

# SOMMAIRE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>SOMMAIRE</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>INTRODUCTION</b> .....  | <b>2</b>  |
| <b>PREMIERE PARTIE : OUTILS ET METHODES POUR QUANTIFIER UNE POPULATION.</b> <b>4</b>                               |           |
| Méthodes basées sur l'exploitation du recensement général de la population .....                                   | 4         |
| Les données disponibles .....  | 4         |
| Principaux exemples de traitement des données.....   | 6         |
| Des méthodes alternatives ?.....   | 8         |
| Méthodes basées sur la télédétection .....   | 8         |
| Densité humaine et densité bâtie .....   | 11        |
| <b>DEUXIEME PARTIE : UNE ESTIMATION DE LA DENSITE EST-ELLE POSSIBLE A PARTIR DE LA MORPHOLOGIE DU BATI ?</b> ..... | <b>14</b> |
| Hypothèse de travail .....   | 14        |
| Première étude de cas : l'agglomération rouennaise.....  | 16        |
| Découpage de l'agglomération en zones de bâti homogène .....   | 16        |
| Densité d'habitants et type de bâti.....   | 24        |
| Seconde étude de cas : l'agglomération lyonnaise .....   | 31        |
| Comparaison des deux études et conclusion.....   | 36        |
| <b>TROISIEME PARTIE : DENSITE DE POPULATION ET COEFFICIENT D'OCCUPATION DU SOL (COS)</b> .....                     | <b>37</b> |
| Présentation de la méthode appliquée.....  | 37        |
| Application sur un cas concret : l'agglomération de Rouen .....  | 38        |
| Détermination d'échantillons d'îlots de bâti homogène .....  | 38        |
| Calcul de la densité de population et du COS par îlot.....   | 39        |
| Relation : COS / Densité de résidants .....  | 41        |
| <b>CONCLUSION</b> .....  | <b>48</b> |
| <b>ANNEXE : ESTIMATION DU NOMBRE D'ETAGES D'UN BATIMENT A PARTIR DE LA BD-TOPO</b> .....                           | <b>50</b> |
| <b>ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE</b> .....   | <b>53</b> |
| <b>GLOSSAIRE</b> .....   | <b>54</b> |

## INTRODUCTION

Avec la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996, la prise en compte de l'impact sur la santé des riverains occasionné par un projet routier est devenue une obligation réglementaire.

Pour estimer l'exposition des populations, il est nécessaire de quantifier, d'une part le degré de nuisances (par exemple une concentration en polluants ou un niveau sonore) et, d'autre part, le nombre de personnes exposées à cette nuisance. Cette obligation vaut non seulement pour la pollution atmosphérique - qui fait l'objet de la loi - mais aussi pour les autres thèmes environnementaux tels que le bruit, la pollution des eaux et des sols.

En ce qui concerne les nuisances liées à la pollution atmosphérique, le volet<sup>1</sup> « Air » de la *Note Méthodologique sur les Etudes d'Environnement dans les Projets Routiers* et son annexe technique proposent de quantifier l'exposition des populations à la pollution engendrée par un projet par le biais d'un indicateur spécifique.

Cet indicateur, qui doit servir d'outil de comparaison entre différentes variantes et différents horizons d'étude, est fonction:

- de la quantité de polluants (concentration) à laquelle est soumise la population dans une zone donnée ;
- du nombre de personnes présentes dans cette zone.

C'est la détermination de ce second paramètre qui nous a conduit à nous intéresser aux méthodes d'estimation des populations.

La quantification des personnes concernées par un projet peut s'opérer en milieu urbain ou interurbain ; elle peut intéresser une bande d'étude de quelques centaines de mètres aussi bien qu'une aire d'étude à l'échelle d'une agglomération.

En outre, les personnes présentes dans la zone d'étude peuvent se répartir en deux catégories : celles qui y résident et celles qui y séjournent pour des raisons diverses (emploi, activités de loisir, présence de locaux d'enseignement ou de santé...). Dans le cadre d'une étude « santé », ces différents types de populations doivent être répertoriés de manière quantitative mais aussi qualitative car ils présentent des niveaux de sensibilité différents par rapport à la nuisance considérée. Cet écart de sensibilité peut être dû à des durées et des conditions d'exposition différentes, à une vulnérabilité initiale différente...

Cependant, pour une question de disponibilité de données ainsi que de priorité, nous nous sommes limités, dans la présente étude, à la première catégorie, c'est-à-dire la population résidante.

A partir de cette interrogation élémentaire -comment estimer une population résidante dans un secteur géographique donné ?-, nous avons été amenés à approfondir différents aspects de la question qui sont abordés successivement dans les trois parties du présent rapport.

Il s'agissait tout d'abord de prendre connaissance des outils et méthodes existants pour quantifier des populations.

Sur la base de notre expérience, nous avons recensé les méthodes d'estimation basées sur l'utilisation des données du recensement général de la population (RGP) produit par l'INSEE. Ces données diffèrent selon qu'elles intéressent des communes situées en milieu urbain ou en rase campagne, conduisant à des traitements distincts dans les deux cas.

Si de telles méthodes sont relativement bien connues et pratiquées au sein du Réseau Scientifique et Technique de l'Équipement, il restait encore à s'interroger sur l'existence de méthodes alternatives plus simples, moins onéreuses, et affranchies du problème de

---

<sup>1</sup> MATE et MELT, *Note Méthodologique sur les études d'environnement dans les projets routiers – volet « air »*, CERTU-SETRA, 2001.

réactualisation du recensement qui ne s'effectue que tous les 10 ans. La question des solutions alternatives se posent essentiellement en milieu urbain, la situation en rase campagne étant plus facile à traiter.

Une recherche bibliographique ciblée nous a permis de constater que de nombreuses tentatives d'évaluation de la population avait été menées, en France comme à l'étranger, à partir de supports tels que la photographie aérienne ou l'image satellite.

Dans les documents que nous avons consulté à ce sujet, l'exploitation des supports photographiques ou issus de l'imagerie satellite passe par un traitement fin et complexe des paramètres descriptifs de la morphologie du tissu urbain. La complexité inhérente à ces méthodes rend leur mise en œuvre difficilement envisageable pour les besoins d'une étude d'impact.

Nous nous sommes alors tournés vers d'autres références qui utilisent des descripteurs quantitatifs de la morphologie du bâti (comme les surfaces de planchers bâtis) pour caractériser des densités de population ; le coefficient d'occupation du sol étant le paramètre le plus employé.

Ces travaux et antérieurement notre seule intuition, nous ont convaincu d'examiner une hypothèse, séduisante par sa simplicité mais contestable, qui consiste à affirmer que la densité de population est fonction du type de bâti. Cela signifie que, poussant au plus loin notre volonté de trouver des solutions simples d'estimation, nous avons cherché à caractériser le lien existant entre un paramètre qualitatif, le type de bâti, et la densité de population.

Deux études de cas, l'une sur l'agglomération rouennaise, l'autre sur celle de Lyon, ont servi de supports de test à cette hypothèse. Les résultats, qui vont à l'encontre de notre idée première, sont présentés dans la deuxième partie du rapport.

Enfin, rejoignant en cela les auteurs qui ont influencé notre recherche, nous avons tenu à approfondir le lien entre le coefficient d'occupation du sol et la densité de population.

La troisième partie de notre travail expose les résultats plus encourageants de ce dernier examen obtenus à partir du cas de Rouen.

# PREMIERE PARTIE : OUTILS ET METHODES POUR QUANTIFIER UNE POPULATION

## Méthodes<sup>2</sup> basées sur l'exploitation du recensement général de la population

---

### *Les données disponibles*

Généralement, dans les études d'impact, la première étape pour le recensement des personnes résidant dans une zone d'étude consiste en la collecte des données disponibles permettant de décrire au mieux cette population en terme de nombre et de localisation.

### *Les données INSEE*

Les principales données exploitables concernant la population française sont celles diffusées par l'INSEE.

Les données démographiques publiées par l'INSEE sont issues du Recensement Général de la Population (RGP). Ces résultats sont publiés sous forme d'indicateurs traitant de la composition de la population (nombre, répartition par tranche d'âge, caractéristiques des ménages, évolution...), complétés par des renseignements sur l'activité (emplois...) et le logement.

Les données démographiques diffusées par l'INSEE sont disponibles à des échelles géographiques différentes allant de l'îlot - plus petite division de la commune réalisée le plus souvent en se basant sur les rues existantes - jusqu'au pays tout entier.

Pour la plupart des communes de plus de 5 000 habitants, et la totalité au-delà de 10 000 habitants, les données de population sont disponibles à une échelle plus fine que celle de la commune, il s'agit de zonages dits infracommunaux.

Pour les besoins de la collecte et de la diffusion du recensement de la population, l'INSEE a procédé à un découpage de certaines communes en îlots (découpage le plus fin qui soit disponible) et en IRIS (îlots regroupés selon des indicateurs statistiques) :

- l'îlot résulte d'un découpage des communes de taille importante en entités géographiques que l'on peut assimiler à des pâtés de maisons. Toutes les communes de plus de 10 000 habitants, et certaines moins importantes comprises dans les agglomérations de plus de 50 000 habitants, font l'objet d'un découpage en îlots. L'îlot constitue l'unité géographique la plus petite pour le recensement de la population. Les données disponibles à l'îlot (population de l'îlot, répartition par tranche d'âge, nombre de résidences principales) sont publiées par l'INSEE au format numérique (Dbase) dans la base de données *Ilots...15*. Le fond cartographique associé, qui permet notamment l'exploitation de ces données sous SIG, constitue la base de données *Contours...Ilots* qui est publiée sous forme numérisée.

---

<sup>2</sup> Une description précise des données (contenu exact, disponibilité, coût) figure dans le chapitre « Population » du guide consacré à l'analyse de l'état Initial pour les études de pollution atmosphérique (ce guide, actuellement en cours d'élaboration, sera publié par le CERTU). Une synthèse des chapitres concernant les données de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) et les données d'occupation du sol est néanmoins présentée ci-après.

- le découpage en IRIS-2000 correspond au découpage de la commune en quartiers dont la population se situe entre 1 800 et 5 000 habitants. Ces IRIS-2000 sont formés le cas échéant par le regroupement de plusieurs îlots. Environ 1800 communes sont découpées en IRIS-2000 : toutes les communes d'au moins 10 000 habitants et la plupart des communes de 5 000 à 10 000 habitants. Les données issues du RGP à l'échelle de l'IRIS sont publiées sous forme de deux bases de données numériques (format Dbase) : *IRIS...Profils* et *IRIS...Références*. La différence entre ces deux bases est le nombre d'indicateurs présentés (respectivement 800 et 100) ; dans la pratique la base *IRIS...Référence* est largement suffisante pour le décompte. Comme pour les îlots, un fond cartographique numérisé est associé au découpage IRIS : il s'agit de la base *Contours...IRIS* disponible aux formats raster et MIF/MID.

Pour les communes de moins de 5 000 habitants les résultats du RGP ne sont diffusés qu'à l'échelle communale. Ils sont disponibles sous plusieurs formats (papier, cédérom ou en ligne sur le site internet de l'INSEE [www.insee.fr](http://www.insee.fr)) qui présentent aux moins les résultats suivants : population totale et répartie par tranches d'âge, nombre de résidences principales.

Ainsi, pour mener à bien un recensement précis de la population résidante dans la bande d'étude, on utilise les données à l'îlot. Dans le cas où ce type de découpage n'existe pas on se reporte aux données à l'échelle du quartier (nommé zonage IRIS pour l'INSEE) qui sont moins précises en terme de localisation voire de la commune dans certains cas.

Dans de nombreux cas, les données démographiques exposées précédemment ne sont pas suffisantes pour décrire la population d'une zone d'étude car celle-ci n'est pas répartie de manière homogène quelque soit l'échelle géographique considérée (la commune, le quartier et parfois même l'îlot).

Il est souvent nécessaire d'affiner ces chiffres en étudiant la répartition des habitants au sein de l'entité géographique considérée, en particulier lorsqu'on ne dispose que de la population à l'échelle de l'IRIS ou de la commune. Ce type d'information, sur la répartition géographique d'une population résidante, peut être appréhendé par le biais de la localisation des bâtiments d'habitation dans une base de données d'occupation du sol.

### *Les données d'occupation du sol*

Pour affiner le recensement de la population résidant dans une zone d'étude, il est souvent nécessaire de coupler les chiffres de population fournis par l'INSEE à une base de données d'occupation du sol car ces deux sources fournissent des informations complémentaires.

Une description plus précise de la population peut ainsi être obtenue en croisant, avec un outil de type SIG par exemple, des données démographiques brutes (densité sur une commune, un îlot ou un quartier, nombre d'habitants par logement...) avec des informations concernant l'occupation du sol (zones urbanisées sur une commune, îlots habités sur un quartier, position des habitations sur un îlot). La précision du résultat obtenu dépendra évidemment de la qualité des données d'entrée.

Comme les données démographiques brutes présentées précédemment, les informations concernant l'occupation du sol peuvent être plus ou moins précises : certaines bases de données proposent de grandes entités où les éléments bâtis sont regroupés quelle que soit leur vocation (bâtiments d'habitation, bâtiments à usage commercial ou industriel, équipements, infrastructures routières, zones de stationnement...) tandis que dans d'autres bases, un bâtiment correspond à une entité.

Les sources de données concernant l'occupation du sol et les espaces habités en particulier peuvent être séparées en deux catégories en fonction de leur degré de précision :

- 1<sup>ère</sup> catégorie : l'information sur l'occupation du sol est disponible sous la forme de zonages et regroupée par grands thèmes. La fonction du bâti (habitat, industrie, enseignement, loisirs...) n'est pas toujours spécifiée.  
Exemple : la BD CARTO et SCAN25 de l'IGN, SPOT Thema, CORINE Landcover, l'Inventaire Permanent du Littoral (IPLI).
- 2<sup>ème</sup> catégorie : l'information est disponible à l'échelle du bâtiment  
Exemple : les BD TOPO, BD ORTHO et SCAN25 de l'IGN, les photographies aériennes, les levés géomètres, le cadastre numérisé...

En plus de leur degré de précision, ces bases de données revêtent un intérêt différent de par leur format : certaines sont disponibles au format raster (BD ORTHO, SCAN25, photographies aériennes) alors que d'autres sont des bases de données vectorielles (BD CARTO, SPOT Thema, CORINE land cover, IPLI, BD TOPO, levés géomètres) ce qui offre des facilités dans leur exploitation dans des systèmes de type SIG.

### ***Principaux exemples de traitement des données***

Les principales méthodes employées actuellement dans les études d'impact pour le traitement des données brutes sont exposées ci-après. Les cas de l'interurbain et de l'urbain ont été différenciés car les données disponibles dans le second cas sont plus nombreuses, plus précises et plus riches en informations.

#### *En interurbain*

Dans le cadre d'études en milieu interurbain, le nombre de personnes résidant dans la zone étudiée peut être facilement évalué par un comptage des habitations (lors d'une visite de terrain ou par photo-interprétation).

En rase campagne, le tissu bâti étant relativement homogène (il est surtout composé de maisons individuelles), le nombre de logements peut être directement estimé à partir du nombre d'habitations recensées.

Il reste alors, pour estimer la population concernée, à affecter à chaque logement le nombre moyen d'occupants par logement de la commune. Cette donnée peut être directement calculée à partir des résultats du recensement de la population (nombre d'habitants par commune et nombre de résidences principales).

#### *En urbain ou périurbain*

##### *Recensement du nombre d'habitations*

Dès que l'on se place dans un contexte urbain ou même périurbain, l'estimation des populations résidentes par le biais du décompte du nombre d'habitations (lors d'une visite de terrain ou par photo-interprétation) peut s'avérer beaucoup plus problématique.

En effet, un recensement exhaustif des habitations présentes dans la zone considérée est envisageable mais exigerait un temps très important. De plus, un tel recueil ne renseigne pas systématiquement sur le nombre de personnes résidant dans chaque bâtiment et ce paramètre fluctue dans de fortes proportions en milieu urbain.

La photo-interprétation pose aussi des problèmes : même si on dispose de photographies aériennes suffisamment précises pour distinguer les habitations (opération nécessitant déjà beaucoup de temps et demandant une certaine expérience notamment pour la vue en

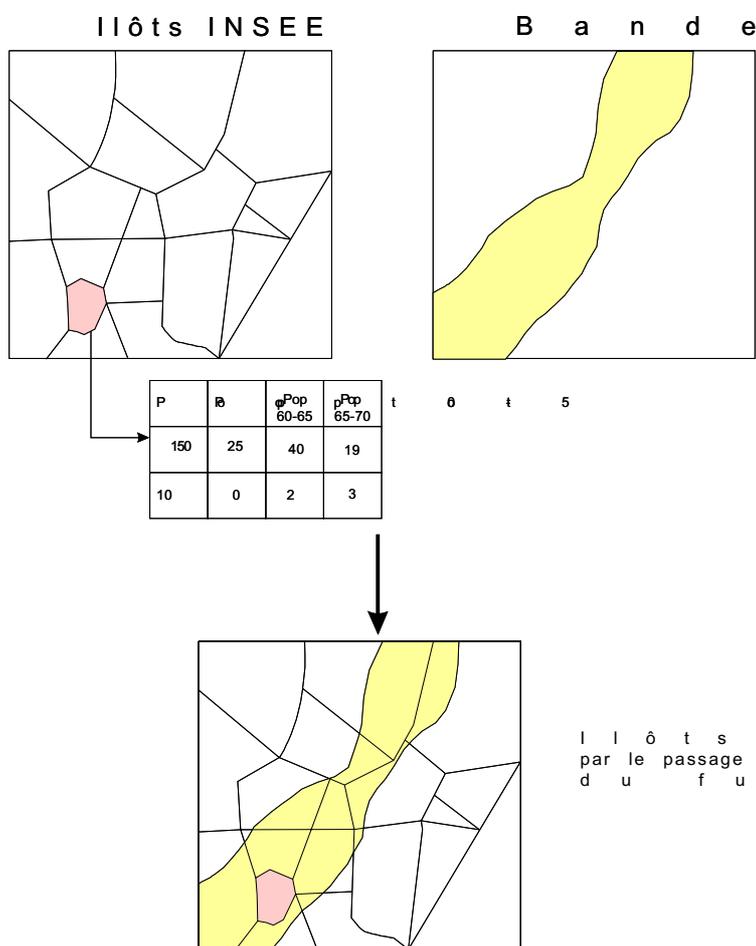
stéréo), il semble ensuite difficile de leur affecter un nombre d’habitants car cette donnée dépend de nombreux paramètres tels que le nombre d’étages du bâtiment ou sa fonction (bureaux, commerce, logements, mixte...) qu’il est difficile voire impossible de déterminer par le seule observation de clichés aériens.

*Utilisation des données à l’îlot*

La méthode la plus adaptée et la plus précise pour estimer une population en milieu urbain repose sur l’utilisation d’informations à l’échelle de l’îlot (base de données *Ilots...15* de l’INSEE). Le traitement de la base *Ilots...15* peut être automatisé sous un SIG, ce qui rend son utilisation rapide même sur de vastes zones d’étude.

Le traitement consiste alors en un croisement entre la base *Ilots...15* et le secteur géographique étudié.

La démarche est illustrée ci-dessous pour un secteur géographique du type « bande d’étude » et une population renseignée par classes d’âge.



A partir du croisement, il est possible de connaître le nombre d’habitants compris dans la bande. Pour les îlots non entièrement compris dans la bande, il suffit d’appliquer le ratio suivant :

$$(population\ totale\ de\ l'îlot) * (surface\ de\ l'îlot\ à\ l'intérieur\ du\ fuseau) / (surface\ de\ l'îlot)$$

Les logiciels de type SIG permettent d’effectuer ce croisement. La seule contrainte est de vérifier la bonne conformité entre les types de fichiers livrés par le fournisseur de données et le logiciel dont on dispose.

Le résultat obtenu peut encore être affiné. En effet, dans l'exemple précédent, lors du croisement entre les îlots et la bande d'étude, certains îlots sont découpés et un nombre d'habitants est affecté à une partie restante de l'îlot en supposant que la population est répartie de manière homogène sur l'îlot initial (formule en italique ci-dessus). Il ne s'agit là que d'une hypothèse et l'utilisation d'une information concernant l'occupation du sol donnant des renseignements à l'échelle du bâtiment (BD TOPO par exemple) peut permettre de vérifier qu'on ne commet pas là une erreur trop importante.

Il ne s'agit ici que d'exemples qui doivent être adaptés en fonction des données disponibles. Ils impliquent que pour chaque cas traité on dispose d'informations démographiques précises ; l'îlot semble être l'échelle minimale pour que le résultat obtenu soit pleinement satisfaisant en milieu urbain.

## **Des méthodes alternatives ?**

---

Les méthodes présentées dans le chapitre précédent consistent uniquement en un traitement de données issues du RGP et de bases de données d'occupation du sol.

Cependant, on peut aussi s'interroger sur l'existence d'autres méthodes plus générales qui permettraient de quantifier une population dans un contexte urbain en s'affranchissant des données du RGP.

De telles méthodes supposent qu'il existe des règles générales régissant la répartition de la population sur une aire urbaine. Si tel était le cas, la maîtrise de certains paramètres suffirait pour estimer rapidement la population résidant dans n'importe quelle zone urbaine.

Il reste à savoir quels pourraient être ces paramètres.

En s'interrogeant sur la question, on se doute rapidement que le contexte physique, c'est-à-dire les caractéristiques morphologiques du tissu urbain, est un facteur influent. Intuitivement, on pressent que la forme du « contenant » et le « contenu » sont liés. Le problème est ensuite de savoir, d'une part si ce seul critère permet une estimation de la population et, d'autre part, comment et par quels outils ce paramètre peut être appréhendé.

C'est la réponse à ces questions et de façon plus générale la recherche de méthodes alternatives pour quantifier une population en milieu urbain qui font l'objet des paragraphes présentés ci-après.

La première étape de ce travail a consisté à rechercher dans la littérature des travaux allant dans ce sens, c'est-à-dire soit des études présentant directement des méthodes, validées ou non, permettant d'estimer une population urbaine soit des études traitant de thèmes qui y sont étroitement liés tels que la densité (de population ou de bâti) ou la morphologie urbaine.

Une synthèse des études qui nous ont semblées les plus intéressantes est donnée ci-après.

### ***Méthodes basées sur la télédétection***

De nombreuses études basées sur l'utilisation de la télédétection et de la photo interprétation proposent d'utiliser la morphologie urbaine pour estimer des populations.

Le bref paragraphe qui suit concernant l'historique de ce thème de recherche est fortement inspiré d'un chapitre analogue de l'étude *Pour une méthode de collecte démographique en ville intégrant la télédétection spatiale* publiée en 1987 par F. DUREAU et O. BARBARY de l'ORSTOM (qui depuis a été renommé IRD).

Le lien entre les caractéristiques démographiques et morphologiques du milieu urbain a été exploré depuis les années trente aux Etats-Unis. Ces travaux ont reçu un écho important en

Europe (en France notamment) et ont conduit à la mise au point de méthodes d'estimation de population par photo-interprétation de clichés aériens.

Un premier type de méthode employé a consisté à dénombrer les logements à partir de photographies aériennes et à affecter à chacun d'eux le nombre moyen de personnes par logement issu de données de recensement. On peut citer en exemple le cas de GREEN qui en 1956 a réalisé une estimation de la population de la ville de Birmingham (Etats-Unis) à partir de photographies aériennes à l'échelle 1/7 500.

Des études menées aux Etats-Unis (HSU et WATKINS) tendent à montrer que ces méthodes s'avèrent efficaces lorsqu'il s'agit d'estimer une population à l'échelle d'une ville entière mais que les résultats obtenus lorsqu'on redescend à l'échelle d'un quartier se trouvent entachés d'une erreur importante.

Devant ce constat, une seconde famille de méthodes d'estimation de population à partir de photographies aériennes a été développée. Ces méthodes partent du principe qu'il existe des relations entre les caractéristiques du milieu urbain et les caractéristiques démographiques et socio-économiques des habitants et proposent d'utiliser de manière exhaustive l'information contenue dans les couvertures aériennes (et pas seulement les logements).

Un troisième type de méthode utilisé est basé sur le lien entre l'étendue de la tâche urbaine et la population d'une ville. Cette technique reposant sur l'application de modèles mathématiques reliant superficie et population a donné de bons résultats sur plusieurs villes chinoises (utilisation d'images satellites LANDSAT).

Dans leur rapport d'étude cité précédemment, F DUREAU et O. BARBARY résument cet historique de la manière suivante :

*« Depuis trente ans environ, ont été accumulées de nombreuses expériences d'utilisation de la morphologie urbaine pour la production rapide de données démographiques. Les niveaux d'utilisation de la morphologie urbaine sont variés : depuis les méthodes les plus globales, ne retenant de la morphologie urbaine que la surface urbanisée, aux méthodes détaillées reposant sur des comptages de logement, en passant par des méthodes semi-globales, basées sur des typologies de quartiers. Ces méthodes, pour la plupart mises au point par des scientifiques travaillant sur des villes de pays développés, ont trouvé depuis la fin des années soixante un écho certains parmi les urbanistes opérant dans des villes des pays en développement, où elles ont aussi fait preuve de leur efficacité. »*

A partir du milieu des années 1980, des méthodes basées sur l'utilisation de la télédétection plutôt que sur l'exploitation de photographies aériennes se sont développées. Ceci a été rendu possible par l'arrivée de nouveaux satellites proposant des images à haute résolution tels que SPOT et Thematic Mapper. Les images satellites présentent certains avantages par rapport aux clichés aériens : répétitivité des observations (1 à 4 jours pour SPOT), caractère numérique des données, richesse de l'information, coût raisonnable.

En France de nombreux travaux sur l'utilisation de la télédétection pour la mise en œuvre de méthodes d'observation démographique intégrant les données morphologiques observables sur image satellite ont été publiés par le Département Urbanisation et socio-systèmes urbains de l'ORSTOM. Au début des années 80, cette équipe pluridisciplinaire a cherché à mettre au point *« un système d'observation permanent des populations urbaines utilisant l'information apportée par les images satellites à haute résolution (SPOT et Thematic Mapper) »*.

Le programme de recherche de l'ORSTOM reposait sur deux hypothèses centrales :

- il existe des relations étroites entre les caractéristiques morphologiques du milieu urbain, et les caractéristiques démographiques et socio-économiques des habitants ;
- on peut identifier sur les images satellites de type SPOT et Thematic Mapper les caractéristiques morphologiques pertinentes pour l'observation démographique en ville.

La question sous tendue par ces travaux est de savoir comment traduire l'information relative à la morphologie d'une ville en une information concernant la population résidente.

Une première étude a été lancée par l'ORSTOM sur la ville de Marseille. La disponibilité sur Marseille de plusieurs sources d'information (images satellites Thematic Mapper, données issues du recensement INSEE, photographies aériennes) a permis de tester la validité de la méthode.

Nous ne rentrerons pas ici dans le détail de cette étude mais nous retiendrons son principe :

- le tissu urbain de Marseille a été traduit suivant 9 types de bâti décrits par 11 caractéristiques morphologiques (densité de bâti sur une zone, hauteur de bâti, surface minimum et maximum des éléments bâtis...)
- ces données relatives à la morphologie du tissu urbain ainsi que celles liées à la démographie ont été intégrées au sein d'une grande base de données gérée par un SIG nommé TIGRE.
- les relations population/bâti ont été analysées de manière très fine sous le système TIGRE (l'influence de chacune des 11 caractéristiques morphologiques sur la démographie a été étudiée)
- l'efficacité de la méthode d'estimation a été testée sur Marseille, à partir des résultats du recensement de 1982
- un test complémentaire sur la ville de Quito (Equateur) est également mentionné dans l'article.

Les résultats encourageants présentés dans cet article ont abouti à la mise au point d'une méthode de production d'information démographique. Le rapport<sup>3</sup> intitulé *L'utilisation de la télédétection pour l'observation démographique en milieu urbain* et publié en 1989 par la même équipe de l'ORSTOM, expose par le détail la méthode ainsi élaborée.

De nombreuses autres études utilisant la télédétection ou l'exploitation de clichés aériens ont été réalisées dans le but d'estimer des populations urbaines dans des pays en développement. La détermination de telles méthodes qui permettent de quantifier des populations à partir d'informations sur l'occupation du sol est un enjeu important dans ces pays où les méthodes de recensement classiques (recensement exhaustif ou enquêtes par sondage) sont difficiles à mettre en œuvre étant donné les moyens techniques, financiers et humains qu'elles exigent. De plus, les résultats obtenus sont vite caducs car la croissance urbaine y est souvent très rapide.

La validité des résultats obtenus est très variable suivant les études considérées. Une étude<sup>4</sup> réalisée en 1984 par Victor F. L. POLLE de l'ITC (Pays-Bas) sur les villes de Téhéran et Colombo par photo interprétation fait état d'un écart moyen de 20% entre la population estimée et la population théorique (issue d'un recensement) mais précise que des écarts allant de 30 à 50 % peuvent être observés sur certaines zones.

Cet ensemble d'études est intéressant car les méthodes qui y sont présentées, même si elles requièrent l'utilisation d'outils et de techniques très spécifiques (télédétection, photo-interprétation) qu'il est difficilement envisageable de mettre en œuvre dans les études d'impact, laissent entendre qu'il est possible d'estimer une population autrement qu'en passant par l'exploitation de données précises et exhaustives du recensement.

A la vue de ces travaux, la morphologie du tissu urbain apparaît comme un paramètre fondamental de la répartition de la population en milieu urbain. L'intégration de ce thème semble donc essentielle dans l'élaboration de méthodes alternatives de décompte d'une population.

---

<sup>3</sup> O. Barbary, F. Dureau, A. Lortic, A. Michel, *L'utilisation de la télédétection pour l'observation démographique en milieu urbain, rapport final – mai 1989*, ORSTOM, 1989.

<sup>4</sup> V. F.L. Pollé, *Population estimation from aerial photos for non-homogeneous urban residential areas – cases studies from Teheran and Colombo*, ITC, 1984.

Il reste à savoir comment le prendre en compte de manière simple : les traitements fins tels que la télédétection sont peu adaptés aux études d'impact du fait de l'investissement technique qu'ils nécessitent.

D'autres études axées elles aussi sur le lien existant entre les caractéristiques physiques de la ville et la répartition de ses habitants ont retenu notre attention.

Il s'agit d'une part de l'ouvrage de V. FOUCHIER *Les densités urbaines et le développement durable, Le cas de l'Ile-de-France et des villes nouvelles*<sup>5</sup> (décembre 1997) et d'autre part d'une étude réalisée par P. Blancilhon pour le compte de la Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France (DREIF) intitulée *Relation entre la démographie et les surfaces de planchers bâties*<sup>6</sup> (novembre 1997).

Ces deux études s'intéressent plus particulièrement à la correspondance entre densité humaine et densité bâtie sur le cas particulier de la région parisienne.

### **Densité humaine et densité bâtie**

#### LES DENSITÉS URBAINES ET LE DÉVELOPPEMENT DURABLE, Le cas de l'Ile-de-France et des villes nouvelles

Dans cet ouvrage, V. FOUCHIER, docteur en urbanisme, expose en quoi la densité urbaine est pleinement impliquée dans la thématique de développement durable. Il démontre notamment que la densité est concernée à plusieurs titres par cette notion :

- en tant que facteur influençant les déplacements (en nombre et en distance) et donc participant aux consommations énergétiques et aux émissions polluantes qui y sont liées.
- en tant que facteur directement lié à la consommation d'espace : plus le développement urbain est dense, moins il empiète sur les espaces naturels.

Dans notre étude, nous nous sommes surtout intéressés au premier chapitre de cet ouvrage nommé « Les densités et la consommation d'espace en Ile-de-France » qui, après quelques définitions et rappels sur la notion de densité, traite du lien entre les densités et les formes urbaines en s'appuyant sur des cas concrets rencontrés dans l'agglomération parisienne.

La première partie est donc consacrée au rappel de la signification de nombreux termes souvent employés pour désigner une densité (concentration, compacité, surpeuplement, surpopulation, surdensité, densification...) et des nuances existant entre eux. L'auteur insiste ensuite sur l'importance de l'échelle spatiale considérée dès qu'on parle de densité. En effet, la simple mesure du nombre de personnes dans un espace donné est une moyenne brute qui est influencée par la taille de l'espace pris comme référence. Plusieurs échelles peuvent être employées pour décrire une population urbaine : communale, îlot (ou quartier), parcellaire.

La seconde partie de ce chapitre traite du lien entre la densité et les formes urbaines. L'auteur affirme dès le titre de ce sous-chapitre que cette relation est indirecte. D'après V. FOUCHIER, il faut faire la distinction entre la densité de contenant (l'élément bâti) et la densité de contenu (population qui y réside ou y travaille) et il traite successivement de ces deux thèmes.

Concernant le « contenant », c'est à dire le tissu bâti, V. FOUCHIER préconise l'utilisation de deux descripteurs : la SHOB (Surface Hors Œuvre Brute) et le COS brut (Coefficient

<sup>5</sup> V. Fouchier, *Les densités urbaines et le développement durable, le cas de l'Ile-de-France et des villes nouvelles*, Edition du SGVN, Décembre 1997.

<sup>6</sup> P. Blancilhon (dir. J.C. May), *Relations entre la démographie et les surfaces de plancher bâties*, DREIF, Novembre 1997.

d'Occupation du Sol brut) qui y est directement lié. Ces deux paramètres peuvent être décrits de la manière suivante :

**SHOB** : totalité de la surface de plancher, calculée à partir du nu extérieur des murs de façade au niveau supérieur du plancher y compris les combles et les sous-sols.

**COS brut** : rapport entre la SHOB et la surface brute du terrain considéré (îlot ou la parcelle suivant les cas).

D'après V. FOUCHIER, ces deux indicateurs sont à préférer par rapport à la SHON (SHO Nette c'est-à-dire à laquelle on soustrait un maximum de surfaces non habitées comme l'épaisseur des murs, les balcons et terrasses, les surfaces réservées à la circulation et au stationnement des véhicules) et au COS net - qui sont habituellement employés dans les documents d'urbanisme - car ils décrivent mieux la réalité physique des bâtiments (en terme de volumétrie et de perception) et du tissu urbain dans son ensemble.

Cependant, le COS brut n'est pas suffisant pour décrire une morphologie : l'auteur démontre à l'aide de plusieurs exemples que pour un même COS, les formes urbaines correspondantes peuvent être variées.

Pour ce qui est de la densité de contenu, elle est liée aux formes urbaines. V. FOUCHIER démontre que pour des formes urbaines différentes on obtient des densités de populations différentes même si la densité de bâti est identique.

Il indique aussi que si l'on veut comparer des densités de contenant et des densités de contenu, la seule prise en compte des populations résidentes n'est pas suffisante. Il est essentiel, d'après lui, de combiner les habitants et les emplois dans les calculs de densité dès lors que l'on travaille sur un tissu mixte c'est-à-dire qui contient des zones vouées à l'activité (commerces, bureaux...). Il préconise, à ce titre, l'utilisation de l'indicateur « densité humaine » défini comme suit :

$$\text{Densité humaine} = (\text{Nombre d'habitants} + \text{Nombre d'emplois}) / \text{Surface}$$

A la suite de cette distinction entre densité de contenant et densité de contenu, l'auteur s'attache à la mise au point d'un « référentiel de densité ». Il s'agit en fait, à partir d'exemples choisis en Ile-de-France, d'étudier, pour cinq formes urbaines différentes, le lien entre densité de contenant et densité de contenu. Les cinq types de bâti retenus sont : les quartiers parisiens, les grands ensembles, l'habitat individuel groupé, les lotissements pavillonnaires, les quartiers résidentiels hongkongais. Ce dernier type de quartier que l'on rencontre peu en France a été ajouté par l'auteur aux quatre autres types fréquemment rencontrés en région parisienne afin de « relativiser la notion de faible ou forte densité ».

Pour chacun des quartiers appartenant aux quatre premiers types de bâti, la SHOB hors sol (les étages souterrains ne sont pas pris en compte) a été calculée ainsi que le COS brut, le nombre d'étages moyen et la densité humaine. La relation entre densité de contenant (COS brut) et de contenu (densité humaine) a ainsi pu être étudiée. La corrélation entre ces deux paramètres a été calculée et le résultat, même s'il doit être considéré avec précaution étant donné le nombre restreint d'échantillons pris en compte, est assez intéressant. En effet, le coefficient de corrélation est supérieur à 0.80 pour les quatre formes urbaines.

Ceci laisserai donc penser, si ce premier résultat était confirmé, que la densité humaine est fortement liée à la densité urbaine pour une morphologie donnée.

Le même type de démarche a été suivi par la DREIF dans son étude *Relation entre la démographie et les surfaces de plancher bâties*.

## RELATIONS ENTRE LA DEMOGRAPHIE ET LES SURFACES DE PLANCHER BATIES

Dans son étude, la DREIF s'est elle aussi intéressée à la correspondance entre densité bâtie et densité humaine. Suite au constat de l'absence de valeurs de référence en terme de superficie bâtie par habitant et par emploi, l'objectif annoncé dans l'introduction est de « *connaître mieux les chiffres de densité bâtie, de densité de population et d'emploi, par type morphologique de bâti puis d'établir des comparaisons entre les densités* » afin de disposer de données fiables pour la prévision en urbanisme.

L'étude a consisté à croiser des données de population et d'emploi avec des données concernant les caractéristiques physiques du tissu urbain sur l'agglomération parisienne. Pour six types de bâti préalablement définis (pavillonnaire, maison de ville, vieux bourg rural, mixte périphérique, centre-ville ancien et haussmannien) le COS et le CES (Coefficient d'Emprise au Sol défini comme le rapport entre l'emprise bâtie au sol et la surface de l'îlot) ont été mis en relation avec les densités d'emplois et d'habitants à l'îlot.

Les principaux résultats de l'analyse sont les suivants :

- le COS et le CES sont des éléments peu discriminants pour la définition des types morphologiques. Ils ne peuvent donc pas être utilisés comme indicateurs d'un type de bâti.
- la densité humaine et le COS sont fortement corrélés. Le rapport de proportionnalité suivant a été observé (tous types de bâti confondus) :

$$\text{Densité humaine (emplois + résidants)} \sim 140 \times \text{COS}$$

(avec une densité humaine exprimée en personnes par hectare)

- les surfaces moyennes de bâti par habitant ou par emploi sont de 28.6 m<sup>2</sup> pour le pavillonnaire, de 24.6 m<sup>2</sup> pour les quartiers haussmanniens et de 13.7 m<sup>2</sup> pour les îlots mixtes périphériques.

Ces résultats sont intéressants, surtout ceux concernant le lien entre la densité bâtie et la densité humaine. En effet, si le résultat - déjà avancé par V. FOUCHIER - de la forte corrélation entre le COS et la densité de population (emplois + résidants) se confirmait il serait envisageable d'estimer une population à partir de l'analyse du tissu urbain.

## DEUXIEME PARTIE : UNE ESTIMATION DE LA DENSITE EST-ELLE POSSIBLE A PARTIR DE LA MORPHOLOGIE DU BATI ?

### Hypothèse de travail

---

Les expériences menées en France sur le tissu urbain et la densité de population auxquelles nous avons fait référence dans le chapitre précédent, utilisent le COS pour caractériser le bâti.

Notre démarche visant à obtenir une méthode d'estimation de la population la plus simple possible, il nous paraissait important, dans un premier temps, de faire porter notre recherche sur le lien entre morphologie de bâti et densité de population sans avoir recours à une caractérisation indirecte du bâti, c'est-à-dire en se limitant à la description de sa forme.

En effet, si l'on pouvait mettre en évidence un rapport simple entre densité de population et morphologie de bâti, on disposerait d'une méthode d'estimation relativement aisée. Théoriquement, l'estimation des densités reposerait sur l'application de ratios forfaitaires (à déterminer) correspondant aux principaux types de bâti rencontrés en milieu urbain.

Dans cette hypothèse, il suffirait, pour quantifier le nombre de personnes résidant dans un secteur géographique particulier, de découper celui-ci en zones de bâti homogènes, de calculer leur surface et de leur affecter le ratio de densité correspondant.

De nombreuses objections peuvent d'ores et déjà être opposées à cette approche et il n'est pas évident que sa confrontation à un cas concret aboutisse à un résultat satisfaisant et exploitable par la suite. En effet, la morphologie du bâti n'apparaît pas comme l'unique facteur déterminant la concentration de population en milieu urbain. De nombreux paramètres supplémentaires, liés pour la plupart au contexte socio-économique existant à l'échelle du quartier ou même de l'agglomération, viennent s'y greffer et influent aussi sur la densité de population.

Parmi ceux-ci, on peut citer :

- *la taille des ménages* : le nombre d'enfants par ménage ou l'âge moyen des habitants peut induire des différences de densité pour des zones présentant un même type de bâti. Par exemple, un lotissement habité majoritairement par des retraités sera moins peuplé qu'un lotissement identique où réside une forte proportion de jeunes ménages.
- *le taux d'occupation des logements* : certaines zones urbaines sont plus attractives que d'autres et les phénomènes de vacance peuvent induire des écarts de densité pour des types de bâti identiques.

Il n'est pas question ici de nier l'existence de tels paramètres. On suppose simplement pour commencer que leur influence est négligeable comparée à celle qu'induit le paramètre « type de bâti ». Remarquons par ailleurs que ces paramètres sont également opposables aux démarches d'estimation basées sur le COS.

Les deux études de cas qui sont présentées ci-après nous ont servi de support pour tester la dépendance entre type de bâti et densité de population et conclure quant à la possibilité d'utiliser ce critère pour estimer des populations. Ces études intéressent respectivement les agglomérations de Rouen et de Lyon.

Elles présentent certaines disparités, qui seront détaillées par la suite, notamment dans le choix de la typologie de bâti, qui s'expliquent par un traitement successif des deux cas : les résultats obtenus sur l'agglomération rouennaise ont servi à la définition de nouveaux essais sur l'agglomération lyonnaise.

Les différentes étapes qui ont été mises en œuvre dans les deux études de cas et qui seront détaillées dans les prochains paragraphes sont les suivantes :

- choix des différents types de bâti à répertorier ;
- repérage des zones de bâti homogènes ;
- calcul de la densité de population pour chaque zone recensée à partir de la Base llots ;
- exploitation des résultats (comparaison entre elles des zones de même type de bâti, mise au point éventuelle d'un facteur de densité de population pour chaque type de bâti) ;
- conclusions.

## Première étude de cas : l'agglomération rouennaise

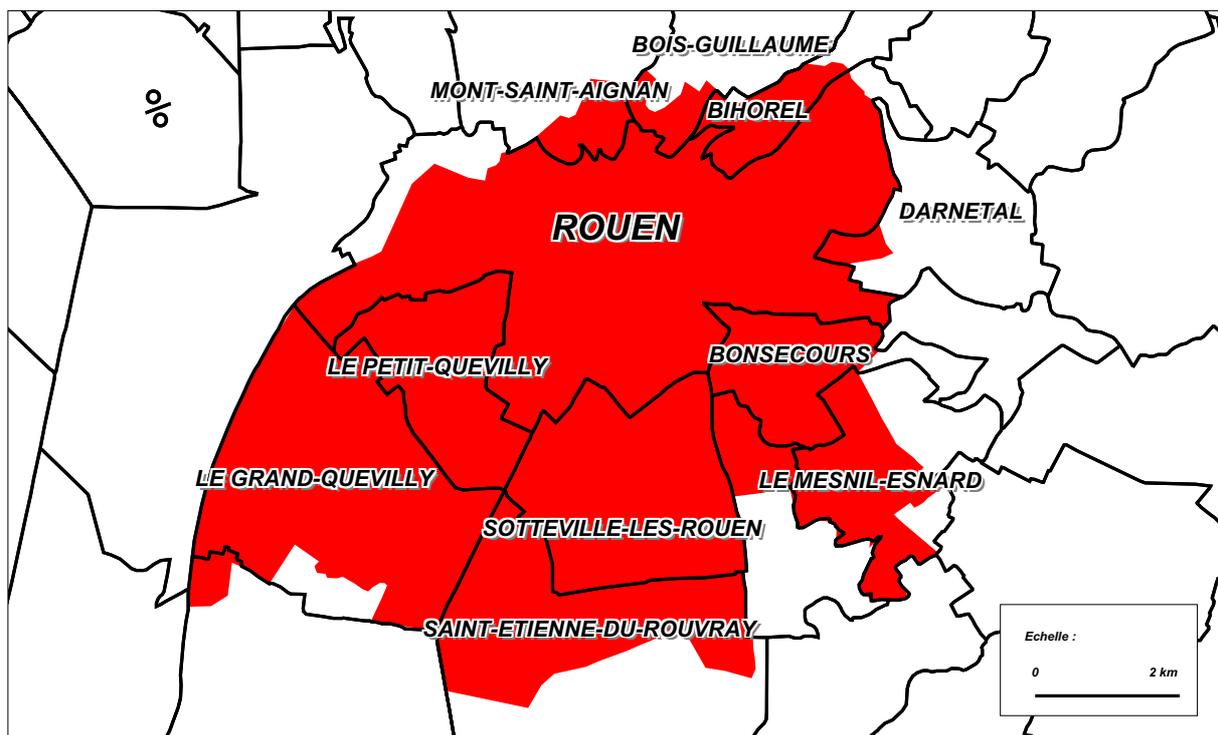
### Découpage de l'agglomération en zones de bâti homogène

#### 1. Présentation de l'aire d'étude

L'aire sur laquelle est menée notre étude doit répondre à plusieurs contraintes :

- être suffisamment vaste afin que les calculs de densité puissent être effectués sur le plus grand nombre de zones de bâti homogène possible.
- couvrir une zone renfermant un éventail complet des types de bâti rencontrés en milieu urbain ou périurbain (dans le cas de l'agglomération rouennaise)

L'aire d'étude retenue est représentée ci-après. Elle est représentative de l'agglomération dans son ensemble car elle s'étend du centre ville ancien jusqu'aux communes rurales satellites. Elle couvre ainsi une zone comprenant des tissus urbains très variés : centre ville récent et ancien, habitat résidentiel récent et ancien, habitat collectif de différentes tailles, zones d'activités économiques, ...



Aire d'étude sur l'agglomération rouennaise

## 2. La typologie de bâti

Les grands types de bâti qui ont été retenus pour représenter l'agglomération rouennaise sont au nombre de sept. Ils sont directement inspirés de la typologie CLUSTERS (Classification for Land Use Statistics : Eurostat Remote Sensing programme) mise en place par Eurostat. Ils peuvent s'énoncer de la manière suivante (leur description sera exposée de manière plus précise par la suite) :

- type 1 : habitat de centre-ville
- type 2 : petit collectif
- type 3 : grand collectif
- type 4 : habitat semi collectif
- type 5 : habitat individuel

A ces cinq catégories principales s'ajoutent deux catégories particulières qui sont rappelées ici pour mémoire puisqu'elles ne décrivent pas des secteurs habités :

- type 6 : les zones d'activité industrielles et commerciales ou de services qui a priori ne renferment pas ou peu d'habitants.
- type 7 : les établissements scolaires et de santé qui abritent des populations particulièrement sensibles à la pollution atmosphérique.

Les paragraphes suivants fournissent une description sommaire de chacune de ces catégories de bâti ainsi que des exemples pris sur l'agglomération de Rouen. Pour chaque zone donnée en exemple figure sa représentation sur plan au 1/25 000 (SCAN25® de l'IGN) et sur photographie aérienne (cliché original au 1/30 000).

### a. type 1 : habitat de centre-ville

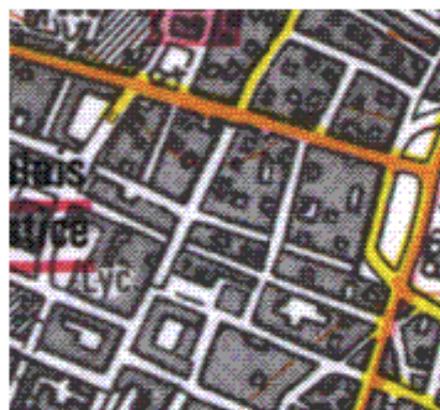
**Description :** cette typologie correspond à la catégorie « Espaces résidentiels continus et denses (A111) » de la base CLUSTERS. Il s'agit d'un habitat collectif jointif, dépassant le plus souvent trois étages tel qu'on le rencontre en centre ville. Les bâtiments sont généralement implantés à l'alignement sur rue, de mitoyen à mitoyen. Les rez-de-chaussée peuvent être occupés par des commerces.

**Exemple :** le centre historique de Rouen

*Représentation sur photo aérienne*



*Représentation sur plan au 1/25 000 (SCAN25®)*



## b. Type 2 : petit collectif

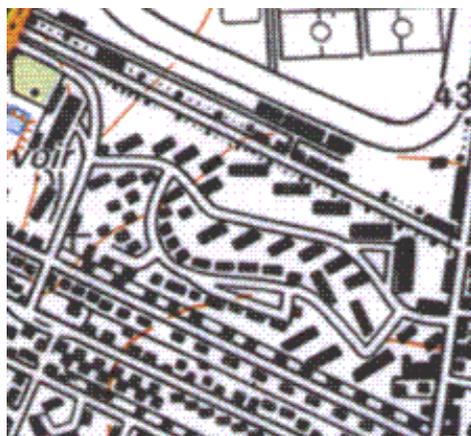
**Description :** cette typologie correspond à la catégorie « Espaces résidentiels collectifs (A115) » de la base CLUSTERS. Pour mieux répondre à la problématique de la densité de population, la catégorie A115 de la typologie CLUSTERS a été divisée en deux sous-catégories : petit et grand collectif. Il s'agit d'un habitat collectif non jointif de petite taille (inférieure à 5 étages). Ce type d'habitat, postérieur aux années 50, se rencontre généralement dans les zones résidentielles. On peut aussi trouver cette catégorie de bâti à proximité du centre sur des sites reconstruits après-guerre. Les espaces verts, aires de stationnement et aires de jeux etc. y couvrent des surfaces importantes.

**Exemple 1 :** St Etienne du Rouvray, sud de l'hippodrome des Bruyères

*Représentation sur photo aérienne*



*Représentation sur plan au 1/25 000 (SCAN25®)*



**Exemple 2 :** Bonsecours, le plateau des aigles

*Représentation sur photo aérienne*



*Représentation sur plan au 1/25 000 (SCAN25®)*



## c. Type 3 : grand collectif

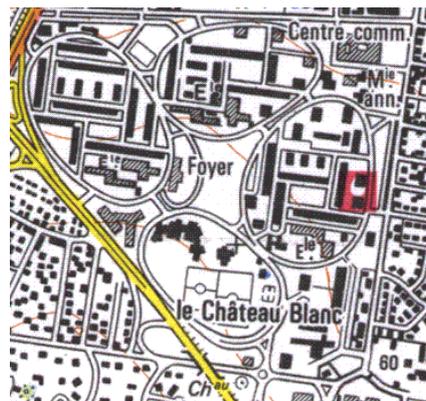
**Description :** habitat collectif de grande taille (au moins 5 étages). Cette typologie regroupe aussi bien les petits groupements d'immeubles situés à proximité du centre que les grands ensembles constitués de tours et de barres fréquemment rencontrés en périphérie d'agglomération. Les espaces verts, aires de stationnement et aires de jeux etc. y couvrent des surfaces importantes.

**Exemple 1 :** St Etienne du Rouvray, Le Château Blanc

Représentation sur photo aérienne



Représentation sur plan au 1/25 000 (SCAN25®)

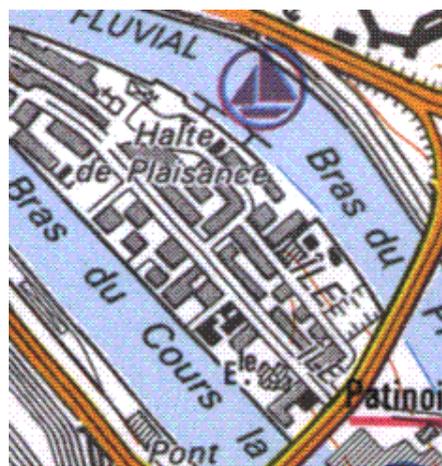


**Exemple 2 :** Rouen, L'île Lacroix

Représentation sur photo aérienne



Représentation sur plan au 1/25 000 (SCAN25®)



## d. Type 4 : habitat semi collectif

**Description :** cette typologie correspond à la catégorie « Espaces résidentiels continus moyennement denses (A112) » de la base CLUSTERS. Il s'agit d'un habitat caractérisé par un bâti hétérogène à dominante "petit collectif". Ce type d'habitat se rencontre généralement à la périphérie du centre-ville (habitat de type faubourg) et le long des grandes artères. Il constitue aussi le centre des communes secondaires de l'agglomération. L'urbanisme peut y être volontaire ou non avec alignement de façades ou pas. De nombreux espaces interstitiels (pelouses, jardins privés) peuvent y être distingués.

**Exemple 1 :** Rouen, quartier de la gare - rue verte

*Représentation sur photo aérienne*



*Représentation sur plan au 1/25 000 (SCAN25®)*



**Exemple 2 :** Sotteville-lès-Rouen, centre

*Représentation sur photo aérienne*

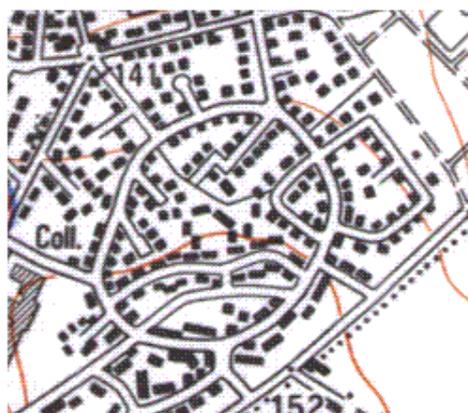


*Représentation sur plan au 1/25 000 (SCAN25®)*



## e. Type 5 : habitat individuel

**Description :** cette typologie correspond à la catégorie « Espaces résidentiels pavillonnaires (A113) » de la base CLUSTERS. Il s'agit d'un habitat individuel non jointif. Cette catégorie regroupe les ensembles pavillonnaires. Elle englobe aussi bien les anciennes cités ouvrières que les vastes zones de lotissement récent construites sur les communes périphériques de l'agglomération. Le couvert végétal peut y occuper des surfaces importantes.

**Exemple 1 :** Bonsecours*Représentation sur photo aérienne**Représentation sur plan au 1/25 000 (SCAN25®)***Exemple 2 :** Sotteville-lès-Rouen*Représentation sur photo aérienne**Représentation sur plan au 1/25 000 (SCAN25®)*

### 3. Détermination des zones de bâti homogène

L'aire d'étude a été découpée en zones de bâti homogène sur la base des sept types de bâti décrits précédemment.

Dans un premier temps, le découpage a été réalisé à partir de clichés aériens (à l'échelle 1/30 000) réalisés par l'IGN. Ce travail a ensuite été affiné par un repérage sur le terrain pour les zones où les photographies aériennes ne permettaient pas de trancher entre deux types de bâti. Ainsi, une visite sur le terrain s'est souvent avérée nécessaire pour différencier le « petit collectif » du « grand collectif » - l'évaluation du nombre d'étages d'un immeuble à partir de photographies aériennes n'étant pas aisée à cette échelle - .

Dans la plupart des cas, les limites des zones correspondent à des rues. Les espaces non construits tels que les parcs et jardins publics, les terrains de sport, les cimetières, les infrastructures routières et ferroviaires n'ont, le plus souvent, pas été intégrés aux zones bâties mis à part pour le centre-ville qui a été considéré dans son intégralité et classé dans une catégorie particulière (présentée sous l'appellation « habitat de centre-ville » dans le 2.).

Le résultat du zonage de l'aire d'étude est présenté sur la carte figurant à la page suivante.

La structure du découpage de chacune des catégories de bâti est résumée dans le tableau suivant :

| Type de bâti           | Nombre de zones | Surface moyenne*<br>(km <sup>2</sup> ) | Surface totale<br>(km <sup>2</sup> ) |
|------------------------|-----------------|--|--------------------------------------|
| habitat centre ville   | 2               | 1.05                                   | 2.1                                  |
| petit collectif        | 48              | 0.06                                   | 3.1                                  |
| grand collectif        | 20              | 0.17                                   | 3.3                                  |
| habitat semi collectif | 24              | 0.25                                   | 5.9                                  |
| habitat individuel     | 66              | 0.2                                    | 13.2                                 |

\*: il s'agit de la surface moyenne d'une zone

On peut constater que l'habitat individuel et l'habitat collectif au sens large (y compris l'habitat semi-collectif) occupent à peu près la même surface sur l'aire d'étude.

Les zones de bâti homogène représentées sur la carte ont des surfaces très variables : certaines zones correspondent à une seule entité bâtie alors que d'autres regroupent plusieurs « blocs » de bâtiments et contiennent aussi les rues, les carrefours ou autres espaces non habités qui les séparent. On peut supposer que la précision du découpage a, elle-même, une influence sur la densité de population. Néanmoins, cette hétérogénéité dans la construction des zones est délibérée : elle équivaut à un découpage 'intuitif' du tissu urbain en secteurs bâtis homogènes, plus libre et plus aisé à reproduire qu'un découpage par unités de surface fixe.

**Découpage de l'aire d'étude en zones de bâti homogène**

**CARTE**

## **Densité d'habitants et type de bâti**

### *1. La démarche suivie*

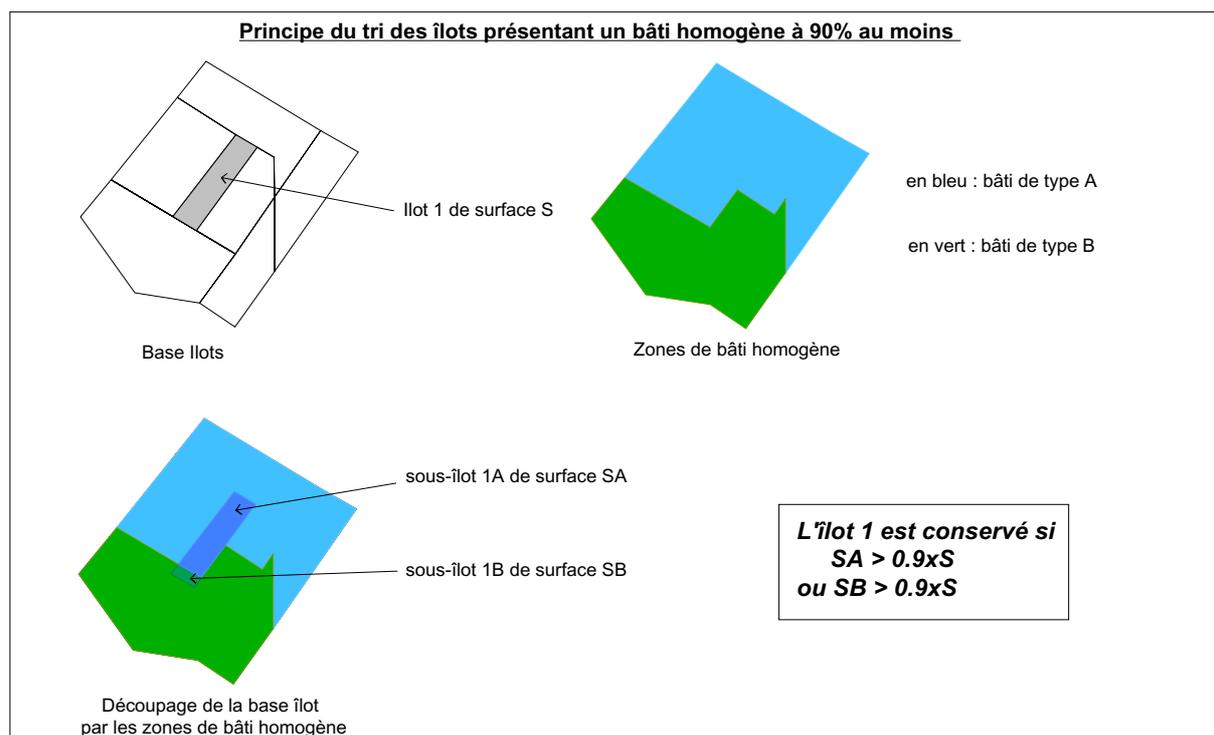
Il s'agit, à partir de la base Ilot, de calculer la densité d'habitants<sup>7</sup> présents dans chaque îlot de bâti homogène et ensuite de comparer les résultats obtenus pour les îlots présentant un même type de bâti.

Les principales étapes mises en oeuvre pour aboutir à ce résultat peuvent être résumées de la manière suivante :

- Le calcul de la densité d'habitants a été réalisé à partir des bases *Ilots...15* et *Contours...Ilots* de l'INSEE et de l'IGN. Le premier travail a été de rechercher tous les îlots compris dans l'aire d'étude : plus de 2200 îlots ont ainsi été sélectionnés sur les communes de Rouen, Petit Quevilly, Grand Quevilly, Sotteville lès Rouen, St Etienne du Rouvray, Mont Saint Aignan, Bihorel et Mesnil Esnard.  
Parmi l'ensemble des données attributaires affectées à chaque îlot, seuls les champs correspondant à l'identifiant, la surface, la commune et la population de l'îlot ont été conservés (les autres attributs n'étant pas nécessaires à la démarche). On notera que la population prise en compte correspond à la population sans double compte issue du dernier recensement de la population.
- La seconde étape a consisté en un croisement de la base de données ainsi constituée avec le découpage de l'aire d'étude en zones de bâti homogène afin d'affecter à chaque îlot une catégorie de bâti.  
A ce stade, un second tri a dû être effectué parmi les îlots retenus. En effet, les îlots sont construits à partir de la base de données Georoute de l'IGN c'est-à-dire sur la base d'un réseau de rues : il en résulte que le bâti présent sur un même îlot n'est pas forcément homogène (certains îlots renferment aussi d'importants espaces non construits).  
Seuls les îlots présentant un bâti homogène à 90% au moins ont été conservés (c'est-à-dire qu'au moins 90% de la surface de l'îlot doit correspondre à un type de bâti identique sur la base du découpage en zones de bâti homogène). Le principe de cette sélection est exposé ci-après.

---

<sup>7</sup> Par « densité d'habitants » nous entendons « densité de résidents » étant donné qu'aucune information sur les emplois n'est disponible à l'îlot et qu'aucune enquête spécifique n'a été menée pour les recenser dans le cadre de cette étude. Ainsi, contrairement aux démarches de Vincent Fouchier ou de l'équipe de la DREIF qui définissent la densité de population à partir du nombre de résidents et de salariés, la densité dont il est ici question est uniquement fonction du nombre de résidents.



Les îlots retenus à l'issue de ce tri se répartissent de la manière suivante entre les cinq catégories de bâti (les catégories « zones industrielles et commerciales » et « établissements scolaires et de santé » n'ont pas été pris en compte pour les calculs de densité d'habitants car les premières sont pratiquement vides de résidents et la population sans double compte ne comptabilise pas les personnes occupant les locaux hospitaliers et scolaires) :

| Catégorie de bâti       | Nombre d'îlots concernés |
|-------------------------|--------------------------|
| habitat de centre ville | 260                      |
| petit collectif         | 104                      |
| grand collectif         | 119                      |
| habitat semi collectif  | 407                      |
| habitat individuel      | 668                      |

- La dernière étape consiste à calculer la densité d'habitants de ces îlots et à comparer les résultats obtenus pour chaque type de bâti. Il s'agit en particulier, suite à une analyse statistique simple d'observer la dispersion des densités calculées pour un même type de bâti.

## 2. Résultats

### a. Calcul de la densité par îlot

Indépendamment de la typologie de bâti, un premier calcul de densité d'habitants par îlot a été mené afin d'observer la répartition globale de cette densité sur l'aire d'étude.

Le résultat de cette première approche est représenté sur la carte ci-après.

Les résultats obtenus concernant la densité de population sont résumés ci-après. Comme pour la construction de la carte, seuls sont comptabilisés les îlots présentant une densité supérieure à 500 hab/km<sup>2</sup> (soit 2078 îlots).

|                   |              |                     |
|-------------------|--------------|---------------------|
| <b>Moyenne</b>    | <b>8 529</b> | hab/km <sup>2</sup> |
| <b>Médiane</b>    | 5 609        | hab/km <sup>2</sup> |
| <b>Ecart type</b> | <b>8 900</b> | hab/km <sup>2</sup> |
| <b>Maximum</b>    | 110 054      | hab/km <sup>2</sup> |
| <b>Minimum</b>    | 516          | hab/km <sup>2</sup> |

L'analyse de la carte met en évidence une grande hétérogénéité de la densité d'habitants sur l'aire d'étude, d'une part quant à l'amplitude de la plage des valeurs calculées et d'autre part quant à leur répartition. Cette carte montre notamment que le modèle de répartition selon lequel la densité de population diminue progressivement du centre-ville vers la périphérie n'est pas adapté à l'agglomération rouennaise. En effet, les zones les plus densément peuplées sont situées en limite d'agglomération et certains îlots du centre présentent des densités analogues à celles rencontrées pour des zones pavillonnaires périphériques.

- Calcul de la densité pour les îlots de bâti homogène

Le but de ce calcul est d'essayer de caractériser chacun des types de bâti retenus par sa densité d'habitants. Les îlots exploités sont donc ceux dont le bâti est homogène à 90% soit un total de 1558 îlots (dont la répartition par type de bâti a été donnée dans le premier paragraphe).

De plus, afin de faciliter l'exploitation des résultats, les îlots présentant des densités de population extrêmes (soit très faibles soit très importantes) n'ont pas été pris en compte. Pour chacune des catégories de bâti, 20% des îlots ont ainsi été écartés : les 10% présentant les densités les plus fortes et les 10% présentant les plus faibles. La présence de tels îlots à la suite du tri déjà effectué peut s'expliquer par la manière dont a été construite la base îlots. Par exemple, certains îlots contiennent sur une grande proportion de leur surface des espaces vides d'habitants tels que des carrefours, des zones de stationnement... , ce qui leur procure une densité très faible et peu représentative. Au contraire, certains îlots correspondent exactement à un bâtiment (souvent un immeuble) et ne renferment aucun des espaces non habités cités précédemment et qui font normalement partie de l'environnement d'un bâtiment : il en résulte une très forte valeur de la densité.

La densité d'habitants par îlot de bâti homogène est représentée sur la carte ci-après.

**Densité d'habitants par îlots sur l'aire d'étude**  
**CARTE**

**Densité d'habitants et type de bâti**  
**CARTE**

Ces résultats peuvent aussi se résumer par le tableau suivant en hab/km<sup>2</sup> :

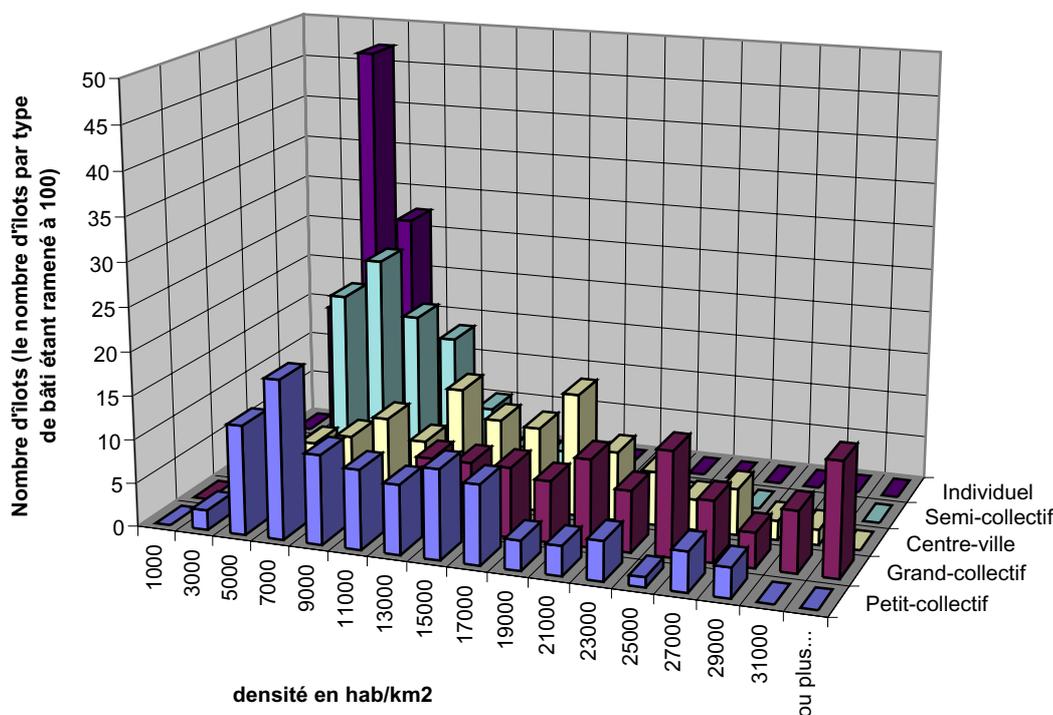
| Type de bâti      | Centre ville  | Petit collectif | Grand collectif | Semi collectif | Individuel   |
|-------------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------|
| <b>Moyenne</b>    | <b>15 325</b> | <b>12 035</b>   | <b>21 686</b>   | <b>8 087</b>   | <b>4 667</b> |
| Médiane           | 15 181        | 10 592          | 21 043          | 7 323          | 4 435        |
| <b>Ecart type</b> | <b>6 474</b>  | <b>6 910</b>    | <b>8 968</b>    | <b>3 707</b>   | <b>1 740</b> |
| Maximum           | 29 897        | 28 641          | 48 794          | 19 494         | 9 951        |
| Minimum           | 3 078         | 2 262           | 5 836           | 2 206          | 1 089        |
| Centile 0.9       | 24 412        | 22 644          | 31 797          | 13 263         | 6 904        |

Une première analyse de ce tableau et de la carte appelle les observations suivantes :

- tous types de bâti confondus, on observe une grande dispersion des résultats (l'écart type est très élevé). Celle-ci est cependant plus importante pour l'habitat collectif (en particulier pour les catégories « petit collectif » et « grand collectif »). Il est probable que la différence du nombre d'étages des bâtiments au sein d'une même catégorie soit à l'origine de la divergence des valeurs observées.
- malgré la forte dispersion des résultats, on constate une différence assez nette entre la densité des cinq types de bâti. En partant de la plus densément peuplée vers la moins densément peuplée, les cinq catégories de bâti se classent comme suit : grand collectif, habitat de centre ville, petit collectif, habitat semi collectif et habitat individuel.

La répartition des îlots par classe de densité pour chacun des types de bâti apparaît sur le graphique ci-après. On remarque que seul l'habitat individuel présente des valeurs de densité évoluant dans une gamme restreinte (la quasi totalité des valeurs se situe dans les classes centrées sur 3 000, 5 000 et 7 000 hab/km<sup>2</sup>).

Répartition des îlots par classes de densité



D'après les résultats obtenus, il apparaît que la densité d'habitants est effectivement dépendante du type de bâti. Le lien de dépendance peut d'ailleurs être confirmé par un test statistique simple (test du  $\chi^2$ ).

En revanche, la très forte dispersion des valeurs de densité dans une même classe de bâti montre qu'il n'est pas envisageable d'utiliser la moyenne de densité comme estimateur de la densité à l'îlot ; sauf, peut-être pour l'habitat individuel qui présente une plage de valeur plus restreinte.

Le type de bâti n'est donc pas un paramètre suffisant pour estimer la densité de population à l'échelle de l'îlot.

## Seconde étude de cas : l'agglomération lyonnaise

L'expérience conduite sur Rouen a été réitérée, par le CETE de Lyon, sur l'agglomération lyonnaise en y introduisant quelques modifications. L'étude de cas rouennaise n'ayant pas conduit à des résultats significatifs, il a semblé plus opportun de mener le test sur la base d'une typologie de bâti plus fine plutôt que de l'appliquer à l'identique.

Une typologie plus précise constituait un moyen éventuel de réduire la dispersion des valeurs de densité observées à Rouen.

9 types de bâti ont donc été définis, uniquement en ce qui concerne l'habitat, en excluant les zones d'activités industrielles ou commerciales et les établissements scolaires ou de santé. Ces 9 types d'habitat sont les suivants :

- 1- **centre des grandes villes, ancien ou récent** : moyenâgeux, reconstruit sur tissu moyenâgeux, période hausmanienne ou plus récent.
- 2- **centre-ville hétéroclite**, mélange d'immeubles de toutes tailles et de maisons individuelles, avec possible présence diffuse d'ateliers, de petites industries, d'entrepôts...
- 3- **grand collectif** (barres, tours), souvent en zone périurbaine.
- 4- **petit collectif** en zone périurbaine.
- 5- immeubles collectifs mélangés à des maisons individuelles.
- 6- **pavillonnaire dense** (une maison individuelle sur un terrain de 600 à 900 m<sup>2</sup>, lotissements parmi les plus récents, éventuellement avec maisons jumelles).
- 7- **pavillonnaire** (une maison individuelle sur un terrain de 1000 à 1500 m<sup>2</sup>, hors lotissements, ou souvent dans des lotissements assez anciens).
- 8- **centres anciens des petites villes ou villages périphériques**, ayant eu historiquement une centralité locale accompagnée d'un développement lui aussi ancien.
- 9- **centres des petites villes ou villages périphériques**, au développement relativement récent.

Comparée à l'étude de cas rouennaise, cette nouvelle typologie donne une description plus précise du bâti. Le tableau suivant permet de situer les catégories qui ont été déclinées plus finement.

| Etude de cas sur Rouen   | Etude de cas sur Lyon   |
|--------------------------|---|
| - Centre ville           | - Centre des grandes villes anciens ou récents  |
| - Grand collectif        | - Grand collectif   |
| - Petit collectif        | - Petit collectif   |
| - Habitat semi-collectif | - Immeubles collectifs mélangés à des maisons individuelles<br>- Centre-ville hétéroclite<br>- Centres anciens des petites villes ou villages périphériques<br>- Centres des petites villes ou villages périphériques au développement récent |
| - Habitat individuel     | - Pavillonnaire dense<br>- Pavillonnaire  |

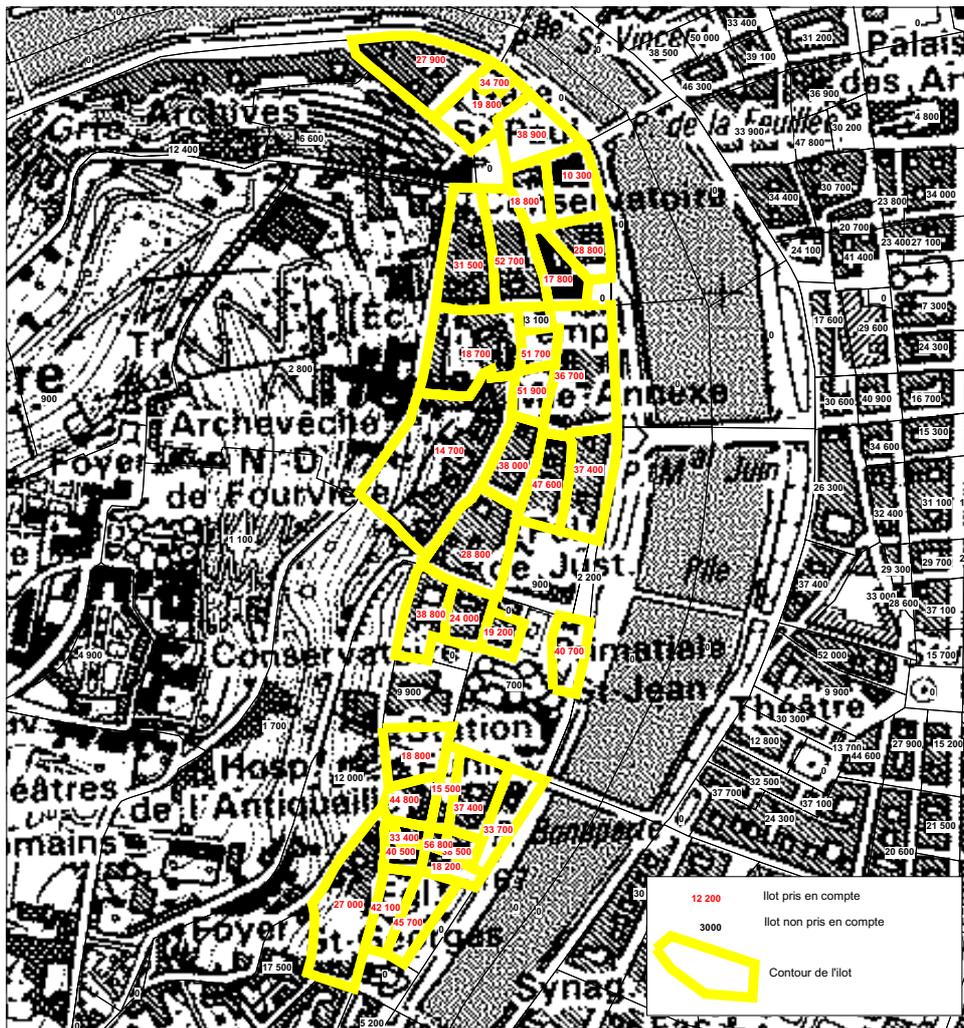
En outre, le travail a davantage consisté ici en une exploration des valeurs de densité par sondage. Le tissu urbain de l'agglomération lyonnaise n'a pas été découpé par type de bâti homogène dans sa totalité, seuls une dizaine de quartiers l'ont été. Les îlots sélectionnés appartiennent à des secteurs bien connus, correspondant exactement à la définition de l'un

des 9 types de bâti. La taille des échantillons est donc plus restreinte que dans l'étude de cas précédente.

La carte ci-après présente un quartier du centre ville historique de Lyon. Les îlots de ce quartier font partie de l'échantillon « Centre des grandes villes anciens ou récents » traité dans l'étude.

**DENSITÉ DE POPULATION DANS LE QUARTIER DE SAINT JEAN (LYON 5ème )**

**MOYENNE DES ÎLOTS PRIS EN COMPTE : 30 138**



⑦ IGN SCAN25 (08/01)

⑦ Base îlots INSEE (1990)

Les résultats obtenus sont exposés dans le tableau ci-après en hab/km<sup>2</sup>.

| Type de bâti      | Centre ville classique | Centre ville hétéroclite | Petit collectif | Grand collectif | Semi collectif | Pavillon. Dense | Pavillon.   |
|-------------------|------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------|
| <b>Moyenne</b>    | <b>30568</b>           | <b>7958</b>              | <b>13884</b>    | <b>26297</b>    | <b>6820</b>    | <b>3883</b>     | <b>2476</b> |
| Médiane           | 30700                  | 6700                     | 14050           | 26105           | 7150           | 3850            | 2320        |
| <b>Ecart type</b> | <b>10965</b>           | <b>4540</b>              | <b>3185</b>     | <b>7340</b>     | <b>1673</b>    | <b>214</b>      | <b>840</b>  |
| Maximum           | 52900                  | 22400                    | 17855           | 38710           | 8317           | 4200            | 3612        |
| Minimum           | 3000                   | 300                      | 9000            | 18240           | 4664           | 3700            | 1354        |
| Echantillon       | 73                     | 24                       | 6               | 9               | 4              | 10              | 10          |

Pour les centres anciens des petites villes, la valeur moyenne est de l'ordre de 10000 hab/km<sup>2</sup> avec une plage de valeur comprise entre 6000 et 13000 hab/km<sup>2</sup>. Pour les centres récents des petites villes, la valeur moyenne est d'environ 5000 hab/km<sup>2</sup> avec une plage de 3000 à 7000. Ces deux types de bâtis n'ont pas été explorés plus avant.

D'après le tableau, on observe, comme pour le cas de Rouen, une forte dispersion des résultats avec des écarts-types élevés pour toutes les classes de bâti sauf pour le pavillonnaire. Les gammes de valeur les plus étendues correspondent aux deux catégories de centre-ville et à la catégorie « grand collectif ».

Malgré cette dispersion, on constate là aussi que le type de bâti influence nettement la densité : en moyenne, les densités les plus élevées se trouvent dans le centre classique et les grands ensembles, des densités moindres sont observées dans le petit collectif, l'habitat de centre ville hétéroclite et semi collectif ; enfin elles sont nettement plus faibles dans le pavillonnaire.

Sur la base de ces résultats, le CETE de Lyon a réalisé un test portant sur 65 îlots de l'agglomération lyonnaise, pas forcément homogène du point de vue du bâti, en calculant si nécessaire une densité moyenne au prorata de la surface occupée par chaque type de bâti. A chaque surface de bâti homogène est affectée une donnée de population calculée à partir de la densité moyenne obtenue précédemment. Au final, l'analyse de la distribution statistique des résultats en fonction de l'erreur commise est la suivante :

| erreur d'estimation | nombre d'îlots | pourcentage par rapport au nombre d'îlots |
|---------------------|----------------|---|
| au-delà de - 60 %   | 4              | 6 %                                       |
| -40 % à - 60 %      | 7              | 11 %                                      |
| - 40 % à - 20 %     | 15             | 23 %                                      |
| - 20 % + 20 %       | 24             | 37 %                                      |
| + 20 % à 40 %       | 3              | 5 %                                       |
| + 40 à + 60 %       | 4              | 6 %                                       |
| au-delà de + 60 %   | 8              | 12 %                                      |
| <b>total</b>        | <b>65</b>      | <b>100 %</b>                              |

On constate ainsi que pour plus de 60% des îlots l'estimation est entachée d'une erreur d'au moins 20%.

Si l'on excepte l'habitat de type pavillonnaire, les résultats obtenus (en dépit de la taille restreinte de certains échantillons) suffisent à confirmer la conclusion de l'étude rouennaise : **la moyenne de densité par type de bâti ne peut pas être utilisée comme un estimateur de la densité à l'îlot.**

Ces valeurs moyennes ne sont toutefois pas dénuées d'intérêt : elles demeurent pertinentes pour estimer une population à l'échelle communale.

Dans cette optique, le CETE de Lyon a réalisé un test sur la commune de Saint-Genis Laval. La vérification a porté sur le chiffre de la population totale de la commune.

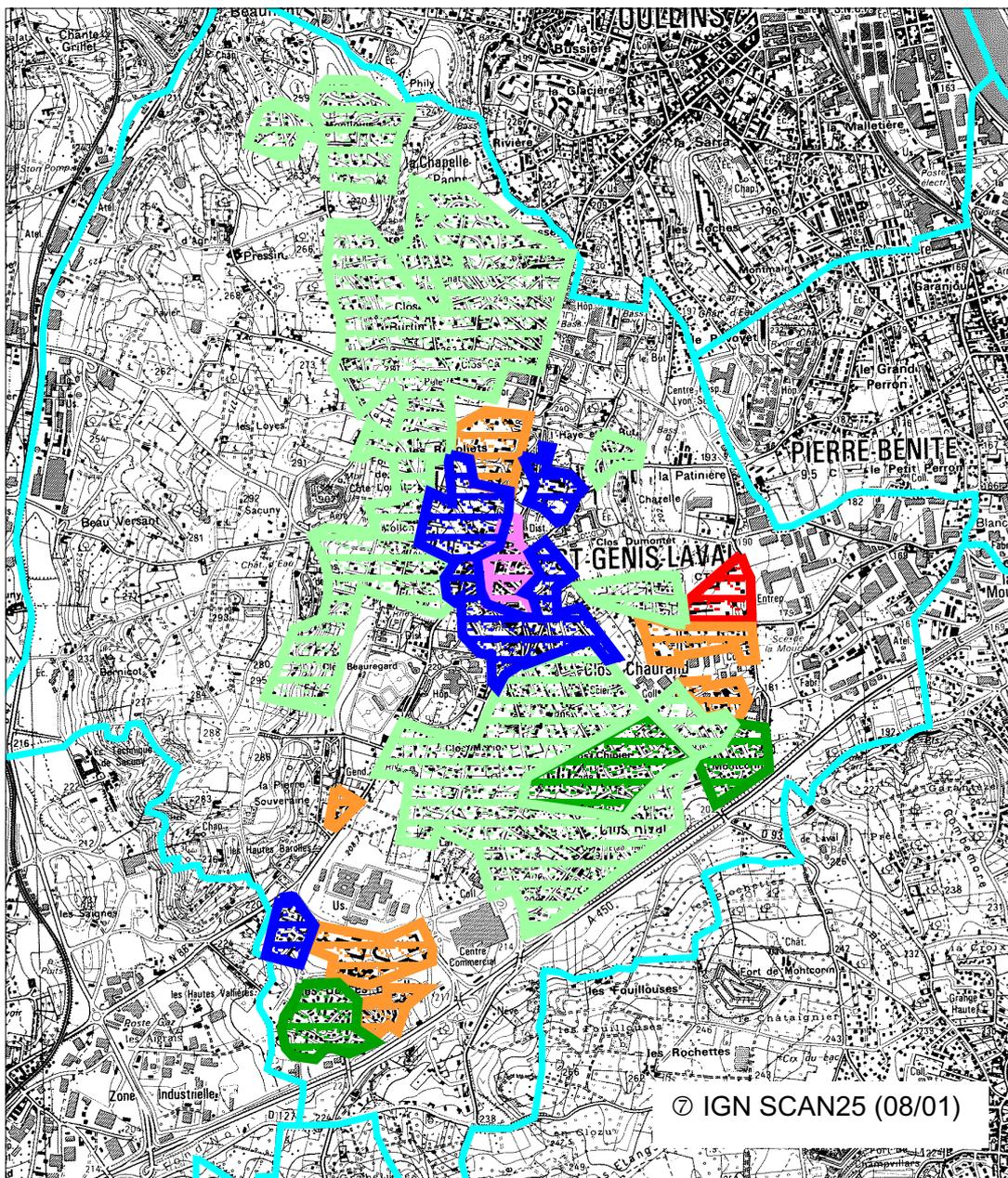
Après un découpage de la commune en zones de bâti homogène, le nombre d'habitants a été estimé sur chacune des zones définies en utilisant la densité de population moyenne par type de bâti. Le résultat obtenu est de 18 300 habitants. La carte, page suivante, illustre le découpage de la commune.

Les maisons individuelles dans les zones très peu denses ont été estimées de manière différente. Elles ont été dénombrées et le taux d'occupation moyen des logements de la commune (2.71 habitants par logement) leur a été affecté. La population résidant dans ces maisons a ainsi été évaluée à 2000 habitants.

Par cette méthode, on estime la population totale de la commune de Saint-Genis-Laval à 20300 habitants. Au recensement de 1990 elle était de 18778 habitants.

L'estimation est donc correcte à 10% près.

ESTIMATION DES POPULATIONS A SAINT GENIS LAVAL



IGN SCAN25 (08/01)

Types de zone :

|   |                                 |  |                                 |
|---|---------------------------------|--|---------------------------------|
|  | 3 (30 000h / km <sup>2</sup> )  |  | 6 (4 000 h / km <sup>2</sup> )  |
|  | 4 (15 000 h / km <sup>2</sup> ) |  | 7 (2 500 h / km <sup>2</sup> )  |
|  | 5 (8 000 h / km <sup>2</sup> )  |  | 8 (10 000 h / km <sup>2</sup> ) |

## Comparaison des deux études et conclusion

Il est intéressant de comparer les résultats obtenus sur les agglomérations de Rouen et de Lyon. Le tableau présenté ci-dessous reprend les valeurs moyennes de densité, arrondies au millier, par type de bâti.

| Etude de cas sur Rouen | Densité moyenne en hab/km <sup>2</sup> | Densité moyenne en hab/km <sup>2</sup> | Etude de cas sur Lyon            |
|------------------------|--|--|----------------------------------|
| Centre-ville           | 15000                                  | 30000                                  | Centre ville classique           |
| Petit collectif        | 12000                                  | 14000                                  | Petit collectif                  |
| Grand collectif        | 21000                                  | 26000                                  | Grand collectif                  |
| Semi collectif         | 8000                                   | 7000                                   | Semi collectif                   |
|                        |  | 8000                                   | Centre ville hétéroclite         |
|                        |  | 10000                                  | Centre ancien des petites villes |
|                        |  | 5000                                   | Centre récent des petites villes |
| Habitat individuel     | 5000                                   | 4000                                   | Pavillonnaire dense              |
|                        |  | 2500                                   | Pavillonnaire                    |

La comparaison des résultats montre que les valeurs moyennes de densité sont relativement proches pour toutes les catégories de bâti, excepté le centre-ville. On observe, dans l'agglomération lyonnaise, que la densité dans le centre-ville classique peut atteindre des valeurs très largement supérieures à celles obtenues dans le centre historique de Rouen.

Cette divergence entre les deux agglomérations n'est pas surprenante. En effet, les centres historiques sont des tissus urbains qui, de part leur ancienneté, présentent des spécificités architecturales locales. Spécificités qui peuvent se traduire, par exemple, par un bâti en moyenne plus élevé dans telle ville plutôt que dans telle autre. Ce n'est pas le cas des lotissements pavillonnaires qui sont conçus sur des modèles similaires dans toute la France. Concernant la catégorie « habitat individuel », qui présente aussi un léger écart, la moyenne plus élevée observée sur Rouen s'explique vraisemblablement par le fait que l'échantillon rouennais comporte une part importante d'habitat individuel groupé du type maisons ouvrières, sous-représentées dans l'étude de cas lyonnaise.

Enfin, la déclinaison, à Lyon, de plusieurs sous-catégories pour le type de bâti « semi-collectif » est à l'origine des écarts observés dans cette catégorie, les valeurs demeurant groupées autour de 8000 hab/km<sup>2</sup>.

**En conclusion, l'on peut dire que les données moyennes obtenues fournissent un ordre de grandeur de la densité de résidants par type de bâti. Cela ne suffit toutefois pas à en faire localement de bons estimateurs de la densité de population : les deux études de cas ont montré que ces moyennes pouvaient difficilement être appliquées à des échelles infracommunales. Pour chaque catégorie de bâti, les valeurs de densité s'étalent sur des intervalles trop étendus pour s'affranchir d'un risque élevé de sur ou de sous-estimation.**

**Seules les catégories relatives à l'habitat individuel présentent des gammes de valeurs restreintes. Une exploration plus fine des sous-catégories (habitat individuel groupé, habitat pavillonnaire dense, habitat pavillonnaire,...) permettrait sans doute d'obtenir des moyennes exploitables pour l'estimation d'une population. Il a été décidé de ne pas engager cette exploration dans la mesure où, pour l'habitat individuel, le dénombrement des logements<sup>8</sup> est facile et rapide à effectuer à partir de clichés aériens.**

<sup>8</sup> Le nombre de logements permet, par exploitation des données du RGP, d'estimer une population de résidants en utilisant le nombre moyen d'habitants par logement.

## TROISIEME PARTIE : DENSITE DE POPULATION ET COEFFICIENT D'OCCUPATION DU SOL (COS)

La tentative de caractérisation, dans le chapitre précédent, d'un lien direct entre densité de population et morphologie de bâti s'étant traduite par un échec, nous avons choisi d'étudier dans cette troisième partie la relation entre la densité de population et le COS.

En effet comme cela a été exposé dans la première partie de notre étude, le COS brut permet d'aborder d'une manière quantifiable certains aspects de la morphologie urbaine, même si une valeur de COS ne peut être associée à une seule forme urbaine (et réciproquement). Ce paramètre intègre à la fois les notions d'emprise au sol et d'élévation ; ce qui en fait un bon descripteur de l'aspect dense du tissu bâti.

Les travaux de V. FOUCHIER et de la DREIF présentés dans la partie « Outils et méthodes pour quantifier une population » ont montré que densité de population et densité bâtie étaient fortement liées en étudiant la corrélation entre deux indicateurs permettant de quantifier ces grandeurs : la densité humaine (résidents et emplois) et le COS.

Cette corrélation n'a pas été calculée tout à fait de la même manière dans les deux études : V. FOUCHIER l'a mise en évidence pour chacun des types de bâti qu'il a étudié et le résultat obtenu dépasse 0.8<sup>9</sup> dans chaque cas alors que la DREIF l'a étudiée tous types confondus avec un résultat moins bon (de l'ordre de 0.65).

Dans son rapport d'étude *Relations entre la démographie et les surfaces de planchers bâties*, la DREIF va encore plus loin en proposant la relation de proportionnalité suivante entre densité humaine et densité bâtie :

$$\text{Densité humaine} \sim 140 \times \text{COS}$$

(avec une densité exprimée en personnes par hectare)

Cette équation est bien entendu à considérer avec précaution puisqu'il ne s'agit là que du résultat d'une étude réalisée sur le cas particulier de la région parisienne à partir d'un échantillon restreint d'îlots (5 à 10 par échantillon). Toutefois, si une relation directe entre densité de contenant et densité de contenu se vérifiait, elle pourrait constituer une base exploitable pour l'estimation d'une population urbaine. En effet, connaissant le COS d'une zone, on pourrait en déduire la densité humaine.

### Présentation de la méthode appliquée

L'objectif de cette partie est donc d'étudier le lien entre densité de contenant (bâti) et densité de contenu (population). Pour ce faire, nous allons calculer la corrélation existant entre le COS brut et la densité de population sur une zone urbaine.

Comme pour l'étude de V. FOUCHIER (et contrairement à celle de la DREIF), le lien entre le COS et la densité de population est étudié en différenciant les types de bâti. Les types de bâti considérés sont identiques à ceux définis dans l'étude de cas rouennaise, exceptées les deux catégories « petit collectif » et « grand collectif » qui ont été réunies en une seule classe nommée « habitat collectif ». En effet, le nombre d'étages -principal paramètre variant entre ces deux catégories- étant pris directement en compte dans le calcul du COS, leur distinction n'apparaît plus nécessaire désormais.

---

<sup>9</sup> Le chiffre cité correspond au coefficient de corrélation de la relation entre la densité humaine et le COS par type de bâti.

Afin de maîtriser au mieux chacun des paramètres étudiés (surtout pour le calcul du COS) et de faciliter l'analyse des résultats, nous avons choisi, pour chaque type de bâti, de travailler sur un échantillon d'îlots (de 20 à 40 éléments chacun) plutôt que sur toute l'aire d'étude.

Les différentes étapes qui ont été mises en œuvre pour l'étude de la relation entre le COS et la densité sont les suivantes :

- découpage de l'aire d'étude en zones de bâti homogène ;
- sélection pour chacun des quatre types de bâti d'un échantillon de vingt à quarante îlots ;
- calcul de la densité de population pour chacun des îlots sélectionnés ;
- calcul du COS pour chacun des îlots sélectionnés ;
- exploitation des résultats (calcul du coefficient de corrélation entre COS et densité de population, discussion suivant les types de bâti) ;
- conclusion (mise au point éventuelle d'une relation de proportionnalité entre COS et densité de bâti, comparaison des résultats avec les travaux de la DREIF et de V. FOUCHIER).

Ces différentes étapes sont développées dans le chapitre suivant.

## **Application sur un cas concret : l'agglomération de Rouen**

### ***Détermination d'échantillons d'îlots de bâti homogène***

Le test entre densité de population et COS est réalisé sur la même aire d'étude de l'agglomération rouennaise que le test densité / type de bâti (cf. carte correspondante dans la deuxième partie de l'étude).

Le découpage de l'aire d'étude en zones de bâti homogène est également conservé à la seule différence que les zones correspondant aux types de bâti « type 2 : petit collectif » et « type 3 : grand collectif » ont été regroupées sous l'appellation « type 23 : habitat collectif ».

L'aire d'étude est donc désormais découpée en quatre types de bâti :

- type 1 : habitat de centre ville
- type 23 : habitat collectif
- type 4 : habitat semi-collectif
- type 5 : habitat individuel

Les types 6 et 7 correspondant respectivement aux zones d'activité et aux établissements scolaires et de santé n'ont pas été pris en compte dans cette partie.

La première étape du travail a consisté à réaliser un échantillon représentatif de chacun de ces types de bâti.

La constitution des quatre échantillons a été effectuée manuellement en prenant soin de sélectionner des îlots de toute taille répartis sur l'ensemble de l'aire d'étude.

| Type de bâti   | Nombre d'îlots dans l'échantillon | Surface minimum d'un îlot (en m <sup>2</sup> ) | Surface maximum d'un îlot (en m <sup>2</sup> ) |
|----------------|-----------------------------------|--|--|
| centre ville   | 42                                | 1 321  | 9 915  |
| collectif      | 30                                | 1 619  | 62 148   |
| semi-collectif | 21                                | 1 808  | 25 036   |
| individuel     | 36                                | 3 742  | 107 772  |

## Calcul de la densité de population et du COS par îlot

Pour chacun des îlots des quatre échantillons présentés ci-dessus, la densité de population ainsi que le COS brut ont été calculés.

### Densité de population

Contrairement aux études de V. FOUCHIER et de la DREIF, nous n'avons pas pu, faute de données disponibles concernant les emplois par îlot, utiliser comme indicateur la densité humaine qui, rappelons-le, est définie comme suit :

$$\text{Densité humaine} = (\text{Nombre d'emplois} + \text{Nombre d'habitants}) / \text{Surface de l'îlot}$$

La densité de population prise en compte ici concerne uniquement les résidents.

La densité par îlot a été calculée à partir de la base *Ilots...15* de l'INSEE. La population comptabilisée correspond à la population sans double compte issue du dernier recensement.

| Type de bâti   | Densité moyenne* de l'échantillon (hab/km <sup>2</sup> ) | Densité maximum de l'échantillon (hab/km <sup>2</sup> ) | Densité minimum de l'échantillon (hab/km <sup>2</sup> ) |
|----------------|--|---|---|
| centre ville   | 21 539   | 45 477  | 8 593   |
| collectif      | 25 348   | 60 035  | 11 125  |
| semi-collectif | 8 162  | 15 189  | 3 061   |
| individuel     | 5 112  | 10 146  | 2 491   |

\* : Densité moyenne =  $(d_1 + d_2 + \dots + d_n) / n$  avec  $d_i$  densité du  $i^{\text{ème}}$  îlot de l'échantillon et  $n$  le nombre d'îlots de l'échantillon

Les densités calculées sont représentées sur la carte ci-après.

### Coefficient d'Occupation du Sol

Le Coefficient d'Occupation du Sol calculé pour chacun des îlots est le COS brut hors-sol : brut signifiant que la surface est calculée à partir du contour extérieur du bâtiment et hors sol que les niveaux souterrains (caves et parking) ne sont pas intégrés dans le calcul. C'est cet indicateur qui a été utilisé dans les études de V. FOUCHIER et de la DREIF.

Le principe de calcul du COS brut est le suivant :

Pour chaque bâtiment de l'îlot, on relève le nombre d'étages ainsi que l'emprise au sol. On calcule ensuite le produit (nombre d'étages x emprise au sol) que l'on somme sur tous les bâtiments de l'îlot. La quantité obtenue est ensuite divisée par la surface de l'îlot.

$$COS = \frac{\sum (\text{Nombre.d'étages} \times \text{Emprise.au.sol})}{\text{Surface.de.l'ilot}}$$

L'emprise au sol et le nombre d'étages des bâtiments ont été calculés à partir de la BD TOPO de l'IGN. Ces calculs ainsi que le croisement avec la base *Ilots...15* ont été réalisés sous SIG (ArcView GIS).

Pour ce qui est de l'emprise au sol des bâtiments, le calcul est immédiat puisque cette information est renseignée dans la BD TOPO.

**Coefficient d'occupation du sol**

**CARTE**

La détermination du nombre d'étages de manière automatique à partir de la BD TOPO est plus délicate. Cette opération est détaillée en annexe.

Le COS a donc été calculé pour chacun des îlots des quatre échantillons.

| Type de bâti   | COS moyen* de l'échantillon | COS maximum de l'échantillon | COS minimum de l'échantillon |
|----------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| centre ville   | 2.7                         | 4.9                          | 1.1                          |
| collectif      | 1.0                         | 2.4                          | 0.4                          |
| semi-collectif | 0.6                         | 1.2                          | 0.4                          |
| individuel     | 0.3                         | 0.6                          | 0.1                          |

\* : COS moyen =  $(COS_1 + COS_2 + \dots + COS_n) / n$  avec  $COS_i$  COS du  $i^{ème}$  îlot de l'échantillon et n le nombre d'îlots de l'échantillon

Les valeurs obtenues sont très proches de celles calculées par V. FOUCHIER sur la région parisienne. Ces valeurs (correspondant à une moyenne) sont les suivantes :

*Quartiers parisiens* (à comparer avec centre ville) : **COS brut = 2.62**

*Grands ensembles* (à comparer avec collectif) : **COS brut = 0.89**

*Individuel groupé* (à comparer avec individuel) : **COS brut = 0.34**

*Lotissement pavillonnaire* (à comparer avec individuel) : **COS brut = 0.23**

### **Relation : COS / Densité de résidants**

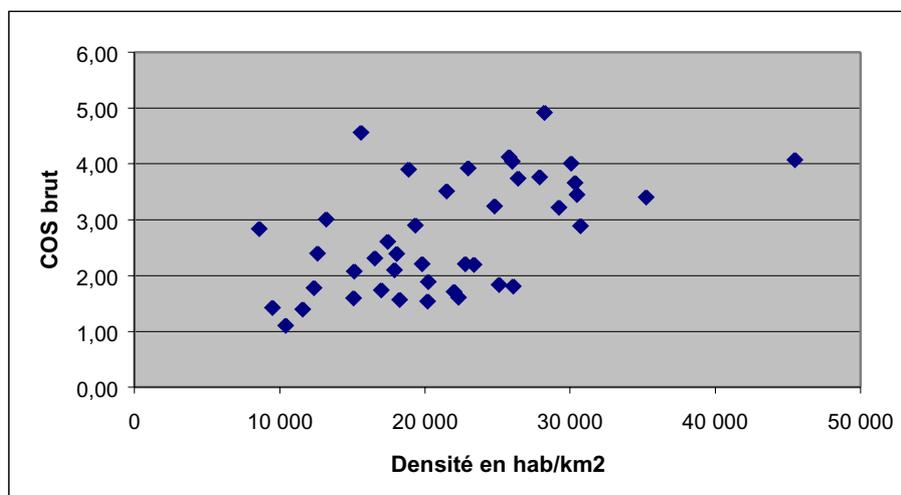
L'étape suivante consiste à étudier la corrélation entre la densité de population et le COS pour chacun des échantillons.

#### *Résultats par type de bâti*

##### *Type 1 : habitat de centre ville*

D'après la carte et le tableau présentés précédemment, on constate que c'est le type de bâti pour lequel les valeurs du COS sont les plus élevées. Ce résultat n'est pas surprenant car le bâti du centre ville donne une impression de compacité.

Intéressons nous au rapport entre densité de bâti et densité de population. Le graphique ci-dessous donne la densité de population en fonction du COS.

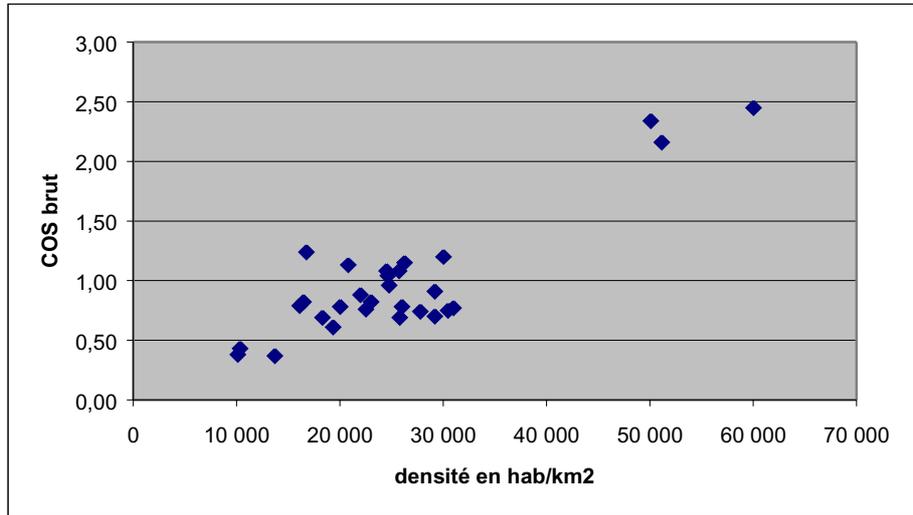


Coefficient de corrélation : 0.55

La corrélation entre COS brut et densité de population n'est pas très forte. On note cependant une tendance : densité et COS augmentent conjointement.

*Type 23 : habitat collectif*

De même que pour l'habitat de centre ville, on étudie la relation entre densité de résidants et COS brut.

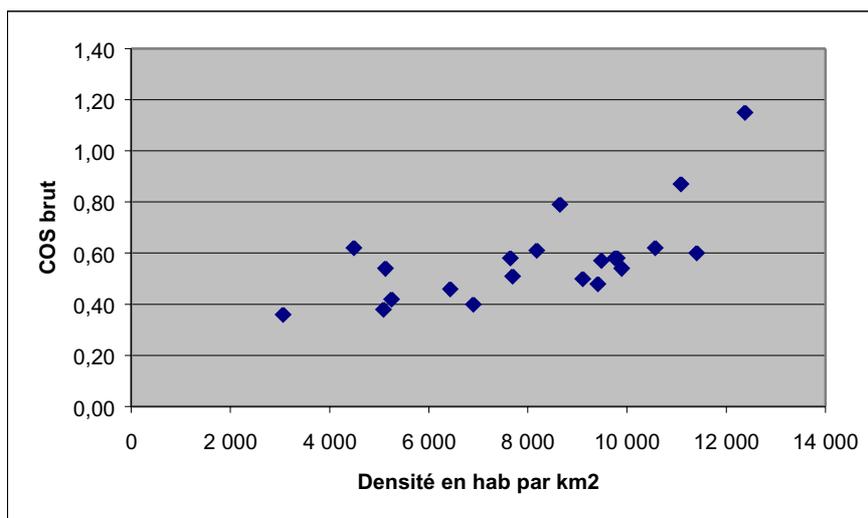


Coefficient de corrélation : 0.88

Contrairement à l'habitat de centre ville, on observe une forte corrélation entre le COS brut et la densité de résidants pour l'habitat collectif.

*Type 4 : habitat semi-collectif*

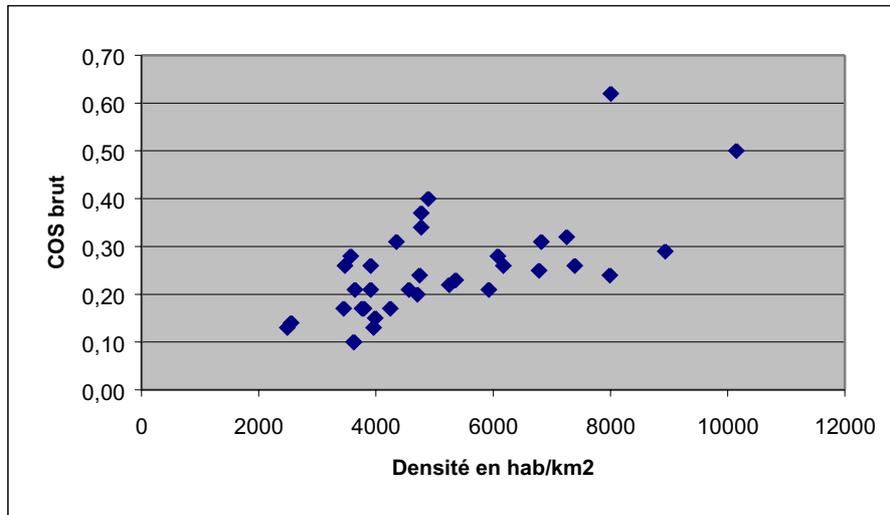
Le graphique ci-dessous représente la variation de la densité d'habitant avec le COS brut pour ce type de bâti.



Coefficient de corrélation : 0.65

*Type 5 : habitat individuel*

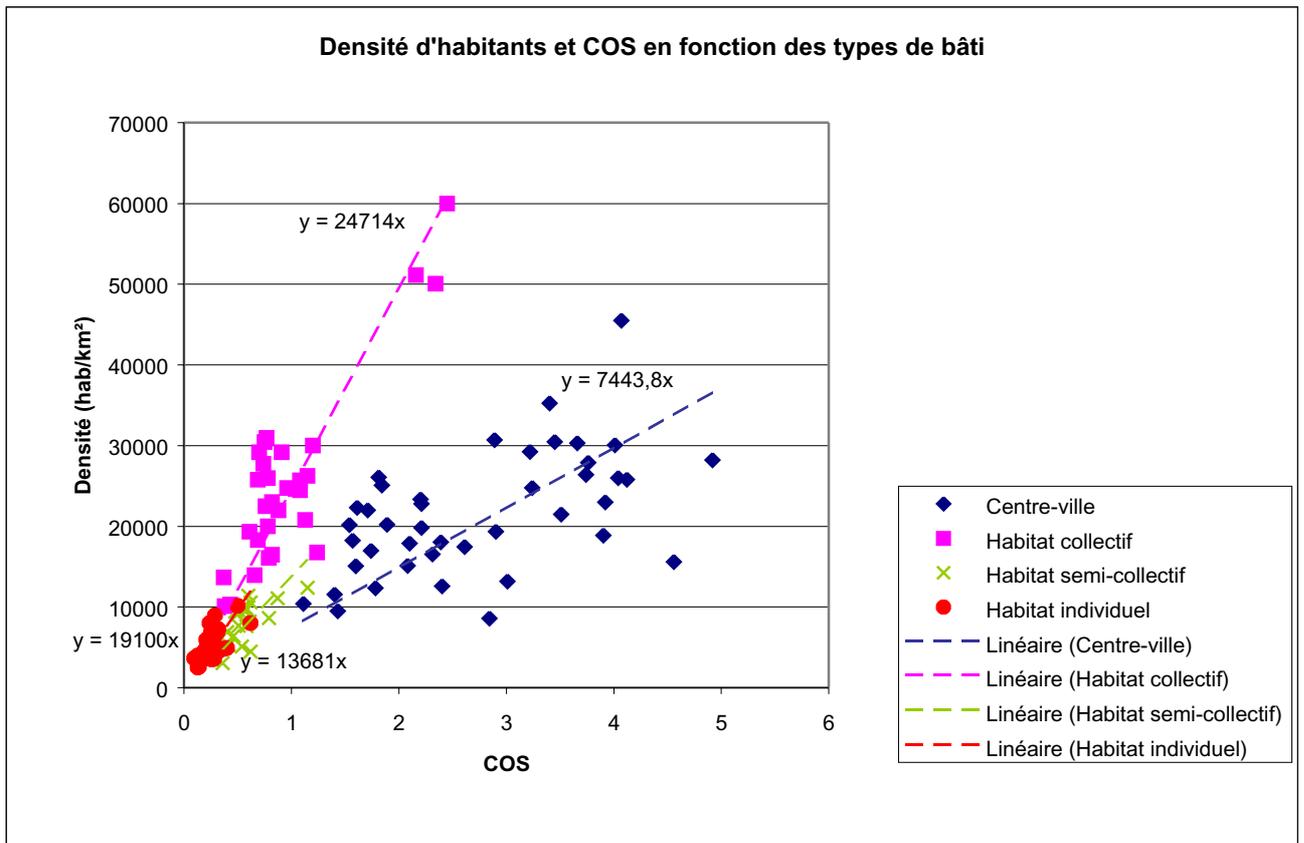
Le graphique ci-dessous donne la densité de population en fonction du COS.



Coefficient de corrélation : 0.65

*Bilan tous types de bâti*

Le graphique ci-après permet de récapituler les résultats obtenus pour tous les types de bâti.



On rappelle que la densité de résidents est exprimée ici en hab/km<sup>2</sup> (et non en hab/ha comme c'est le cas dans l'étude menée par la DREIF).

## Discussion

L'analyse du dernier graphique présenté appelle une remarque importante :

Les droites de régression calculées pour chacun des types de bâti -si on écarte le fait que dans certains cas il est abusif d'assimiler la distribution obtenue à une droite- présentent des pentes différentes. Ceci signifie bien que le lien existant entre densité de bâti et densité de résidents est fonction de la typologie du bâti.

Les coefficients de corrélation entre densité de résidents et COS brut calculés pour les quatre types de bâti considérés sont compris entre 0.55 et 0.88. On obtient donc des résultats plus ou moins encourageants selon les types de bâti.

L'habitat collectif est le type de bâti pour lequel on observe la plus forte corrélation entre densité de contenant et densité de contenu. A l'opposé, densité de bâti et densité d'habitants ne semblent, avec une corrélation de 0.55, que faiblement liés pour le tissu urbain de centre ville. Le cas de l'habitat semi-collectif et de l'individuel se situent à une position intermédiaire entre ces deux cas limites.

A la vue de ces premiers résultats, il n'est pas possible d'affirmer que, de façon générale, densité de bâti et densité d'habitants sont significativement corrélées. La tendance est toutefois remarquable et mérite d'être approfondie.

Les coefficients de corrélation observés sont nettement moins élevés que ceux déterminés par V. FOUCHIER dans son ouvrage *Les densités urbaines et le développement durable*. Le tableau ci-dessous permet de comparer ses résultats avec ceux que nous avons obtenus sur Rouen.

| Etude de cas sur Rouen |                      |
|------------------------|----------------------|
| Type de bâti           | Coef. de corrélation |
| centre ville           | 0.55                 |
| habitat collectif      | 0.88                 |
| habitat semi collectif | 0.65                 |
| habitat individuel     | 0.65                 |

| Etude de V. FOUCHIER |                      |
|----------------------|----------------------|
| Type de bâti         | Coef. de corrélation |
| quartiers parisiens  | 0.80                 |
| grands ensembles     | 0.91                 |
| individuel groupé    | 0.84                 |
| Pavillonnaire        | 0.91                 |

On s'aperçoit que seul le résultat obtenu pour l'habitat collectif est de l'ordre de ceux de V. FOUCHIER. Plusieurs explications peuvent être avancées pour expliquer ces écarts importants.

- Le calcul du COS réalisé par l'équipe de V. FOUCHIER semble avoir été effectué de manière plus précise. En effet, même si tous les détails méthodologiques ne sont pas décrits dans l'ouvrage, on constate que l'emprise au sol a été caractérisée de manière beaucoup plus fine (six catégories : emprise bâtie, voirie-stationnement, espace vert privatif, espace vert collectif, espace piétonnier minéral, équipements) et sans doute à partir de plans plus précis.
- Cet écart dans les résultats peut aussi s'expliquer par l'utilisation d'indicateurs différents pour décrire la densité de contenu. En effet l'indicateur densité humaine utilisé par V FOUCHIER intègre à la fois la population résidente et les emplois alors que sur Rouen nous n'avons pris en compte que la population habitant sur l'îlot. Le fait de ne pas avoir comptabilisé les emplois pour le calcul de la densité de population explique la bonne corrélation obtenue pour l'habitat collectif, type de bâti majoritairement résidentiel, et la corrélation plus faible pour le centre ville où des surfaces importantes sont occupées par des commerces et des bureaux. Par contre, nous aurions dû observer une corrélation plus forte - de l'ordre de celle obtenue pour le collectif - pour l'habitat individuel qui lui aussi est essentiellement résidentiel.

- Concernant cette faible corrélation obtenue pour l’habitat individuel, une autre explication relevant plutôt de la méthodologie employée peut être avancée : il s’agit du fait que nous avons inclus dans un même type de bâti -ce que n’a pas fait V. FOUCHIER- l’individuel groupé et les lotissements pavillonnaires. Ces deux catégories d’habitat individuel diffèrent quelque peu de par leurs caractéristiques morphologiques, notamment par la présence plus fréquente de garages pour le pavillonnaire récent, ce qui augmente l’emprise au sol.

Comparons maintenant nos résultats à ceux obtenus par la DREIF dans le cadre de son étude *Relations entre la démographie et les surfaces de plancher bâties*.

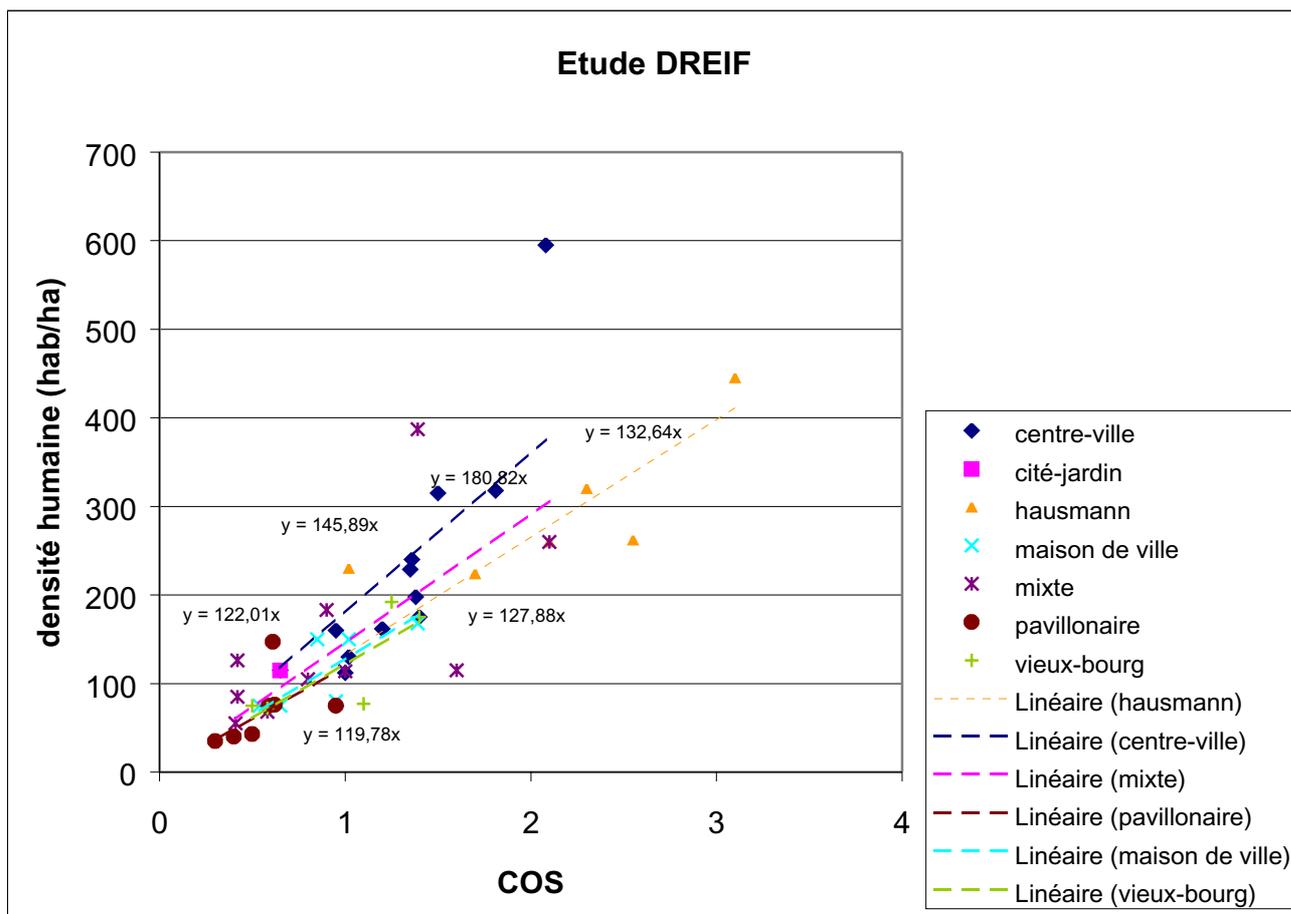
Dans le rapport d’étude de la DREIF le lien entre le COS brut et la densité humaine (résidents + emplois) a été abordé tous types de bâti confondus. Le coefficient de corrélation obtenu - même s’il n’est pas indiqué de manière explicite - est de l’ordre de 0.65.

Le caractère rectiligne de la courbe de régression obtenu a conduit la DREIF à proposer la relation de proportionnalité suivante liant COS et densité humaine (habitants + emplois) :

$$\text{Densité} \sim 140 \times \text{COS}$$

*Avec une densité humaine exprimée en personnes par hectare*

Pour affiner cette comparaison, nous avons repris les résultats<sup>10</sup> de la DREIF type de bâti par type de bâti. Ces résultats sont représentés sur le graphique suivant :



<sup>10</sup> Le graphique présenté s’appuie sur les résultats publiés par la DREIF dans son rapport (il n’est pas directement issu dudit rapport).

Bien que ces résultats ne soient pas directement comparables avec ceux obtenus sur Rouen étant donné que les types de bâti pris en compte dans les deux études sont assez différents, on peut tout de même faire certaines remarques.

De même que pour l'étude menée sur Rouen, les coefficients de corrélation calculés par la DREIF varient avec le type de bâti considéré. Ils sont du même ordre de grandeur : six sur les sept calculés (centre-ville, cité-jardin, haussmann, maison de ville, mixte, vieux-bourg) sont compris entre 0.6 et 0.8 par contre celui concernant l'habitat pavillonnaire dépasse tout juste 0.4. Ces coefficients sont à considérer avec précautions car ils ont été déterminés à partir d'un nombre d'îlots restreint (inférieur à 20).

Les pentes des droites de régression correspondant à chaque type de bâti sont beaucoup plus proches les unes des autres que celles calculées sur Rouen. Plusieurs explications peuvent être avancées :

- le fait de prendre en compte la densité humaine augmente les pentes (pour un COS donné, la densité humaine est plus élevée). Dans le cas de Rouen, les droites de régression correspondant aux types de bâti où les espaces voués aux activités sont les plus importants -centre ville et semi-collectif- présentent les pentes les plus faibles. Le fait de prendre en compte les emplois aurait augmenté ces deux pentes et les droites de régression auraient sans doute été plus proches ;
- l'éventail des types de bâti pris en compte par la DREIF est moins large. Notamment, il n'y a pas vraiment d'équivalent à la classe « habitat collectif » qui représente un cas limite sur Rouen : c'est le type de bâti pour lequel l'augmentation de la densité en fonction du COS est la plus rapide (l'utilisation de l'espace bâti est optimisée) ;
- on peut aussi supposer que le lien entre densité de contenant et densité de contenu varie selon les villes considérées. En particulier pour la catégorie de « centre-ville » où les écarts sont prévisibles du fait d'une architecture inhérente au contexte historique local et donc différente d'une ville à une autre.

La combinaison de ces trois facteurs (et peut être d'autres encore) explique la différence des résultats obtenus dans les deux cas.

Il nous paraît prématuré d'établir des relations, analogues à celle proposée par la DREIF, reliant densité de contenant et densité de contenu pour chaque type de bâti.

Néanmoins, la catégorie « Habitat collectif » présentant un coefficient de corrélation correct et étant pratiquement indépendante de la question des emplois, nous indiquons, à titre informatif, l'équation obtenue à partir de ce type de bâti :

$$\text{Densité de résidants} \sim 250 \times \text{COS}$$

*Avec une densité de résidants exprimée en personnes par hectare*

Comme on peut le constater, cette relation de proportionnalité est très différente de celle obtenue dans le cadre de l'étude DREIF. On notera dans le même temps que la classe « habitat collectif » n'a pas vraiment d'équivalent dans l'étude de la DREIF.

**Pour conclure quant à cette dernière analyse, il nous semble important de retenir que, dans l'étude du lien entre morphologie de bâti et densité de population, les résultats obtenus à partir du COS sont beaucoup plus encourageants que ceux issus du seul paramétrage par type de bâti (présentés dans la seconde partie de ce rapport).**

**De nouvelles investigations apparaissent cependant nécessaires pour définir des coefficients de passage COS/densité adaptés à chaque type de bâti. Nous n'avons pas réalisé suffisamment de tests pour les définir de façon satisfaisante. En revanche, nous savons maintenant quels approfondissements doivent être conduits pour les obtenir.**

**Il s'agit tout d'abord de réitérer la démarche sur Rouen et d'autres agglomérations métropolitaines en travaillant à partir de la densité humaine dans l'optique d'une comparaison plus fine avec les valeurs de coefficient de passage de la DREIF. Au terme de nos investigations, le travail à partir de la densité humaine (emplois + salariés) nous apparaît aussi comme le plus à même de conduire à de bons résultats dans l'estimation de la population.**

**La connaissance du nombre d'emplois n'étant pas disponible à l'îlot, ce travail demandera de nouvelles prospections (soit à partir d'un recueil de données sur le terrain, soit par l'exploitation d'autres bases de données comme le fichier SIREN de l'INSEE).**

**Une (ou plusieurs) études comparatives conduites sur d'autres agglomérations seront également à effectuer afin de confronter les coefficients obtenus dans un secteur géographique donné à d'autres situations géographiques.**

**Enfin, dans l'hypothèse optimiste où la relation entre COS et densité humaine serait établie avec suffisamment de certitude pour estimer des populations, un travail méthodologique devra être engagé qui consistera à définir les outils les plus efficaces non seulement dans la détermination du COS mais aussi dans l'exploitation de la densité humaine dans le volet sanitaire des études d'impact.**

## CONCLUSION

Du fait de l'introduction d'un volet sanitaire dans les études d'impact, leurs auteurs sont aujourd'hui confrontés à un nouveau problème méthodologique : l'estimation des populations. En effet, pour déterminer un niveau d'exposition, il faut quantifier les nuisances induites par le projet mais aussi évaluer la population soumise à ces nuisances.

Nous avons montré, au commencement de notre étude, qu'une exploitation des résultats du recensement général de la population, associée à une connaissance approfondie de l'occupation du sol, constituait une réponse efficace au problème de l'estimation des populations.

En milieu urbain par exemple, où la question revêt des aspects relativement complexes, l'utilisation des données de recensement à l'îlot produites par l'INSEE couplées à des bases de données d'occupation du sol telles que la BD-Topo, permet d'évaluer des populations résidentes avec précision.

Néanmoins, considérant le grand laps de temps qui sépare deux recensements successifs, nous avons cherché à savoir s'il existait des méthodes alternatives d'évaluation de la population.

La recherche bibliographique que nous avons engagée nous a permis de constater que des solutions alternatives avaient été mises au point à partir de l'imagerie satellite. Ces méthodes, qui reposent sur l'exploitation des caractéristiques morphologiques du tissu urbain, permettent de pallier une absence de données démographiques. En cela, elles sont particulièrement intéressantes pour évaluer des populations urbaines dans les pays où le coût du recensement rend ce dernier rédhibitoire. L'investissement technique qu'elles nécessitent nous est toutefois apparu trop important pour pouvoir être introduit dans les études d'impact.

D'autres études ont alors retenu notre attention, qui n'ont pas l'ambition d'élaborer des méthodes d'estimation de la population, mais qui examinent les relations entre des paramètres descriptifs de la morphologie urbaine et la densité humaine. De ces études ressort le fait que le coefficient d'occupation du sol et la densité humaine (qui comptabilise à la fois les résidents et les emplois sur une surface donnée) sont fortement corrélés.

Avant de poursuivre cette recherche entre la morphologie bâtie, décrite de manière qualitative, et la densité humaine, nous nous sommes interrogés sur les possibilités d'une estimation de la population basée sur des paramètres qualitatifs de la morphologie bâtie. La question sous-jacente était la suivante : peut-on associer une valeur de densité à un type de bâti (pavillonnaire, grand collectif, centre-ville,...) ?

Deux études de cas menées respectivement sur l'agglomération rouennaise et l'agglomération lyonnaise ont montré qu'à un type de bâti donné correspondait une valeur moyenne de densité spécifique. Du plus dense ou moins dense, on peut classer les différents types de bâti comme suit : centre-ville, grand-collectif, petit-collectif, semi-collectif et habitat individuel. Cependant, les plages de valeurs obtenues pour chaque type de bâti étant très étendues, cette valeur moyenne ne constitue pas un estimateur de la densité suffisamment précis pour être employé à des échelles infracommunales. Seules les catégories relatives à l'habitat individuel présentent des intervalles de valeurs plus restreints. Pour ce type de bâti, la recherche d'un ratio applicable pour différentes sous-catégories (habitat individuel groupé, habitat pavillonnaire,...) apparaissait envisageable. Était-elle pertinente ? Dans l'optique de notre recherche, elle ne nous est pas parue indispensable puisque, pour l'habitat individuel, le décompte des logements peut s'effectuer de manière rapide ; ce dernier suffisant à évaluer ensuite une population résidentielle.

Revenant à des paramètres quantitatifs, nous avons utilisé l'exemple rouennais pour analyser le lien entre densité de population et coefficient d'occupation du sol. Plusieurs difficultés méthodologiques ont pénalisé notre travail et rendu délicate la comparaison de nos résultats avec celles produites antérieurement sur le sujet.

La première tient au fait que les études faisant référence sur la question définissent la densité humaine comme la densité de résidents et d'emplois. Nous ne disposions que de l'information sur les résidents. La seconde provient d'un traitement moins fin dans la caractérisation de l'emprise au sol des îlots retenus (l'importance des investigations de terrain nécessaires représentant un investissement très consommateur de temps).

Malgré ces disparités, les résultats sont nettement plus encourageants que ceux obtenus précédemment (c'est-à-dire à partir du paramétrage qualitatif de la morphologie bâtie).

De nouveaux tests demeurent nécessaires pour les affiner et définir des coefficients de passage entre COS et densité humaine.

Le travail sur la densité humaine nous apparaît au terme de notre étude comme le plus adapté à l'estimation des populations à partir de la morphologie bâtie. Suivant cette idée, les prochains tests devront comporter de nouvelles investigations, axées sur les emplois, en complément des informations disponibles à l'îlot.

Enfin, si la relation entre COS et densité humaine était définie, il resterait à résoudre le problème de l'exploitation dans les études sanitaires de la donnée agrégée « emplois+résidents » qui en résulterait.

Dans l'attente de nouvelles investigations sur le sujet, l'exploitation des données produites par l'INSEE demeure la réponse la mieux adaptée à l'estimation des populations dans les études d'impact.

## ANNEXE : ESTIMATION DU NOMBRE D'ETAGES D'UN BATIMENT A PARTIR DE LA BD-TOPO

Le nombre d'étages et la hauteur des bâtiments ne sont pas renseignés dans la BD TOPO. La seule donnée permettant de remonter à une information concernant l'élévation des éléments bâtis est l'altitude du bord du toit qui est donnée pour chaque sommet du bâtiment. Pour calculer le nombre d'étages des bâtiments à partir de cette information nous avons procédé de la manière suivante (ces opérations successives ont été réalisées avec le logiciel ArclInfo) :

- on affecte à chaque bâtiment une altitude correspondant à son altitude de bord de toit maximum ;
- on crée à partir de cette altitude maximum un MNT bâti (résolution 2m) ;
- on crée parallèlement un MNT terrain de même résolution à partir des isoysses de la BD TOPO par triangulation puis transformation en image (LATTICE) ;
- on soustrait les deux MNT bâtis et terrain pour obtenir un troisième MNT correspondant à l'élévation (par rapport au sol cette fois) des bâtiments ;
- on transforme ce MNT en objets vectoriels et on affecte par jointure spatiale l'élévation calculée aux objets correspondant de la BD TOPO (la hauteur du bâtiment est désormais stockée en tant qu'attribut pour chaque objet de la couche de bâti de la BD TOPO) ;
- le nombre d'étages est en suite déduit en prenant une hauteur forfaitaire de 3 mètres par niveau ;

Cette méthode qui présente l'avantage de pouvoir traiter rapidement - le gain de temps par rapport à une enquête terrain est énorme - de manière automatique des zones urbaines importantes ne fournit bien évidemment qu'une approximation du nombre d'étages. Les principaux risques d'erreurs sont les suivants :

- la précision des données d'altitude, en particulier du terrain naturel, sur la BD TOPO.
- une seule valeur d'altitude (maximum) a été retenue pour chaque bâtiment ce qui constitue une approximation (surestimation) surtout en centre ville où dans la plupart des cas, un pôle de maison entier est saisi sous la forme d'un seul objet sur la BD TOPO ;
- la valeur forfaitaire de 3 mètres de haut pour un étage.

Etant donné toutes ces imprécisions et du fait que nous n'avions encore jamais pratiqué ce type d'opération, nous avons comparé l'estimation du nombre d'étages ainsi réalisée avec la réalité. Le nombre d'étages réel des bâtiments a été relevé lors d'une enquête terrain sur les quatre échantillons étudiés.

Même si des écarts sont observés entre nombre d'étages calculé et nombre d'étages réel, les résultats sont dans l'ensemble très satisfaisants.

Le tableaux présentés ci-après récapitulent les écarts observés par type de bâti.

### Validation du calcul du nombre d'étages par la BD TOPO

Le nombre d'étages estimé à partir de la BD TOPO a été comparé au nombre d'étages réels des bâtiments sur un échantillon de 20 à 40 îlots pour chaque type de bâti.

L'écart constaté est **delta = Nombre d'étages réel - Nombre d'étages estimé**

**Type 1 : centre ville**

Nombre d'îlots de l'échantillon : 42

Nombre de bâtiments de l'échantillon : 54

| <b>Delta</b>               | <b>-2</b> | <b>-1</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> |
|----------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Nombre de bâtiments</b> | 3         | 14        | 21       | 11       | 4        | 1        |
| <b>Pourcentage</b>         | 5.5%      | 26.0%     | 39.0%    | 20.5%    | 7.5%     | 2.0%     |

ou

| <b>Delta en valeur absolue</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Nombre de bâtiments</b>     | 21       | 25       | 7        | 1        |
| <b>Pourcentage</b>             | 39%      | 43.0%    | 13.0%    | 2%       |

**Type 23 : habitat collectif**

Nombre d'îlots de l'échantillon : 31

Nombre de bâtiments de l'échantillon : 121

| <b>Delta</b>               | <b>-2</b> | <b>-1</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> |
|----------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Nombre de bâtiments</b> | 3         | 17        | 70       | 24       | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        |
| <b>Pourcentage</b>         | 2.5%      | 14.0%     | 58.0%    | 20.0%    | 1.0%     | 1.5%     | 1.0%     | 1.5%     | 1.0%     |

ou

| <b>Delta en valeur absolue</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Nombre de bâtiments</b>     | 70       | 41       | 4        | 2        | 1        | 2        | 1        |
| <b>Pourcentage</b>             | 58.0%    | 34.0%    | 3.5%     | 1.5%     | 1.0%     | 1.5%     | 1.0%     |

**Type 4 : habitat semi collectif**

Nombre d'îlots de l'échantillon : 22

Nombre de bâtiments de l'échantillon : 241

| <b>Delta</b>               | <b>-2</b> | <b>-1</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |
|----------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Nombre de bâtiments</b> | 3         | 31        | 143      | 56       | 6        | 1        | 1        |
| <b>Pourcentage</b>         | 1.0%      | 13.0%     | 59.5%    | 23.0%    | 2.5%     | 0.5%     | 0.5%     |

Ou

| <b>Delta en valeur absolue</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Nombre de bâtiments</b>     | 143      | 87       | 9        | 1        | 1        |
| <b>Pourcentage</b>             | 59.5%    | 36.0%    | 3.5%     | 0.5%     | 0.5%     |

**Tous types de bâti confondus**

Nombre total d'îlots de l'échantillon : 95

Nombre total de bâtiments de l'échantillon : 416

| <b>Delta</b>               | <b>-2</b> | <b>-1</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> |
|----------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Nombre de bâtiments</b> | 9         | 62        | 234      | 91       | 11       | 4        | 2        | 1        | 1        |
| <b>Pourcentage</b>         | 2.0%      | 15.0%     | 56.0%    | 22.0%    | 2.5%     | 1.0%     | 0.5%     | 0.0%     | 0.0%     |

ou

| <b>Delta en valeur absolue</b> | <b>0</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Nombre de bâtiments</b>     | 234      | 153      | 20       | 3        | 2        | 1        | 1        |
| <b>Pourcentage</b>             | 56.0%    | 37.0%    | 5.0%     | 0.5%     | 0.5%     | 0.0%     | 0.0%     |

## ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE

O. Barbary, F. Dureau, A. Lortic, A. Michel, *L'utilisation de la télédétection pour l'observation démographique en milieu urbain, rapport final – mai 1989*, ORSTOM, 1989.

O. Barbary, F. Dureau, *Pour une méthode de collecte démographique en ville intégrant la télédétection spatiale*, ORSTOM, 1987.

F. Dureau, B. Lortic, A. Michel, M. Souris, *L'utilisation de la télédétection pour l'observation des populations urbaines*, Bulletin du département H n°12 consacré à l'Equateur, ORSTOM, 1987.

P. Blancilhon (dir. J.C. May), *Relations entre la démographie et les surfaces de plancher bâties*, DREIF, novembre 1997.

V. Fouchier, *Les densités urbaines et le développement durable, le cas de l'Île-de-France et des villes nouvelles*, Edition du SGVN, décembre 1997.

V. Fouchier, N. Cadou, *Les densités de la ville nouvelle d'Evry, Le projet, la réalisation, le vécu*, E.P. EVRY, 1997

INSEE, *Catalogue des produits du recensement de la population 1999*, INSEE, octobre 2000.

MATE et MELT, *Note Méthodologique sur les études d'environnement dans les projets routiers – volet « air »*, CERTU-SETRA, 2001.

MATE et MELT, *Annexe technique à la note méthodologique sur les études d'environnement dans les projets routiers « volet air »*, CERTU-SETRA, 2001.

V.F.L. Pollé, *Population estimation from aerial photos for non-homogeneous urban residential areas – cases studies from Teheran and Colombo*, ITC, 1984.

## GLOSSAIRE

**CES**: Coefficient d'emprise au sol

**COS** : Coefficient d'occupation du sol

**DREIF** : Direction régionale de l'Équipement d'Ile-de-France

**IGN** : Institut géographique national

**IRD** : Institut de recherche pour le développement

**INSEE** : Institut national de la statistique et des études économiques

**IRIS** : Ilots regroupés selon des indicateurs statistiques

**MNT** : Modèle numérique de terrain

**RGP** : recensement général de la population

**SIG** : système d'information géographique

**SHOB** : Surface hors œuvre brute

**SHON** : Surface hors œuvre nette