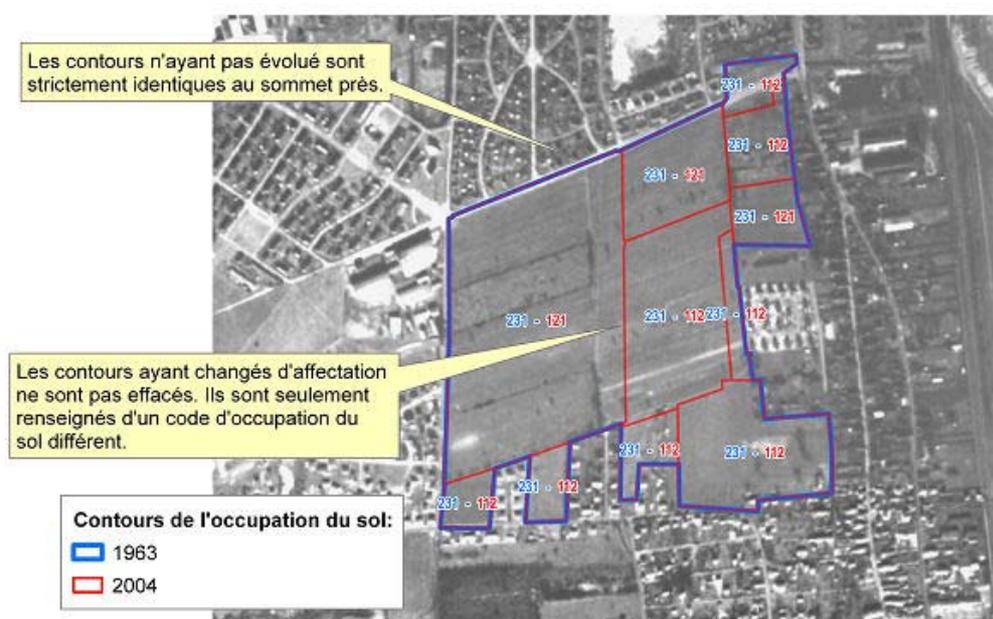


Illustration 12 : Découpage et fusion de polygones

S'il est utile de disposer d'une couche de l'occupation du sol ne contenant que la date de 1963, une étape supplémentaire est nécessaire. Elle consiste en une opération de fusion des polygones en prenant comme source le champ CL3_1963.



Illustration 13: Fusion des polygones sur le champ CLC_1963

3.3.4 Résultats du traitement multi-dates

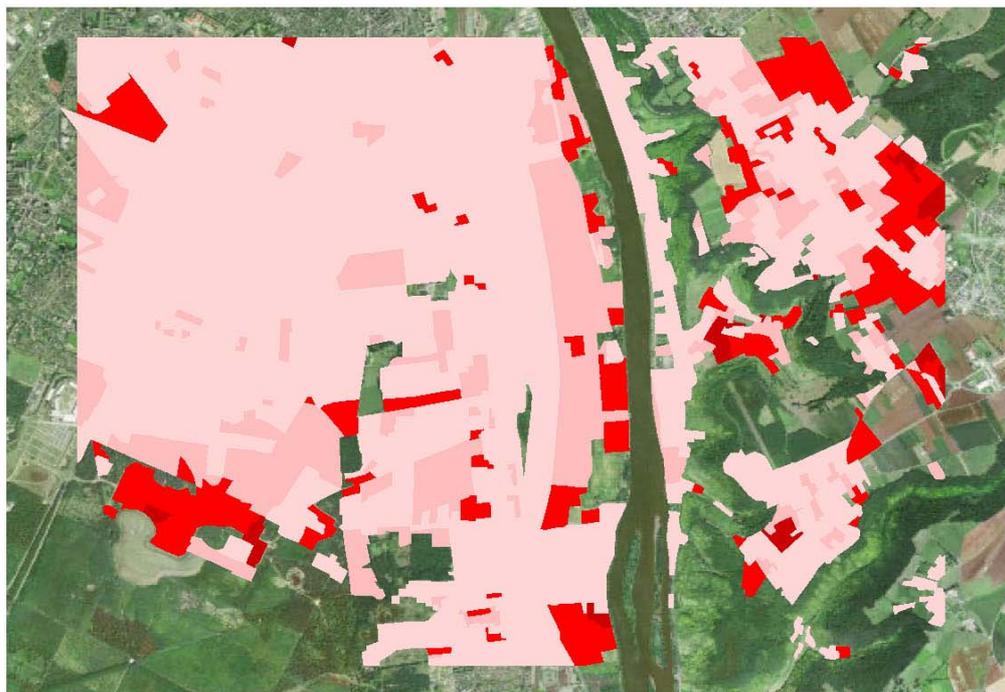
3.3.4.1 Évolution de l'urbanisation

Les résultats obtenus par photointerprétation sont présentés sous deux formes. La première permet de mesurer l'évolution de la tache urbaine entre 1963 et 2004. La carte ci-après présente les contours de l'urbanisation en 1963, 1978, 1989, 1999 et 2004 ainsi que les taux d'évolution.



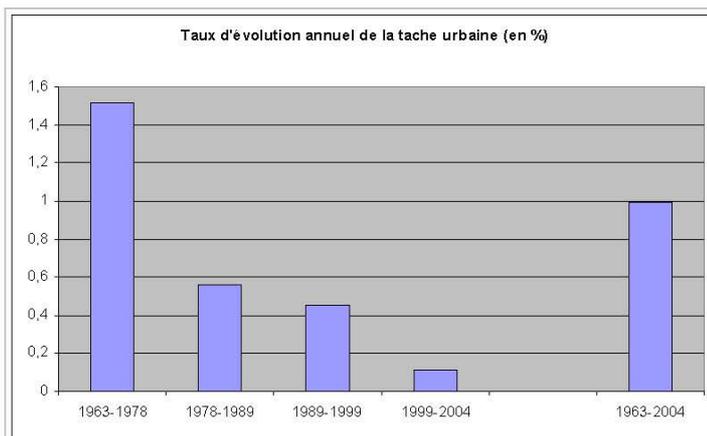
Historique du bâti

Evolution de la tache urbaine 1963 - 2004



- Tache urbaine 1963
- Extension 1978
- Extension 1999
- Extension 2004

Surface de la zone d'étude: 37,35 km²
Surface de la tache urbaine 2004:



La seconde carte est une autre représentation de l'évolution du bâti. La BDTopo sert de support. Des sélections successives sont effectuées pour chaque date. Elles permettent de sélectionner les bâtiments de la BDTopo déjà construits en 1963, 1978, 1989, 1999, 2004.



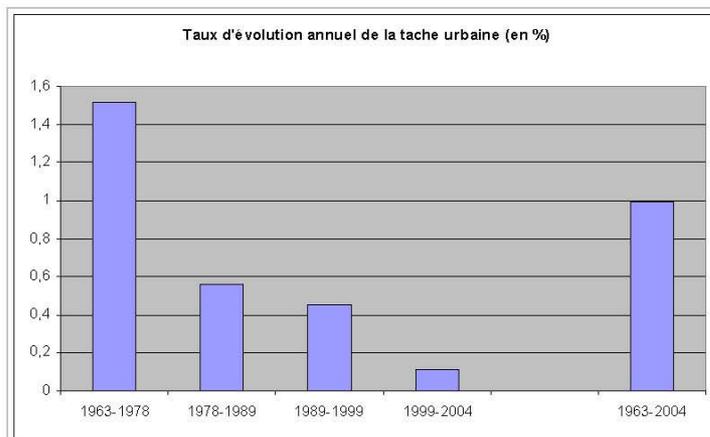
Historique du bâti

Evolution du bâti 1963 - 2004



- Bâti 1963
- Extension du bâti 1978
- Extension du bâti 1989
- Extension du bâti 1999
- Extension du bâti 2004

Surface de la zone d'étude: 37,35km²
Surface de la tache urbaine 2004: 24,63km²



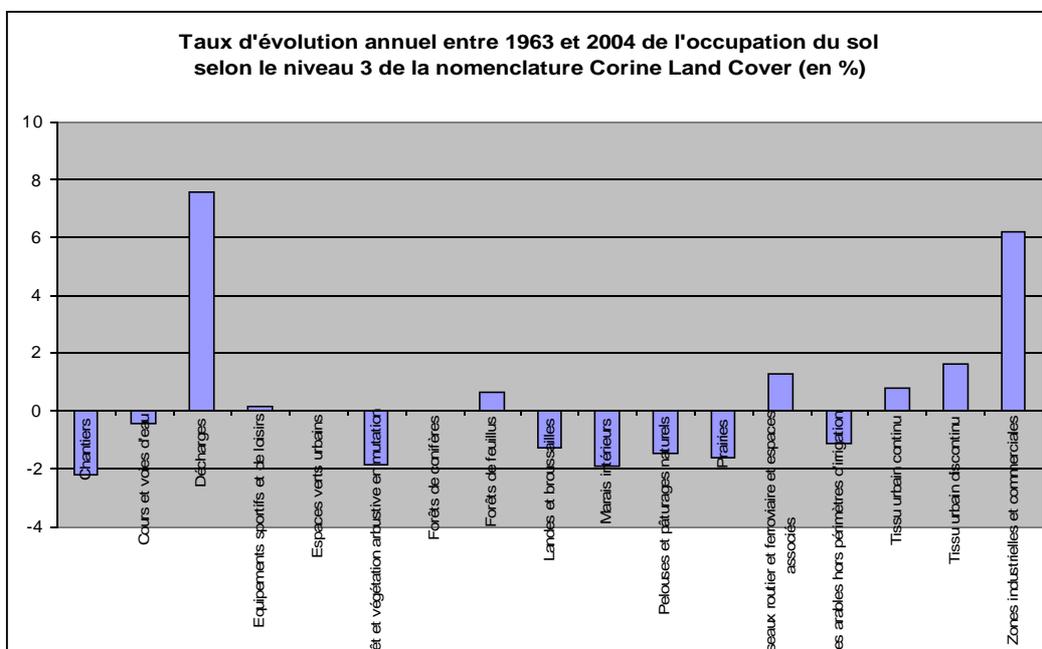
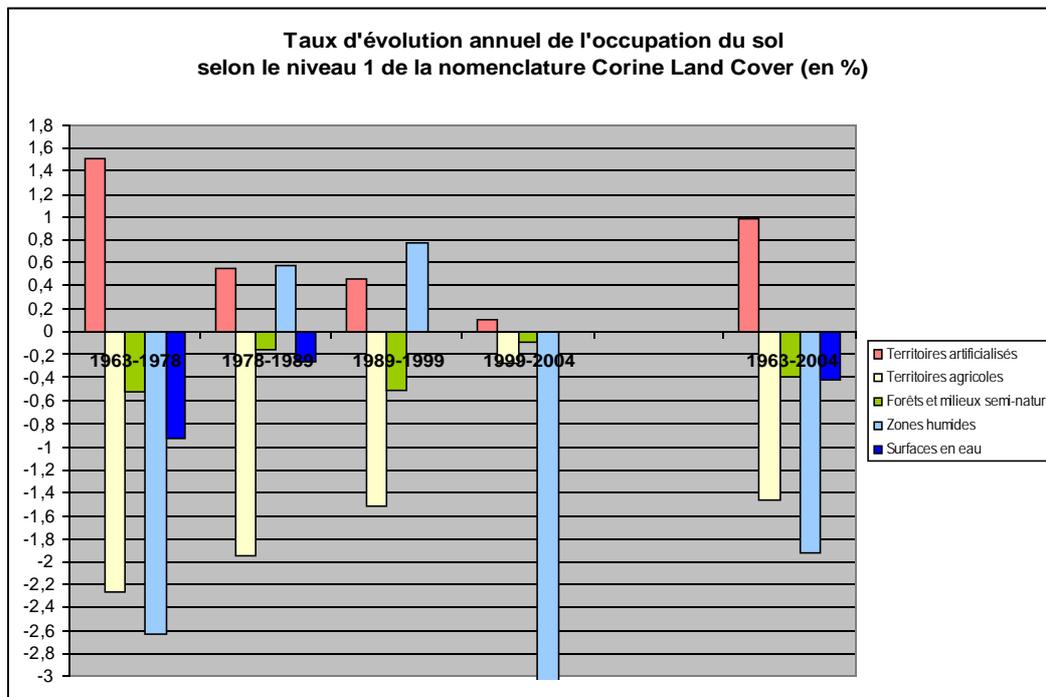
Sources : Ortho CAR 2004
Réalisation : DEIOA/Service Environnement et Géomatique, mai 2007

0 0,5 1 1,5 Kilomètres

3.3.4.2 Statistiques globales

Ce mode de présentation des résultats offre la possibilité de connaître au détriment de quels types de sol ce sont fait les changements au fil du temps. Il répond à la question: quelle occupation du sol y avait-il avant l'urbanisation ?

Un des grands intérêts de la photointerprétation à grande échelle est qu'il va être possible à un niveau de détail élevé (le niveau le plus précis de la nomenclature) d'analyser les phénomènes.. Les graphiques ci-après puis la carte illustrent ce propos.



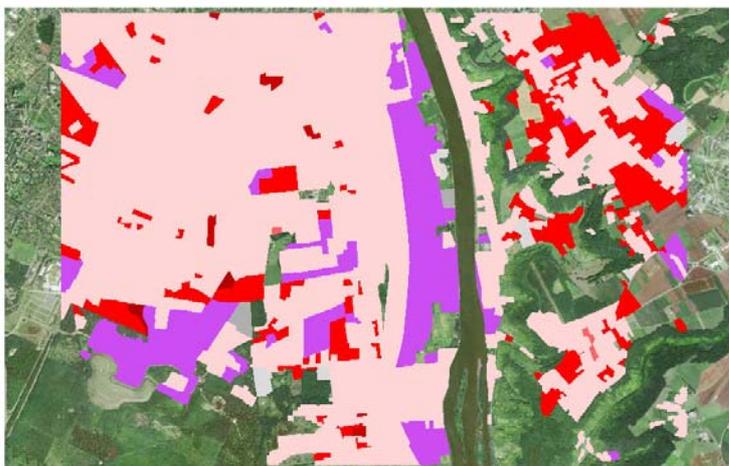


Historique du bâti

Evolution de l'occupation du sol 1963 - 2004



La première carte présente la tache urbaine 1963 et les extensions en 2004 selon le niveau détaillé de Corine Land Cover



La seconde carte s'intéresse aux extensions d'urbanisation 2004. Elle représente les mêmes espaces tels qu'ils étaient occupés en 1963.



- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Tache urbaine 1963 Extension de l'urbanisation 2004 Tissu urbain continu Tissu urbain discontinu Zones industrielles et commerciales Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés Décharges Chantiers Equipements sportifs et de loisirs Espaces verts urbains | Espaces naturels ou agricoles en 1963 <ul style="list-style-type: none"> Terres arables hors périmètres d'irrigation Prairies Forêt et végétation arbustive en mutation Forêts de conifères Forêts de feuillus Landes et broussailles Pelouses et pâturages naturels Marais intérieurs Cours et voies d'eau |
|---|--|

Sources : Ortho CAR 2004
Réalisation : DEIOA/Service Environnement et Géomatique, mai 2007

0 0,5 1 1,5 Kilomètres

3.3.5 Conclusion et limites

La méthode appliquée donne de bons résultats et autorise une analyse fine de l'occupation du sol et de ses changements jusqu'à une échelle du 1:5 000, soit une précision de l'ordre du mètre sur des objets bien délimités puisqu'il s'agit de l'échelle de création des référentiels images.

Les résultats obtenus, qui s'appuient sur des éléments géographiques de connaissance, permettent aux services de :

- améliorer la connaissance et les évolutions du territoire et les partager avec l'ensemble des décideurs publics ;

- fournir des arguments aux services de l'Etat dans le cadre de l'association à l'élaboration des documents d'urbanisme (SCOT, PLU), et plus largement aux démarches en cours ou à venir sur le territoire.

En suivant les recommandations, il est possible de construire des observatoires de suivi de l'occupation du sol et de les faire vivre grâce à des mises à jour qui pourront bien sûr être opérées facilement grâce aux livraisons de la composante orthophotographique du RGE (BDOrtho ® de l'IGN) dans les services du ministère.

Quelques remarques et limites à l'application de cette méthode doivent être faites avant de se lancer dans un projet de création de couches d'occupation du sol multi-dates par photointerprétation assistée par ordinateur.

Formation

La photointerprétation assistée par ordinateur fait appel à la fois à des connaissances thématiques et à des connaissances des systèmes d'information géographique. Un personnel spécialisé et des moyens informatiques adaptés sont indispensables.

En fonction de sa connaissance du sujet étudié et du terrain, le photo-interprète expérimenté peut analyser une image dans son ensemble, en prenant en compte non seulement les teintes et couleurs mais également la forme, la texture et la structure des divers éléments qui la composent, ainsi que leur agencement dans l'espace.

La qualité de l'interprétation de l'image dépend donc avant tout de la compétence du photointerprète.

Commande

La définition de la commande est capitale. Elle va en effet conditionner les résultats futurs. Est-ce de grandes zones homogènes qui sont souhaitées ou est-ce un levé très précis à la parcelle qui est demandé? Les moyens à mettre en oeuvre ne seront pas les mêmes et le coût sera sensiblement différent selon les options choisies.

Limites techniques de la photointerprétation

Des limites de la photointerprétation existent. Elles doivent être mentionnées lors de l'édition de documents contenant les résultats du travail mais aussi décrites dans les métadonnées de chaque couche. Voici une liste générale qui a pour but d'aider à une bonne compréhension du travail effectué :

- les informations sous couvert boisé sont difficilement détectable. Par exemple, la détection de façon exhaustive et sans données exogènes de l'urbanisation dans les Landes sera très difficile à obtenir ;
- une vue aérienne ne permet pas de connaître l'usage d'un bâtiment. Par exemple, un bâtiment de plusieurs étages situé dans un centre ville est repéré comme habitat collectif alors qu'en réalité ce peut être un immeuble de bureau ou un grand magasin. La définition d'une nomenclature adaptée répond normalement à ce type de problème ;
- les limites des parcs de châteaux (classés en espaces verts) ne sont pas toujours bien délimitées surtout lorsque le parc contient un bois. Il est difficile de savoir si le bois appartient à la propriété ou non ;
- sur certains secteurs, les photographies aériennes 1985 (faites en noir et blanc) n'étaient pas toujours de très bonne qualité. Des problèmes de contraste ont été constatés, ce qui a pu avoir comme conséquence d'altérer la qualité d'interprétation du photo-interprète.

Temps de travail

Le temps de travail est totalement dépendant de la complexité du territoire à analyser, de l'échelle de saisie, de la nomenclature choisie.

Pour cette étude sur une zone de 37 km², les temps de travail ont été estimés ainsi :

- création de la couche d'occupation du sol « référentiel » : 3h30 ;
- mise en évidence des changements 1999: 1h ;
- mise en évidence des changements 1989: 1h30 ;
- mise en évidence des changements 1978: 2h ;
- mise en évidence des changements 1963: 1h30.

Les temps de traitement des dates anciennes dépendent de la qualité de la photo aérienne. C'est pour cette raison que la photointerprétation a été plus longue pour 1978 que pour 1963.

À ces temps de traitement, il est indispensable d'ajouter les temps d'orthorectification des clichés anciens.

Temps de travail pour l'ensemble des opérations comprenant la création du référentiel puis l'interprétation de quatre dates anciennes : 9h30 pour une zone de 17 km².

3.3.6 Recommandations

D'une manière générale, il est recommandé de suivre les étapes suivantes :

- définir rigoureusement la demande, ce qui comprend :
 - le choix d'une nomenclature adaptée,
 - la définition d'une échelle d'analyse,
 - la disponibilité des clichés aériens,
 - le choix de la méthode d'interprétation: classique, assistée par ordinateur, mixte, etc. ;
- réaliser le référentiel occupation du sol à partir de la date la plus récente en s'aidant des composantes topographiques et parcellaires du RGE quand elles sont disponibles.
- valider ce référentiel par un contrôle qualité sévère
- réaliser la photointerprétation des dates anciennes à partir de ce référentiel en se basant sur les mêmes contours: en réaffectant les codes d'occupation du sol ou en divisant des polygones.

En suivant cette démarche, les résultats obtenus seront satisfaisants et pourront contribuer à la création d'un observatoire de l'occupation du sol à partir d'outils SIG.

Les mises à jour pourront être réalisées sans difficultés majeures si un cahier des charges existe.

3.4 Synthèse des deux méthodes

Travailler avec des photos aériennes présente trois avantages importants :

- les missions aériennes sont effectuées dans un laps de temps court ce qui permet de disposer d'un territoire homogène en terme de date de prises de vue ;
- les analyses sont réalisées avec des données sources et non avec des supports cartographiques issus d'interprétation ;
- la photo est une vue du « monde réel » ce qui ouvre des possibilités d'exploitation dans d'autres thématiques que l'urbanisation. Ainsi il pourrait être envisagé de « rentabiliser » le coût d'orthorectification en s'intéressant à d'autres thèmes comme par exemple les risques naturels (effondrements, évolution du trait de côte), l'évolution du bâti et les zones inondables...

Pour les deux méthodes, les préalables sont :

- l'intégration des clichés anciens dans un SIG (Annexe 2) ;
- la délimitation de la couche d'occupation des sols la plus récente qui servira de référence aux traitements des données anciennes.

L'extraction automatique est **environ deux fois plus rapide** que la photointerprétation à l'écran, mais elle ne permet de distinguer que ce qui est bâti par rapport au non bâti. Pour 100 km², il faut compter 12h pour quatre dates contre 28h en photointerprétation. Mais la photointerprétation permet une nomenclature plus riche.

Ces deux méthodes ne font toutefois pas appel aux mêmes compétences et ne produisent pas les mêmes gammes de résultats : l'extraction automatique produit un résultat à l'échelle moyenne alors que la photointerprétation produit un résultat à grande échelle.

C'est donc le résultat que l'on souhaite obtenir et les compétences dont on dispose qui conditionneront la méthode à employer.

4. Famille B : utilisation de cartes et plans anciens

La première méthode consiste, à partir de cartes anciennes de l'IGN, à réaliser un historique de l'évolution de la tache urbaine et du cadre bâti. La seconde méthode consiste, à partir du cadastre, à réaliser un historique de l'évolution du cadre bâti.

Les éléments techniques des deux méthodes sont présentés. Les résultats obtenus dans le cadre de ces méthodes permettent de déterminer l'évolution des territoires artificialisés et des territoires agricoles ou naturels de 1937 à nos jours. L'approche développée a également permis de mesurer l'évolution du cadre bâti depuis 1937 et pour cinq dates différentes.

Enfin, il a été possible de réaliser un historique du cadre bâti à partir du cadastre pour une commune de la zone d'étude, et ce, entre 1982 et 2002.

4.1 Méthode B1 : utilisation de cartes anciennes

Les cartes anciennes utilisées dans le cadre de cette approche proviennent de la cartothèque de l'IGN située à Saint-Mandé.

En fonction du périmètre d'étude retenu et de la plage de dates requises, il a été possible d'obtenir des photocopies noir et blanc de cartes anciennes au 1:50 000 pour 4 dates distinctes : 1937, 1950, 1970 et 1986.

Afin de réaliser un historique de l'évolution du bâti depuis 1937 jusqu'à nos jours, le Scan25 de l'IGN datant de 2002 a également été utilisé afin d'obtenir une cinquième date comparative.

4.1.1 Méthode

4.1.1.1 Intégration dans un SIG

Les photocopies noir et blanc ont d'abord été scannées au format A3 en TIF (Tagged Image File Format). Le calage des cartes a été ensuite réalisé dans MapInfo Professionnal à partir du Scan25 de l'IGN.

La projection des cartes utilisées étant de nature différente (Lambert I Nord, Lambert II Carto), la méthode des levés cartographiques ayant évolué au cours du temps (levés stéréotopographiques, levés photogrammétriques), des difficultés de calage ont donc été rencontrées : la superposition des différentes cartes calées ne s'opérait pas parfaitement, le décalage pouvant atteindre 175 mètres selon les cartes.

Malgré tout, comme le décalage était à chaque fois uniforme, il a été possible de redresser les cartes afin de parvenir pour chacune d'elle à une superposition avec le Scan25.

4.1.1.2 Détermination de la tache urbaine

Afin de déterminer la tache urbaine et son évolution, il a été nécessaire de définir les éléments composant la tache urbaine. Cette définition s'est basée sur la nomenclature de Corine Land Cover de l'IFEN⁶.

Seul le premier niveau de la nomenclature a été repris, à savoir la distinction entre territoires artificialisés et territoires agricoles ou naturels. Le définition de ces deux types d'espaces ainsi que des exemples d'urbanisation tirés de la zone d'étude se trouvent sur les deux planches suivantes.

Comme l'objectif est de créer une base de données de l'occupation du sol à différentes dates, et non pas une base de données topographique (représentant entre autres le contour des bâtiments), il a été nécessaire de définir un niveau de généralisation lors de la saisie. A cet effet, deux critères sont importants, l'Unité Minimale de Collecte (UMC) et un choix concernant la continuité du bâti.

6 *Guide d'utilisation de Corine Land Cover 2000*, Institut Français de l'environnement, 15p, avril 2005.

En se basant sur les travaux du CETE de Lyon concernant la tache urbaine⁷, il est conseillé, au 1:50.000, de définir une UMC qui prenne en compte tous les ensembles de bâtiments (à partir de 5 ou 6 bâtiments contigus). Dans le cadre de cette étude, l'UMC retenue a été de deux hectares, ce qui s'approche de cette définition. En ce qui concerne la continuité du bâti, la distance retenue entre les bâtiments pour considérer qu'ils appartiennent à la même zone a été de l'ordre de 100 mètres. Ce dernier critère reste malgré tout approximatif, l'interprétation ayant été « manuelle ».

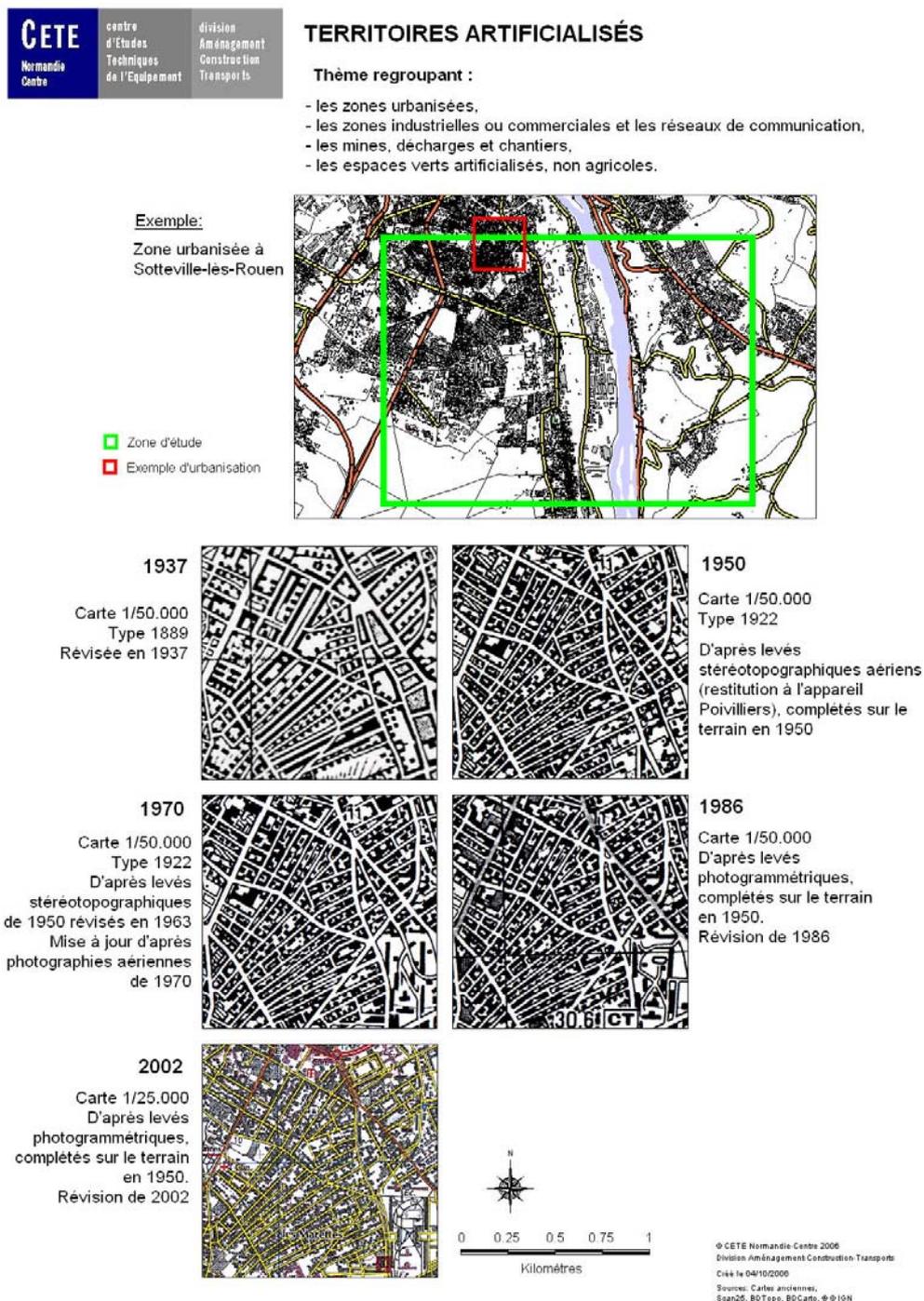


Illustration 14: Territoires artificialisés

⁷ Les bases de données géographiques d'occupation du sol : Volet tache urbaine, Descriptif et comparatif de 6 bases de données, Certu-CETE de Lyon, 58p, 2005.



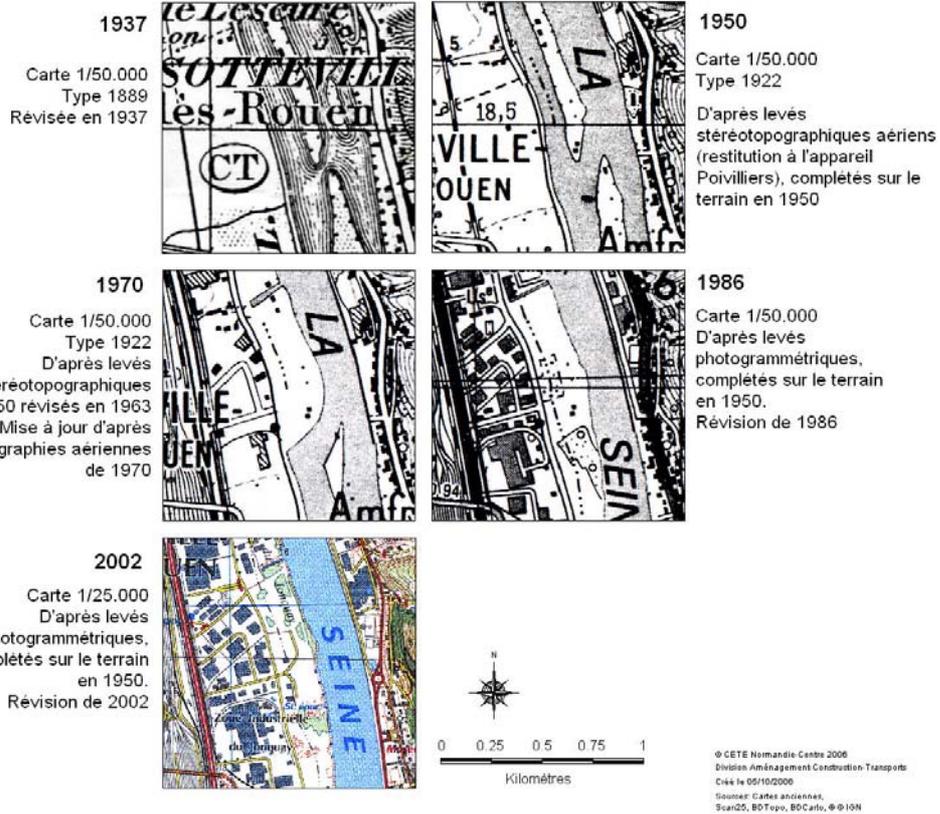
TERRITOIRES AGRICOLES OU NATURELS

Thème regroupant :

- les territoires agricoles,
- les forêts et milieux semi-naturels,
- les zones humides,
- les surfaces en eau.

Exemple:
Les bords de Seine à
Sotteville-lès-Rouen

- Zone d'étude
- Exemple d'urbanisation



© CETE Normandie Centre 2006
Division Aménagement Construction Transports
Cité le 05/10/2006
Sources: Cartes anciennes,
Scan25, BDTopo, BDCarto, © ION

Illustration 15: Territoires agricoles ou naturels

4.1.1.3 Traitement multi-dates

Deux approches ont été menées afin de réaliser une analyse diachronique de la zone d'étude.

Évolution de la tache urbaine

Dans un premier temps, la démarche a consisté à superposer les taches urbaines obtenues aux différentes dates afin d'identifier les extensions urbaines réalisées depuis 1937. Le résultat est visible sur la planche intitulée « Évolution de la tache urbaine de 1937 à 2002 ». Le taux d'évolution annuel de la tache urbaine a également été calculé pour les quatre périodes de référence, ainsi que pour l'ensemble de la période étudiée (1937-2002).

Évolution du cadre bâti

Dans un second temps, il a été envisagé de passer d'une analyse de l'occupation du sol à une analyse du cadre bâti, compris ici comme l'ensemble des bâtiments de la zone d'étude. La démarche a consisté, par le biais d'une requête dans le SGBD, à affecter aux bâtiments provenant de la BDTopo, une année d'apparition en fonction des données provenant des taches urbaines saisies aux différentes dates.

Cette approche ne prend bien évidemment pas en compte les phénomènes de renouvellement urbain, mais elle permet de saisir plus précisément les dynamiques d'urbanisation. Elle permet par exemple d'observer précisément l'urbanisation sur la rive gauche de la Seine ou de dater les phénomènes de péri urbanisation en général et de «développement pavillonnaire» en particulier.

Le résultat est visible sur la planche intitulée « Évolution du cadre bâti de 1937 à 2002 ». Le taux d'évolution annuel du cadre bâti a également été calculé pour les quatre périodes de référence, ainsi que pour l'ensemble de la période étudiée (1937-2002).

4.1.2 Résultats

4.1.2.1 Cartes

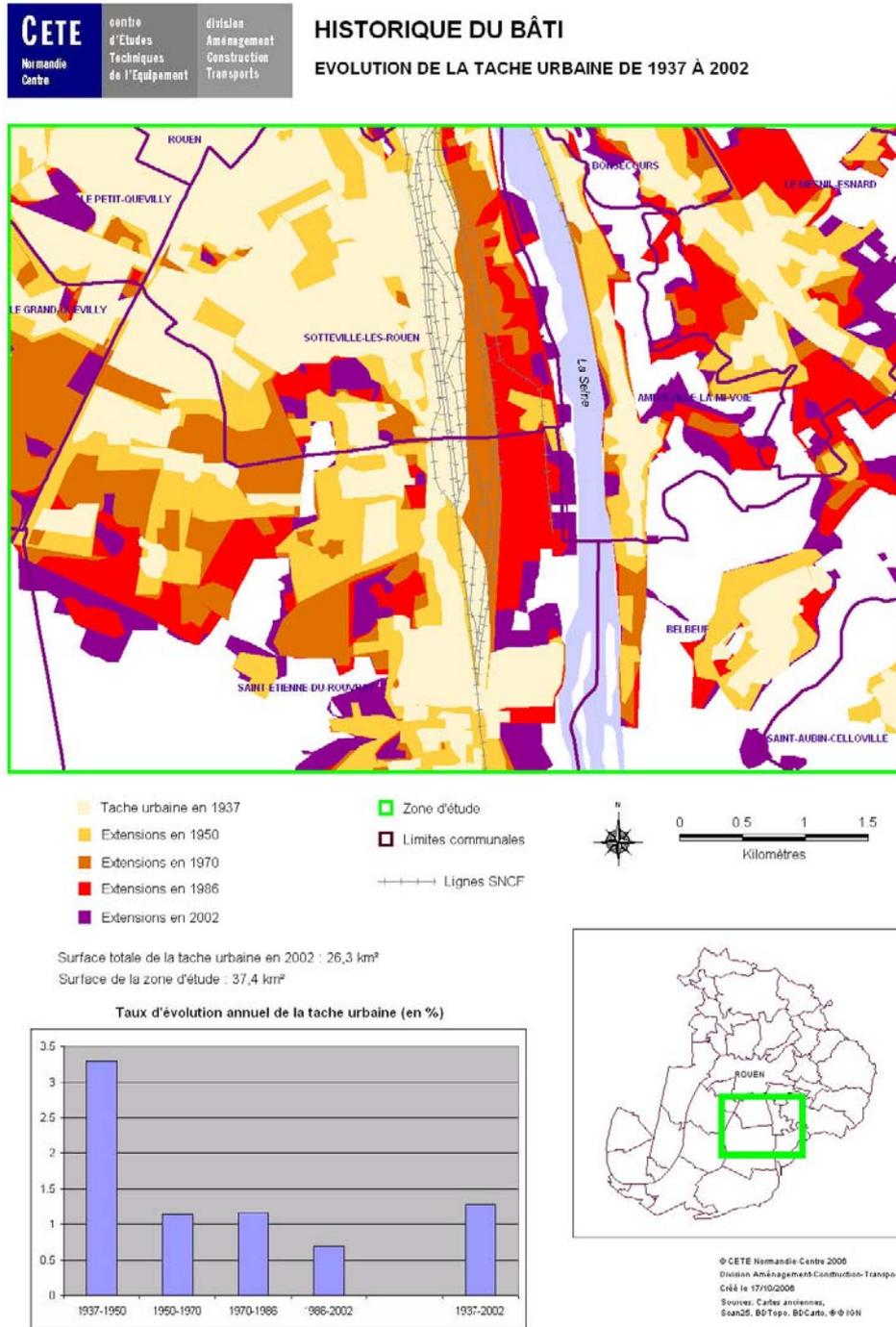


Illustration 16: Évolution de la tache urbaine de 1937 à 2002

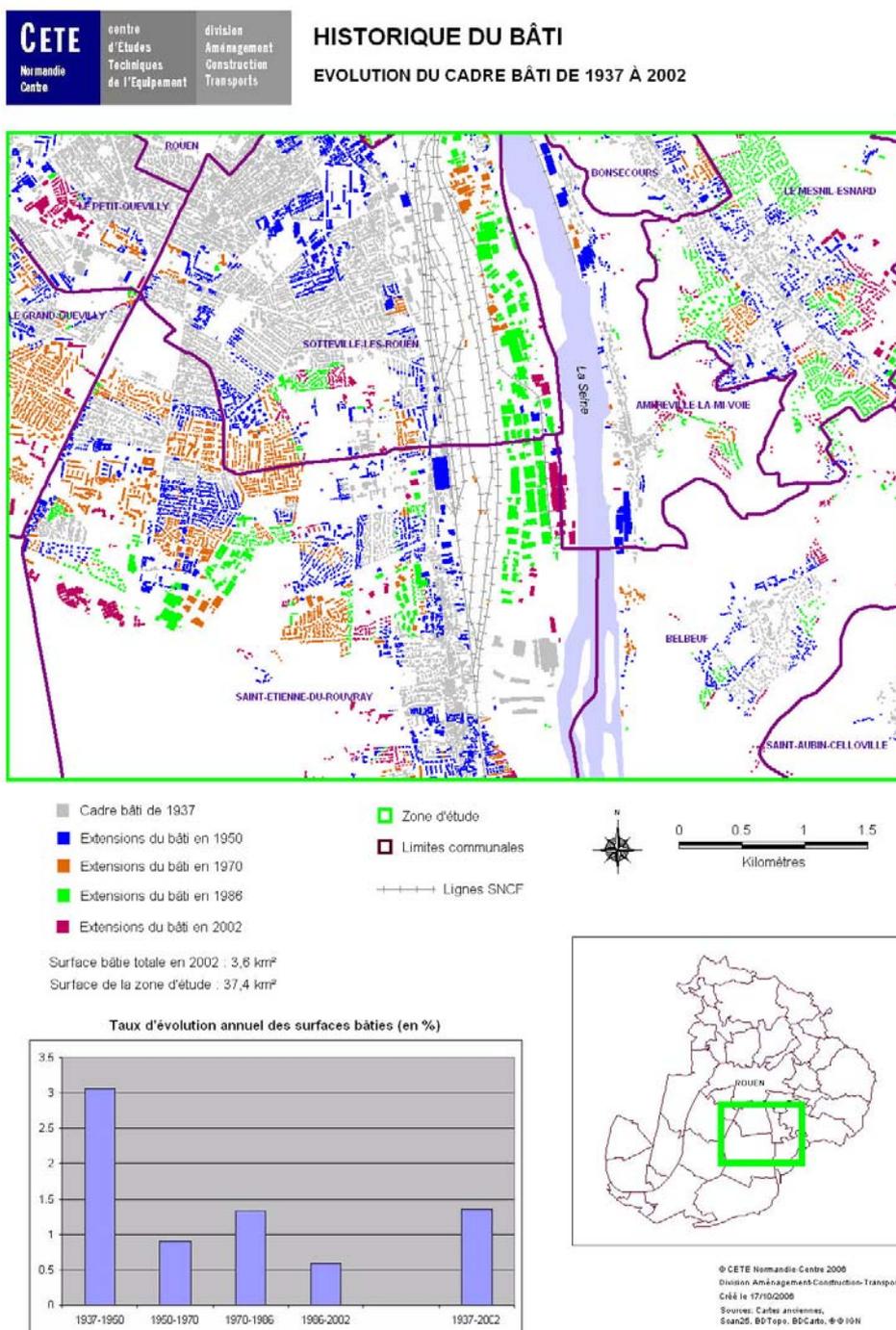


Illustration 17: Évolution du cadre bâti de 1937 à 2002

4.1.2.2 Statistiques globales

Territoires artificialisés				
Année	Surface (en km ²)	% zone	Période	TX_evol_annuel (en %)
1937	10.24	27.4	1937-1950	3.293561612
1950	15.61	41.8	1950-1970	1.136696385
1970	19.57	52.4	1970-1986	1.156797792
1986	23.52	63.0	1986-2002	0.695780663
2002	26.28	70.4		
			1937-2002	1.460227572
Surface zone	37.3515422			

Territoires agricoles ou naturels				
Année	Surface (en km ²)	% zone	Période	TX_evol_annuel (en %)
1937	27.11	72.6	1937-1950	-1.68241998
1950	21.74	58.2	1950-1970	-0.9999664
1970	17.78	47.6	1970-1986	-1.559181013
1986	13.83	37.0	1986-2002	-1.381442637
2002	11.07	29.6		
			1937-2002	-1.368368873
Surface zone	37.3515422			

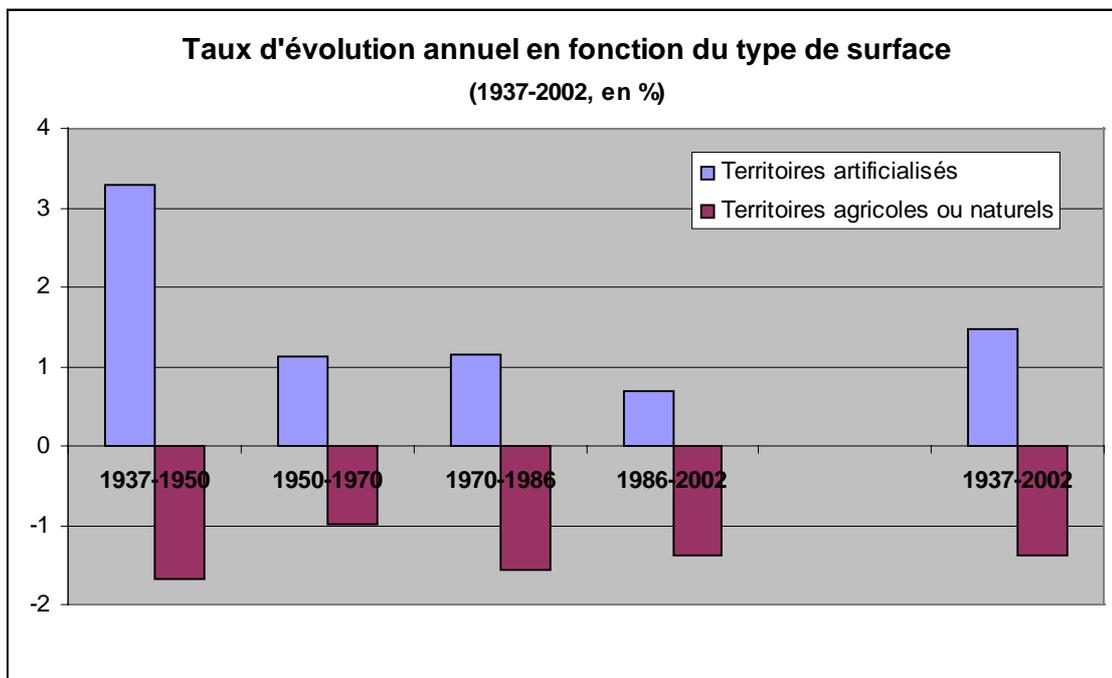


Illustration 18: Taux d'évolution annuel en fonction du type de surface

4.1.3 Conclusion et limites

4.1.3.1 Notion de qualité

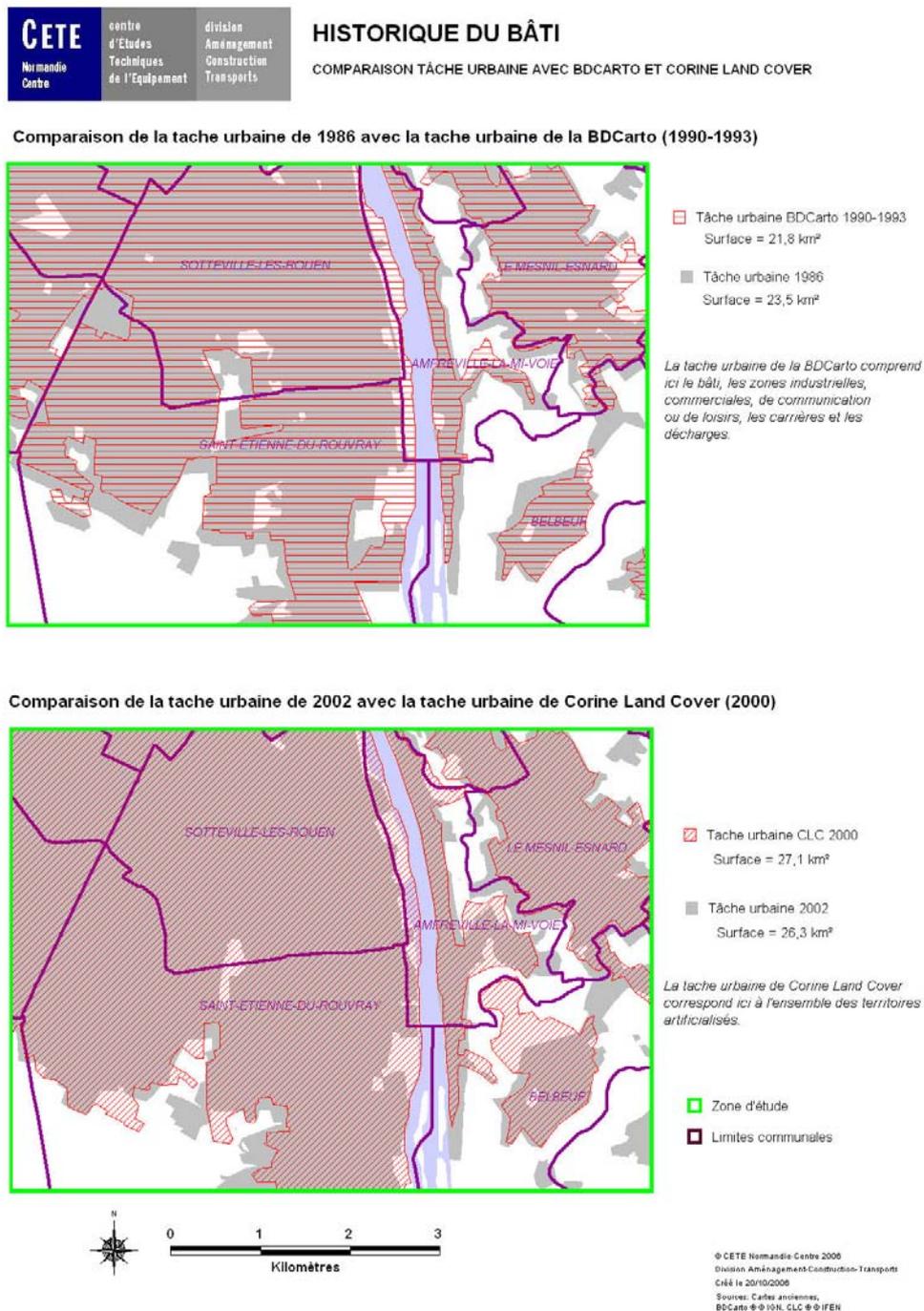


Illustration 19: Comparaison tache urbaine avec BDCarto et Corine land cover

Précision des données et de la méthode

Les données utilisées proviennent de cartes à 1:50 000, soit à moyenne échelle. Il s'agit en outre à l'origine de photocopies noir et blanc, ce qui ne permet pas de distinguer finement le type de bâti (habitat, activités, etc.) ou même le type de zone (forêt, zone agricole, etc.). De ce fait, il s'agit de données de précision moyenne permettant malgré tout de répondre à la question posée, à savoir réaliser un historique de l'évolution du bâti.

La numérisation de la tache urbaine par le photo-interprète introduit une imprécision non négligeable : oubli de zones bâties de faible surface, appréciation du critère de continuité du bâti, etc.

Une fois les taches urbaines numérisées aux différentes dates, il était donc intéressant de chercher à les comparer avec d'autres bases de données d'occupation du sol. En l'occurrence, deux bases de données étant aisément accessibles, Corine Land Cover et la couche Occupation du Sol de la BDCarto, la comparaison a porté sur la tache urbaine de 1986 couplée avec la BDCarto (datant de 1990-1993) et sur la tache urbaine de 2002 couplée avec Corine Land Cover (datant de 2000).

La différence est d'environ 7% entre tache urbaine de 1986 et BDCarto 1990-1993 et d'environ 3% entre tache urbaine de 2002 et Corine Land Cover 2000. La comparaison des bases est visible sur la planche suivante.

Exhaustivité des données

Il a été possible de réaliser, au sein de la zone d'étude, un historique depuis 1937 jusqu'à nos jours pour l'ensemble des communes, et ce, à cinq dates différentes.

4.1.3.2 Mise en oeuvre

Disponibilité des données

Sur d'autres secteurs, la disponibilité des données ne semble pas poser de problèmes, l'IGN étant en mesure de fournir des cartes anciennes à plusieurs dates sur l'ensemble du territoire. Seules les dates de référence sont susceptibles de changer d'un secteur à l'autre.

Difficultés de traitement

On ne rencontre aucune réelle difficulté dans le traitement de ces données. Les seules éventuelles gênes concernent le temps que peut prendre le traitement (cf paragraphe suivant) et l'aspect manuel des manipulations (difficulté d'une possible automatisation des tâches).

Reproductibilité

La méthode est reproductible, à ceci près qu'il faut se procurer des cartes anciennes auprès de l'IGN. A noter également que sur des zones d'étude étendues, le temps de traitement risque d'être important.

Coût financier et temporel

L'ensemble des cartes anciennes utilisées dans le cadre de cette étude (7 cartes au total permettant de couvrir quatre dates) a été obtenu auprès de l'IGN pour un coût inférieur à 50 euros, frais d'envoi compris. De manière générale, le coût d'une carte photocopiée en noir et blanc par l'IGN, que ce soit au 1:25 000 ou au 1:50 000, est de l'ordre de 6 à 8 euros TTC. Le coût du Scan25 n'est pas chiffré ici, faisant partie d'une convention nationale entre l'IGN et le ministère de l'équipement.

En termes de temps de traitement des données, il faut compter environ quatre journées pour réaliser l'ensemble de la base de données, intégrant une journée pour le scannage et le calage des différentes cartes, et environ une demi-journée de travail par date à numériser, pour une surface totale de la zone d'étude atteignant 37 km².

4.2 Méthode B2 : utilisation du cadastre

Seule l'analyse du plan cadastral a été effectuée ici. En effet, il aurait été possible d'utiliser les données littérales de la matrice cadastrale (fichiers MAJIC2) afin de connaître la date de construction du bâti, mais il n'était pas possible d'en disposer facilement. L'étude des données littérales du cadastre et notamment son utilisation pour réaliser des historiques du cadre bâti fait l'objet d'une autre étude, en cours⁸

Suite à des contacts avec l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Rouen (ENSAN), ainsi qu'avec le service du cadastre de Rouen, il s'est avéré qu'en terme de cadastre ancien (à partir de 1930), la seule date disponible concernait les années 80 mais variait selon les communes de l'agglomération. Au final, l'ENSAN disposait des planches suivantes concernant les communes appartenant à la zone d'étude retenue :

- Grand-Quevilly : 15 sections (1983) + cadastre actuel numérisé
- Petit-Couronne : 3 sections (1970) + tableau d'assemblage (1982) + cadastre actuel numérisé
- Sotteville : planches complètes (1982) + cadastre actuel numérisé
- St-Étienne-du-Rouvray : planches complètes (1982) + cadastre actuel numérisé
- Amfreville-la-Mivoie : 8 sections (1982) + cadastre actuel numérisé
- Mesnil-Esnard : tableau d'assemblage (1987) + cadastre ancien (1938)
- Belbeuf : tableau d'assemblage + 1 section (1982)

Seules les communes de Sotteville et St-Étienne-du-Rouvray permettaient de disposer de la totalité du cadastre à une date antérieure ainsi que du cadastre actuel numérisé. Le choix s'est finalement porté sur la commune de St-Étienne-du-Rouvray en raison de la localisation géographique de cette commune. En effet, St-Étienne se situe au sud de l'agglomération et possède une zone non urbanisée. Intuitivement, on peut donc penser que l'urbanisation a beaucoup évolué dans cette zone, ce qui rend le choix de cette commune plus intéressant pour l'étude en cours.

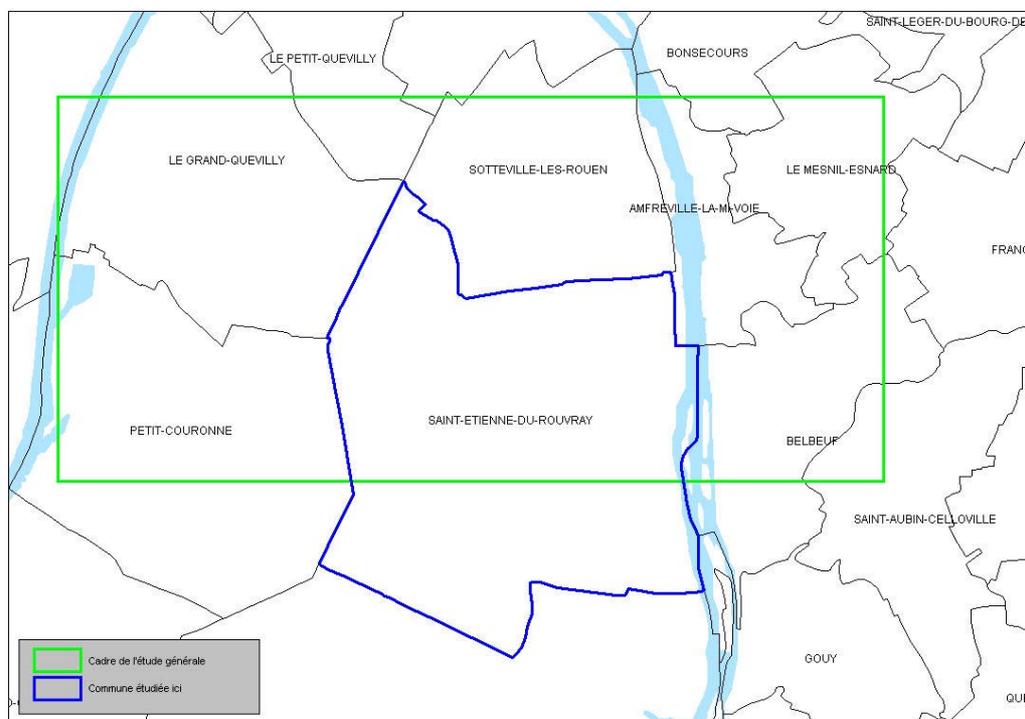


Illustration 20 : Situation de la commune étudiée

⁸ *Guide d'usage des données de la matrice cadastrale couplées avec un SIG*, étude DGUHC Certu dont la sortie est prévue premier trimestre 2008

On constate sur le tableau d'assemblage qu'on ne visualise pas toujours le détail du contour des bâtiments. C'est pourquoi on ne va utiliser dans la suite que les planches cadastrales scannées qui, elles, permettent d'obtenir le contour précis des bâtiments.

Redressement du nord et tentative de calage

Les planches cadastrales scannées n'ont pas toujours la même orientation. Notamment, de nombreuses planches présentent un Nord orienté selon des angles divers. Il a donc fallu tout d'abord redresser ces planches afin que leurs Nord correspondent entre tous les fichiers (orienté vers le haut de la feuille comme le veut la convention générale).

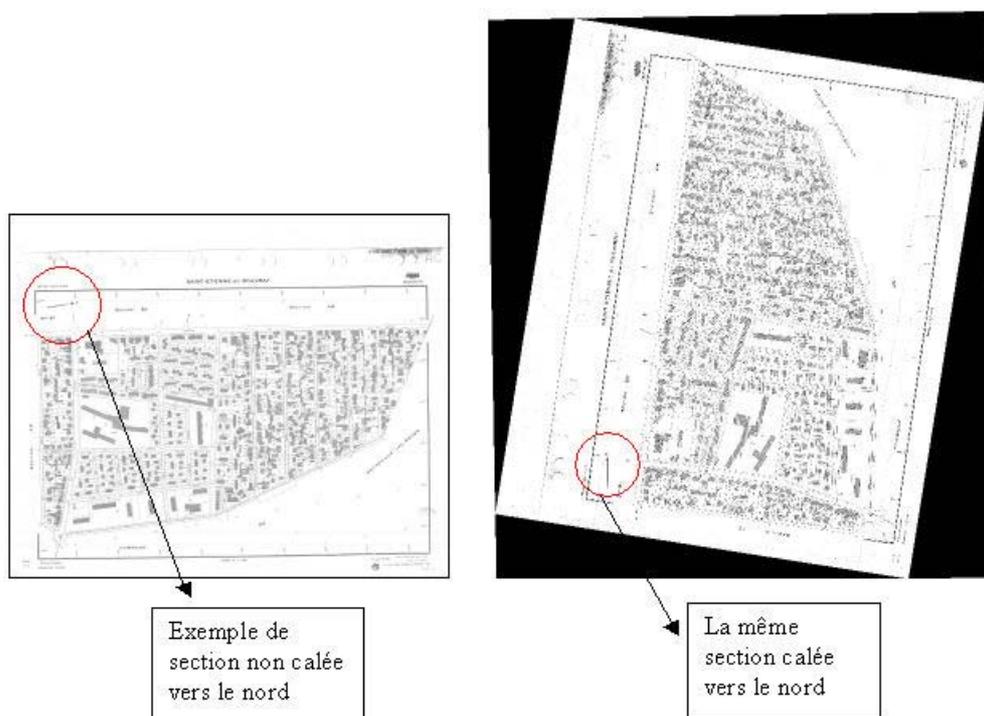


Illustration 23 : Redressement du nord

Chaque section cadastrale a enfin été calée sur le cadastre actuel afin de pouvoir ultérieurement comparer les surfaces.

Le cadastre de 2005

La commune de Saint-Étienne-du-Rouvray dispose d'un cadastre numérisé sur la totalité du territoire communal, ce qui rend l'intégration dans un SIG parfaitement aisée.

Les fichiers obtenus par l'intermédiaire de l'ENSAN se présentent sous forme de DXF et de DWG. Les fichiers DWG n'ont pas pu être utilisés, MapInfo rencontrant des erreurs systématiques lors de la traduction. Par la suite, nous n'avons donc travaillé qu'avec les fichiers DXF.

Chaque fichier DXF correspond à une section cadastrale (36 sections au total) dont la projection est le Lambert I – Nord.

4.2.1.2 Détermination de la tache urbaine

Comme cité précédemment, le cadastre de 1982 n'est disponible que sous la forme d'une feuille scannée, donc d'une image raster. Afin de pouvoir comparer avec le cadastre actuel, il est néces-

saire de disposer d'une forme vectorisée du cadastre, ou du moins du contour du bâti puisque c'est ce qui nous intéresse ici.

Les contours des bâtiments (représentés par des polygones hachurés sur l'image raster) ont donc été re-dessinés manuellement, ce qui permet d'obtenir le contour du bâti de 1982 sous forme vecteur.⁹

Voici un détail de ce que l'on obtient après numérisation :

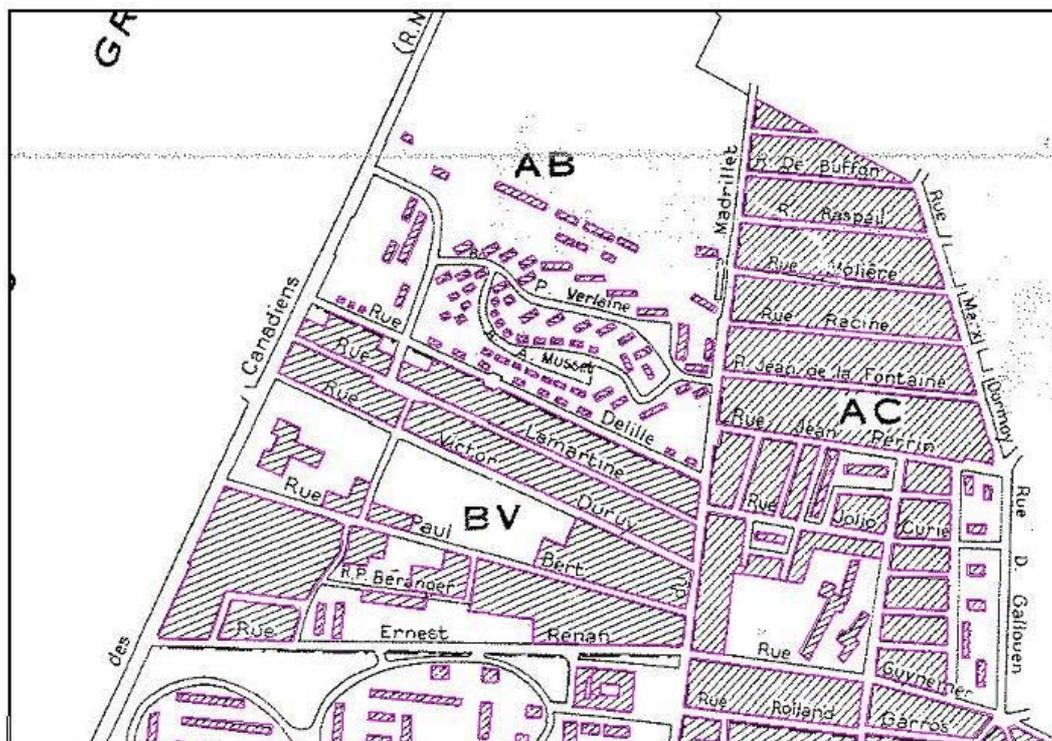
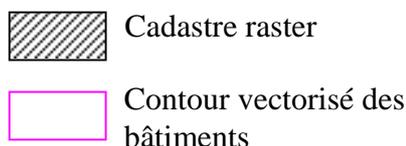


Illustration 24: numérisation du cadastre



En ce qui concerne le cadastre actuel, lors de l'importation des fichiers DXF, on ne conserve que les couches correspondant au bâti : cela correspond à deux couches Autocad : « bâti dur » et « bâti léger ».

D'après la description de l'IGN, un bâtiment en dur est défini « comme étant attaché au sol par des fondations et fermé sur les 4 côtés ou comme un bâtiment industriel. Une construction légère est une structure légère non attachée au sol par l'intermédiaire de fondations ou un bâtiment quelconque ouvert sur au moins un côté. »

La distinction entre ces deux catégories de bâtiment n'est pas possible à partir de l'image du cadastre ancien (on ne sait d'ailleurs même pas si ces deux catégories de bâtiments figurent sur le dessin ou si seuls les bâtiments en dur sont pris en compte). C'est pourquoi le choix a été fait de ne prendre en compte que le bâti dur pour la comparaison.

⁹ On notera que l'IGN est en train de mettre en place une méthode de vectorisation automatique du cadastre raster, et que des méthodes automatiques permettraient sans doute de rendre la vectorisation plus rapide.

4.2.1.3 Traitement multi-dates

Voici des images correspondant à la même section du cadastre aux deux dates :

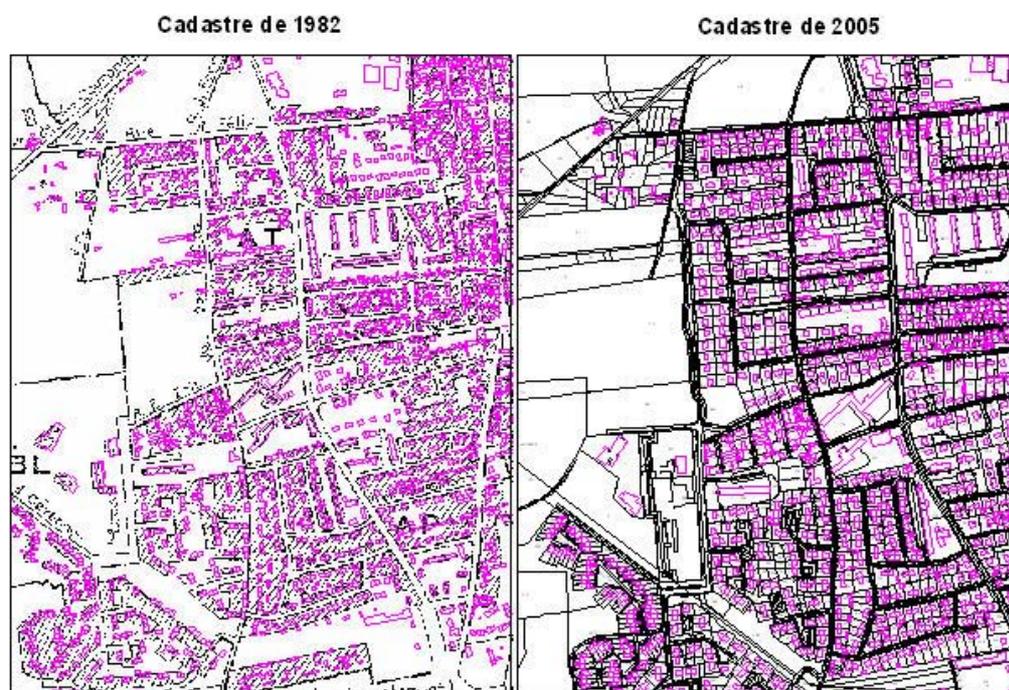


Illustration 25: Traitement multi-dates du cadastre

Le contour des bâtiments a été tracé en violet afin de mieux les distinguer.

4.2.2 Résultats

Lorsque l'on mesure la surface de bâti et qu'on la compare entre les deux dates, on obtient :

<i>Surface bâtie en 1982 en m²</i>	<i>Surface bâtie en 2005 en m²</i>	<i>Différence en %</i>	<i>Taux d'évolution annuel en %</i>
1 406 310,93 (7,7 % de la commune)	1 657 755,1 (9 % de la commune)	15,2 %	0,71221076

De même on obtient facilement une visualisation de l'évolution du bâti entre 1982 et aujourd'hui.

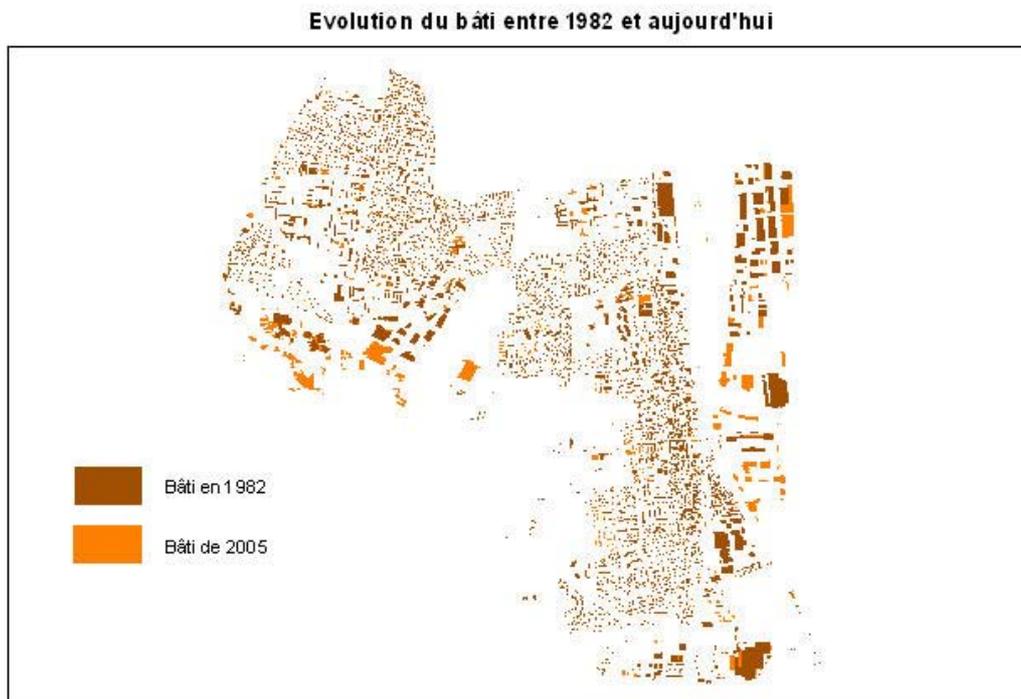


Illustration 26: Évolution du bâti entre 1982 et aujourd'hui

4.2.3 Conclusion et limites

4.2.3.1 Notion de qualité

Précision des données et de la méthode

Les données du cadastre sont très précises, on descend jusqu'au niveau du contour de bâtiment. La méthode n'introduit pas d'imprécision spécifique puisqu'on s'intéresse, dans les deux cas, à la surface bâtie fournie par le contour précis des bâtiments.

Exhaustivité des données

On disposait ici de la totalité des données de cadastre sur la commune, tant en 1982 qu'aujourd'hui. En revanche, pour d'autres communes, on peut ne disposer que de quelques planches cadastrales (c'est par exemple le cas pour Grand-Quevilly). L'utilisation du tableau d'assemblage introduirait une nette imprécision (de l'ordre de 73%), il faut donc se limiter à l'utilisation des planches cadastrales.

4.2.3.2 Mise en œuvre

Disponibilité des données

Les données du cadastre sont des données publiques, donc accessibles par simple demande à la DGI. De plus, avec la constitution de la composante Parcellaire de l'IGN, en 2008 toutes les communes disposeront d'un cadastre numérisé¹⁰ et toutes les DDE devraient en être équipées d'ici 2010.

Difficultés de traitement

On ne rencontre aucune réelle difficulté dans le traitement de ces données. Le temps de traitement n'est cependant pas à négliger ainsi que l'aspect manuel et répétitif des manipulations (difficulté d'une possible automatisation des tâches).

¹⁰ D'après la description de la BDParcellaire sur le site internet de l'IGN

Reproductibilité

La méthode est reproductible, à ceci près qu'il faut pouvoir disposer du cadastre à des dates anciennes et de façon exhaustive. A noter également qu'à grande échelle, le temps de traitement risque d'être important.

Coût financier et temporel

Comme cela a déjà été abordé précédemment, la précision des données rend tout traitement à grande échelle coûteux en temps et par conséquent en coût. De plus, l'absence d'automatisation des différentes manipulations nécessaires rend difficile toute économie de temps par l'automatisation.

La vectorisation des contours de bâtiments du cadastre ancien a nécessité plusieurs jours, et ce sur la seule commune de St-Étienne.

Le coût d'une feuille de cadastre papier ou raster est de 9,5 euros la feuille si achetée auprès de la DGI.

4.3 Synthèse des deux méthodes

Les deux méthodes présentées dans ce chapitre sont assez peu comparables, autant dans leurs objectifs que dans leur mise en oeuvre.

La première méthode, basée sur l'utilisation de cartes anciennes de l'IGN, a pour objectif de constituer des taches urbaines à différentes dates. La seconde méthode, basée sur l'utilisation du cadastre, a pour objectif de déterminer le cadre bâti à deux dates différentes.

En terme de mise en oeuvre, les échelles de travail ne sont pas de même nature, 1:50 000 pour les cartes anciennes, 1:1 000 pour le cadastre.

De manière générale, si la première méthode permet rapidement et pour un faible coût de dresser un historique de la tache urbaine sur un secteur donné, elle souffre d'un manque de précision. En revanche, la seconde méthode, beaucoup plus précise, se heurte à la disponibilité des données et au temps de la mise en oeuvre.

En la matière, le choix de l'une ou l'autre des deux méthodes dépendra donc à la fois de la problématique et de l'échelle d'étude. A l'échelle infra-communale ou pour une commune, l'utilisation du cadastre peut s'avérer intéressante sous réserve d'une disponibilité de feuilles cadastrales anciennes. Par contre, à moyenne ou petite échelle, l'utilisation de cartes anciennes de l'IGN paraît beaucoup plus adaptée.

Comme il est dit plus haut, les deux méthodes sont difficilement comparables. Malgré tout, la première méthode ayant pu permettre de déterminer le cadre bâti à partir des taches urbaines constituées à différentes dates, il a été possible de comparer les résultats obtenus, mais pour la commune de Saint-Étienne-du-Rouvray seulement.

Cependant, les deux méthodes n'ont pas pu avoir le même périmètre d'étude (une partie de la commune dans le premier cas et l'ensemble de la commune dans le second). Il n'était donc pas pertinent de comparer la surface obtenue des bâtiments, mais plutôt le taux d'évolution annuel du cadre bâti sur des plages de dates comparables, à savoir 1986-2002 et 1982-2005.

Or, il a été possible de constater qu'à partir de deux méthodes complètement différentes, on obtient un taux d'évolution annuel du cadre bâti très proche sur une période semblable.

Taux d'évolution annuel du cadre bâti à Saint-Etienne-du-Rouvray

<i>Méthode</i>	<i>Taux d'évolution annuel en %</i>
Cartes anciennes de l'IGN 1986-2002	0,74
Cadastre 1982-2005	0,71

5. Comparaison des méthodes et des résultats obtenus

Cette partie est une synthèse des quatre méthodes mises en oeuvre dans cette étude. Elle comprend les deux aspects principaux: l'intégration des données anciennes et l'occupation du sol. Elle est présentée sous la forme de trois tableaux multi-critères : indicateurs de données anciennes, indicateurs d'occupation du sol, indicateurs d'exploitation. Ils contiennent en colonne les méthodes et en ligne les indicateurs permettant de comparer les solutions techniques envisagées.

Il n'y a pas eu de comparaisons de chiffres ou de localisation entre les résultats obtenus puisque tout au long de ce rapport, nous nous sommes aperçus que ces méthodes étaient différentes, mais permettaient d'obtenir un résultat satisfaisant selon le besoin exprimé. Par ailleurs, elles mettaient en oeuvre des moyens différents.

Intégration	Famille A : clichés anciens		Familles B : cartes et plans	
	Télé-détection	Photointerprétation	Cartes Anciennes	Cadastre
Disponibilité des données	Les clichés sont disponibles avec un intervalle d'environ 5 ans. Il s'agit de missions aériennes départementales		L'IGN est en mesure de fournir des cartes anciennes à plusieurs dates sur l'ensemble du territoire.	accessibles à la DGI. Pas d'information sur la gestion de leurs archives
Coût des données	Un cliché couvre environ 25km ² . L'achat d'un cliché papier à l'IGN est d'environ 7€ avec un prix dégressif selon le nombre de clichés commandés		une carte au 1:25 000 photocopiée en noir et blanc par l'IGN est de l'ordre de 6 à 8 euros TTC	9.5 euros la feuille
Disponibilité des outils nécessaires	Scanner Logiciel d'orthorectification comme Ermapper, Envi, Erdas, ... Ce sont des logiciels spécifiques peu répandus dans les services, ce qui peut être une contrainte à la mise en oeuvre		Scanner / MapInfo	
Géométrie	Orthorectification sur l'orthophotographie: précision de l'ordre du mètre (1:5 000)		Précision de l'ordre de 5 mètres hors déplacement du à la généralisation (précision de la carte à 1:25 000)	Précision inframétrique (précision du plan cadastral)
Radiométrie	Variable selon les prises de vue		noir et blanc	
Homogénéité dans le temps	Oui, les missions aériennes sont volées dans un laps de temps court ce qui garantit une homogénéité à l'échelle d'un département au moins.		Hétérogène en fonction des dates de mise à jour de chacune des feuilles	
Facilité de traitement	- La principale difficulté réside dans le fait de trouver des points de calage. - Travail rigoureux indispensable pour obtenir une bonne qualité.		On ne rencontre aucune réelle difficulté dans le traitement de ces données.	Remise au nord, un peu plus compliqué que pour 1:25 000
Temps de traitement	2 heures par cliché 2 heures pour le mosaïquage pour 50 km ²		2h par carte	2h par section
Usage	Usages multiples puisqu'il s'agit d'une vue du monde réel		Usages limités au bâti que l'on voit sur la carte IGN	Usage limité aux bâtiments
Occupation des sol	Famille A : clichés anciens		Familles B : cartes et plans	
	Télé-détection	Photointerprétation	Cartes Anciennes	Cadastre
Facilité de mise en oeuvre	Traitement faisant appel à des connaissances pointues en télé-détection	- Définition de la commande et calage du cahier des charges - Connaissances en photointerprétation	Très facile	
Disponibilité des outils nécessaires	logiciel de traitement d'images indispensable	peut être réalisée à partir des outils SIG courants	MapInfo	

Méthodes pour réaliser un historique de l'évolution du bâti

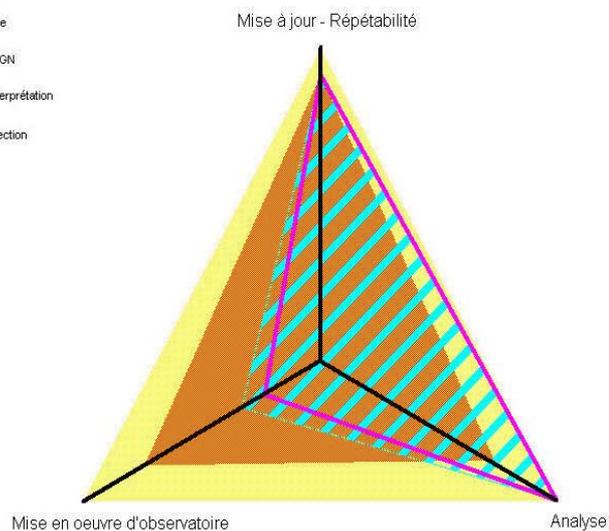
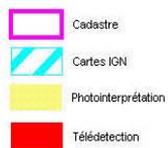
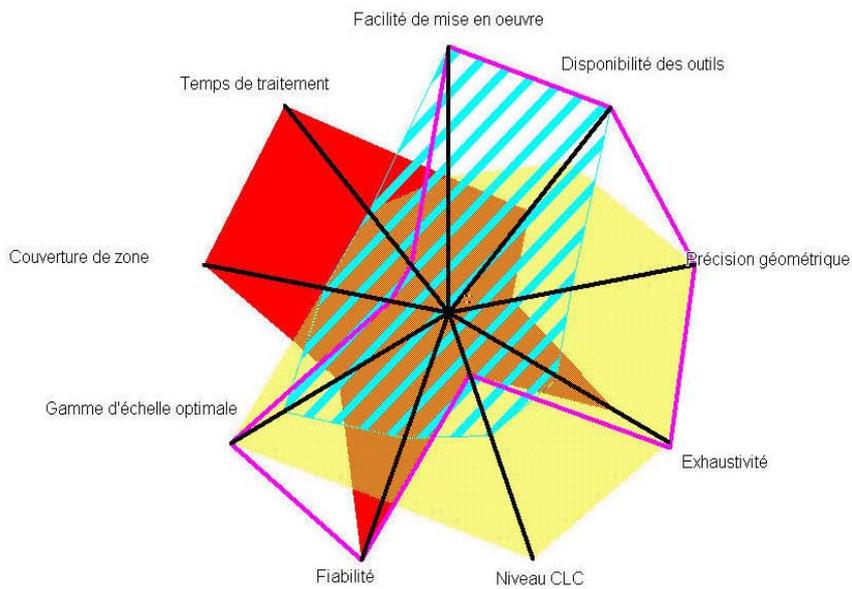
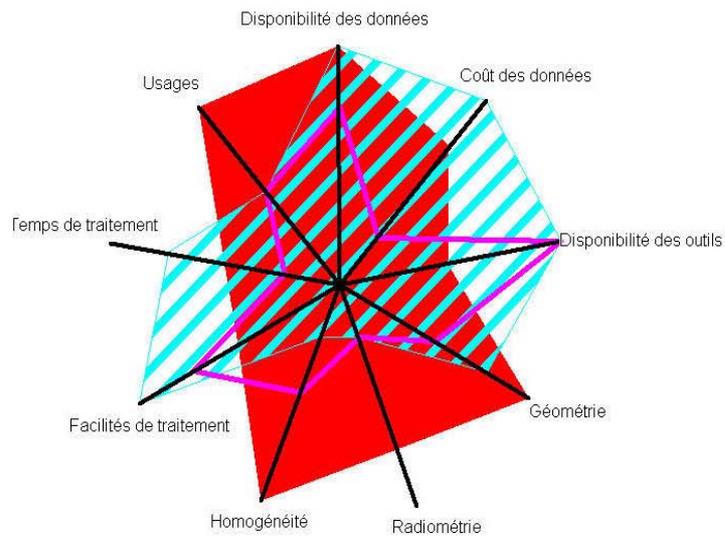
Occupation des sol	Famille A : clichés anciens		Familles B : cartes et plans	
	Télédétection	Photointerprétation	Cartes Anciennes	Cadastré
Précision géométrique	Les contours des zones sont lissés par le passage successif des filtres. Faible précision	Les contours peuvent être délimités jusqu'à l'échelle de la parcelle sur fond d'orthophotographie. Grande précision	Précision de la carte au 1:25 000	Les données du cadastre sont très précises, on descend jusqu'au niveau du contour de bâtiment.
Exhaustivité	Dépend de la période de prise de vue (hiver-été). Dépend de la qualité des clichés. Si ces deux critères sont optimaux, la délimitation est bonne et peut descendre jusqu'à l'hectare.	Dépend de la qualité des clichés. Si cette qualité est bonne, la plus petite surface peut être de l'ordre de 100m ²	Dépend de l'exhaustivité de la carte	Tous les bâtiments portés sur le plan cadastral
Niveau obtenu de Corine Land Cover	Niveau 1	Niveau 3 de la nomenclature avec possibilité de créer un 4ème niveau.	Niveau 2	Niveau 1
Fiabilité	Dépend de la qualité des clichés. Des erreurs existent lorsque des zones ressemblent aux espaces bâtis. Un traitement manuel doit être effectué.	Les erreurs identifiables sont liées principalement à des erreurs d'interprétation de code d'occupation du sol (tissu urbain continu au lieu de tissu urbain discontinu)	Il s'agit de photocopies noir et blanc, ce qui ne permet pas de distinguer finement le type de bâti (habitat, activités, etc.) ou même le type de zone (forêt, zone agricole, etc.).	La méthode n'introduit pas d'imprécision spécifique puisqu'on s'intéresse, dans les deux cas, à la surface bâtie fournie par le contour précis des bâtiments.
Gamme d'échelle optimale d'analyse	1:50 000 - 1:250 000	1:5 000 - 1: 50 000	1:25 000 – 1:50 000	1:5 000 - 1: 50 000
Couverture de zone	Couverture possible d'un large territoire	La méthode fait intervenir des moyens humains. La couverture d'un large territoire est possible mais le temps à y consacrer sera important. Privilégier une analyse sur des surfaces de taille moyenne.		
Temps de traitements	3h par date sur 50km ²	3h30 pour constituer le référentiel de 37km ² 1h30 par date ancienne	8h pour 37km ²	plusieurs jours pour une commune
Exploitation	Famille A : clichés anciens		Familles B : cartes et plans	
	Télédétection	Photointerprétation	Cartes Anciennes	Cadastré
Mise à jour - Répétabilité	Cette méthode peut être répétée à partir d'orthophotographies (5 ans entre chaque date) ou à partir d'image satellites		repeté à chaque maj de carte ign	cette méthode peut-être répétée à chaque mise à jour du cadastre
Analyse	Analyse à petite échelle du territoire et suivi des grands changements. Seule la tache urbaine est obtenue à l'issu des traitements.	Une couche d'occupation du sol est générée à grande échelle. Elle est constituée de plusieurs postes dans le bâti mais aussi dans l'agricole ou dans le milieu naturel. Elle permet de suivre les changements même à l'échelle infra-communale.	Analyse à petite échelle du territoire et suivi des grands changements. Seule la tache urbaine est obtenue à l'issu des traitements.	Tous les bâtiments
Mise en œuvre d'observatoires	L'intérêt n'est pas forcément justifié.	Oui	pour les dates future, on preferera l'utilisation de la bdtopo	on preferera l'utilisation de la matrice cadastrale

Méthodes pour réaliser un historique de l'évolution du bâti

Dans le tableau de synthèse suivant, le gradient de couleur exprime un indicateur positif lorsque la cellule du tableau est orange clair. Un indicateur négatif est représenté par du orange brun.

		Famille A		Famille B	
		Teled.	Photoint.	carte	cadastre
Intégration des données anciennes	Disponibilité des données	Orange clair	Orange clair	Orange clair	Orange clair
	Coût des données	Orange clair	Orange clair	Orange clair	Orange brun
	Disponibilité des outils nécessaires	Orange clair	Orange clair	Orange clair	Orange clair
	Géométrie	Orange clair	Orange clair	Orange clair	Orange brun
	Radiométrie	Orange clair	Orange clair	Orange brun	Orange brun
	Homogénéité	Orange clair	Orange clair	Orange brun	Orange brun
	Facilités de traitement	Orange clair	Orange clair	Orange clair	Orange clair
	Temps de traitement	Orange clair	Orange clair	Orange clair	Orange brun
	Usage	Orange clair	Orange clair	Orange clair	Orange brun
	occupation du sol	Facilités de mise en œuvre	Orange clair	Orange clair	Orange clair
Disponibilité des outils nécessaires		Orange clair	Orange clair	Orange clair	Orange clair
Précision géométrique		Orange brun	Orange clair	Orange brun	Orange brun
Exhaustivité		Orange clair	Orange clair	Orange clair	Orange brun
Niveau obtenu de Corine Land Cover		Orange brun	Orange clair	Orange brun	Orange brun
Fiabilité		Orange clair	Orange clair	Orange clair	Orange brun
Gamme d'échelle optimale d'analyse		Orange clair	Orange clair	Orange clair	Orange brun
Couverture de zone		Orange clair	Orange clair	Orange clair	Orange brun
Temps de traitements		Orange clair	Orange clair	Orange clair	Orange brun
exploitation	Mise à jour - Répétabilité	Orange clair	Orange clair	Orange clair	Orange brun
	Analyse	Orange clair	Orange clair	Orange clair	Orange brun
	Mise en œuvre d'observatoires	Orange clair	Orange clair	Orange brun	Orange brun

Méthodes pour réaliser un historique de l'évolution du bâti



6. ANNEXES

6.1 Annexe 1 : Présentation des principales nomenclatures d'occupation des sols

SPOT Thema

Définition

SPOT Thema est une base de données d'occupation des sols à l'échelle des agglomérations, disponible sur la France métropolitaine. Cette base de données vectorielles est réalisée à partir d'interprétation d'images Spot . Elle est actuellement réalisée à partir de données Spot 1 à 4, avec une résolution de 20 mètres au sol. Elle peut être réalisée sur demande avec des données Spot 5 avec une résolution de 5 mètres au sol.

Cette base de données fait appel à de nombreux documents exogènes comme les cartes 1:25 000, les plans de ville, les zonages environnementaux, ...

SPOT Thema est une nomenclature comprenant deux niveaux. Le premier niveau comprend 8 thèmes, le second niveau est composé de 29 thèmes dont 9 concernent l'urbanisation. Il s'agit d'une nomenclature emboîtée dans le sens où l'on peut passer d'un niveau à l'autre sans perte mais aussi où il est possible d'enrichir certains thèmes en créant par exemple un troisième niveau.

Utilisateurs connus

La DDE de Haute Garonne a utilisé SPOT Thema pour suivre l'évolution d'une agglomération. Le tableau ci-après présente les postes de cette nomenclature.

Disponibilité

La base de données SPOT Thema est disponible sur les agglomérations de la France métropolitaine. Sa nomenclature est adaptable à n'importe quel autre territoire.

Utilisation potentielle

Vue globale de l'occupation du sol sur un territoire relativement grand.

Étude des zones urbanisées

Oui

Les postes de la nomenclature

Postes du 1er niveau	Classes du second niveau
1.- ESPACES URBANISMES	1.1. - Zones bâties à prédominance d'habitat 1.2. - Grands équipements urbains
2.- SURFACES INDUSTRIELLES OU COMMERCIALES, ET INFRASTRUCTURES DE COMMUNICATION	2.1. - Zones industrielles ou commerciales 2.2. - Infrastructures routières et ferroviaires 2.3. - Infrastructures des zones portuaires 2.4. - Infrastructures des zones aéroportuaires et aérodromes
3.- EXTRACTION DE MATÉRIAUX, DÉCHARGES, CHANTIERS	3.1 - Extraction de matériaux, décharges, chantiers
4.- ESPACES RECREATIFS	4.1 - Espaces verts (parcs et jardins) 4.2 - Equipements sportifs et de loisirs
5.- ESPACES AGRICOLES	5.1 - Terres arables non inondées et espaces prairiaux 5.2 - Cultures permanentes 5.3 – Rizières 5.4 - Marais salants
6.- ESPACES BOISES	6.1 - Feuillus dominants 6.2 - Conifères dominants 6.3 - Peuplements indéterminés 6.4 - Espaces boisés en mutation 6.5 - Boisements linéaires
7.- AUTRES ESPACES NATURELS ET SEMI-NATURELS	7.1 - Landes et fourrés 7.2 - Végétations sclérophylles (maquis et garrigues) 7.3 - Pelouses d'altitude et steppes 7.4 - Plages, dunes, sables 7.5 - Roches nues 7.6 - Zones incendiées 7.7 - Glaciers et neiges 7.8 - Marais et tourbières
8.- SURFACES EN EAU	8.1 - Cours et voies d'eau 8.2 - Etendues d'eau continentales ou littorales 8.3 - Mer, océan et estuaires

Informations supplémentaires

http://www.spotimage.fr/html/_55_140_141_.php

Corine Land Cover

Définition

La base de données géographiques Corine Land Cover est produite dans le cadre du programme européen Corine, de coordination de l'information sur l'environnement. Cet inventaire biophysique de l'occupation des terres fournit une information géographique de référence.

La base de données Corine Land Cover a été réalisée à partir d'images satellitaires (Spot et Landsat) complétées par des données exogènes (cartes topos, ...). C'est un véritable référentiel d'occupation du sol, mieux "calé" sur la BD cartographique de l'IGN. L'unité minimale (plus petite entité présente dans la base) a une surface de 25ha.

Deux versions existent : Une première version de la base, dite CLC 1990, a été réalisée à partir d'images acquises entre 1987 et 1994. Elle a été corrigée pour de meilleures comparaisons avec CLC 2000.

Une seconde version a été réalisée à partir d'images acquises entre 1999 et 2001.

La base de données Corine Land Cover dispose d'une nomenclature hiérarchisée en 3 niveaux. Le premier niveau comprend 5 thèmes, le deuxième niveau est composé de 15 thèmes. Le dernier niveau contient 44 postes dont 11 postes concernent l'urbanisation.

Utilisateurs connus

La DGUHC dans le cadre de son étude sur le bilan de la loi Littoral

Disponibilité

La base de données Corine Land Cover est disponible sur le territoire de l'Union Européenne. Sa nomenclature est adaptable à n'importe quelle échelle.

Utilisation potentielle

Connaître l'état de l'environnement, l'occupation biophysique du sol

Étude des zones urbanisées

Oui mais la nomenclature dans ce domaine est relativement pauvre, surtout dans la distinction des différents tissus urbains à vocation d'habitat qui ne contiennent que deux postes. Un quatrième niveau semble indispensable.

Les postes de la nomenclature

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
1 Territoires artificialisés	11 Zones urbanisées	111 Tissu urbain continu 112 Tissu urbain discontinu
	12 Zones industrielles commerciales et réseaux de communications	121 Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés 122 Zones portuaires 124 Aéroports
	13 Mines, décharges et chantiers	131 Extraction de matériaux 132 Décharges 133 Chantiers
	14 Espaces verts urbains	141 Espaces verts urbains 142 Equipements sportifs et de loisirs
2 Territoires agricoles	21 Terres arables	211 Terres arables hors périmètres d'irrigation 212 Périmètres irrigués en permanence 213 Rizières
	22 Cultures permanentes	221 Vignobles 222 Vergers et petits fruits 223 Oliveraies
	23 Prairies	231 Prairies
	24 Zones agricoles hétérogènes	241 Cultures annuelles associées aux cultures permanentes 242 Systèmes culturaux et parcellaires complexes interrompus par des espaces naturels importants 243 Territoires agro-forestiers
3 Forêts et milieux semi-naturels	31 Forêts	311 Forêts de feuillus 312 Forêts de conifères 313 Forêts mélangées
	32 Milieux à végétation arbustive et ou herbacée	321 Pelouses et pâturages naturels 322 Landes et broussailles 323 Végétation sclérophylle 324 Forêt et végétation arbustive en mutation
	33 Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation	331 Plages, dunes et sable 332 Roches nues 333 Végétation clairsemée 334 Zones incendiées 335 Glaciers et neiges éternelles
4 Zones humides	41 Zones humides intérieures	411 Marais intérieurs 412 Tourbières
	42 Zones maritimes	421 Marais maritimes 422 Marais salants 423 Zones intertidales
5 Surfaces en eau	51 Eaux continentales	511 Cours et voies d'eau 512 Plans d'eau
	52 Eaux maritimes	521 Lagunes littorales 522 Estuaires 523 Mers et océans

Informations supplémentaires

<http://www.ifen.fr/donIndic/Donnees/corine/presentation.htm>

Mode d'Occupation du Sol (MOS)

Définition

Depuis 1982, le Mode d'Occupation du Sol (MOS) assure un suivi régulier de l'occupation du sol de l'Île-de-France.

Actualisé régulièrement depuis sa première édition de 1982, le MOS permet de suivre et d'analyser en détail l'évolution de l'occupation du sol sur tout le territoire régional. Depuis 1982, le MOS a été mis à jour cinq fois (1987, 1990, 1994, 1999 et 2003).

Les mises à jour sont effectuées à partir d'orthophotographies couleur à l'échelle du 1:5000 et de diverses sources d'information extérieures.

La nomenclature du MOS contient 5 niveaux. Le premier niveau comprend 3 thèmes, le deuxième niveau est composé de 11 thèmes. Le troisième niveau contient 21 postes. Le quatrième niveau dispose de 48 postes dont 35 en urbain. Le dernier niveau contient 83 postes dont 69 concernent l'urbanisation.

Grâce à ces mises à jour régulières et à sa précision à la fois thématique et géométrique, le MOS permet de visualiser et d'analyser en détail les évolutions de l'occupation du sol régional.

Utilisateurs connus

DREIF

Disponibilité

La base de données du MOS est disponible sur le région Île de France. Sa nomenclature est adaptable à n'importe quel autre territoire.

Utilisation potentielle

Extension de l'urbanisation, mutation des tissus urbains, transformation des espaces ruraux

Étude des zones urbanisées

Oui

Les postes de la nomenclature

Seuls les 48 premiers postes de la nomenclature sont présentés dans ci-après. Pour consulter l'ensemble des 83 postes, le lecteur est invité à consulter le document à l'adresse: <http://www.iaurif.org/basemos/medias/Leg83Code.pdf>

Informations supplémentaires

<http://www.iaurif.org/basemos/index.php>

Méthodes pour réaliser un historique de l'évolution du bâti

	MOS : LEGENDE A 21 POSTES		MOS : LEGENDE A 48 POSTES	
	codes	libellés	codes	libellés
1 Bois	1	Bois	1	Bois ou forêts
			2	Coupes ou clairières en forêts
2 Cultures	2	Grandes cultures	3	Peupleraies
			4	Terres labourées
			5	Surfaces en herbe à caractère agricole
	3	Autres cultures	6	Vergers, pépinières
			7	Maraîchage, horticulture
			8	Cultures intensives sous serres
3 Eau	4	Eau	9	Eau
4 Autre rural	5	Autre rural	10	Surfaces en herbe non agricoles
			11	Carrières, sablières
			12	Décharges
			13	Vacant rural
5 Urbain ouvert	6	Parcs et jardins	14	Parcs liés aux activités de loisirs
			15	Parcs ou jardins
			16	Jardins familiaux
			17	Jardins de l'habitat
	7	Sport (espaces ouverts)	18	Terrains de sport en plein air
			19	Camping, caravaning
8	Terrains vacants	20	Equipements sportifs de grande surface	
		21	Vacant urbain	
6 Habitat individuel	9	Habitat individuel	22	Habitat individuel
			23	Ensemble d'habitat individuel identique
			24	Habitat rural
			25	Habitat continu bas
7 Habitat collectif	10	Habitat collectif	26	Habitat collectif continu haut
			27	Habitat collectif discontinu
			28	Habitat autre
	11	Habitat autre		
8 Activités	12	Activités secondaires	29	Activités en tissu urbain mixte
			30	Grandes emprises d'activité
			31	Zones ou lotissements affectés aux activités
			32	Entreposage à l'air libre
			33	Activités de production animale
	13	Activités tertiaires	34	Surfaces commerciales
			35	Bureaux
9 Equipements	14	Sport (construit)	36	Bâtiments ou installations de sport
	15	Equipements d'enseignement	37	Etablissements d'enseignement
	16	Equipements de santé	38	Etablissements de santé
	17	Cimetières	39	Cimetières
	18	Autres équipements locaux, administrations	40	Equipements locaux autres
			41	Grandes administrations, organismes officiels
19	Grands équipements	42	Equipements pour eau, assainissement, énergie	
10 Transports	20	Transports	43	Emprises de transport ferré
			44	Emprises autoroutières, autres grandes voies
			45	Parcs de stationnement
			46	Gares routières, dépôts
			47	Installations aéroportuaires
11 Chantiers	21	Chantiers	48	Chantiers

Inventaire Permanent du Littoral (IPLI)

Définition

La mise en oeuvre d'un Inventaire Permanent du Littoral (IPLI) a été décidée en 1977 dans le cadre d'un Comité interministériel d'aménagement du territoire.

Cette opération, pilotée par la Délégation à l'Aménagement du territoire et à l'action Régionale (DATAR) regroupait la Direction de l'Urbanisme et des Paysages (Equipement), la Direction des Ports, la Direction des Pêches et des Cultures Marines, la Direction de la Protection de la Nature (Environnement) ainsi que le Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres.

La mission confiée à l'IPLI était de constituer et de gérer, avec le concours technique de l'Institut Géographique National (IGN) une banque de données graphiques et statistiques, actualisable tous les 5 ans, et visant à produire des données d'observation de l'état et de l'évolution du littoral, sur une bande de 5km de part et d'autre du trait de côte.

Initialement, cette base a été construite par photointerprétation de clichés aériens 1:25000. Depuis des mises à jour ou de nouveaux IPLI ont vu le jour sur certaines parties du littoral à partir d'orthophotographies.

La nomenclature de l'IPLI est une nomenclature emboîtée à 2 niveaux. Le premier contient 6 postes. Le second est composé de 28 postes dont 11 dans l'urbain.

Utilisateurs connus

DRE Aquitaine – DDE Vendée

Disponibilité

La base de données IPLI 77 est disponible sur l'ensemble du littoral métropolitain. Des mises à jour locales ont eu lieu à partir de données à grande échelle. La nomenclature est utilisable sur des territoires autres que le littoral.

Utilisation potentielle

Observatoires de suivi de l'urbanisation, transformation des espaces naturels, ...

Étude des zones urbanisées

Oui

Les postes de la nomenclature

Niveau 1		Niveau 2	
	USAGE	LIBELLE	
Espaces urbanisés	10	Habitat dispersé récent	
	11	Ensemble habitat collectif	
	12	Ensemble habitat individuel groupé	
	13	Habitat individuel diffus	
	14	Tissu mixte	
	15	Zone industrielle et commerciale	
	16	Emprise des grands équipements	
	17	Habitat touristique spécifique	
	18	Espaces verts	
	19	Camping et stationnement de caravanes	
Espaces agricoles	20	Terre cultivée	
	21	Culture légumière ou florale	
	22	Prairie	
	23	Prairie humide	
	24	Vignoble	
	25	Arboriculture	
	26	Friche	
	27	Espace en mutation	
Espace naturels	28	Lande, maquis, garrigue	
	128	Lande, maquis, garrigue sur dunes	
	29	Bois	
	129	Bois sur dunes	
Espace aquatiques	40	Mer, plans d'eau	
	41	Zones humides	
	42	Salines et marais salants	
	43	Conchyliculture	
Roche, linéaire côtier	100	Dunes	
	32	Plage	
	30	Rocher, Falaise	

Plus d'information : <http://www.geolittoral.equipement.gouv.fr>

6.2 Annexe 2 : Intégration des clichés dans un SIG

Étape 1 : numérisation des clichés

La première phase de l'intégration des clichés aériens consiste à numériser les clichés papiers. Les contraintes pour cette étape sont liées aux nécessités du géoréférencement des clichés et des traitements ultérieurs qui seront appliqués pour mettre en évidence l'urbanisation.

Pour le géoréférencement des clichés

Cette contrainte se traduit en terme d'orientation des clichés : dans l'optique du géoréférencement (calage ou orthorectification), il est important de garder une certaine logique dans l'orientation des clichés. Dans le cas d'un simple calage, pour la prise de points de correspondance entre des points de la photo et une donnée de référence il est intéressant que l'orientation soit proche de celle du référentiel. Pour l'orthorectification, la contrainte est différente : si les caractéristiques de la chambre de prise de vue (dans l'hypothèse où les paramètres de calibrage de l'appareil sont connus) sont prises en compte, l'orientation choisie est dictée par la position des paramètres de prise de vue présents en bordure de photo (date/numéro/).

Nous n'excluons pas au démarrage de l'étude de réaliser une orthorectification la plus précise possible, nous avons donc scanné toutes les photos avec les paramètres de prise de vue à gauche et les points fiduciaux. Ceci ne facilite pas forcément la prise de point de correspondance avec la donnée de référence.

Pour la détection des zones bâties

Dans la suite de l'étude, les clichés aériens seront utilisés à la fois en télédétection pour délimiter la tache urbaine mais aussi en photointerprétation pour tenter de distinguer différentes classes à l'intérieur de la zone urbanisée.

La contrainte principale ici réside dans la détermination du pas de scannage puisqu'un travail de photointerprétation doit être réalisé par la suite.

Si on se place dans l'optique d'un résultat optimal, c'est à dire une utilisation maximale de la précision des photos aériennes: sachant que les photos IGN standard (clichés 23cm*23cm au 1:30000) ont une résolution de l'ordre de 15µm, il faut une résolution de l'ordre de 1700dpi (ou points par pouce) soit 17000*17000 pixels par photo ! Ceci conduit à une taille de fichier trop importante et lourde à gérer par la suite pour les traitement et même l'affichage.

Le tableau ci-dessous donne les tailles de fichiers (au format tif non compressé codé en 8 bits) pour un cliché.

Résolution du scannage	Taille de fichier MO
1600 dpi	> 200
600 dpi	30 environ
400 dpi	15
300 dpi	8.5

La page suivante présente un même îlot bâti sur une commune péri-urbaine scanné à différentes résolutions échelonnées de 1600 à 200dpi codées en 8bits.



1600 dpi



300 dpi

600



dpi



200 dpi



400 dpi

L'objectif visé est d'obtenir un compromis entre une résolution autorisant des traitements de photointerprétation et la taille des fichiers permettant une manipulation aisée dans les logiciels.

Il semble après tests que le choix d'une résolution de scannage de l'ordre de 300 ou 400 dpi soit suffisante et la taille des fichiers reste raisonnable pour une exploitation optimale.

En résumé dans le cadre de cette étude, les caractéristiques suivantes ont été appliquées pour le scannage:

- orientation des clichés : paramètres de prise de vue de la photo à gauche
- fenêtre de scannage : inclus au moins les 4 (ou 8) points fiduciaux
- résolution du scannage : 400dpi

Temps de travail

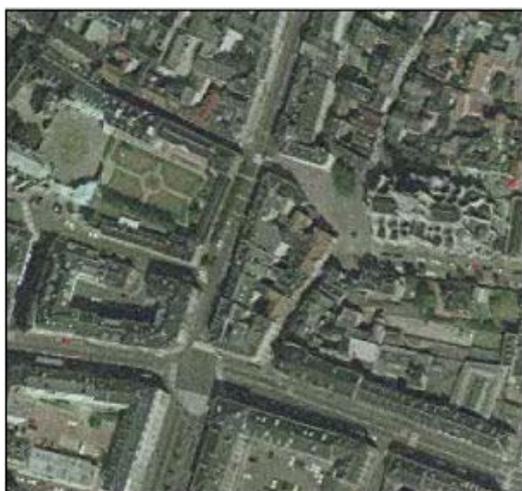
Le scannage en tant que tel est plutôt rapide. On peut compter un temps de 5 minutes maximum pour la numérisation et l'enregistrement de l'image au format .tif.

Étape 2 : géoréférencement des clichés numérisés

Le géoréférencement des clichés numérisés obtenus suite à l'opération de scannage consiste à attribuer à chaque pixel de l'image un couple de coordonnées x,y dans le système de projection choisi.

Mode opératoire

La donnée prise comme référence est l'orthophotographie 2004 de l'Agglomération de Rouen dont le calage a fait l'objet d'un contrôle terrain par l'agglomération. Cette orthophotographie a été préférée à la BDOrtho(c) de l'IGN jugée de moins bonne qualité.



BDOrtho de l'IGN



Ortho réalisée par la CAR :

- bonne qualité radiométrique
- meilleurs contrastes
- meilleure précision géométrique

Il ne s'agit pas dans ce chapitre de revenir en détail sur les différentes méthodes de géoréférencement, les avantages et inconvénients de chacune en fonction du travail à mener, mais plutôt d'expliquer le choix que nous avons fait. Deux solutions s'offraient à nous pour mettre en projection les clichés :

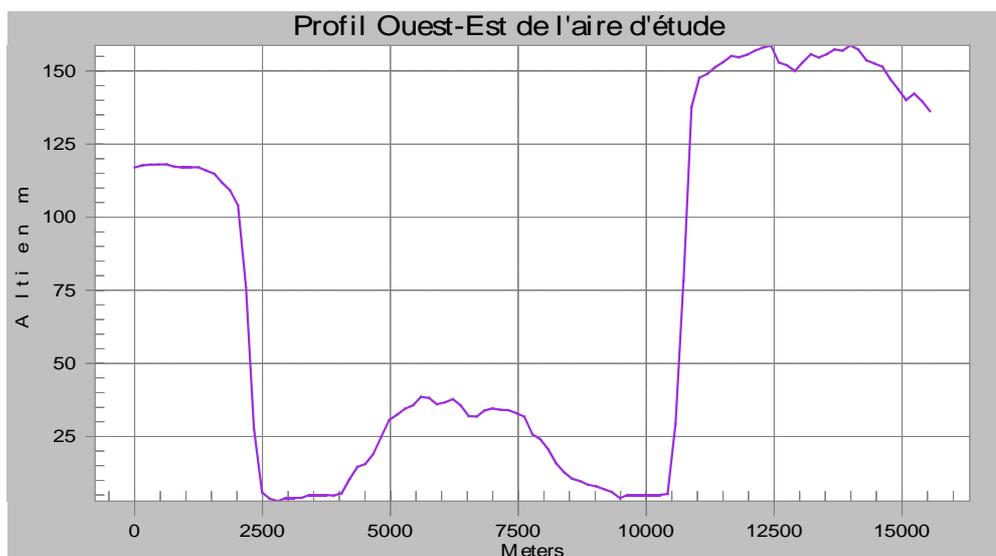
- soit une orthorectification : méthode *a priori* la plus précise mais qui demande, en plus d'une image (ou carte...ou autre) de référence déjà calée, des informations supplémentaires comme un modèle numérique de terrain et les paramètres de prise de vue. Le but de l'orthorectification est en fait d'appliquer un modèle « parfait » permettant de passer de la photo au terrain ;

- soit un redressement qui applique un modèle de transformation de la photo vers la donnée de référence et ne nécessite pas de données d'entrée.

L'orthorectification s'avère en général plus économique en temps de travail (nombre de points de correspondance ou d'amers moins important) à condition que l'on dispose des données d'entrée. Or nous ne disposons pas des paramètres complets de prise de vue pour l'année 1963.

Dans un premier temps, nous nous sommes donc tournés vers un simple redressement des clichés en appliquant un modèle polynomial (ordre 3). Or, les résultats obtenus par cette méthode se sont vite avérés non satisfaisants, même en multipliant les points de calage (entre 30 et 40 par image). Cet échec est en grande partie attribuable à la non prise en compte du relief qui assez prononcé sur la zone d'étude avec de fortes pentes en bord de Seine rive-droite.

Le graphique ci-dessous présente une coupe d'ouest en est de l'aire d'étude. Il illustre les variations d'altitude importantes.



Nous avons donc décidé d'orthorectifier les clichés. Sachant que la prise de points d'amers avait déjà été faite sur plusieurs clichés, la majeure partie du travail réalisée pour le redressement a pu être réutilisée.

Pour les années 1978 et 1989 nous avons à disposition les certificats de calibrage des chambres de prise de vue. Pour l'année 1963, faute de mieux, nous avons pris des paramètres par défaut en supposant la chambre parfaite.

Les données utilisées pour orthorectifier les clichés :

- un modèle numérique de terrain : la BDA_{alti}(c) de l'IGN au pas de 50 m a été utilisée. *A priori*, les caractéristiques du terrain (MNT) changent peu, nous avons donc utilisé le même MNT pour toutes les dates.
- Les paramètres de prise de vue : pour les années 1978 et 1989, nous avons obtenu de la part de l'IGN les caractéristiques des missions (hauteur de vol, marque de la caméra) ainsi que les certificats de calibrage de ces caméras.

L'orthorectification a été réalisée à partir du logiciel ER-MAPPER v6.4.

Détermination des points d'amers (ou points de correspondance)

C'est l'opération la plus délicate et la plus longue de l'orthorectification.

La qualité des photos va croissante avec les années, les clichés les plus anciens ont été les plus difficiles à orthorectifier (difficulté des prises de points d'amers du fait de la qualité des images et du manque de repères par rapport à 2004).

Méthodes pour réaliser un historique de l'évolution du bâti

La composante multidate du travail implique un calage précis d'une date par rapport à l'autre. Pour limiter les écarts, nous avons dans la mesure du possible conservé les mêmes points d'amers d'une date à l'autre.

Pour chaque cliché, une vingtaine de points d'amers répartis de manière équilibrée sur l'ensemble du cliché ont été utilisés.

Les points recherchés en priorité sont : les intersections de route, les marquages au sol, les chemins d'exploitation, les objets remarquables au sol comme les terrains de sport. Dans la mesure du possible, il faut éviter les objets ayant une élévation (bâtiments en particulier) car leur apparence dépend fortement de la prise de vue et leur ombre porte parfois à confusion.

Il faut également éviter de choisir des éléments naturels (arbres, haies, ...) qui croissent et dont la forme change.

Contrôle du calage – Comparaisons

Une fois les clichés orthorectifiés, leur calage a été contrôlé par transparence en superposant les dates. Cette méthode rapide de mise en œuvre permet de localiser très rapidement les écarts importants et de les corriger (par modification ou ajout de points d'amers).

Nous avons profité de cette étape pour comparer le géoréférencement de 10 points remarquables pris sur la donnée de référence (orthophotographie 2004 de l'Agglomération de Rouen). Lors de cette étape, nous avons aussi comparé les deux méthodes de géoréférencement que sont le redressement et l'orthorectification ainsi que l'influence du nombre de points d'amers.

Ce travail complet a été réalisé sur deux clichés :

- cliché 1 : n°190 année 1978
- cliché 2 : n°91 année 1989

Pour chaque cliché, pour chaque méthode de géoréférencement et pour 20 et 30 points d'amers on a mesuré la distance entre les 10 points remarquables et leur correspondant sur le cliché orthorectifié.

Les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Cliché 1 :

Points ref	Redressement		Orthorectification	
	20 points d'amers écart en m	30 points d'amers écart en m	20 points d'amers écart en m	30 points d'amers écart en m
Point 1	5.1	11.9	2.9	3.7
Point 2	4.1	8.4	0.5	0.6
Point 3	10.9	7.1	1.8	2.9
Point 4	36.8	22.5	2.5	4.0
Point 5	9.8	7.3	1.5	2.6
Point 6	19.3	20.3	1.7	1.7
Point 7	32.8	50.0	1.5	1.3
Point 8	32.3	8.2	1.9	1.5
Point 9	15.7	7.9	2.4	2.7
Point 10	23.3	7.4	1.1	1.6
moyenne	19.0 m	15.1 m	1.8 m	2.3 m

Cliché 2 :

Points ref	Redressement		Orthorectification	
	20 points d'amers écart en m	30 points d'amers écart en m	20 points d'amers écart en m	30 points d'amers écart en m
Point 1	0.7	1.8	0.7	1.2
Point 2	63.6	47.4	3.9	3.4
Point 3	14.6	15.9	5.0	5.5
Point 4	24.6	20.3	4.8	4.4
Point 5	11.2	8.9	3.7	5.3
Point 6	11.4	12.1	1.7	1.9
Point 7	24.1	6.9	4.0	3.7
Point 8	15.7	15.7	0.8	2.7
Point 9	29.6	35.2	5.4	4.0
Point 10	10.9	2.3	3.7	4.3
moyenne	20.7 m	16.6 m	3.4 m	3.6 m

Cette comparaison met en évidence l'intérêt de l'orthorectification par rapport au redressement par la méthode polynomiale. Le géoréférencement est beaucoup plus précis par cette méthode qui nécessite moins de points d'amers, d'où un gain de temps conséquent. L'écart maximum observé entre les points de référence et leurs points correspondant sur les clichés recalés est de l'ordre de 5m : cette erreur est très largement acceptable sachant que d'après le pas de scannage utilisé, un pixel représente environ 2m au sol et que le travail qui sera réalisé sur la base de ces clichés recalés ne nécessite pas plus de précision.

Un résultat étonnant est que la multiplication des points d'amers (quand on passe de 20 points à 30 points) n'apporte pas une meilleure qualité de calage (c'est même le contraire dans les deux cas précis étudiés). On notera que l'écart étant souvent de l'ordre du pixel, cette différence n'est pas vraiment significative.

Temps de travail

L'orthorectification d'un cliché nécessite un temps de travail assez long et assez variable selon les clichés. L'opération la plus longue est la recherche des points d'amers.

Pour l'orthorectification, on peut estimer le temps de travail moyen à 2h par cliché pour une orthorectification avec 20 points de calage environ. Le temps de traitement varie peu d'un cliché à l'autre.

Le travail de redressement, même s'il demande au départ moins de données à mettre en œuvre, s'avère presque plus long et pour un résultat nettement moins bon. On peut l'estimer à 2h30 avec une forte variabilité d'un cliché à l'autre.

Étape 3 : mosaïquage des clichés géoréférencés

Cette étape consiste, à partir des clichés numérisés et géoréférencés, à créer une orthophotographie sur la zone d'étude.

Comme l'illustre la figure ci-après, lorsque les clichés venant d'être géoréférencés sont affichés en l'état, un patchwork de photos apparaît à l'écran. Il est nécessaire de procéder à une étape de mosaïquage (regroupement de clichés et amélioration de l'ensemble)

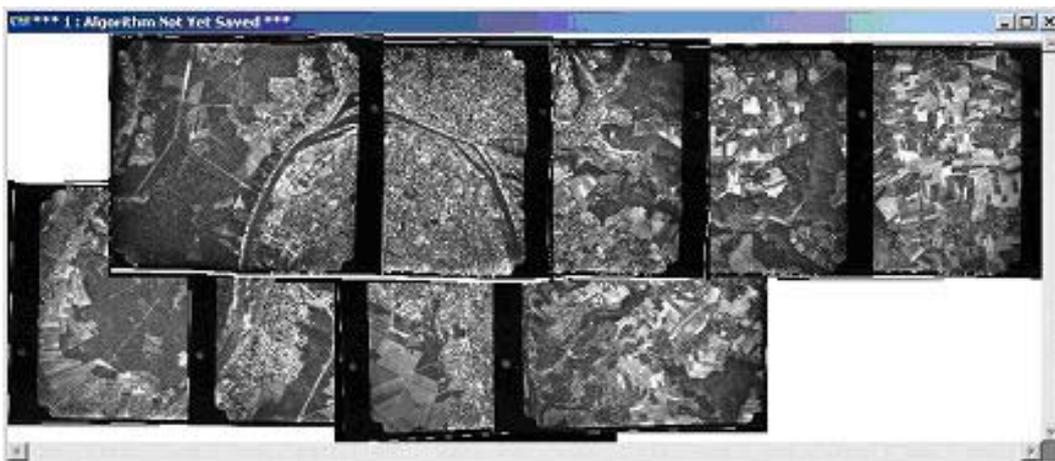


Illustration 27: Mosaïque brute des clichés pour l'année 1989

Création de la mosaïque



Illustration 28: Mosaïque 1978 après égalisation des couleurs (limite de l'aire d'étude en rouge)

L'opération de mosaïquage consiste :

- à éliminer les bordures de clichés ;
- à réduire les zones de recouvrement ;
- à traiter ces zones de recouvrement de clichés en « moyennant » les valeurs de pixel ;
- homogénéiser les couleurs et leur dynamique sur l'ensemble de la zone d'étude.

L'opération est réalisée avec le logiciel ER-MAPPER. Les étapes successives sont :

- détourage grossier des bordures de photo (travail manuel) ;
- travail sur les zones de recouvrement avec un contrôle du calage. On éliminera de préférence sur les zones de superposition les parties de clichés les moins bien calées ou les moins contrastées.(travail manuel) ;

- détermination fines des limites de cliché en se basant de préférence sur des limites physiques (routes ou chemins, limites de parcelles...).(travail manuel) ;
- moyennage des valeurs des pixels en bordure de clichés (travail automatique) ;
- homogénéisation des dynamiques de couleur sur l'ensemble de la mosaïque (travail en grande partie automatique) ;
- délimitation à la zone d'étude.

Temps de travail

Le temps de travail pour une mosaïque, peut être estimé de 2 à 3h. La mosaïque de 1963 pour laquelle certains clichés sont moins bien calés, a demandé 3h de travail et les deux autres un peu plus de 2h.

Étape 4 : enregistrement du fichier – Test de formats

Une fois le travail de mosaïquage des clichés achevé, il s'agit d'enregistrer la mosaïque sous forme d'un seul fichier. Les contraintes inhérentes à ce stade sont :

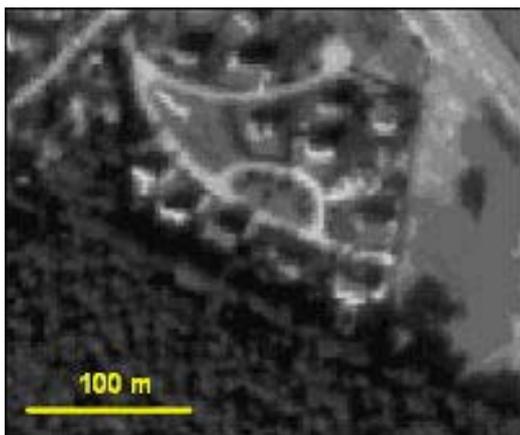
- limiter la taille du fichier en altérant le moins possible la qualité de l'image
- utiliser un format d'image intégrable avec ses paramètres de géoréférencement sur une plate-forme SIG (MapInfo et ArcGIS notamment)

Dans le cadre de cette étude, la zone d'étude reste limitée et par conséquent, la taille du fichier n'est pas énorme. Cependant, cette contrainte de taille de fichier est essentielle pour le stockage et l'utilisation des orthophotographies qui sont destinées à couvrir des surfaces importantes.

Différents formats de fichiers ont été testés : tif, jpeg, ecw, jpeg2000.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-après.

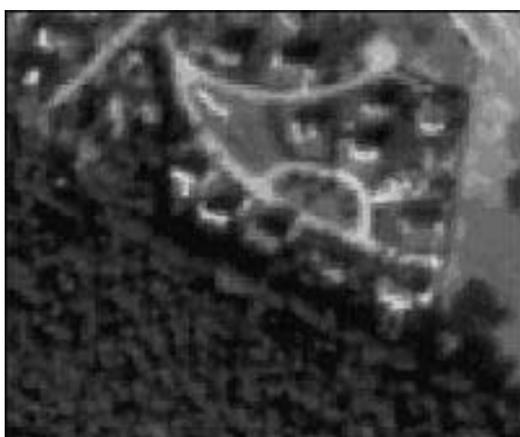
Format	Taille fichier	Intégration SIG	Propriété
Tif (sans compression - sans perte)	115 MO	Lu par les logiciels SIG Récupération du calage Perte du système de coordonnées	libre
Jpeg (compression – avec perte)	30 MO	Lu par les logiciels SIG Récupération du calage Perte du système de coordonnées	libre
Ecw (compression – perte)Test avec ratio de compression élevé	8 MO	Lu par Arcview et MapInfo Récupération du calage Système de coord via Mapimagery pour MapInfo Perte du système de coord. sous ArcGIS	Er-Mapper
Jpeg2000 (compression – perte)Test avec ratio de compression élevé	7 MO	Lu par les logiciels SIG Perte du calage sous MapInfo (v7.8) Récupération du calage sous ArcGIS Perte du système de coord.	libre



Extrait format .tif



Extrait format .ecw



Extrait format jpeg



Extrait format jpeg2000

La comparaison taille/qualité montre l'intérêt des formats ecw et jpeg 2000 qui utilisent tous les deux la compression dite « par ondelettes ». Que ce soit dans l'optique d'une photointerprétation ou d'un traitement automatique ces deux formats, à cette échelle, répondent aussi bien à nos attentes que le format non compressé pour un gain important en terme de taille de fichier.

En terme de qualité, les formats ecw et jpeg2000, sont similaires avec tout de même dans le cas de cette mosaïque un avantage pour le jpeg2000 et ce pour une taille de fichier plus petite encore. Cependant, on notera que l'intégration de ce type de fichier n'est pas immédiate dans MapInfo puisque le calage doit être refait. Pour cette raison, nous avons utilisé pour la suite des traitements le format ecw.



Illustration 29 : Mosaïque sur la zone d'étude au format .ecw – Année 197

6.3 Annexe 3 : Méthode détaillée d'extraction automatique du bâti

Méthode

La méthode est basée sur le traitement de la texture de l'image et non sur la radiométrie. Elle est donc tout à fait applicable sur des photographies noir et blanc. La méthode est appliquée date par date sans tenir compte des résultats obtenus avec les autres années.

1^{ère} étape : rééchantillonnage

La première étape consiste à rééchantillonner l'image en la passant à une résolution de 2.5m au sol. Cette résolution est adaptée à l'extraction du bâti : elle est de l'ordre de grandeur des éléments qu'on cherche à détecter. L'image est codée sur 8 bits et sur 1 seul canal.



Illustration 30 : image rééchantillonnée à 2,5m (extrait) – Année 1978

2^e étape : filtrage



Illustration 31: image après passage du filtre « gaussian courvature » (extrait) – Année 1978

L'étape suivante consiste à appliquer à l'image un filtre adapté à l'analyse texturale. Cette opération a été réalisée à l'aide du logiciel ER-MAPPER v6.4 avec le filtre nommé « gaussian courbure ». Ce filtre permet de rehausser les régions où les changements de luminance sont rapides qui sont plutôt caractéristiques des zones bâties par rapports aux espaces naturels plus homogènes.

À ce premier passage d'un filtre travaillant sur la texture de l'image doit succéder un filtre passe-bas classique permettant de moyenner le résultat obtenu.



Illustration 32: après filtre passe-bas (extrait) – Année 1978

3^e étape : seuillage

La partie la plus délicate et demandant l'intervention et l'œil de l'opérateur est le seuillage qui permet de passer à un codage 0/1 c'est-à-dire une première ébauche d'une image binaire « bâti/non bâti ».

Le choix du seuil doit permettre de répondre à deux objectifs :

- obtenir une tache urbaine la plus exhaustive possible sur les zones bâties denses (limiter les « trous ») ;
- sortir les zones de bâti diffus dans le péri-urbain et sur les communes plus rurales.

Au moment du choix d'un seuil, ces deux objectifs vont l'un à l'encontre de l'autre. En effet, obtenir l'exhaustivité sur les zones les plus denses conduit à abaisser le seuil, ce qui parallèlement conduit à faire ressortir des groupes de pixels parasites (dans le sens où ils ne correspondent pas à des zones bâties). Il s'agit donc à cette étape d'arriver à une sorte de compromis sachant que les imperfections obtenues à cette étape pourront être en partie corrigées lors des suivantes.

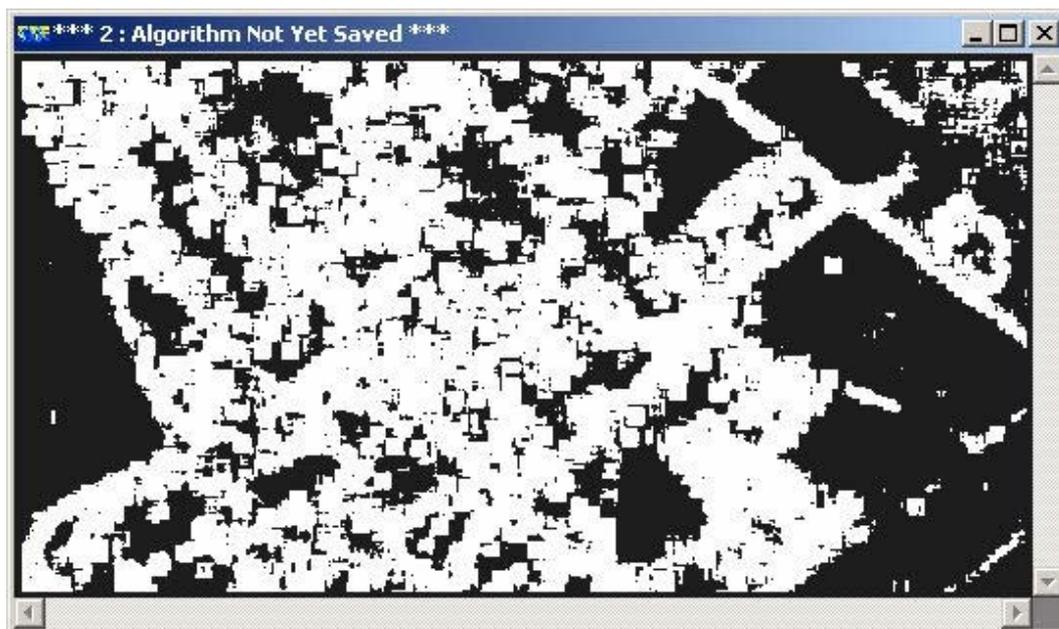


Illustration 33 : après seuillage (extrait) – Année 1978

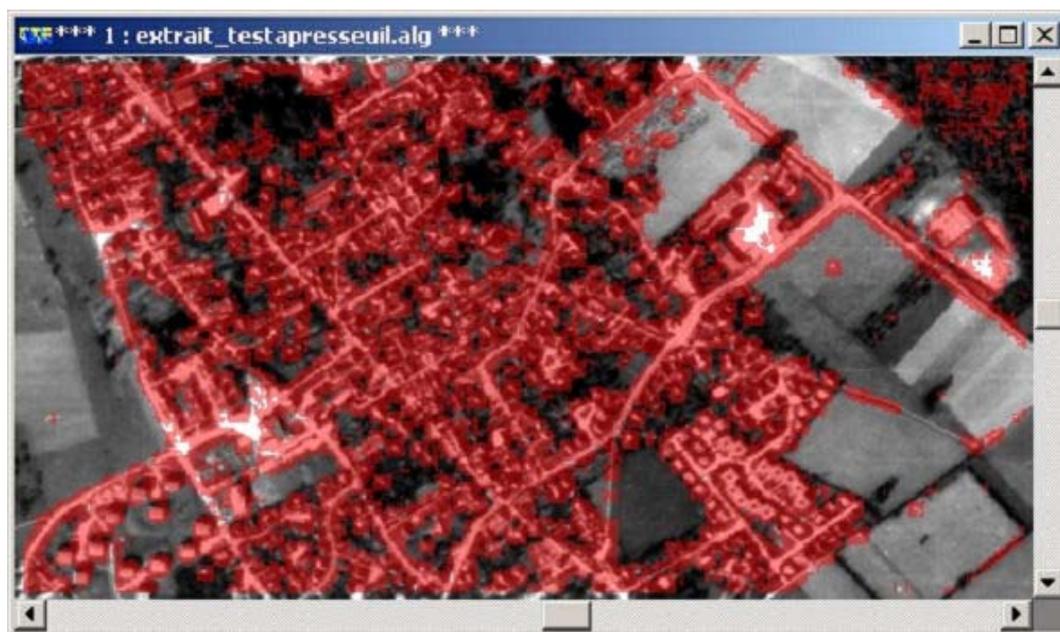


Illustration 34 : après seuillage (résultats du seuillage en rouge sur fond d'orthophotographie) – Année 1978

Alors que les étapes précédentes sont totalement automatisables et que le même traitement peut être appliqué sur toutes les dates, le seuillage (le seuil appliqué) varie de manière importante en fonction de l'image considérée.

4^e étape : filtrage par morphologie mathématique

Ce travail est réalisé sur la base des opérations classiques de morphologie mathématique que sont l'ouverture et la fermeture.

Ces opérations ont été réalisées grâce au logiciel de traitement d'image ENVI v4.3 dont dispose le CETE. Même si ces opérations qui sont en fait des applications successives de filtres et se seuillages sont réalisables avec le logiciel ER-MAPPER, elles ne sont pas pré-programmées ce qui rend le travail long et fastidieux pour l'opérateur.

L'opération de fermeture a pour but de supprimer une partie des trous « parasites » inclus dans la tache urbaine issue du seuillage. La fermeture, succession des deux opérations élémentaires « dilatation » et « érosion », se fait sur des images binaires sur la base d'un élément structurant dont la taille dépend de la taille sur le terrain des lacunes qu'on souhaite combler.

C'est cette taille de l'élément structurant qui constitue le paramètre ajustable de l'opération. Il varie d'une image, donc d'une date, à une autre en fonction du choix de seuillage.



Illustration 35 : après fermeture (extrait) – Année 1978



Illustration 36 : après fermeture (résultats de l'opération de fermeture en rouge sur fond d'orthophotographie) – Année 1978

L'opération d'ouverture est en quelque sorte l'inverse de la fermeture puisqu'elle enchaîne érosion et dilatation. Son rôle est de supprimer les éléments parasites détectés comme du bâti ainsi que les éléments linéaires de type route ou haies.

Comme pour la fermeture, la taille de l'élément structurant (ou de la matrice de filtre en pratique) doit être adaptée par l'opérateur.



Illustration 37: après ouverture (extrait) - Année 1978



Illustration 38: après ouverture (résultats de l'opération d'ouverture en rouge sur fond d'orthophotographie) - Année 1978

Suite à ces opérations de morphologie mathématique, nous obtenons une tache urbaine plus satisfaisante, notamment en terme de simplicité des contours et d'exhaustivité, que la première ébauche issue de l'étape 3.

Cette étape marque la fin des traitements automatiques - plus ou moins assistés - en ce qui concerne la délimitation du contour de la tache urbaine.

L'extrait ci-dessous montre des imperfections de cette extraction automatique qui devront être corrigées manuellement.



Illustration 39: Erreurs après traitements automatiques (tache urbaine en rouge sur fond d'orthophotographie) - Année 1978

5^e étape : vectorisation

La tache urbaine obtenue suite aux étapes précédentes est une image binaire codée 1 pour le bâti et 0 pour le reste. Cette étape consiste à transformer les mailles contiguës de valeur 1 (bâti) en objets vecteurs polygonaux. Ce travail a été réalisé avec le logiciel ER MAPPER.



Illustration 40: image vectorisée (le résultat de la vectorisation figure en magenta) – Année 1978

La couche vecteur ainsi constituée est ensuite exportée au format d'échange MIF/MID pour être intégrée sous les logiciels SIG MapInfo ou ArcGIS.

6° étape : corrections manuelles

Comme nous l'avons vu sur la base de l'extrait étudié lors de l'étape précédente, la tache urbaine extraite par traitements automatiques comporte des imperfections. Certains polygones considérés comme du bâti n'en sont pas en réalité et, inversement, des zones bâties ne sont pas détectées.

Le travail, uniquement manuel dans cette étape, consiste pour l'opérateur à supprimer ou modifier les contours des polygones existants ou à en créer de nouveaux.

6.4 Annexe 4 : Règles de photo-interprétation

Les éléments qui suivent sont indispensables pour cadrer le travail de photointerprétation et disposer d'un résultat conforme aux attentes.

1^{ère} étape: nomenclature et règles de saisie

Des règles de levés des objets géométriques sont mises en oeuvre sous la forme d'un cahier des charges. Elles permettent d'une part d'obtenir une information la plus homogène possible lorsque plusieurs personnes interviennent sur le même projet, d'autre part d'avoir des données strictement comparables entre les différentes dates mais aussi entre les territoires. Enfin, elles facilitent beaucoup les procédures de mise à jour.

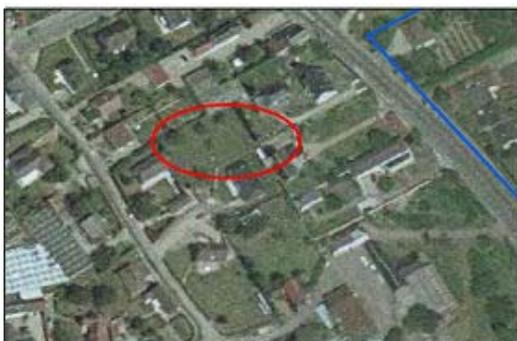
Elles doivent être adaptées à la problématique, à la nomenclature et au référentiel notamment concernant la qualité des clichés et l'échelle.

Les règles d'interprétation suivantes ont été respectées dans le cadre de cette étude. Elles proviennent en partie de cahiers des charges de photo interprétation mais aussi de directives des bases de données nationales.

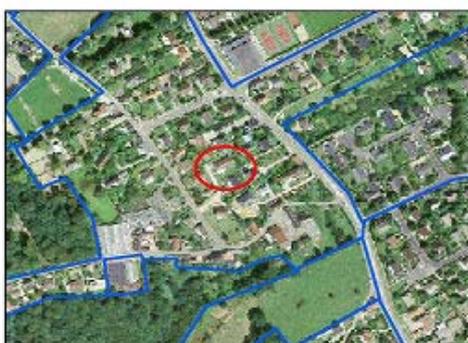
Règles générales

- la taille du plus petit polygone est fixée à 1000 m². Il s'agit de l'unité minimale de collecte: plus petite surface identifiée. Cette notion est capitale et dépend étroitement de la problématique. En effet, si l'on souhaite suivre le mitage, il sera nécessaire de prendre un seuil de surface relativement petit, de l'ordre de 1000 m². Le coût de la photointerprétation dépend de cette unité minimale ;

Orthophotographie 1999 – 1:2000



Orthophotographie 2004 – 1:2000



Orthophotographie 2004 – 1:5000

- Orthophotographie 2004 – 1:5000 les éléments linéaires tels que les routes, les cours d'eau, les plages, les dunes sont considérés si leur largeur est supérieure à 25 mètres ;

- l'échelle de photo-interprétation est fixée au 1:5 000ème ce qui signifie que l'échelle d'affichage est bloquée et qu'on s'interdit de zoomer à des échelles plus grandes. En fonction de la commande, cette échelle peut varier. A une échelle plus grande, il sera possible de détecter des changements presque au niveau de la parcelle. Au contraire, à des échelles plus petites, ce seront les changements de grande surface, les grandes tendances qui seront mis en évidence. La figure ci-après illustre ce propos: en haut une parcelle a été bâtie entre 1999 et 2004. Affichée avec un niveau de zoom de l'ordre du 1:2000, la parcelle est détectable. En bas, la même parcelle est affichée au 1:5 000. Il est impossible de détecter le changement à l'échelle du 1:5 000.

Au contraire, l'échelle minimale n'est pas bloquée. Il est donc autorisé de zoomer à des échelles plus petites ce qui offre l'avantage de mieux percevoir les limites des grands ensembles comme l'illustre la figure ci-après.

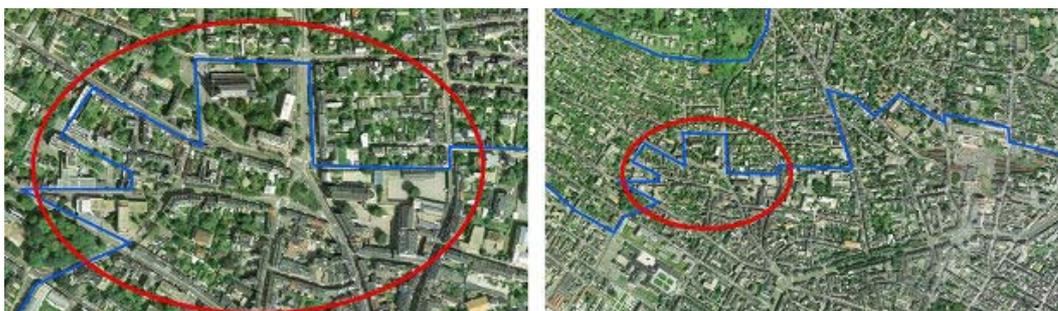


Illustration 41: seuils de zoom

Quelques Règles particulières par poste de légende

- Les limites entre zones urbanisées sont la parcelle lorsqu'on voit un mur de clôture ou une haie séparative. Lorsque la parcelle n'est pas visible, la limite prend en compte une parcelle moyenne des habitations voisines ;
- Les zones industrielles sont détournées en suivant leur limite de parcelle également. Peuvent être compris en zones industrielles, les parkings clients ou du personnel, les zones de stockage, les stations d'épuration de la zone ;
- Lorsqu'une route est limite d'une zone, le contour suit son axe.

2^e étape: choix de la méthode de photointerprétation

Deux méthodes de photointerprétation existent. Cette étape cale la méthode de travail.

Photointerprétation classique

L'orthophotographie est reproduite sur un tirage à l'échelle de 1:5000. Cette sortie papier est interprétée visuellement sur un calque. Les contours des zones d'occupation du sol homogènes sont reportés sur un calque. Le calque est ensuite mis au propre, contrôlé et numérisé. Chaque contour de zone est géoréférencé. L'opérateur de saisie lui affecte ensuite le code d'occupation du sol figurant sur le calque. Après cette étape, un autre contrôle qualité est opéré par les photo-interprètes.

L'intérêt de cette méthode est de pouvoir disposer de la vue stéréoscopique qui permet de mettre en évidence les éléments du relief (rupture de pentes, sens d'écoulement, effondrements, hauteur de bâti, etc.).

Quelques rares logiciels de traitement d'image (Erdas) offrent la possibilité de réaliser une photointerprétation en vue stéréo. Le plus souvent, il faut procéder comme décrit ci-avant.

Pour déterminer l'occupation du sol, il n'est pas obligatoire de disposer de cette vue stéréo.

Photointerprétation à l'écran

La photointerprétation est réalisée directement à l'écran à partir du logiciel SIG. L'orthophotographie sert de référentiel. Elle est affichée au niveau de zoom maximum. Une couche structurée est créée et elle est enrichie au fur et à mesure de l'analyse des objets surfaciques représentant l'occupation du sol.

Cette méthode présente deux avantages:

- la saisie des objets dans la base de données est réalisée au fur et à mesure de la photointerprétation
- la possibilité de créer ou de disposer d'aides à la saisie comme par exemple pour informer le photointerprète lorsqu'une surface est inférieure à l'unité minimale de collecte ou disposer d'une liste déroulante affichant les valeurs possibles à saisir.

On parlera dans ce cas de photointerprétation assistée par ordinateur (PIAO). Pour les raisons évoquées ci-avant, cette méthode est à privilégier.

Apport de données exogènes

Une option est également à prendre lors du choix de la méthode: les photointerprètes pourront ils faire appel à des données exogènes comme les cartes 1:25000, la BD Topo, des plans de ville ?

Il semble préférable pour respecter la déontologie d'éviter d'avoir recours à ces données exogènes ou tout au moins de les limiter au maximum et de les encadrer très précisément (par exemple, utilisation seulement lors des phases de contrôle). En effet, souvent, ces cartes sont déjà le résultat d'une interprétation plus ou moins correcte ou précise.

De plus, lorsque des bases de données sont construites à partir de photointerprétation et de données exogènes, l'utilisateur final ne sait plus distinguer ce qui est issu de la donnée source de ce qui a été apporté par la suite.

Par ailleurs, il semble délicat de pouvoir répéter dans le temps une telle méthode puisqu'il n'est pas facile de savoir la part d'interprétation pour chacun des postes.

Avec l'apport de trop nombreuses données exogènes, on pourrait se demander ironiquement quel est l'intérêt de réaliser une photointerprétation., autant regrouper l'ensemble des données dans une seule couche.

Enfin, les données exogènes risquent également d'introduire un flou dans la nomenclature qui risque de se détourner davantage vers la fonction des objets (gendarmerie) plutôt que vers leur nature (tissu urbain continu)

3^e étape: structuration de la couche d'occupation du sol

La structuration de la couche d'occupation du sol va consister d'une part à créer une table vide, d'autre part à définir les champs recueillant les valeurs et enfin à définir le système de projection.

Un champ contenant le code d'occupation du sol et la date de l'image est créé.

Le tableau ci-après présente la structure de la table « occupation du sol 2004 »

ID	CLC3_2004	Surface
Identifiant logiciel des objets	Code occupation du sol du 3 ^e niveau de la nomenclature Corine Land Cover (cf chapitre 1)	Surface de chaque entité dans l'unité de la couche

Le champ CLC3_2004 est de type chaîne de caractère ce qui facilite les requêtes pour sélectionner l'ensemble d'un niveau.

Seuls ces champs sont recommandés. En effet, le libellé n'est pas à saisir. Le champ « Libelle_2004 » sera créé automatiquement par une jointure utilisant CLC3 entre la couche d'oc-

cupation du sol et une table contenant la liste des valeurs et libellés possibles de la nomenclature retenue.

4^e étape: saisie des objets

A l'issue de ces 3 étapes, il est possible de commencer la photointerprétation de l'occupation du sol et de remplir au fur et à mesure le champ CLC3_2004 en respectant les règles fixées.

La figure ci-après illustre la création d'une entité correspondant au poste 142, soit « Équipements sportifs et de loisirs » ainsi que les règles de délimitation de celle-ci.

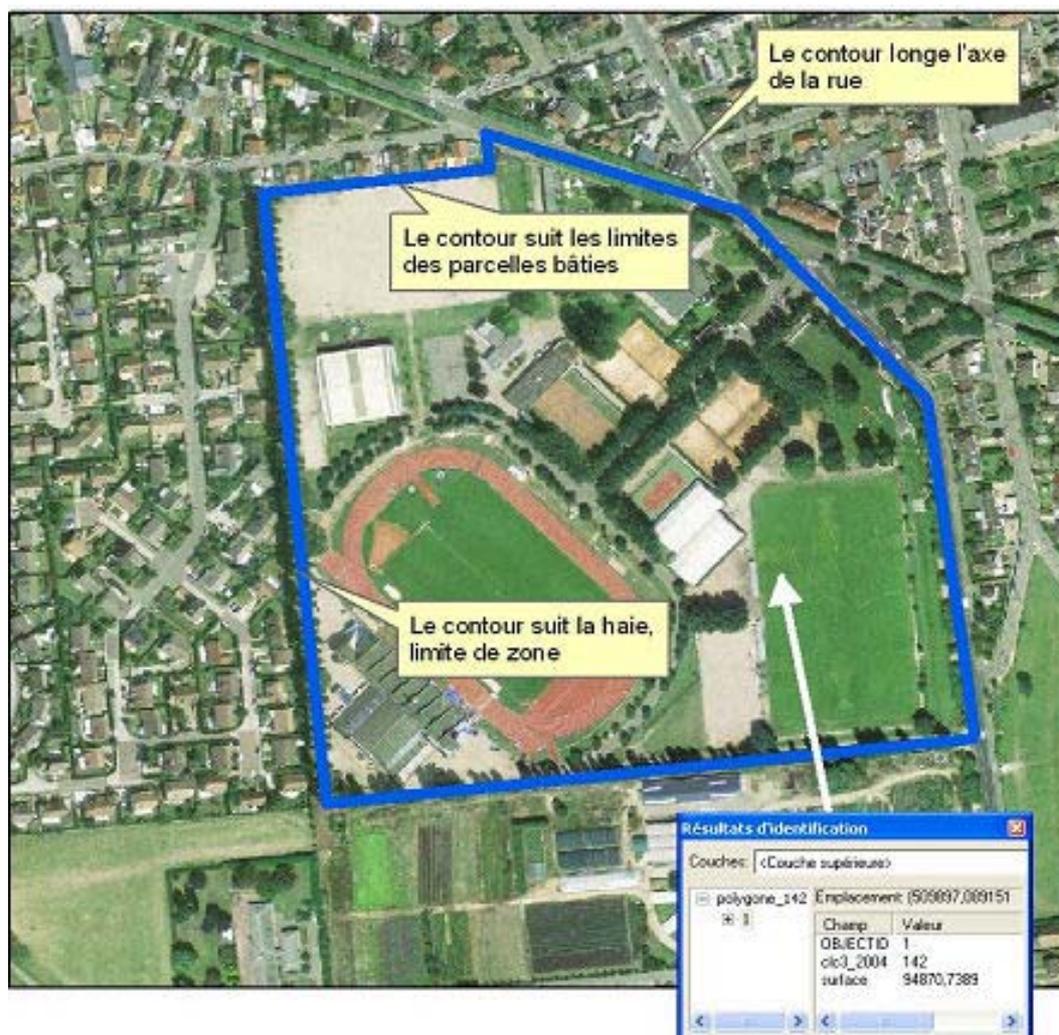


Illustration 42: règles de délimitation de l'entité « sport et loisir »

5^e étape: contrôle qualité

Un contrôle qualité est effectué en dernière étape. Il comprend deux parties.

La première partie va lever les ambiguïtés constatées lors de la photointerprétation. L'interprète n'a pas pu attribuer un code d'occupation du sol à une partie du territoire. La solution consiste à aller sur le terrain ou à faire appel à une donnée exogène éventuellement.

La seconde partie est opérée sur l'ordinateur. Des zones tests sont sélectionnées sur lesquelles un contrôle très précis (sorte de nouvelle photointerprétation) est effectué. Ce contrôle permet de vérifier si le travail de photointerprétation a été réalisé correctement.

Table des matières

1. Présentation	7
1.1 Objectifs de l'étude	7
1.2 Choix de l'aire d'étude	8
1.3 Les méthodes étudiées	10
2. Préalable commun : choix de la nomenclature	11
2.1.1 Quelques nomenclatures	11
2.1.2 La nomenclature retenue	11
2.1.3 Recommandations	12
3. Famille A : utilisation de clichés anciens	13
3.1 Sélection des clichés et intégration dans un SIG	13
3.1.1 Sélection des clichés anciens	13
3.1.2 Intégration des clichés dans un SIG	14
3.1.3 Recommandations	16
3.2 Méthode A1 : extraction automatique	17
3.2.1 Méthode	17
3.2.2 Résultats	18
3.2.2.1 Statistiques globales	
3.2.2.2 Statistiques sur une partie de commune	
3.2.3 Définition d'une tache urbaine maximale	24
3.2.4 Conclusion et limites	25
3.2.5 Recommandations	25
3.3 Méthode A2 : photointerprétation	26
3.3.1 Méthode pour la saisie de la couche de référence	27
3.3.2 Résultats pour la couche de référence	27
3.3.3 Méthode pour la saisie des couches anciennes	28
3.3.4 Résultats du traitement multi-dates	30
3.3.4.1 Évolution de l'urbanisation	
3.3.4.2 Statistiques globales	
3.3.5 Conclusion et limites	33
3.3.6 Recommandations	35
3.4 Synthèse des deux méthodes	36
4. Famille B : utilisation de cartes et plans anciens	37
4.1 Méthode B1 : utilisation de cartes anciennes	37
4.1.1 Méthode	37
4.1.1.1 Intégration dans un SIG	
4.1.1.2 Détermination de la tache urbaine	

4.1.1.3 Traitement multi-dates	
4.1.2 Résultats	41
4.1.2.1 Cartes	
4.1.2.2 Statistiques globales	
4.1.3 Conclusion et limites	44
4.1.3.1 Notion de qualité	
4.1.3.2 Mise en oeuvre	
4.2 Méthode B2 : utilisation du cadastre	46
4.2.1 Méthode	47
4.2.1.1 Intégration dans un SIG	
4.2.1.2 Détermination de la tache urbaine	
4.2.1.3 Traitement multi-dates	
4.2.2 Résultats	50
4.2.3 Conclusion et limites	51
4.2.3.1 Notion de qualité	
4.2.3.2 Mise en oeuvre	
4.3 Synthèse des deux méthodes	52
5. Comparaison des méthodes et des résultats obtenus	53
6. ANNEXES	57
6.1 Annexe 1 : Présentation des principales nomenclatures d'occupation des sols	57
6.2 Annexe 2 : Intégration des clichés dans un SIG	65
6.3 Annexe 3 : Méthode détaillée d'extraction automatique du bâti	74
6.4 Annexe 4 : Règles de photo-interprétation	81

© ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables
centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Certu est illicite (loi du 11 mars 1957).
Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

Reprographie: Cete de Lyon ((+33) (0) 4 72 14 30 30 (octobre 2007)
Dépôt légal: 4^e trimestre 2007
ISSN: 1263-2570
ISRN: Certu/RE -- 07-18 -- FR

Certu
9, rue Juliette-Récamier
69456 Lyon cedex 06
☎ (+33) (0) 4 72 74 59 59
Internet <http://www.certu.fr>