



HAL
open science

Etude des flux de déchets verts des ménages à l'aide d'analyses spatiales (SIG) - Rennes Métropole -

F. Bah

► **To cite this version:**

F. Bah. Etude des flux de déchets verts des ménages à l'aide d'analyses spatiales (SIG) - Rennes Métropole -. Environnement et Société. 2010. hal-02593784

HAL Id: hal-02593784

<https://hal.inrae.fr/hal-02593784>

Submitted on 15 May 2020

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

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

Etude des flux de déchets verts des ménages à l'aide d'analyses spatiales (SIG) - Rennes Métropole -

Fatoumata BAH
Master Géographie-Aménagement
Mention Espaces et environnement
Télédétection, Analyse Spatiale et Environnement (TASE)

Encadrants : Thierry **BIOTEAU** &
Annie **RESSE**

Cemagref de Rennes
17, avenue de Cucillé. CS 64487
35044 Rennes Cedex
Tél : 02 23 48 21 21. Fax : 02 23 48 21 15

Mars-Août 2010

Enseignant responsable
Samuel **CORGNE**
Maître de conférences

Université de Rennes 2 Haute Bretagne
Place du recteur Henri Le Moal CS 24307
35043 Rennes cedex
Tél. : +33 (0)2 99 14 10 00

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Nicolas PETIT, Directeur du centre Cemagref de Rennes, ainsi que José MARTINEZ, directeur de l'unité GERE, de m'avoir accueillie au sein de leur établissement et de m'avoir permis de travailler au sein de leur unité GERE.

Je remercie très sincèrement mon tuteur Thierry BIOTEAU, qui m'a dirigée tout au long de ce stage avec professionnalisme et bienveillance. Je le remercie vivement pour sa constante disponibilité tout au long du stage, ses conseils avisés, sa bonne humeur et sa confiance.

Je tiens également à remercier ma tutrice Annie RESSE pour son aide, sa patience, sa gentillesse. Je la remercie vivement pour ses conseils et sa participation au cheminement de ce mémoire.

Je tiens à remercier mon tuteur Samuel CORGNE pour ses conseils et sa disponibilité mais également l'ensemble de l'équipe pédagogique pour leur encadrement tout au long du Master.

Je souhaite également remercier ici l'ensemble de l'équipe du Cemagref pour son accueil chaleureux au cours de ces six mois.

Une pensée particulière pour les stagiaires du Cemagref avec qui j'ai partagé de très agréables moments durant ces 6 derniers mois. Je leur remercie pour leur présence et leur humeur joviale.

PRESENTATION DU CEMAGREF.....	5
INTRODUCTION	6
PARTIE 1 THEMATIQUE DE L'ETUDE.....	7
1. GESTION DES DECHETS DES MENAGES	7
1.1. Réglementation.....	7
1.2. Les déchets et leur gestion.....	8
1.2.1. Quantités et évolution.....	8
1.2.2. Les déchets verts des ménages.....	10
2. CONTEXTE DE L'ETUDE	11
2.1. Rennes Métropole :	11
2.2. Le Projet Miniwaste.....	12
PARTIE 2 MATERIELS ET METHODOLOGIE.....	14
1. ANALYSES SPATIALES	15
1.1. Qu'est ce le SIG ?	15
1.2. Qu'est ce la Télédétection ?.....	16
2. MATERIELS ET DONNEES.....	17
2.1. Matériel informatique.....	17
2.2. Logiciels	17
2.3. Données spatialisées (SIG et photos aériennes).....	17
3. METHODOLOGIE.....	18
3.1. Méthode 1 : Détermination des zones d'influence des déchetteries.....	20
3.1.1. Méthode Net-Drain.....	21
3.2. Méthode 2 : Détermination des surfaces vertes des jardins des ménages.....	23
3.2.1. Prétraitement du cadastre	23
3.2.2. Classification supervisée des photographies aériennes	23
3.2.3. La création des Signature spectrales.....	24
3.2.4. La matrice de confusion	26
PARTIE 3 RESULTATS.....	27
1. DETERMINATION DES GISEMENTS DE DECHETS VERTS	27
1.1.1. Résultats obtenus par traitement d'image.....	28
1.1.1.1. Surfaces vertes des ménages de Rennes Métropole	28
1.1.2. Résultats obtenus par l'application de la méthode Net-Drain (délimitation des zones d'influence).....	33
1.1.3. Etude de cas : Cesson-Sévigné.....	41
Conclusion	47
ANNEXES	48
Références Bibliographique.....	86

PRESENTATION DU CEMAGREF

Le Cemagref emploie 1350 personnes dont 950 permanents pour moitié chercheurs et ingénieurs. Il accueille plus de 200 doctorants, des post-doctorants, des chercheurs étrangers ainsi que des stagiaires.

Les activités du Cemagref consistent à élaborer des règles de gestion pour les acteurs publics (agences, collectivités, ministères, organismes internationaux, union européenne), acquérir et transmettre des connaissances pour le milieu scientifique (organismes de recherche, universités et grandes écoles), et concevoir des technologies pour les milieux économiques (bureaux d'études, entreprises, équipementiers, organisations professionnelles).

Le centre de Rennes regroupe une soixantaine de permanents dont 30 ingénieurs et chercheurs. Il accueille en permanence une douzaine de doctorants et chercheurs étrangers et chaque année une vingtaine de stagiaires de l'enseignement supérieur. Il se compose de deux unités de recherche.

Le travail de recherche de l'unité TERE consiste à améliorer et maîtriser la qualité des matières premières et des produits agroalimentaires au cours des différents procédés de transformation et de conservation. Ce travail est conduit par deux équipes de recherche : l'équipe METFRI et l'équipe IRM-Food.

L'unité de recherche GERE (Gestion Environnementale et traitement biologique des déchets) développe des méthodes et des techniques pour la maîtrise des déchets et la préservation des ressources naturelles. L'unité est composée de deux équipes :

- l'équipe Epure (gestion et traitement des effluents d'élevage) développe des techniques de mesure permettant une évaluation des émissions gazeuses polluantes liées à la gestion des déjections animales ainsi que des procédés de réduction des émissions polluantes.
- l'équipe Sowaste (gestion et traitement de déchets solides) comporte deux axes de recherche : l'étude du compostage, la conception et l'amélioration des procédés ainsi que l'évaluation technique, économique et environnementale de la gestion des déchets municipaux dans l'objectif d'appui aux politiques publiques.

C'est au sein de cette dernière équipe que mon stage s'est déroulé du 1^{er} Mars au 31 Août 2010 sous l'encadrement de **Thierry BIOTEAU** et d'**Annie RESSE**.

INTRODUCTION

En France, depuis quelques années, la réduction de nos déchets est une priorité pour des raisons environnementales et économiques, préoccupation qui s'est renforcée depuis le Grenelle de l'Environnement. La production de déchets par les ménages augmente chaque année pour atteindre un peu plus de 350 kg en moyenne par habitant et par an (Ademe, Angers. 2007). Depuis 1998, la politique de gestion des déchets mobilise un ensemble d'acteurs très variés (politiques et institutionnels, économiques, scientifiques, etc.) qui mettent en place différents outils (législation incitative ou contraignante) et qui utilisent des techniques diversifiées notamment l'analyse spatiale (comme nous le verrons dans ce rapport) en vue de la réduction des déchets organiques (déchets de cuisine et déchets verts). En absence de démarche imposée pour évaluer et mesurer le compostage domestique ou l'impact du composteur individuel ce projet propose de mettre en place une étude spécifique afin de réaliser des protocoles applicables à d'autres collectivités.

La présente étude vise à étudier le gisement de déchets verts des ménages des particuliers dans la Communauté de Communes de Rennes Métropole.

En effet, Rennes Métropole réalise une expérience pilote – le projet Miniwaste- à l'échelle de l'Union Européenne, projet qui a pour objectif de proposer une méthode innovante de réduction des déchets verts des ménages qui soit transposable dans d'autres villes européennes. Dans ce but, Rennes Métropole est porteur du projet avec différentes organismes afin de mener à bien ce projet. Le Cemagref est l'un des organismes participant à cette collaboration. L'une de ses missions est de contribuer à l'élaboration de plusieurs protocoles d'évaluation des déchets. Le sujet de mon stage s'insère dans cette démarche dans la mesure où il s'agit de localiser et quantifier les déchets verts des jardins des ménages sur le territoire de Rennes Métropole. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés notamment sur des photographies aériennes et des données cadastrales.

Dans une première partie, nous présenterons la thématique de l'étude, son contexte et le projet Miniwaste. Ensuite, nous décrirons les méthodologies utilisées pour déterminer les gisements de déchets verts aux échelles pertinentes. Enfin, nous présenterons et analyserons dans la troisième partie, les résultats obtenus sur le territoire de Rennes Métropole.

PARTIE 1 THEMATIQUE DE L'ETUDE

1. GESTION DES DECHETS DES MENAGES

Le plan d'actions déchets 2009-2012 répond à des objectifs ambitieux : produire moins de déchets, mieux les recycler, les valoriser quand cela est possible et assurer un traitement à la hauteur des enjeux sanitaires et environnementaux. Il vise à faire de la France un des piliers de la société européenne de recyclage : il s'agit d'utiliser les déchets comme ressources, tout en renforçant l'ambition première de prévention. Il offre un cadre renouvelé des objectifs que la France souhaite atteindre, suite à l'impulsion du Grenelle de l'Environnement. Il est issu des réflexions et concertations menées lors de ce Grenelle, en articulation cohérente avec la future transposition de la directive européenne du 19 novembre 2008 sur les déchets.

Porté par le ministère du développement durable, ce plan d'actions implique toutes les parties prenantes de la politique des déchets : l'État, responsable de la réglementation, de son application et des instruments fiscaux, les collectivités locales, en charge des déchets ménagers et assimilés, les producteurs des produits qui seront, en fin de vie, des déchets, les professionnels du recyclage et du traitement, les entreprises productrices de déchets de tous secteurs (industries, services, industries agro-alimentaires, agriculture, bâtiment et travaux publics (BTP), les associations de consommateurs et environnementales, les citoyens.

1.1.Réglementation

La loi du 15 juillet 1975, base de la réglementation sur les déchets, définit le déchet comme « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien, meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ». Elle précise aussi la responsabilité du producteur et ses obligations : « Toute personne qui produit ou détient des déchets, dans des conditions de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits et des odeurs et d'une façon générale à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement, est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination conformément aux dispositions de la présente loi, dans des conditions propres à éviter les dits effets ». (Loi du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération de matériaux).

Ce texte de loi est ensuite complété et modifié par la loi du 13 juillet 1992. Elle le modifie et a pour objets : « de prévenir ou réduire la production et la nocivité des déchets ; d'organiser et de limiter le transport des déchets ; de valoriser par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir à partir des déchets des matériaux réutilisables ou de l'énergie ; d'assurer l'information du public des effets sur l'environnement et la santé publique des opérations de production et d'élimination des déchets ». Ensuite, elle le complète par les mesures suivantes : « à compter du 1^{er} juillet 2002, le stockage est réservé aux seuls déchets ultimes ; chaque département doit être couvert par un plan départemental ou interdépartemental d'élimination des déchets ménagers et assimilés dans un délai de trois ans à compter de la publication du décret déterminant les procédures d'élaboration et de révision de ces plans ; la loi instaure une taxe sur la mise en décharge des déchets ménagers et assimilés ; cette taxe sur la mise en décharge approvisionne un fond de modernisation de la

gestion des déchets créé au sein de l'ADEME ». (Communauté de Communes du Plateau Maïchois, *Gestion des déchets*).

Cette réglementation est une nouvelle fois révisée par la loi du 2 février 1995, relative au renforcement de la protection de l'environnement. (ADEME, septembre 2004)
La circulaire Voynet du 28 avril 1998 insiste sur la prévention et la réduction de la production de déchets.

La circulaire du 28 juin 2001 relative à la gestion de déchets organiques pose les grands principes de la valorisation biologique. A partir de 2007, le Grenelle de l'Environnement fixe comme objectifs de : « réduire la production de déchets et développer le recyclage ; assurer la réduction des impacts sur la santé et sur l'environnement de nos modes de gestion des déchets ; renforcer la sensibilisation et l'information ; déterminer la place de l'incinération ». (Le Grenelle Environnement Synthèse).

L'élan donné par le Grenelle de l'environnement conduit à un engagement important de l'État orienté vers la prévention et le recyclage. (ADEME, Septembre 2009). L'article 41 de la loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement établit un ensemble cohérent de mesures et fixe trois objectifs nationaux :

- Réduire la production d'ordures ménagères et assimilées de 7 % par habitant pendant les cinq prochaines années ;
- Augmenter le recyclage de matière organique afin d'orienter vers ces filières un taux de 35 % en 2012 et 45 % en 2015 de déchets ménagers et assimilés contre 24 % en 2004, ce taux étant porté à 75 % dès 2012 pour les déchets d'emballages ménagers et les déchets des entreprises, hors BTP, agriculture, industries agro-alimentaires et activités spécifiques ;
- Réduire les quantités de déchets partant en incinération ou en stockage à hauteur de 15 % d'ici 2012 afin de préserver les ressources et prévenir les pollutions.

Ainsi, on constate que la réglementation se renforce peu à peu et que les déchets issus des ménages sont directement concernés par des objectifs ambitieux de réduction.

1.2. Les déchets et leur gestion

1.2.1. Quantités et évolution

En 2008, la France a produit 868 millions de tonnes de déchets issus de différents secteurs professionnels tels que les déchets des entreprises, des collectivités, des ménages, etc. comme l'illustre la Figure 1. Les déchets des ménages représentent seulement 4% de la quantité totale de déchets produits soit environ 28 millions de tonnes pour l'année 2004. Toutefois, la production annuelle des déchets ménagers de chaque français a doublé en 40 ans, passant de 180 kg de déchets par personne et par an à environ 350 kg par personne et par an en 2004 malgré une légère baisse en 2005 et 2006 (voir figure 2). Malgré cette faible part de déchets issus des ménages, ils génèrent une organisation de collecte et de traitement importante et donc des coûts associés élevés. En effet, en 2006,

l'IFEN a estimé la dépense de gestion des déchets à 11,6 milliards d'euros, soit une augmentation de 6,1 % par rapport à 2005. Ce taux de croissance est le même pour les entreprises et les collectivités locales assurant le service public des ordures ménagères. La dépense s'accroît toujours plus rapidement que le PIB (+4,3 %), notamment en raison d'une constante amélioration des équipements et des services comme la mise aux normes des unités d'incinération ou encore le développement des déchetteries. (ADEME, Les déchets en chiffres, 2009).

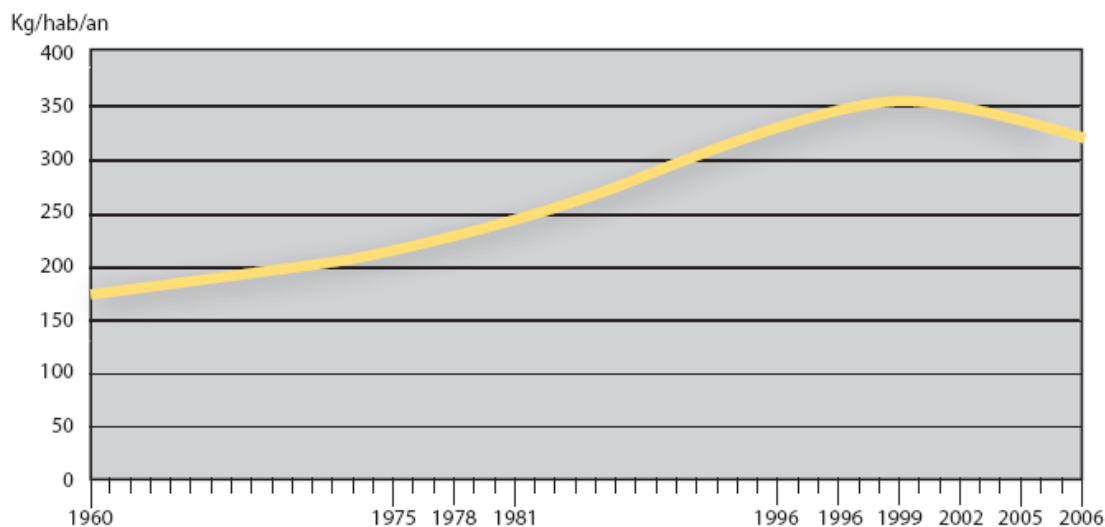


Figure1 : Evolution de la production d'ordures ménagères entre 1960 et 2006 (source : ADEME, Les déchets en Chiffres, 2009)

La part des différents secteurs dans la production des 868 millions de tonnes de déchets

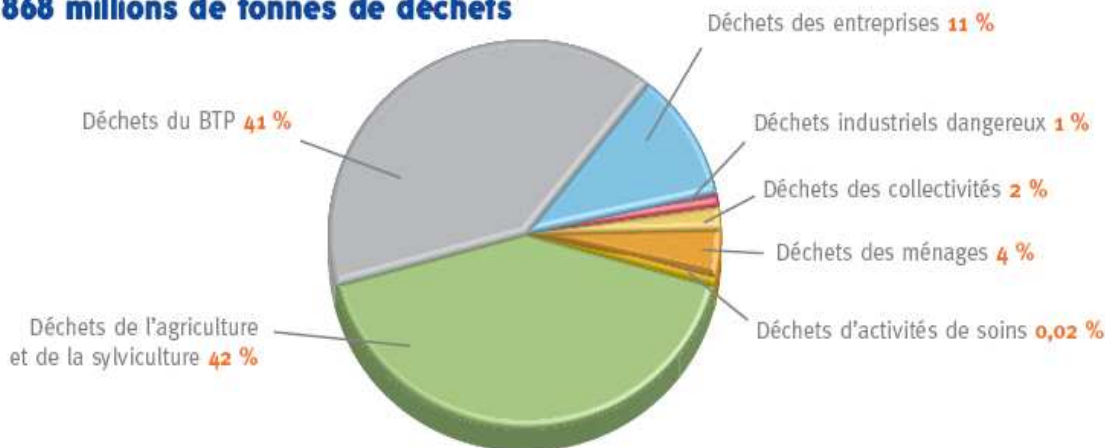
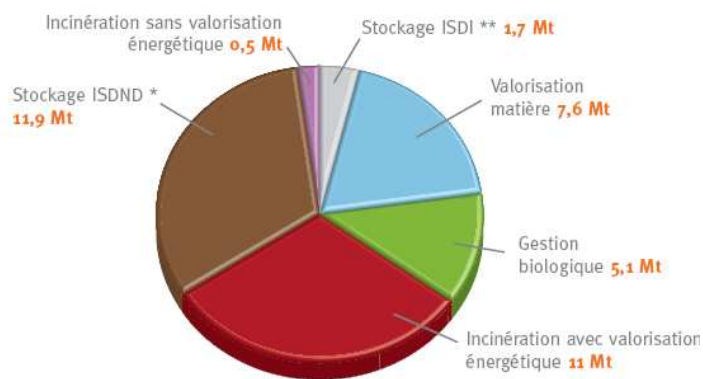


Figure 2 : Provenance des différents déchets (source : ADEME, Les déchets en Chiffres, 2009)

Certains des déchets présentés en figure 2 sont à la charge par les collectivités et orientés vers les différentes filières de traitement et d'élimination. La figure 3 montre la répartition entre les différents modes de traitement.

Destination des 37,8 millions de tonnes de déchets collectés par le service public



Source ADEME Enquête collecte 2007

Figure 3 : Service public des déchets (source : ADEME, Les déchets en Chiffres, 2009)

Ce graphique montre que 33,5 % des déchets ménagers et assimilés collectés par le service public sont orientés vers le recyclage (valorisation de matière et gestion biologique) et 29 % vers la valorisation énergétique.

1.2.2. Les déchets verts des ménages

Les déchets verts des ménages correspondent aux déchets produits par l'entretien de leurs jardins. Ces déchets sont de plusieurs types et sont produits à différentes périodes de l'année :

- Tontes de pelouses, essentiellement produites d'avril à octobre ;
- Feuilles mortes, produites d'octobre à janvier ;
- Branchages suite à la taille de haies ou d'arbres, produits de novembre à mars ;
- Divers déchets tels que des fleurs fanées ou plantes mortes, produits tout au long de l'année (C. ROUSSEAU, 2008).

Ces déchets se retrouvent pour une part en déchetteries, en moindre mesure dans les ordures ménagères. Parfois, ils peuvent être collectés en porte à porte. Une part non négligeable est (ou pourrait être) gérée à domicile grâce au compostage domestique.

Le compostage est un procédé biologique en aérobie permettant de valoriser la matière organique en un produit stabilisé riche en substances humiques. Ce traitement se déroule en deux étapes. La première, la phase de fermentation (Mustin, 1987) ou phase active (Epstein, 1997) et la seconde, la phase de maturation. L'étape de fermentation est la période durant laquelle la matière organique est dégradée rapidement tandis que celle de maturation correspond à l'humification. La pratique du compostage domestique permet de dévier ces déchets de la collecte et du traitement à la charge des collectivités. Cela réduit les quantités de déchets à gérer pour la collectivité et donc le coût de la gestion des déchets (C. ROUSSEAU, 2008).

2. CONTEXTE DE L'ETUDE

2.1. Rennes Métropole :

La communauté d'agglomération de Rennes Métropole est une intercommunalité créée il y a une trentaine d'années, en 1970. C'est un établissement public de coopération intercommunale, qui regroupait 27 communes. Elle a pour compétences : l'urbanisme, l'aménagement du territoire, le développement économique, les activités scientifique, la recherche ... D'année en année, le district crée de nouveaux outils d'aménagement du territoire et s'élargit en intégrant de nouvelles communes. Le district prend la compétence traitement et élimination des déchets en 1995. C'est seulement en 2000 que le District se transforme en Communauté d'agglomération et prend le nom de Rennes Métropole. En, 2001, Rennes Métropole prend en charge la collecte des déchets ménagers, la collecte sélective et les déchetteries. En 2010, Rennes Métropole compte 37 communes.

Aujourd'hui, le projet communautaire de Rennes Métropole affirme l'ambition de se positionner comme métropole européenne du XXIe siècle. Pour atteindre cet objectif, la communauté d'agglomération s'est inscrite dans les réseaux européens pour échanger les savoir-faire et les expériences. Rennes Métropole participe également à des projets européens qui lui permettent d'élaborer avec d'autres partenaires de l'Europe des démarches novatrices et de partager des connaissances et pratiques de gestion. (Source : Rennes Métropole).

Rennes Métropole compte une population de 403 856 habitants plutôt jeune (60 % de la population à moins de 40 ans). Rennes Métropole enregistre la troisième plus forte progression démographique nationale depuis 2000 (source : INSEE, Agences). Sa superficie est de 60 755 hectares avec une urbanisation de 19 % en 2004 (Source : AUDIAR, « Evolution de la tâche urbaine entre 1999 et 2004 » - Mars 2006). La communauté de communes de Rennes Métropole est très engagée sur la gestion des déchets, elle mène une politique de réduction des déchets organiques des ménages par le compostage individuel. Elle distribue ainsi sur l'ensemble des communes des composteurs aux foyers demandeurs. Plus de 15 000 composteurs aux habitants de l'agglomération ont déjà été distribués.



Figure 4 : Carte de Rennes Métropole

2.2. Le Projet Miniwaste

La France met actuellement en place une politique des déchets afin d'atteindre les objectifs définis par le Grenelle de l'environnement. Ces objectifs concernent la valorisation des déchets et la réduction des flux stockés et incinérés. Le but est que le taux de recyclage des matières organiques des déchets ménagers passe à 35 % en 2012 puis à 45 % en 2015. C'est pourquoi des politiques d'encouragement au compostage domestique mais également au compostage de pied d'immeuble sont instaurées. Le compostage domestique, en plus de réduire la part des ordures ménagères résiduelles, permet de faire prendre conscience à l'utilisateur de l'impact de ses actes sur l'environnement.

Dans le but d'encourager ces pratiques, Rennes Métropole développe des actions de mise en place de démarches de gestion domestique des déchets ménagers par compostage. L'objectif est d'instaurer ce fonctionnement chez les particuliers mais également de faire en sorte que cela perdure. Pour cela, il est nécessaire de connaître les motivations des usagers, de pouvoir énoncer les bonnes pratiques de compostage mais également de pouvoir évaluer la qualité d'un compost. En effet, même si la valorisation des déchets et à encourager, il est nécessaire de la contrôler et de vérifier son impact sur l'environnement. Rennes Métropole a donc proposé un projet de structuration des actions de prévention des déchets, Mini Waste (de *Mini* comme minimiser et *Waste* comme déchets en anglais), appliqué au domaine de la promotion du compostage. Ce projet a pour problématique la réduction des déchets. Il s'agit de définir et d'appliquer une méthodologie innovante pour mettre en œuvre et évaluer les actions de réduction des déchets organiques. Le projet est piloté par Rennes Métropole en partenariat avec la ville de Brno en République Tchèque, l'agglomération de Porto au Portugal, ACR (Association des villes et régions pour le recyclage et la gestion durable des ressources) en Belgique et le Cemagref. Le principal objectif du projet consiste à démontrer conformément à la directive 2008/98/CE, qu'il est possible de réduire de façon significative la quantité de déchets organiques à la source de façon maîtrisée et durable. Le projet Miniwaste est financé par Life+ qui est l'instrument financier européen chargé de soutenir des projets environnementaux tels que la gestion de l'eau, l'aménagement du territoire, le management environnemental, les technologies propres, et la gestion des déchets.

L'agglomération Rennaise et ses habitants seront au centre des regards de tous les pays européens pendant les prochaines années. En effet, Rennes Métropole va servir de ville test et s'engage, avec l'ADEME dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, dans une politique nationale de gestion des déchets. Axée sur la prévention et le recyclage, elle s'accompagne de moyens de soutien importants. L'ADEME reçoit des dotations issues de la TGAP (Taxe générale sur les activités polluantes) sur l'incinération et le stockage.

Dans ce projet des actions sont mises en place pour sensibiliser le public à la prévention des déchets. Des actions éco-exemplaires notamment concernant la valorisation du compostage domestique et collectif sont menées.

Partenaire de Rennes Métropole dans le projet Miniwaste, le Cemagref est chargé d'évaluer la quantité et la qualité des composts par le développement de trois protocoles techniques et scientifiques. Les protocoles seront définis et vérifiés :

1. Un protocole permettant d'évaluer l'impact du compostage domestique (habitat individuel) sur la réduction du volume de déchets traités par la commune.
2. Un protocole permettant d'estimer le potentiel de compostage collectif (pour les immeubles d'appartements) en termes de réduction des déchets et de programme d'aide nécessaire.
3. Un protocole permettant d'évaluer la qualité du compost produit, en référence à la réglementation existante (NF U 44051 en France).

L'objectif de ce projet est donc notamment d'apporter des données sur l'impact environnemental de la gestion domestique des déchets en habitat individuel. Le but final est d'étendre les pratiques rennaises dans d'autres villes de la communauté européenne.

Dans ce cadre, le stage porte essentiellement sur le développement de méthodes d'analyses spatiales. L'objectif est d'étudier le gisement de déchets verts des ménages à l'échelle d'un secteur test et sur l'ensemble de la communauté urbaine de Rennes Métropole. Deux méthodes qui utilisent des techniques en télédétection et SIG seront tout d'abord décrites. Ensuite, les résultats associés à ces 2 méthodes seront détaillés.

PARTIE 2 MATERIELS ET METHODOLOGIE

Depuis 1998, le Cemagref travaille sur l'impact du compostage domestique sur les quantités de déchets organiques produites par les ménages. Les SIG ont été utilisés à plusieurs reprises afin d'analyser ce phénomène.

En 2000, les premiers travaux réalisés grâce au traitement du cadastre numérisé, ont facilité la détermination des surfaces de jardins des particuliers à l'échelle d'une commune. Puis après l'application d'un ratio de production, il a été possible d'estimer le gisement potentiel de déchets verts (TOSTIVINT B., juillet 2000).

En 2003, la méthode a été enrichie grâce au traitement de photographies aériennes. Cela a permis une meilleure estimation des surfaces vertes en fonction du type de couverture végétale (DESRIAUX F., juin 2003).

En 2005, les SIG et la télédétection ont été utilisés afin d'estimer le gisement de déchets verts à l'échelle de plusieurs secteurs. Une typologie d'habitat a ainsi été mise au point par analyse spatiale. La diminution des déchets verts dans les ordures ménagères a été mesurée par secteur et un type d'habitat a été associé à chacun d'entre eux. Ce travail a contribué à établir un outil d'estimation de l'impact du compostage domestique en fonction de l'habitat (BLAYO V., août 2005).

En 2007, le protocole a été amélioré en incluant la notion de zone d'influence de déchetterie grâce à la méthode des polygones de Thiessen. Il a été réalisé à l'échelle d'un territoire de plusieurs communes. Ces zones d'influences des déchetteries ont aidé à rapporter les quantités de déchets verts apportés en déchetteries à une surface verte. (MAILLARD H., juillet 2007).

En 2008, le travail a permis d'évaluer un pourcentage du gisement total de déchets verts qui fait l'objet d'une gestion domestique en fonction de secteurs (C. ROUSSEAU, 2008).

En 2010, **j'ai contribué à l'amélioration de la procédure concernant le découpage des zones d'influence des déchetteries pour que le calcul du gisement de déchets verts des ménages soit plus juste.**

1. ANALYSES SPATIALES

La géographie s'intéresse aux caractéristiques qui structurent l'espace. L'espace terrestre utilisé et aménagé par les sociétés. Il comprend l'ensemble des lieux et de leurs relations (Brunet *et al.*, 1992). L'analyse spatiale peut être perçue et considérée comme un concept géographique participant à la démarche scientifique permettant la compréhension de la construction de l'espace par les sociétés. L'analyse spatiale est avant tout un prolongement des techniques de la géographie classique, appuyée sur des outils formalisés qui relèvent plus de la modélisation ou de la statistique que de la sociologie ou de la géographie culturelle. L'analyse spatiale *stricto sensu* recouvre avant tout l'effort de formalisation de l'étude des configurations spatiales et de leurs interactions avec le monde social. (Bavoux et al, 1998)

L'analyse spatiale emploie par conséquent des concepts souvent mesurables, qui vont servir à exprimer des relations entre les formations sociales et le milieu. La distance est un des concepts les plus classiques de la discipline et connaît par conséquent une large gamme de définitions, qui oscillent entre les mesures les plus algébriques (distances euclidiennes etc.) et les évaluations plus compréhensives fondées sur les perceptions et l'information des acteurs. Mais de nombreux autres concepts aident à formaliser le propos: diffusion, hiérarchie, ségrégation, frontières et barrières, discontinuités, réseaux, axes, centre et périphérie, etc. Ces notions donnent des informations sur l'analyse de configurations spatiales des phénomènes sociaux. (Manche, 2000). (Guilmoto, Oliveau, 2003)

1.1. Qu'est ce le SIG ?

Les SIG (Système d'information géographique) sont apparus suite à la numérisation des cartes au format papier, qui a commencé dès les années 70. Ce travail a donné naissance à une nouvelle discipline qu'on appelle « géomatique ». Elle a notamment pour but l'automatisation de la cartographie. Pour bien exploiter les données nécessaires à l'analyse spatiale, les données sont organisées en base de données. La notion de système d'information s'est développée dans les années 1980. Elle rassemble l'ensemble des éléments, relations et fonctions liées à l'exploitation des connaissances géographiques. Elle investit des champs d'application divers tel que l'agriculture, l'aménagement, le géomarketing, l'environnement.

D'après le comité fédéral de la coordination inter agence pour la géographie numérique (FICCDC), le SIG est “un système informatique de matériels et de logiciels qui permettent la collecte, la gestion de l'analyse des données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes d'aménagement et de gestion.” Certains spécialistes considèrent que le SIG inclut les données mais aussi les personnels et les compétences nécessaires au fonctionnement des matériels et logiciels. Les caractéristiques spatiales des géodonnées sont stockées dans un système de coordonnées (latitude/longitude, Lambert, UTM, etc.), qui définit un lieu précisément sur la Terre. Des éléments descriptifs stockés sous forme de tableau sont associés aux caractéristiques spatiales. Les données spatiales et leurs éléments descriptifs associés dans un système de coordonnées commun, peuvent être utilisés ensemble pour des analyses et des cartographies. Les SIG peuvent être utilisés pour des recherches scientifiques, pour la gestion de ressources, et les études de projets.

Les SIG ont plusieurs applications en ce qui concerne la gestion des déchets. Ils servent notamment pour optimiser les circuits de collecte des camions bennes. Les SIG

peuvent aussi s'appliquer plus précisément aux déchets verts. Ils peuvent en effet servir à étudier les flux de déchets verts sur un territoire. Les résultats présentés plus loin montrent l'intérêt du SIG pour un tel objet d'étude.

1.2. Qu'est ce la Télédétection ?

La télédétection est l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci (définition JO 1984). La télédétection est aussi la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci.

Elle englobe tout le processus qui consiste à **capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information**» d'après le Centre Canadien de Télédétection (CCT, 99). Le traitement est appelé à privilégier la lisibilité des espaces de différentes natures (urbanisés, agricoles, forestiers, aquatiques).

La télédétection s'est révélée pertinente dans le domaine de l'aide à la gestion des déchets verts. En effet, la télédétection est généralement utilisée pour la détermination du type d'occupation de sols à différentes échelles, ou encore en agriculture pour identifier les différents types de cultures. Elle permet aussi d'estimer la production totale d'une récolte. Le traitement d'images par télédétection peut être très performant pour distinguer des objets à une échelle très fine selon la résolution de l'image.

Dans cette étude, la télédétection a son utilité pour différencier certains types de végétation : les haies et les pelouses des jardins des ménages. Les quantités de déchets verts collectées peuvent aussi être rapportées à des surfaces vertes suivant la nature d'arbres, haies et pelouses pour un territoire ou une agglomération. Un couplage du SIG et de la télédétection permet donc de mettre en rapport des quantités de déchets verts avec des surfaces végétales et cela à différentes échelles.

2. MATERIELS ET DONNEES

2.1. Matériel informatique

Deux ordinateurs ont été utilisés pour la réalisation des travaux :

- Une station HP Z800 a été utilisée pour réaliser les traitements SIG et un ordinateur de bureau pour Excel, Word et PowerPoint

2.2. Logiciels

Les logiciels utilisés pour cette étude sont des logiciels dédiés à la géomatique et au traitement d'images.

- Un logiciel de SIG : ArcGIS 9.3 et 2 extensions (Network Analyst et Spatial Analyst).
- Un logiciel de télédétection : ERDAS Imagine 2010.
- Le pack office: Excel, Word, PowerPoint.

2.3. Données spatialisées (SIG et photos aériennes)

Rennes Métropole dispose d'un service SIG mobilisant de nombreuses données géographiques. Dans le cadre du projet MiniWaste, des données nous ont été mises à disposition. Le tableau suivant recense ces différentes informations spatialisées géoréférencées dans le système Lambert II étendu et Lambert 93. Le cadastre numérisé filtré aux seules parcelles des maisons des ménages permet une classification de la photographie aérienne limitée à l'échelle de la zone d'étude qui nous intéresse, c'est-à-dire à l'échelle des maisons des particuliers.

Couche d'information	Source	Format
Photographies aériennes numériques de 2006, de 50 cm de résolution, (BDOrtho®, IGN)	Rennes Métropole	Mrsid (Raster)
Le cadastre numérisé, 2006	Rennes Métropole	Shape (Vecteur)
Filtre du cadastre identifiant les parcelles des maisons des particuliers	Rennes Métropole	Tableau Excel
les quantités de déchets verts en déchetteries en tonnes	Rennes Métropole	Tableau Excel

Figure 6 : Données pour la réalisation du projet

3. METHODOLOGIE

Les méthodes appliquées au cours de mon stage s'inscrivent dans l'étude des flux de déchets verts qu'il convient de décrire en premier lieu. En effet, une partie des déchets verts des jardins des ménages est collectée en déchetteries. Une autre partie du gisement total des déchets de jardins est gérée à domicile par compostage domestique tandis qu'une moindre partie se retrouve dans les ordures ménagères. Le bilan des flux de déchets de jardin suit donc l'expression suivante :

$$DV_{\text{GisTot}} = DV_{\text{OMR}} + DV_{\text{Déch}} + DV_{\text{GestDom}}$$

DV_{GisTot} : Gisement total des déchets de jardins;

DV_{OMR} : Déchets de jardins contenus dans les ordures ménagères;

$DV_{\text{Déch}}$: Déchets de jardins collectés en déchetteries (dont collecte sélective);

DV_{GestDom} : Déchets de jardins gérés à domicile.

Dans cette étude chaque flux sera estimé par une méthode bien définie.

Pour le gisement total des déchets de jardins (DV_{GisTot}), une classification supervisée de photographies aériennes par la méthode du maximum de vraisemblance permet d'estimer les surfaces en gazon et haies/arbres. L'application ensuite d'un ratio de production à ces surfaces permet d'estimer la production théorique en déchets verts des jardins.

- Les quantités de déchets de jardins contenus dans les Ordures Ménagères Résiduelles (DV_{OMR}) peuvent être estimées par des caractérisations des ordures ménagères. Les résultats préliminaires obtenus dans le cadre du projet Miniwaste confirment que ce flux est négligeable : 2 kg/hab/an sur le secteur d'étude de Cesson-Sévigné.
- Pour les quantités de déchets de jardins collectées en déchetteries ($DV_{\text{Déch}}$), les quantités de déchets de jardins collectées en déchetteries sont connues par les services de Rennes Métropole. Néanmoins, les déchetteries étant ouvertes à toute personne s'y présentant, il s'agit de modéliser le territoire qui est affecté à chaque déchetterie en tenant compte du réseau routier et des temps d'accès.
- La part des déchets verts gérée à domicile peut ensuite s'obtenir de cette façon :

$$DV_{\text{GestDom}} = DV_{\text{GisTot}} - DV_{\text{OMR}} - DV_{\text{Déch}}$$

A l'issu de ces traitements, des analyses peuvent être effectuées. Ainsi, des indicateurs (surfaces moyennes des jardins, etc.) pourront être identifiés comme étant favorables ou non aux apports en déchetteries.

Les méthodes utilisées et adaptées dans le cadre de mon stage peuvent être déclinées en trois principales étapes : 1) Détermination des zones d'influence des déchetteries ; 2) Classification supervisée de photographies aériennes qui permettent d'obtenir trois classes d'occupation du sol (bâti, haies/arbres, pelouses); 3) Les post-traitements correspondent notamment au couplage des deux points précédents afin de traiter les données.

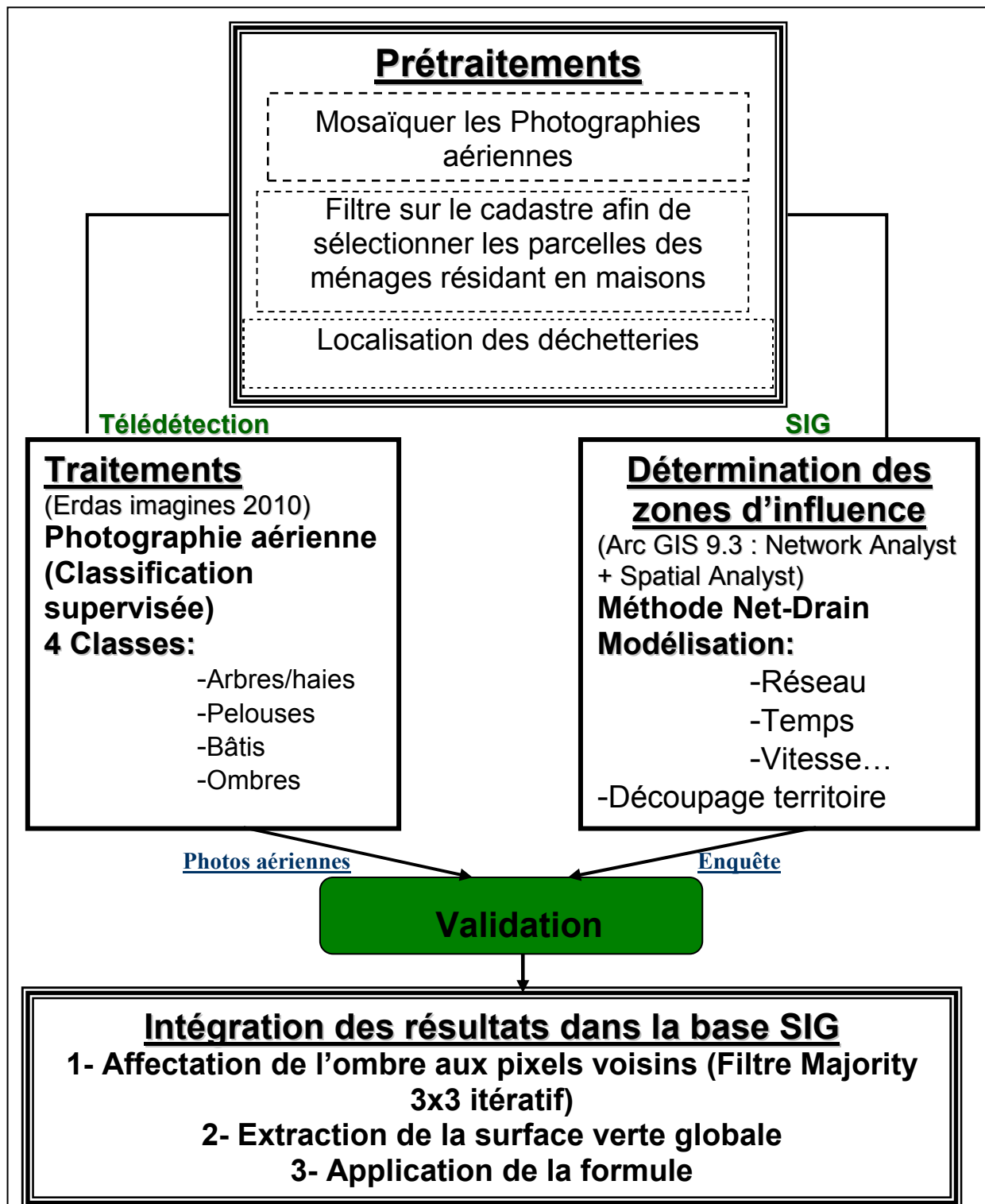


Figure 7 : Organigramme du schéma méthodologique

3.1.Méthode 1 : Détermination des zones d'influence des déchetteries

La zone d'influence se définit comme étant le territoire associé à un service (commerce, école, hôpital, déchetterie...). Dans cette étude c'est donc le territoire desservi par chaque déchetterie qui sera déterminé. La méthode couramment utilisée pour déterminer l'aire de desserte d'une déchetterie, est celle d'un cercle de rayon 10 minutes (trajet en voiture). La carte ci-dessous présente les zones d'influence des déchetteries de Rennes Métropole par cette méthode, appelée « cercle de distance » ou « rayons d'action ».

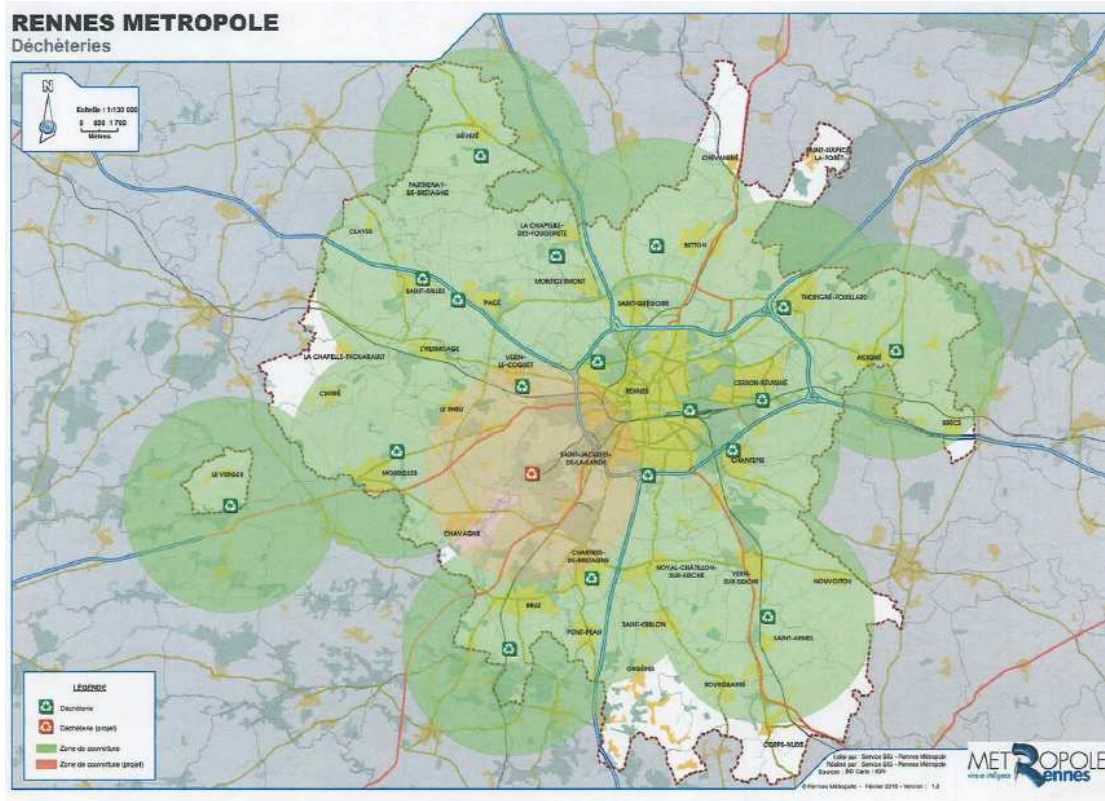


Figure 8 : Carte des zones d'influence de déchetterie par la méthode des rayons d'action (Source : service SIG de Rennes Métropole)

Le grand inconvénient de cette méthode est qu'elle ne prend pas en compte la répartition des déchetteries entre elles. On observe des zones de recouvrement entre les surfaces.

Lors de travaux précédents, cette méthode des rayons d'action a été remplacée par la méthode des polygones de Thiessen. Pour déterminer les zones d'influence de déchetteries dans les travaux menés au Cemagref, en 2007, H. MAILLARD utilise cette méthode pour son étude sur Cap Atlantique. La méthode des polygones de Thiessen est aussi appelée méthode des plus proches voisins ou de Voronoï. Elle permet d'attribuer un territoire à chaque déchetterie en calculant les bissectrices de chaque segment formé par 2 déchetteries voisines. L'avantage de cette méthode réside dans le fait qu'elle est facile et rapide à exécuter et se base uniquement sur la répartition des déchetteries entre elles. Sa principale limite est qu'elle ne prend pas en compte le réseau routier ni le temps d'accès.



Figure 9 : Polygones de Thiessen

Pour palier aux limites des deux premières méthodes j'ai développé une nouvelle méthodologie plus adaptée aux contraintes spatiales. Ainsi, pour déterminer le territoire associé à chaque déchetterie, j'ai développé et utilisé une nouvelle méthode appelée « Net-Drain ».

3.1.1. Méthode Net-Drain

NET-DRAIN : Net est le diminutif de Network qui signifie « réseau » en Anglais et Drain signifie drainage ou écoulement.

Net-Drain est une nouvelle méthode de modélisation spatiale qui permet de faire un découpage du territoire associé à un service.

L'avantage de cette méthode réside dans le fait qu'elle prend bien en compte le réseau routier donc la réalité du territoire car les variables de temps, de vitesse, de hiérarchie d'accès sont bien prises en considération dans la modélisation.

La méthode Net-Drain est expérimentée avec les extensions d'ArcGis (Network Analyst et Spatial Analyst). La modélisation du réseau nécessite l'utilisation d'ArcGIS Network Analyst, qui est une extension permettant de faire une analyse spatiale associée aux réseaux en mode vecteur. Les utilisateurs peuvent créer des réseaux à partir de leurs données SIG (Système d'information géographique) (ESRI 2009). ArcGIS Network Analyst permet également de modéliser de façon dynamique des conditions de réseaux réalistes, y compris des restrictions de tournant, des limitations de vitesse, des restrictions de hauteur et des conditions de circulation, à différentes heures de la journée (ESRI 2009). Cette extension ArcGIS Network Analyst peut être déployée dans de nombreux secteurs tels que les transports, la logistique, la santé, la sécurité publique, l'éducation, les services publics, les institutions locales ou le commerce. ArcGIS Network Analyst permet de résoudre toute une série de problèmes liés aux réseaux spatiaux. On peut, par exemple, calculer le meilleur itinéraire, définir une feuille de route, rechercher des proximités et définir des zones de desserte en fonction de la durée du trajet. Une problématique de notre étude est de modéliser au mieux le réseau routier pour déterminer les zones d'influence des déchetteries.

Au cours de cette étape, nous avons également utilisé Spatial Analyst, une autre extension d'ArcGis qui permet de créer, interroger et analyser toute information s'appuyant sur des fichiers raster. Elle permet également des traitements combinés entre des données raster et vecteur.

En se basant sur les données disponibles et sur des critères définis à partir des traitements réalisés par le Network Analyst, on va identifier la zone d'influence de chaque déchetterie. Les étapes à suivre pour ce type d'analyse spatiale sont décrites ci-dessous sont :

Etape 1 : Modélisation du réseau routier à partir de Network Analyst pour déterminer le temps de desserte de la déchetterie en prenant en compte toutes les contraintes spatiales : sens types et vitesse des routes.

Etape 2 : Intégrer le résultat de l'étape 1 dans Spatial Analyst (après conversion les données dans le format de raster) pour délimiter et découper le territoire associé à chaque déchetterie

La combinaison ces deux étapes permet de déterminer des zones d'influence des déchetteries.

Afin de valider la méthode, j'ai effectué une enquête téléphonique auprès des ménages dans trois zones où il y avait une différence entre la méthode des polygones de Thiessen et la méthode Net-Drain. Cette enquête a consisté à téléphoner à environ 80 foyers afin de connaître dans quelle déchetterie ils apportent leurs déchets verts.



Figure 10 : graphiques des résultats de l'enquête de validation de la méthode Net-Drain

Suite à l'enquête téléphonique, les graphes ci-dessus démontrent que la nouvelle méthode correspond mieux à la réalité sur le terrain dans les trois zones enquêtées. Dans la zone 1 seulement 5% des foyers enquêtés ont répondu aller dans la déchetterie du découpage en polygones de Thiessen pour des raisons de proximité avec leur lieu de travail. Les 95% autres ont confirmé aller dans la déchetterie modélisée par la méthode Net-Drain parce que non seulement c'est plus rapide mais c'est aussi la déchetterie de leur commune. Les réponses de l'enquête de la zone 1, ont conduit à questionner les foyers de la zone 2 pour lever l'interrogation sur l'appartenance à la commune. Dans 98% des cas, la nouvelle méthode est satisfaisante du fait de la rapidité d'accès au réseau routier. Dans la zone 3, dans 85% des cas, la méthode Net-Drain proposée atteint un taux de satisfaction plus important que la méthode des polygones de Thiessen.

Les inconvénients de la méthode Net-Drain sont d'une part le fait qu'elle nécessite deux extensions (Network Analyst et Spatial Analyst) d'Arc GIS payantes. D'autre part inconvénient noté est que la méthode Net-Drain prend plus de temps à mettre en œuvre que la méthode des polygones de Thiessen. Toutefois la méthode Net-Drain reste plus réaliste sur le terrain que les deux premières.

J'ai réalisé un protocole détaillé sur la démarche de réalisation des zones d'influence des déchetteries (voir Annexe 1) afin de faciliter la reproductibilité de cette méthode. En effet, la compréhension de l'extension Network Analyst nécessite de l'organisation et de la patience car il y a des règles d'organisation des données à respecter avant de commencer la modélisation, règles qui ne sont pas toujours indiquées dans la documentation d'Arcgis. Ainsi, j'ai dû consulter des forums SIG et me renseigner auprès de personnes ayant déjà expérimentés des traitements SIG proches. Par exemple, les titres des champs à utiliser doivent être en anglais si la version du logiciel (Arc Gis) est anglaise, en français si le logiciel est en français. Toutefois cette méthode ne se limite pas qu'aux déchetteries, elle peut être appliquée pour bien d'autres services (écoles, hôpitaux, commerces, services de taxi...). En géomarketing par exemple la méthode Net-Drain pourrait servir comme outils d'aide à la décision avant l'implantation d'un service.

3.2. Méthode 2 : Détermination des surfaces vertes des jardins des ménages

3.2.1. Prétraitement du cadastre

La première étape de la classification d'image consiste à créer un « masque ». Comme l'étude se limite aux jardins de l'habitat individuel, il faut alors exclure tous les autres espaces verts de la zone d'étude. Le masque qui exclut l'habitat collectif et les zones industrielles ainsi que les parcelles agricoles a été réalisé par le service SIG de Rennes Métropole. En Annexe 2, on trouvera les détails de cette méthode de délimitation de la zone d'étude. Après une vérification du masque par rapport aux habitats individuels, nous avons ajouté une exclusion supplémentaire des parcelles supérieures à 5000 m² qui correspondent pour la plupart à des parcelles agricoles. Après vérification visuelle par superposition du masque et de la photographie aérienne, le masque obtenu nous a semblé en cohérence avec les habitations observées sur la photographie aérienne.

3.2.2. Classification supervisée des photographies aériennes

En télédétection, des objets de nature similaire ont des propriétés spectrales similaires. C'est-à-dire que le rayonnement électromagnétique réfléchi par des objets de même type est généralement ressemblant ainsi que les signatures spectrales de ces objets. Le seul moyen de faire une bonne classification dans ce contexte est de regrouper ensemble des choses qui se ressemblent et de séparer celles qui diffèrent. L'échantillonnage pour les classifications est important et il conditionne la qualité des résultats de l'étude.

La méthode de classification, utilisée pour réaliser l'étude, consiste tout d'abord à délimiter la zone d'étude avec le cadastre numérisé. Il s'agit de réduire la zone étudiée aux seuls foyers en habitat individuel puisque l'étude est centrée sur les jardins des particuliers (voir § précédent). L'image est ensuite traitée par télédétection avec l'outil Erdas Imagine®. La technique consiste à réaliser une classification supervisée avec la méthode du Maximum de Vraisemblance.

Les classes retenues pour le traitement des photographies aériennes au départ sont les suivantes :

1. Pelouses
2. Arbres/haies
3. Bâti (les maisons, les routes, les voies ferrées...)
4. Ombres (l'ombre de maisons, des arbres...)



Figure 11 : Résultat de la classification supervisée

3.2.3. La création des Signature spectrales

L'étape suivante consiste à créer des fichiers de signature dans le logiciel Erdas Imagine afin de réaliser la classification supervisée. Avant de faire une classification supervisée sur les jardins de particuliers, il faut tout d'abord faire des échantillons correspondant à chaque classe souhaitée. Dans ce cadre, trois classes (Pelouse, Maisons et Arbre/haie) sont définies pour l'échantillonnage. La **signature spectrale** est l'émission électromagnétique caractéristique d'un objet en fonction de la longueur d'onde. C'est une répartition des pixels de l'image selon sa valeur, sa couleur et en fonction du référentiel dans lequel l'objet se trouve. La présence de zones d'ombres des maisons et des arbres sur l'image aérienne nous oblige à rajouter une classe (ombres) pour que la classification soit plus juste. En télédétection il faut savoir que chaque type de plantes ou d'arbres possède une signature spectrale unique qui dépend de sa croissance, de son humidité, de sa couleur, de sa température etc... En extrayant les signatures spectrales de différentes classes de l'étude qu'on a choisies, le graphe ci-dessous peut être obtenu :

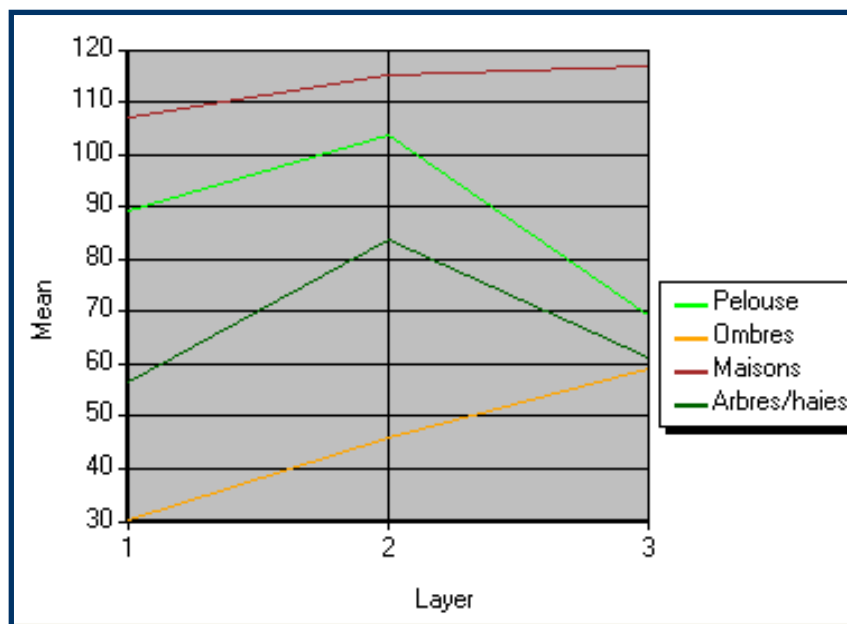


Figure 12 : Signatures Spectrales

On remarque que les signatures sont bien distinctes et qu'il n'y a pas de confusions entre les classes. Sur les photos aériennes les zones d'ombres ressortent en noir tout comme l'eau. Les signatures de la classe arbres/haies et la classe pelouse ont une forte réflectance dans le vert, ce qui est normal puisque la végétation a en général une forte réflectance dans la longueur d'onde du vert.

L'étude des histogrammes de chaque bande (rouge, vert, bleue) composant toute photographie aérienne permet de compléter les observations. L'histogramme permet la visualisation sous forme graphique de l'ensemble des mesures numériques de l'image avec en abscisse les valeurs radiométriques possibles (256) et en ordonnées l'effectif des pixels pour chaque classe choisie. On observe que la bande 3 (bleue) sépare bien le bâti des 2 autres classes mais ne distingue pas bien la pelouse de la végétation ligneuse. Les deux premières bandes, à l'inverse distinguent mieux les différences entre végétation ligneuse et non ligneuses mais ne sépare pas bien le bâti. Le traitement par classification supervisée des 3 bandes simultanément devrait donc permettre d'obtenir un résultat satisfaisant.

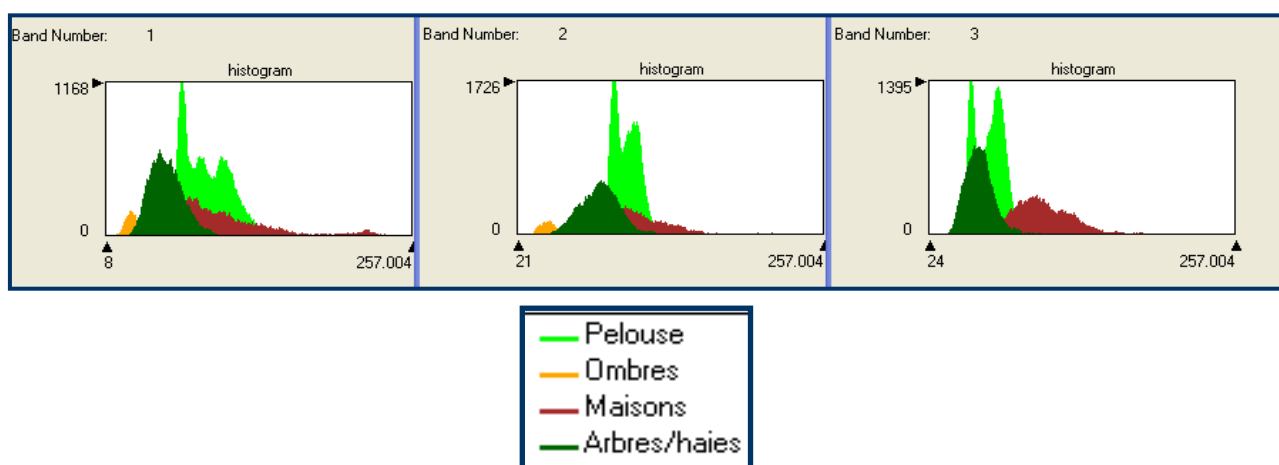


Figure13 : histogramme de séparation des classes

3.2.4. La matrice de confusion

L'exactitude d'une classification peut être évaluée à l'aide d'une matrice de confusion en reportant les pixels connus par rapport aux pixels classés. Cette matrice est également connue sous le nom de « matrice d'erreur ».

Le tableau suivant croise l'échantillon de validation (colonnes) avec un échantillon issu de la classification. Les principales confusions notées entre les classes concernent les classes des arbres et pelouses. Le coefficient de KAPPA est compris entre 0 et 1 et permet de quantifier la précision de la classification. La classification réalisée est assez satisfaisante puisque l'indice de Kappa atteint 0,81, ce qui correspond à 81% des pixels qui ne sont pas classés au hasard.

Matrice de confusion entre l'échantillonnage de validation et la classification :

kappa 0,81	Bâti	Arbres	Pelouse	Total	Précision Utilisateur
Bâti	15	2	0	15	100%
Arbres	0	11	2	13	78%
Pelouse	0	1	10	11	83%
Total	15	14	12	39	

Figure 14 : Matrice de confusion entre l'échantillonnage de validation et la classification

La classification a ensuite fait l'objet d'autres traitements pour éliminer les pixels classés en « ombres ». Un filtre dénommé « majority » de dimension 3x3 a été appliqué 5 fois consécutives afin de réaffecter les ombres aux pixels des autres classes situés à proximité. Quelques zones d'ombres subsistaient néanmoins et ont été réaffectées manuellement afin d'éviter un effet de lissage trop important par l'application du filtre « majority » une nouvelle fois.

PARTIE 3 RESULTATS

1. DETERMINATION DES GISEMENTS DE DECHETS VERTS

Les méthodologies décrites précédemment et appliquées à Rennes Métropole ont permis de déterminer les surfaces vertes des jardins des ménages, de découper les zones d'influence des déchetteries et de réaliser des analyses grâce à ces deux informations produites. L'objectif de cette étude est de déterminer les gisements de déchets verts des jardins des ménages pour mettre en évidence les zones les plus favorables pour des campagnes de promotion du compostage domestique avec, à terme, son implantation dans le but de diminuer les quantités de déchets verts des déchetteries. Avant d'aborder les résultats issus du traitement d'image et de la méthode Net-Drain, le cadastre numérisé filtré aux seules parcelles des ménages permet d'obtenir des informations intéressantes sur le territoire de Rennes Métropole (voir carte ci-dessous)

1.1 Résultats obtenus par l'exploitation du cadastre numérisé

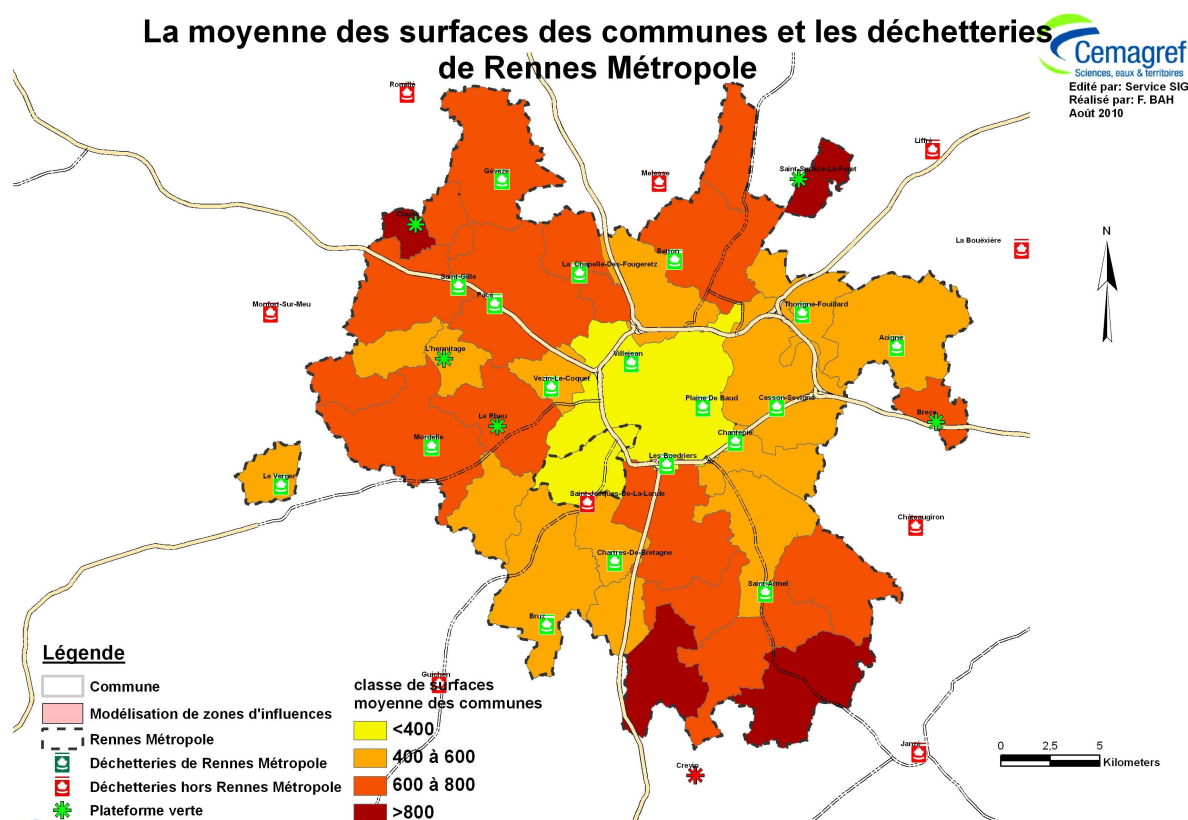


Figure 15 : La moyenne des surfaces des communes et des déchetteries de Rennes Métropole.

La carte ci-dessus représente le contour des communes de Rennes Métropole. La surface moyenne des jardins de chaque commune est représentée. La localisation des déchetteries et des plateformes vertes est aussi indiquée. On observe, de façon assez logique, une augmentation des surfaces moyennes des jardins à mesure que l'on s'éloigne de la commune de Rennes. Les déchetteries semblent bien réparties sur le territoire.

1.1.1. Résultats obtenus par traitement d'image

1.1.1.1. Surfaces vertes des ménages de Rennes Métropole

En application de la méthode décrite au paragraphe 3.2, la classification supervisée obtenue permet de calculer les surfaces d'arbres/haies et de pelouse, pour avoir ainsi la surface verte totale des habitations des ménages de Rennes Métropole. La carte suivante représente cette surface verte globale attribuée aux ménages de Rennes Métropole (Arbres/haies + Pelouse).

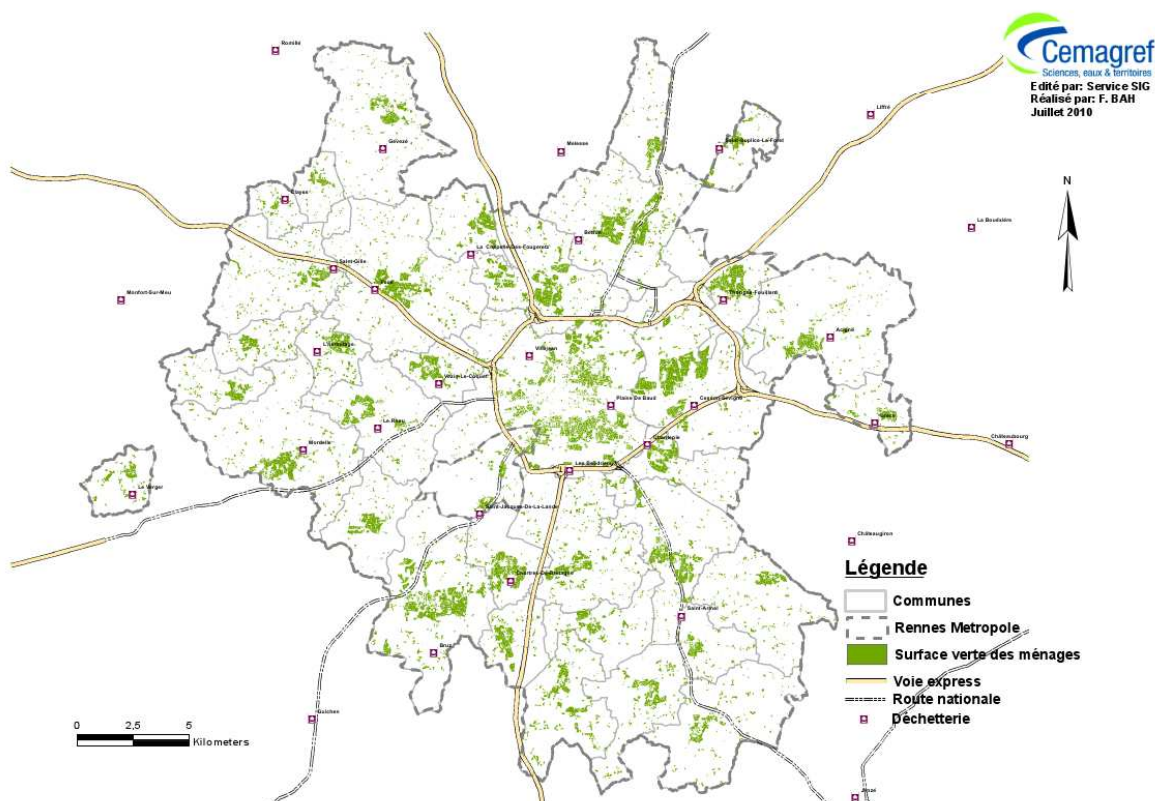
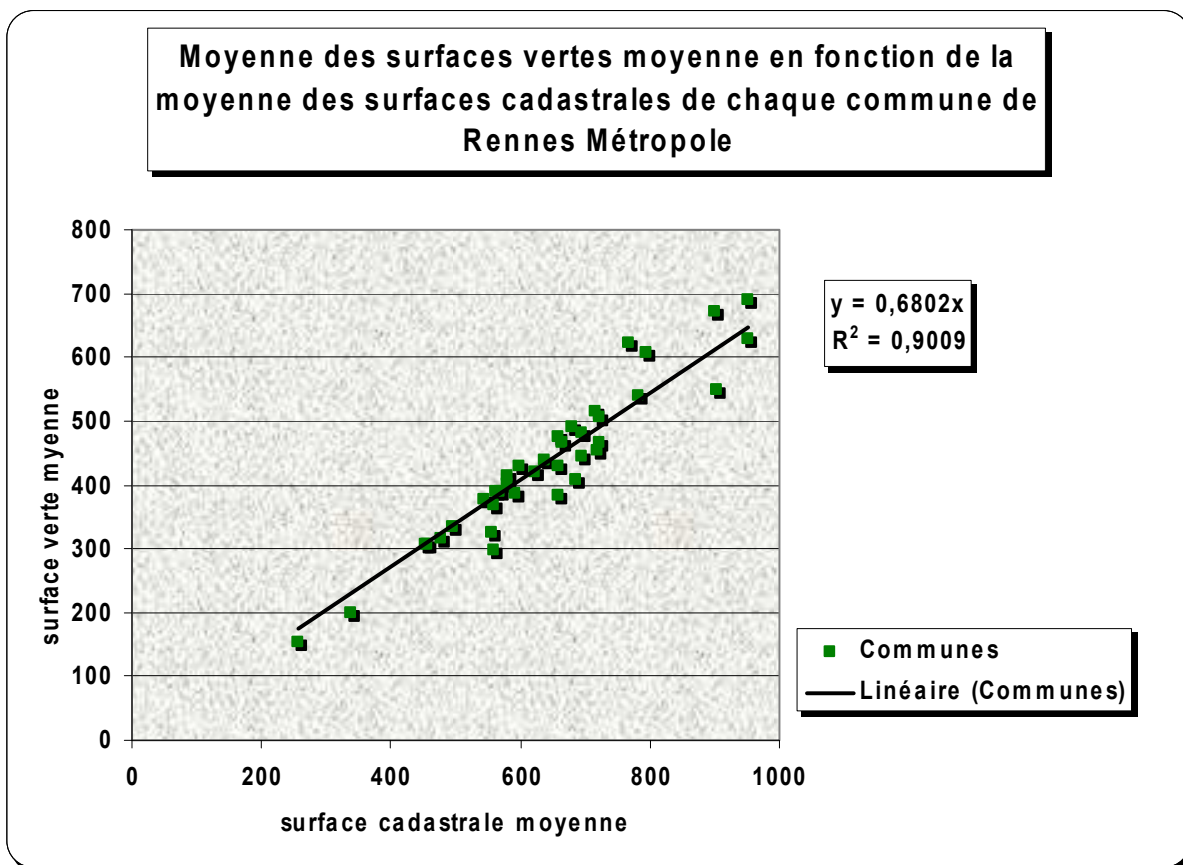


Figure 16 : Classification supervisée de Rennes Métropole

Rennes Métropole a une superficie globale de **610 km²**. Les surfaces vertes des jardins des particuliers de Rennes Métropole représentent **3,6%** du territoire ce qui n'est pas négligeable pour la gestion des déchets. En effet, le traitement d'images aboutit à une surface verte globale de **22 km²** répartie de façon presque équivalente en **12 km²** de surfaces d'arbres/haies et **10 km²** en surfaces de pelouse.

Afin de vérifier que la proportion de pelouse et de haies des jardins des ménages est homogène sur les parcelles des différentes communes, le graphe ci-dessous présente en moyenne, la part de surface verte comprise dans les parcelles cadastrales



On observe que la proportion de surface verte dans les parcelles cadastrales est stable quelques soient les communes. En moyenne, 68% (amplitude de 53% à 81%) des jardins sont couverts par une surface verte (arbre, haie, pelouse). Ce résultat pourrait être utilisé en première approche comme alternative aux traitements d’images aériennes si on ne dispose pas d’outils de télédétection. Les surfaces vertes étant bien corrélées aux parcelles cadastrales, cela permet de conforter la validité des résultats exprimés en fonctions des parcelles cadastrales dans la suite de ce rapport.

Par contre, en observant la carte (figure 16), la surface verte à l’échelle de chaque commune semble différente visuellement. Pour vérifier cette impression, le rapport entre la surface verte de la commune sur la surface de la commune est calculé. Afin de pouvoir comparer Rennes Métropole avec un autre territoire, les communes sont classées suivant trois classes de pourcentage. Les pourcentages obtenus varient entre 1 et 8%. La classe I est inférieure à 3 %, la classe II est comprise entre 3 et 6 % et la classe III comprend le pourcentage de surface verte qui est supérieur à 6 %. Le tableau ci-dessous est le récapitulatif de cet indice pour chaque commune selon leur classe. En comparaison d’une étude précédente réalisée sur Nantes Métropole (C. Rousseau, 2008), les communes de Rennes Métropole sont moins concernées que Nantes par de l’habitat en maisons individuelles.

Type	Communes	Surface verte (km²)	Surface de la commune (km²)	Pourcentage de surface verte par commune
CLASSE I : <3%	LE RHEU	0,29	19,14	1,50%
	ACIGNE	0,51	30,21	1,67%
	GEVEZE	0,47	27,74	1,69%
	CORPS-NUDS	0,42	22,90	1,84%
	NOUVOITOU	0,43	19,42	2,21%
	SAINT-GILLES	0,50	20,97	2,39%
	CHEVAIGNE	0,25	10,38	2,40%
	SAINT-JACQUES-DE-LA-LANDE	0,31	12,34	2,54%
	BRECE	0,21	7,24	2,86%
	MORDELLES	0,87	30,17	2,89%
	CHAVAGNE	0,36	12,57	2,89%
	SAINT-ARMEL	0,24	7,86	2,99%
CLASSE II : 3 à 6%	PACE	1,06	35,00	3,03%
	NOYAL-CHATILLON-SUR-SEICHE	0,83	26,52	3,14%
	PARTHENAY-DE-BRETAGNE	0,15	4,88	3,15%
	SAINT-ERBLON	0,36	10,92	3,29%
	CLAYES	0,15	4,31	3,48%
	BOURGBARRE	0,52	14,79	3,53%
	CINTRE	0,32	8,56	3,77%
	VERN-SUR-SEICHE	0,82	19,92	4,09%
	LA CHAPELLE-DES-FOUGERETZ	0,36	8,74	4,12%
	SAINT-SULPICE-LA-FORET	0,29	6,75	4,24%
	ORGERES	0,76	16,85	4,53%
	CHANTEPIE	0,54	11,96	4,54%
	PONT-PEAN	0,40	8,77	4,61%
	BETTON	1,25	26,79	4,68%
	CESSON-SEVIGNE	1,53	32,16	4,75%
	RENNES	2,40	50,35	4,77%
	BRUZ	1,49	29,95	4,97%
	THORIGNE-FOUILLARD	0,68	13,62	4,98%
SAINT-GREGOIRE	0,94	17,50	5,35%	
CHARTRES-DE-BRETAGNE	0,56	9,95	5,65%	
CLASSE III >6%	L'HERMITAGE	0,42	6,95	6,09%
	VEZIN-LE-COQUET	0,49	7,92	6,19%
	LE VERGER	0,44	6,96	6,30%
	LA CHAPELLE-THOUARULT	0,51	7,77	6,62%
	MONTGERMONT	0,36	4,69	7,68%
Totale en km²		22	614	

Figure 18 : Table de classe de surfaces vertes par rapport à la surface des communes.

Dans ce tableau, les 37 communes de Rennes Métropole sont classées selon le pourcentage de surface verte en trois classes. Il en résulte que 12 des communes sont classées dans la classe I, soit 35 %, 20 communes dans la classe II soit 54% et seulement 10 % dans la classe III avec 4 communes. L'essentiel des communes se situent dans les deux premières classes. Seules cinq communes (L'Hermitage, La Chapelle-Thouarault, le Verger, Vezin-le-Coquet et Mongermont) ont plus de 6% de surface verte de jardins de particuliers.

La part des déchets verts produits par les jardins de particuliers est donc susceptible d'être différente suivant les communes et peut donc entraîner des apports en déchetteries plus ou moins importants.

La carte de la figure 19 représente les mêmes données que celles présentées dans le tableau précédent (Figure 18).

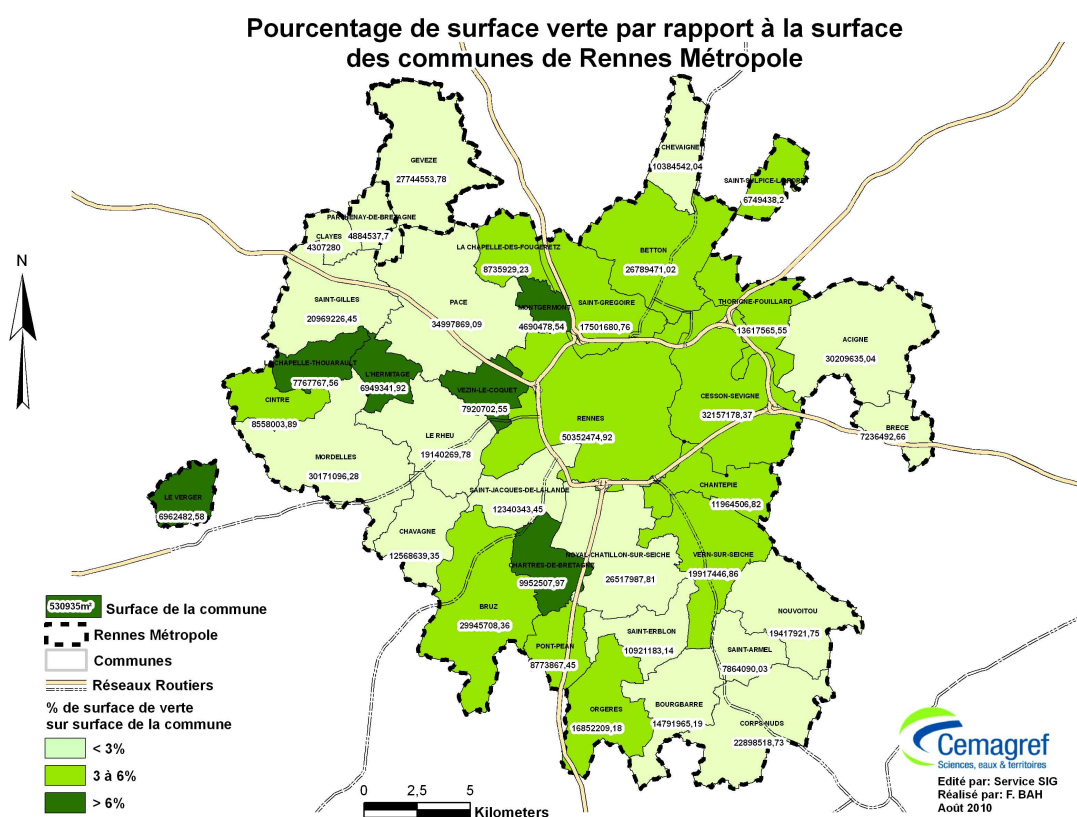


Figure 19 : Carte des surfaces vertes par commune

Cette carte présente la proportion des surfaces vertes à l'échelle de chaque commune. On observe une disparité de la proportion de ces surfaces vertes entre les communes du territoire.

Le traitement de photographies aériennes a permis l'obtention des surfaces vertes synthétisées ici à l'échelle communale. Cependant, généralement, le territoire associé à une déchetterie est souvent plus grand que sa commune d'implantation. En effet, plusieurs communes peuvent se rendre à une même déchetterie ou une commune peut avoir deux zones d'influence différentes.

Pour vérifier le type de fréquentation des déchetteries, j'ai procédé au dépouillement d'une enquête qui n'avait pas encore été analysée par les services de Rennes Métropole. Cette enquête de fréquentation réalisée en 2008 recense les communes d'appartenance des habitants se rendant dans les cinq plateformes vertes de Rennes Métropole. Après une analyse détaillée qui a requis plusieurs jours de travail compte-tenu du nombre de fiches d'enquête « papier », j'ai pu constituer le tableau de synthèse ci-dessous montrant la fréquentation mensuelle des déchetteries en fonction de la commune d'appartenance :

Déchetterie	Communes contribuant à la déchetterie	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	%/an
St Sulpice	St Sulpice	153	171	424	339	938	1059	443		307	406	347	154	70%
	Chevaine	28	41	44	157	131	230	186		231	236	101	58	21%
	Betton	1	2	1	1	1	3	1		0	0	0	0	0%
	Mouazé	13	4	2	7	1	2			15	41	0	0	1%
	Autres	10	10		76	0	0	159		77	48	70	3	7%
	Professionnels	0	1		11	0	0	9		9	0	0	16	1%
	Sous Total	205	229	471	591	1071	1294	798	0	639	731	518	231	
L'Hermitage	L'Hermitage	49	83		361	344	438	434		203	388	238	90	55%
	Chapelle Thouarout	23	69		122	320	413	274		191	357	33	13	38%
	Cintré	4	4		5	7	4	12		13		0	0	1%
	Mordelle	3	1		0	11	0	2		0		0	1	0%
	Autres		0			3	0	1		0		99	0	2%
	Professionnels	6	15		17	12	23	62		7	18	14	2	4%
	Sous Total	85	172	0	505	697	878	785	0	414	763	384	106	
Clayes	Clayes	27	42	83	178	147	136	142	173	178	152	96	27	68%
	Autres	0	4	11	0	1	23	116	113	125	90	65	11	28%
	Professionnels	0	14	12	0	10	16	7	2	4	5	6	3	4%
	Sous Total	27	60	106	178	158	175	265	288	307	247	167	41	
Le Rheu	Le Rheu	149	256	417	669	1018	814	812	483	948	837	310	163	97%
	Mordelles	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
	Cintré	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
	Chavagne	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
	Autres	0	6	0	2	6	5	0	43	3	0	0	0	1%
	Professionnels	0	9	2	0	39	21	18	6	5	16	0	0	2%
	Sous Total	149	271	421	678	1063	840	830	532	956	853	310	163	
Brécé	Brécé	39	80	171	349	386		428	430	326	384	208	71	97%
	Noyal/Vilaine	0	0	0	4	1		2	6	23	4	7	0	2%
	Professionnels	3	5	5	11	4		7	6	5	1	1	6	1%
	Sous Total	42	85	176	364	391	0	437	442	354	389	216	77	1%

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Figure 20 : Tableau récapitulatif de l'enquête de fréquentation des plateformes vertes de Rennes Métropole

On se rend compte effectivement que chaque déchetterie est « alimentée » par des habitants de différentes communes. Il convient donc de délimiter le territoire associé à chaque

déchetterie (la zone d'influence des déchetteries) afin de synthétiser les résultats du traitement d'image à cette échelle, échelle qui serait plus pertinente que celle des communes.

1.1.2. Résultats obtenus par l'application de la méthode Net-Drain (délimitation des zones d'influence)

Pour mettre en rapport les quantités de déchets verts mesurées en déchetteries avec les surfaces vertes, il est nécessaire de délimiter les territoires associés à chaque déchetterie (zone d'influence). Rennes Métropole compte 17 déchetteries, 5 plateformes vertes et la déchetterie de Saint-Jacques-de-Lande (localisée sur le territoire mais elle n'est pas gérée par Rennes Métropole). La méthode Net-Drain expliquée dans la partie méthodologique a permis de découper Rennes Métropole en 23 zones d'influence autour de chaque déchetterie. Ce découpage permet de connaître la surface de la zone d'influence et facilite aussi le couplage des données collectées en déchetterie avec le territoire.

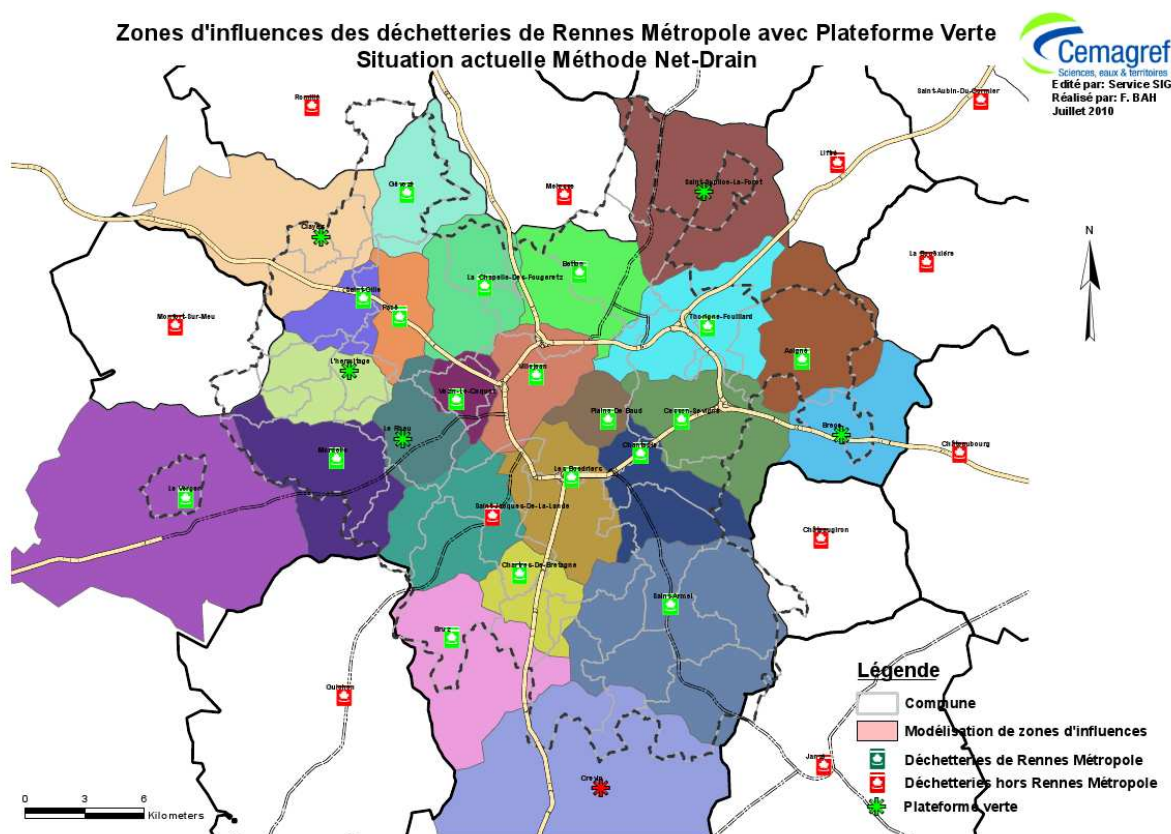


Figure 21 : Carte de zones d'influence des déchetteries de Rennes Métropole.

Les zones d'influence actuelles des déchetteries ont été délimitées, sur le territoire de Rennes Métropole, par la méthode Net-Drain qui nous semble plus précise que la méthode des polygones de Thiessen. Une zone d'influence est une zone géographique associée à une déchetterie. Les surfaces des zones d'influence sont parfois très différentes et montrent ainsi des disparités sur le service offert aux habitants. Certains habitants devront parcourir une distance plus grande pour atteindre la déchetterie la plus proche.

Afin de comparer les résultats obtenus par l'enquête de fréquentation avec le découpage des zones d'influence, le tableau suivant présente le nombre de foyers et le pourcentage communal par zone d'influence. Les résultats obtenus étant proches de ceux obtenus par l'enquête synthétisée dans le tableau de la figure 19 valident une nouvelle fois l'utilisation de la méthode Net-Drain.

Zones d'influence	Communes concernées	Nombre de foyers	pourcentage de communes par zone d'influence
Betton	BETTON	2196	55%
	MONTGERMONT	21	1%
	RENNES	175	4%
	SAINT-GREGOIRE	1581	40%
	THORIGNE-FOUILLARD	1	0%
Cesson-Sevigné	ACIGNE	2	0%
	CESSON-SEVIGNE	3527	91%
	CHANTEPIE	172	4%
	RENNES	172	4%
	THORIGNE-FOUILLARD	2	0%
Chantepie	CESSON-SEVIGNE	12	0%
	CHANTEPIE	1591	53%
	NOYAL-CHATILLON-SUR-SEICHE	32	1%
	RENNES	1091	36%
	VERN-SUR-SEICHE	267	9%
Chartre de Bretagne	BRUZ	145	5%
	CHARTRES-DE-BRETAGNE	1777	60%
	NOYAL-CHATILLON-SUR-SEICHE	308	10%
	ORGERES	245	8%
	PONT-PEAN	403	14%
	SAINT-ERBLON	100	3%
le Rheu	CHAVAGNE	7	1%
	LE RHEU	1247	96%
	PACE	21	2%
	RENNES	3	0%
	VEZIN-LE-COQUET	19	1%
L'Hermitage	CINTRE	505	23%
	LA CHAPELLE-THOUARULT	571	26%
	LE RHEU	21	1%
	L'HERMITAGE	996	46%
	MORDELLES	41	2%
	SAINT-GILLES	34	2%
Pacé	L'HERMITAGE	80	5%
	PACE	1662	95%

Rennes-Baud	CESSON-SEVIGNE	64	1%
	RENNES	5205	99%
Rennes-les-Boëdriers	CHANTEPIE	13	0%
	CHARTRES-DE-BRETAGNE	4	0%
	NOYAL-CHATILLON-SUR-SEICHE	1219	19%
	RENNES	4178	65%
	SAINT-JACQUES-DE-LA-LANDE	963	15%
	VERN-SUR-SEICHE	30	0%
Rennes-Villejean	MONTGERMONT	24	0%
	RENNES	4433	88%
	SAINT-GREGOIRE	578	11%
	VEZIN-LE-COQUET	1	0%
Saint_Gilles	GEVEZE	6	1%
	LA CHAPELLE-THOUARULT	21	2%
	L'HERMITAGE	17	2%
	PACE	62	6%
	SAINT-GILLES	865	89%
	Saint-Jacques-de-la-Lande	BRUZ	719
CHARTRES-DE-BRETAGNE		52	2%
CHAVAGNE		841	37%
LE RHEU		8	0%
NOYAL-CHATILLON-SUR-SEICHE		1	0%
RENNES		31	1%
SAINT-JACQUES-DE-LA-LANDE		606	27%
Thorigné_Fouillard	ACIGNE	150	5%
	BETTON	23	1%
	CESSON-SEVIGNE	447	15%
	RENNES	216	7%
	THORIGNE-FOUILLARD	2070	71%
Vezein-le-Coquet	PACE	12	1%
	RENNES	23	2%
	VEZIN-LE-COQUET	1165	97%

Figure 22 : Tableau de résultat de fréquentation des déchetteries de Rennes Métropole par analyse spatiales.

A travers ce tableau, on observe par exemple, que les communes concernées par la déchetterie du Rheu et de l'Hermitage sont les mêmes que celles citées dans l'enquête de fréquentation des déchetteries. Enfin, au regard des pourcentages lus dans ce tableau, on note que chaque déchetterie de chaque commune est en priorité fréquentée par les habitants vivant sur cette même commune.

La méthode Net-Drain que j'ai développée pendant mon stage permet également de déterminer le temps d'accès à chaque déchetterie. Pour ce faire, j'ai associé les zones d'influence au résultat obtenu par Network Analyst en raster. Le temps moyen et le temps maximum en minutes de toutes les déchetteries de Rennes Métropole sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Déchetteries	Temps Moyen (minute)	Temps Max (minute)
Pacé	3	4
La Chapelle-des-Fougeretz	3	5
Le Rheu	4	5
Vezin-le-Coquet	3	5
Betton	3	5
Renne Villejean	4	5
Rennes-Baud	4	5
Thorigné-Fouillard	4	5
Acigné	4	6
Brécé	3	6
Rennes-Les-Boëdriers	3	6
Cesson-Sevigné	3	6
Chantepie	4	6
Saint-Gilles	3	6
Chartres-de-Bretagne	4	6
L'Hermitage	4	6
Saint-Armel	5	7
Saint-Suplice-la-Forêt	4	7
Bruz	4	8
Gévezé	4	8
Saint-Jacques-de-la-Lande	4	8
Clayes	5	8
Le Verger	6	8
Mordelle	5	8

Figure 23 : Tableau de temps de déserte des déchetteries de Rennes Métropole.

On remarque que les temps d'accès aux déchetteries varient selon la taille de la zone d'influence. La déchetterie de Pacé a le temps maximum et moyen le plus petit. Il faut un maximum de 4 minutes pour aller à la déchetterie de Pacé pour les ménages qui sont dans sa zone d'influence.

Afin de mettre en évidence des différences sur les productions de déchets apportées en déchetterie, on peut calculer un ratio qui représente le rapport entre le tonnage annuel en déchets verts d'une déchetterie et les surfaces vertes calculées à l'échelle de la zone d'influence de cette déchetterie. Le tableau ci-dessous représente ces ratios qui sont regroupés en trois classes selon leur grandeur pour chacune des déchetteries de Rennes Métropole. Le calcul de ce ratio en kg/m² permet d'estimer la production de déchets verts apportés en déchetterie en fonction de la surface verte. Grâce aux zones d'influence et au cadastre, nous pouvons également calculer la quantité de déchets verts apportée en déchetterie par foyer et par

an. Dans le tableau suivant seules 14 zones d'influence sur 23 peuvent être exploitées. En effet, les zones d'influences « débordent » parfois du territoire de Rennes Métropole. Le fichier de parcelles cadastrales mis à la disposition du Cemagref pour ce travail ne couvre que le territoire de Rennes Métropole. Il faudrait se procurer le cadastre numérisé sur les communes limitrophes de Rennes Métropole pour réaliser le traitement sur l'ensemble des zones d'influence.

Types	Déchetteries	Surfaces de la zone d'influence 2009 (km ²)	Production de déchets apportés en déchetterie 2009 (T)	Surface Verte (km ²)	Ratio 2009 (Kg/m ²)	Ratio 2005 (Kg/m ²)
Ratio de déchets verts <1kg/m²	L'Hermitage	22,07	600	1 034 015	0,58	
	RENNES Baud	10,11	573	843 323	0,68	0,76
	RENNES Villejean	23,8	765	1 053 168	0,73	0,89
	RENNES Boëdriers	31,81	1024	1 379 873	0,74	0,70
	Saint-Jacques-de-la-Lande	33,79	669	868 491	0,77	
	Saint-Gilles	13,99	393	480 494	0,82	0,42
	Chantepie	28,36	771	887 012	0,87	0,42
	Thorigné-Fouillard	39,2	1023	1 162 096	0,88	0,65
Ratio de déchets verts 1à 2kg/m²	Vezin-le-Coquet	10,43	501	492 090	1,02	0,72
	Chartres-de-Bretagne	18	1255	1 074 337	1,17	0,40
	Betton	31,16	2198	1 768 191	1,24	0,74
	Le Rheu	18,7	603	447 470	1,35	
Ratio de déchets verts > 2kg/m	Pacé	15,17	1737	696 265	2,49	1,11
	Cesson-Sévigné	36,81	3594	1 344 252	2,67	2,25

Figure 23 : Tableau des ratios de production de déchets verts

Dans le cadre de précédentes études, la production théorique totale de déchets verts (gisement en déchetterie + gisement domicile + gisement OMR) a été estimée entre 1 et 1,3 kg/m² (ORDIF, Synthèse de connaissances sur les déchets végétaux d'Ile de France, 1997).

Les résultats que nous obtenons montrent une cohérence pour la majorité des zones d'influence mais semblent étranges pour les zones d'influence de Pacé et de Cesson-Sévigné. Les divergences du ratio de déchets verts du tableau ci-dessus peuvent s'expliquer par les facteurs qui n'ont pas été pris en compte par la méthode de découpage des zones d'influence. Il faut se rappeler que cette méthode ne prend en considération que les spécificités du territoire c'est-à-dire le réseau routier, les vitesses, le sens des routes. D'autres critères tels que les comportements des usagers, le type de service offert par les déchetteries, etc. pourraient être des facteurs explicatifs de cette différence. Par exemple, pour Cesson-Sévigné après discussion avec un agent de Rennes Métropole, il est apparu que cette déchetterie est la seule à disposer d'une grande aire de dépôt alors que les autres déchetteries voisines (Chartrepie, Plaine de Baud et Acigné) possèdent des caissons, ce qui est moins pratique pour les apports réalisés avec des remorques. Pacé dispose également d'une aire de dépôt pour les déchets verts. Les professionnels peuvent également préférer ce type de dépôt. Les ratios de production des déchets verts apportés en déchetterie sont représentés sur la carte ci-dessous et sont définis en trois classes comprises entre 1 et 3 kg/m².

Il convient de noter que la déchetterie de Cesson-Sévigné récupère une partie des déchets issus de la collecte sélective de la ville de Rennes. Cependant, nous avons tenu compte de cet apport extérieur et les tonnages de la collecte sélective ne font pas parti du ratio de 2,67 kg/m². Par ailleurs le cadastre date de 2006. Si une forte urbanisation a eu lieu entre 2006 et 2009, ce peut être un autre facteur explicatif.

Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons calculé le ratio issu du découpage des zones d'influence en 2005. En effet, certaines déchetteries présentes en 2009 n'étaient pas encore en place en 2005. De même, la collecte sélective n'était pas encore en place dans Rennes. Les zones d'influence de Chartres de Bretagne et de Pacé montrent des écarts importants par rapport aux ratios 2009. Comme pour le ratio 2009, Cesson-Sévigné montre un ratio troublant pour l'année 2005 également. Il faudrait disposer du cadastre actualisé en 2009 pour lever cette interrogation. Par ailleurs, nous pouvons supposer que les professionnels ou les services techniques de la ville se concentrent en majorité sur la déchetterie de Cesson-Sévigné, ce qui pourrait expliquer ce constat.

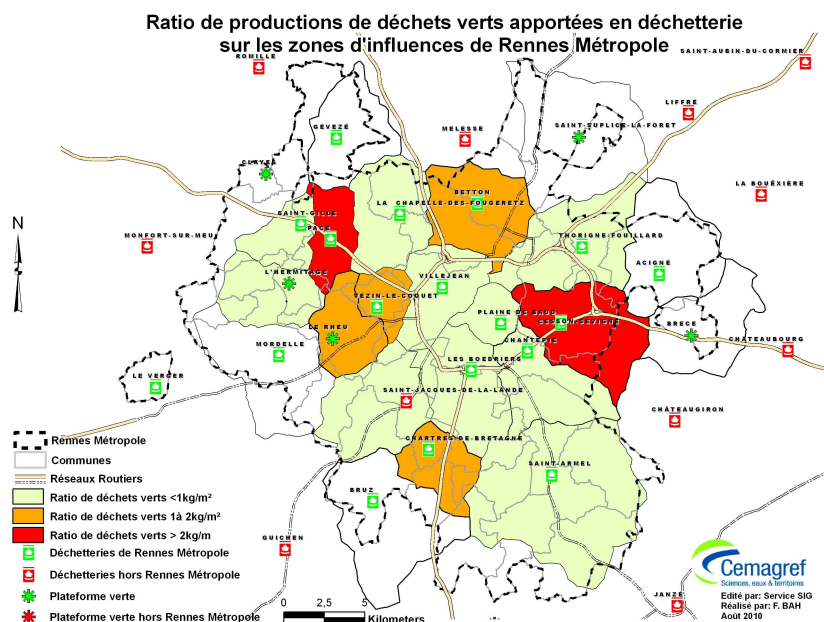


Figure 25 : Carte des Ratios de production de déchets verts apportées en déchetteries.

La carte ci-dessus montre la répartition des ratios de déchets verts sur le territoire de Rennes Métropole sur les 14 zones d'influences synthétisées. Afin de trouver d'autres facteurs pouvant expliquer les différences observées sur les ratios, nous avons procédé à une analyse des surfaces de jardins à l'échelle des zones d'influence. Il a été observé dans de précédentes études menées au Cemagref que les jardins de 300 à 700m² étaient le plus demandeurs de composteurs individuels et donc a priori les plus sujets également à utiliser les services offerts par les déchetteries.

Le tableau suivant présente les différents ratios de déchets verts des 14 zones d'influence :

	Cesson-Sévigé	Pacé	Chartre de Bretagne	le Rheu	Vezin-le-Coquet	Saint-Jacques-de-la-Lande	L'Hermitage	Rennes-Villejean	Rennes-Baud	Betton	Saint Gilles	Thorigné-Fouillard	Chantepie	Rennes-les-Boëdriers
< 300	9%	6%	10%	11%	7,1%	10%	5%	34%	47%	8%	6%	8%	22%	35%
300-700	61%	56%	52%	51%	49%	44%	42%	41%	41%	41%	41%	39%	34%	32%
>700	30%	38%	39%	37%	44%	46%	53%	25%	12%	52%	53%	53%	44%	34%
Tonnage (T)	3594	1737	1255	603	501	669	600	765	573	2198	393	1023	771	1024
Surface verte (km ²)	1,3	6,9	1	4,4	4,9	0,8,	1	1	0,8	1,7	0,4	1,1	0,8	1379873
kg/m ² apportés en déchèterie	2,67	2,49	1,17	1,35	1,02	0,77	0,58	0,73	0,68	1,24	0,82	0,88	0,87	0,74
nb parcelles	3875	1742	2978	1297	1200	2258	2168	5036	5269	3974	971	2906	2993	6407
kg/foyer/an	927	997	421	465	417	296	277	152	109	553	405	352	258	160

Figure 26 : Tableau des ratios de déchets verts des 14 zones d'influence.

Le tableau ci-dessus complète le tableau de la figure 23 par l'ajout des surfaces cadastrales qui sont regroupées en classes : <300m², de 300 à 700m² et >700m². On peut donc comparer la représentativité de chaque surface de classe avec le ratio calculé précédemment. On observe que les ratios les plus élevés (Cesson-Sévigé et Pacé) sont aussi les secteurs qui ont le pourcentage de surface de jardin compris entre 300 et 700m² le plus fort. En effet, leurs ratios sont respectivement 2,67 kg/m² et 2,49 kg/m² pour 56% et 61 % de jardins compris entre 300 et 700 m².

Le graphique suivant présente la corrélation entre le pourcentage de jardins de la classe 300-700 m² par rapport au ratio de production de déchets verts apportés en déchetterie :

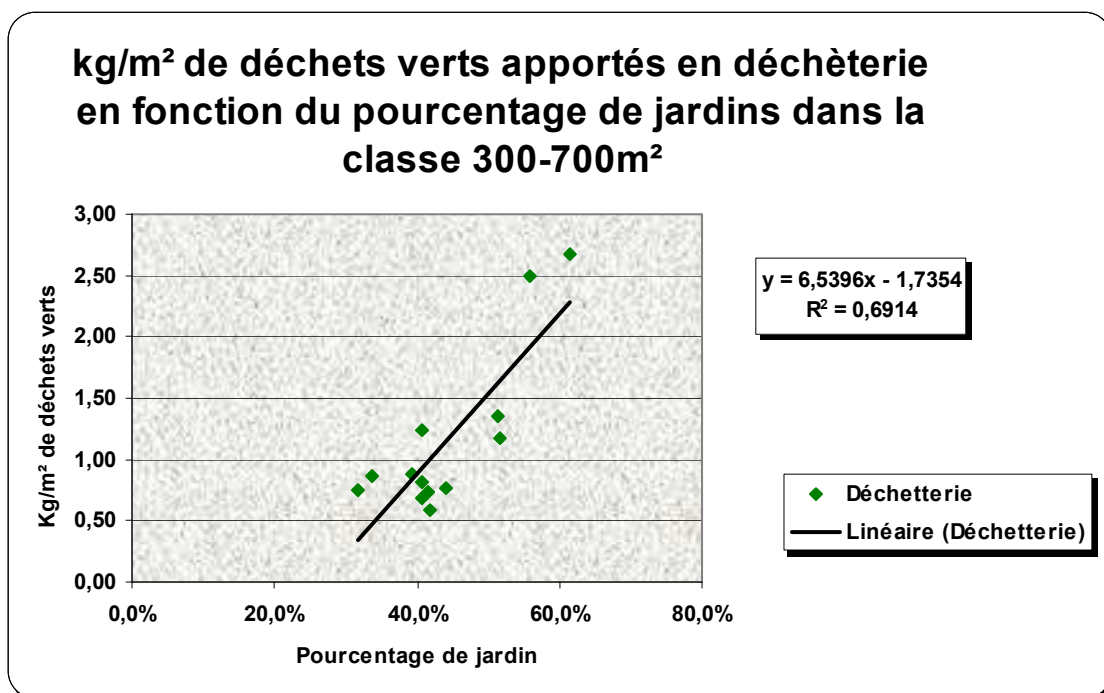


Figure 27 : Corrélation entre les kg/m² de déchets verts des déchetteries et du pourcentage de jardins dans la classe 300-700m²

On remarque qu'il existe une corrélation même si elle est limitée entre les déchets verts apportés en déchetterie et le pourcentage de jardins dans la classe 300-700 m² ($R^2 = 0,69$). Les essais de corrélations du ratio avec les autres classes de surfaces cadastrales (<300 m et >700 m²) sont quasiment nuls. On explique donc bien en partie grâce à la classe de jardin 300-700 m² les différences observées sur les ratios. Ce résultat est particulièrement intéressant parce qu'il révèle un comportement de l'utilisateur qu'on pouvait pressentir mais qui n'avait pas été prouvé : les ménages ayant un jardin de 300 à 700 m² contribuent davantage aux apports en déchetteries que les autres usagers. Ainsi, si des secteurs doivent être choisis pour faire des campagnes de promotion du compostage, on peut choisir a priori sur quels secteurs il est plus sûr d'obtenir des résultats. La cartographie des jardins de 300 à 700m² peut être facilement obtenue par l'utilisation du cadastre seul, sans avoir recours à des extensions SIG ou des logiciels de télédétection. Ainsi, pour notre secteur d'étude, les zones d'influence de Pacé et de Cesson-Sévigné semblent adaptées pour ce type de démarche.

1.1.3. Etude de cas : Cesson-Sévigné

La commune de Cesson-Sévigné est la 2^{ème} Ville de Rennes Métropole. Elle a une superficie de 32,1 km² pour 16 500 habitants soit une densité de 505 habitants par km². C'est ce secteur du territoire qui a été choisi pour être étudié plus en détail dans le cadre du projet Miniwaste. En ce sens, Cesson-Sévigné est la « ville test » pour la mise en place d'une politique de réduction des déchets verts en vue de transférer cette méthode à d'autres villes de l'UE. L'agglomération de Cesson Sévigné est située à 5 km au Nord Est de Rennes Centre. Elle est entourée de la commune de Chantepie au Sud, de la commune d'Acigné et Thorigné-Fouillard au Nord.

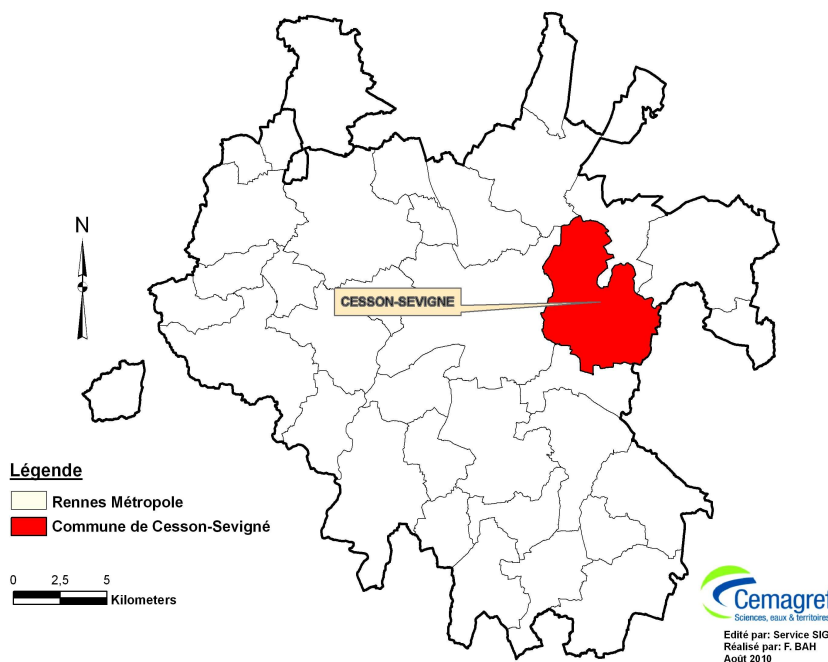


Figure 28 : Localisation de Cesson-Sévigné dans Rennes Métropole.

Le tableau ci-dessous est un récapitulatif des caractéristiques du secteur d'étude :

Cesson-Sévigné	
Production de déchets verts apportée en déchetterie en 2009 (Kg)	3 594
Surface totale de la zone d'influence (m ²)	36 814 600
Surface d'arbre/haie de la zone d'influence (m ²)	783 633
Surface de pelouse de la zone d'influence (m ²)	560 619
Surface verte de la zone d'influence (m ²)	1 344 252
Ratio (Kg/m ²)	2,72
Nombre de parcelles	4 050
Nombre de composteurs vendus par Rennes Métropole depuis 2005	518

Figure 29 : Tableau récapitulatif des données de Cesson-Sévigné

Le graphique ci-dessous présente la répartition des tailles de jardins sur l'ensemble des communes de Rennes Métropole. On remarque que la majorité des communes ont une taille de parcelles comprises entre 100 et 600 m².

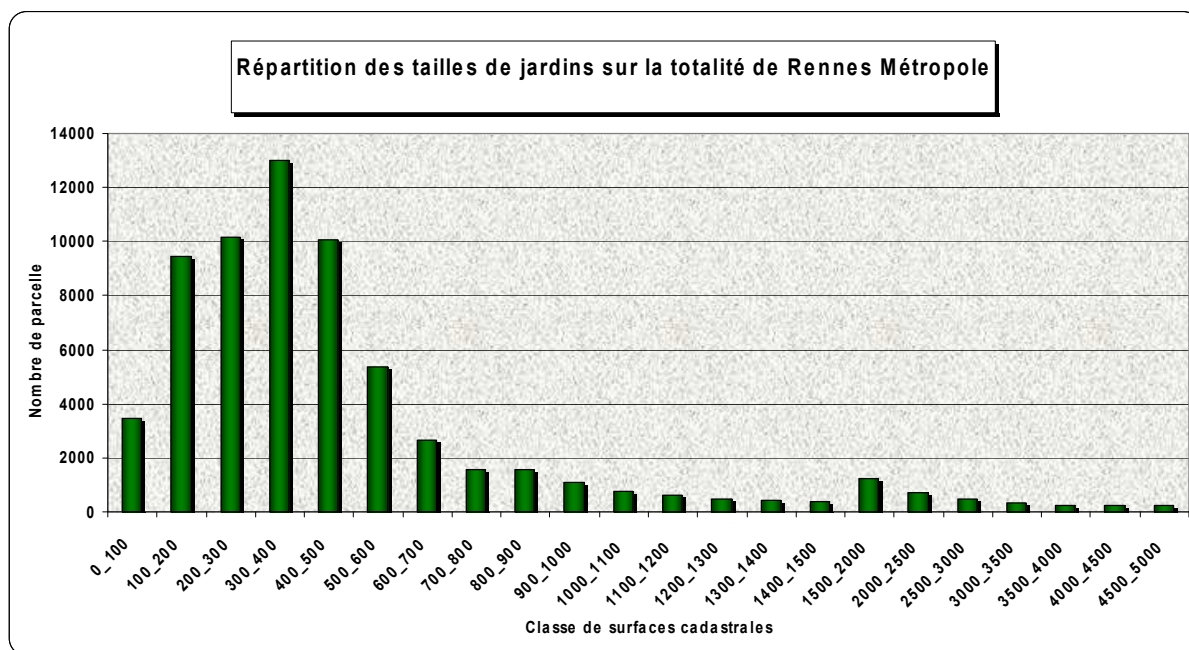


Figure 30 : Répartition des tailles de jardins de Rennes Métropole

Le graphique ci-dessous de la zone d'influence de Cesson-Sévigné représente le nombre de parcelles de jardin des particuliers par rapport à la surface cadastrale. Il permet d'avoir une estimation précise de la taille des jardins des habitants de la commune et par voie de conséquence, d'avoir une estimation de la classe qui est la plus susceptible d'avoir ou non un composteur. On remarque que le graphique relatif à la commune de Cesson-Sévigné a la même allure que celui de l'ensemble des communes mais avec une proportion plus marquée des jardins entre 300 et 500 m².

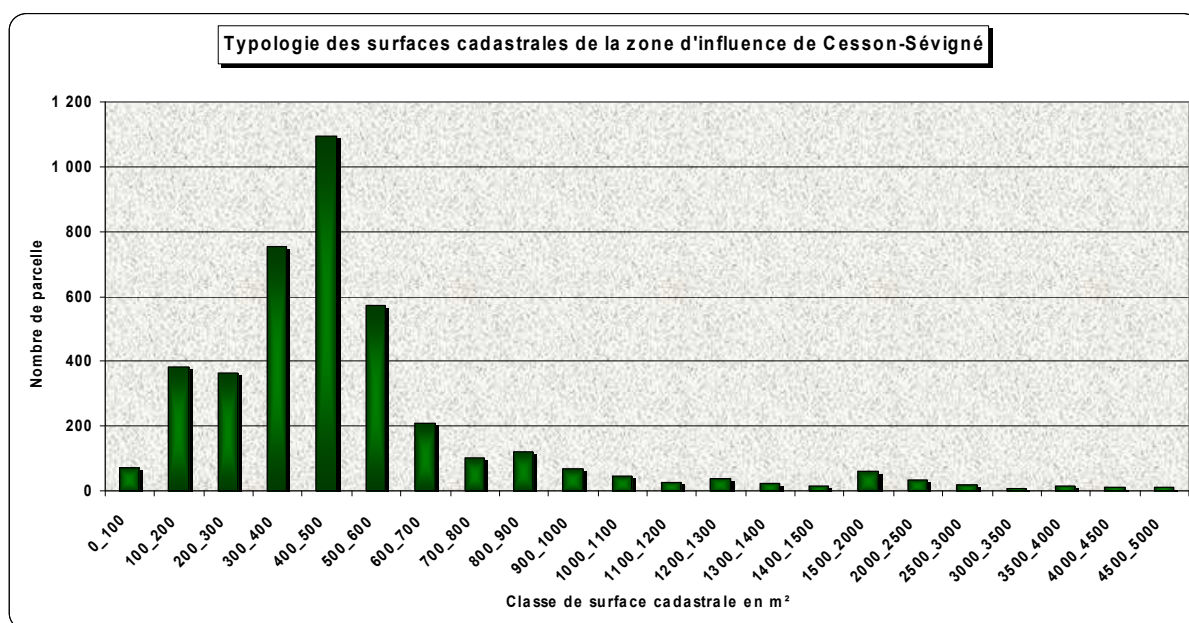


Figure 31 : Typologie des surfaces cadastrales de la zone d'influence de Cesson-Sévigné

Afin de compléter ces premiers résultats, des foyers sont sollicités dans le cadre du projet Miniwaste pour une pesée de leurs déchets organiques.

En effet, l'objectif d'une partie de l'étude Miniwaste est de faire un suivi des pesées de déchets des ménages. Le but ultime est de trouver des solutions permettant de réduire significativement la part de déchets organiques (déchets de cuisine et déchets verts). 102 foyers se sont portés volontaires pour être suivis durant un an dans leur gestion quotidienne des déchets organiques. Le choix de la commune de Cesson-Sévigné comme secteur pour cette étude repose notamment sur sa forte proportion de maisons individuelles. C'est dans cette commune que les foyers ont été choisis. Ces foyers ont été repartis en sept catégories distribuées de façon homogène sur le secteur de la commune. C'est une enquête téléphonique auprès des foyers sur leurs pratiques qui a permis de répartir les foyers dans chaque catégorie. L'objectif de ces catégories est de mettre en relation le profil des ménages, les caractéristiques du logement avec les habitudes de gestion des déchets de cuisine et de jardin. Le tableau ci-dessous présente les différentes catégories de foyers étudiés :

Catégories	Types	Intitulés	Nombre de foyers
1	<i>Peseurs tas</i>	Peseurs qui pratiquent le compostage en tas	10
2	<i>Peseurs CI+</i>	Peseurs qui compostent beaucoup de déchets	14
3	<i>Peseurs CI-</i>	Peseurs qui compostent moins de déchets)	19
4	<i>Foyers tas</i>	Foyers non peseurs qui pratiquent le compostage en tas	14
5	<i>Foyers CI+</i>	Foyers non peseurs qui compostent beaucoup de déchets	15
6	<i>Foyers CI-</i>	Foyers non peseurs qui compostent moins de déchets	15
7	<i>Foyers sans Compostage</i>	Foyers qui ne compostent pas ne pèsent pas	15

Figure 32 : Intitulés des catégories des foyers volontaires

L'objectif est dans un premier temps de connaître les habitudes de gestion des biodéchets en fonction des catégories de foyers définies ci-dessus. Ensuite il s'agit de mesurer les impacts de leurs différentes gestions des déchets (Composteur individuel ou compostage en tas). Enfin, la démarche devra être validée pour ensuite pouvoir proposer un protocole général applicable à l'ensemble de Rennes Métropole et d'autres territoires.

La carte suivante donne un aperçu du secteur d'études pour le suivi des foyers volontaires selon la catégorie dans laquelle elle s'inscrit.

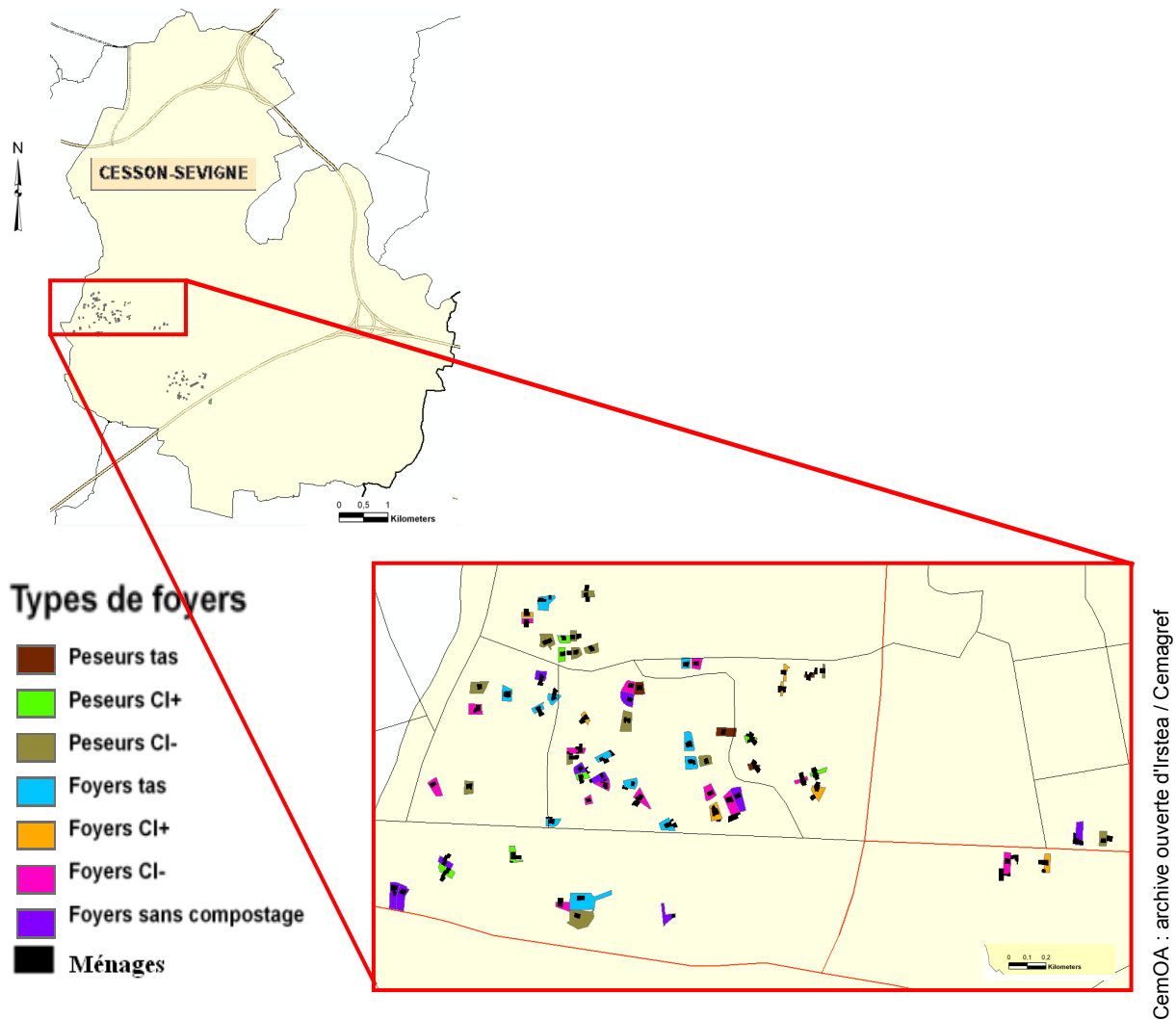


Figure 33 : Secteur d'étude choisi pour le suivi des pesées chez les foyers volontaires

La pesée individuelle des déchets par les différentes catégories de peseurs va permettre d'obtenir les quantités totales produites par les ménages et la répartition des flux selon leurs pratiques. L'étude porte sur les deux flux de déchets : déchets de cuisine et de jardin. La quantité de déchets verts apportée en déchetterie sera également suivie et comptabilisée.

Dans le tableau suivant, les surfaces vertes sont représentées par catégorie et par classe de surface cadastrale :

<i>Classes de Surface cadastrale, hors maisons (m²)</i>	<i>Somme Surface verte (m²)</i>						
	<i>10 Peseurs tas</i>	<i>14 Peseurs CI+</i>	<i>19 Peseurs CI-</i>	<i>14 Foyers tas</i>	<i>15 Foyers CI+</i>	<i>15 Foyers CI-</i>	<i>15 Foyers sans Compostage</i>
<i>100 200</i>	147	70	72		469	251	
<i>200 300</i>		411	497	191		275	
<i>300 400</i>	261	908	1 330	915		818	785
<i>400 500</i>	623	1 269	1 258	1 288	1 713	834	1 075
<i>500 600</i>	913	699	902	1 075	1 226	1 982	1 124
<i>600 700</i>	608			1 070	456		1 435
<i>700 800</i>			1 224			626	545
<i>800 900</i>							1 225
<i>1500 2000</i>			1 223				
<i>2000 2500</i>		1 810		1 419			
<i>2500 3000</i>	1 571						
<i>Totale</i>	<i>4 122</i>	<i>5 166</i>	<i>6 505</i>	<i>5 957</i>	<i>3 863</i>	<i>4 785</i>	<i>6 189</i>

Figure 34 : Répartition des surfaces vertes par catégorie et par classe de surface cadastrale.

Les surfaces vertes globales (m²) pour chacune des catégories de foyers enquêtées sont plutôt similaires (de 4000 à 6000 m²), ce qui montre une bonne représentativité sur le territoire de l'échantillon choisi. Par ailleurs, une répartition homogène des surfaces vertes par classe de surface cadastrale est observée. Néanmoins, les jardins supérieurs à 700 m² ne sont pas représentés pour tous les types de foyers volontaires au suivi.

Le tableau ci-dessous présente les surfaces moyennes d'arbre/haie, de pelouse ainsi que la surface moyenne verte de chaque catégorie de foyers de l'étude.

<i>Catégories de foyers</i>	<i>Peseurs tas</i>	<i>Peseurs CI+</i>	<i>Peseurs CI-</i>	<i>Foyers tas</i>	<i>Foyers CI+</i>	<i>Foyers CI-</i>	<i>Foyers sans Compostage</i>
<i>Nombre de foyers sur le secteur expérimenté</i>	10	14	19	14	15	15	15
<i>Surface moyenne d'arbre/haie (m²)</i>	138	167	192	280	109	217	191
<i>Surface moyenne de la pelouse (m²)</i>	274	202	150	146	149	102	222

<i>Surface moyenne des parcelles vertes (m²) obtenue par traitements d'images</i>	412	369	342	426	258	319	413
<i>Surface verte moyenne des parcelles (m²) obtenue par enquête</i>	353	379	489	459	453	364	345

Figure 34 : Récapitulatif des données par catégorie de ménages.

Lorsque la campagne de pesée sera réalisée, il sera possible de comparer le ratio calculé précédemment sur Cesson-Sévigné (2.67 kg/m² apporté en déchetterie) avec les productions mesurées chez les foyers volontaires. La part de déchets verts gérée à domicile pourra être évaluée. On pourra également vérifier les résultats obtenus précédemment (jardins de 300 à 700 m²) et identifier d'autres facteurs expliquant les différences de production des ménages.

Conclusion

L'étude que j'ai réalisée au cours de ce stage de six mois au CEMAGREF a permis d'apporter des améliorations aux protocoles précédemment réalisés. Dans la politique de gestion des déchets verts des ménages il est utile de bien connaître le territoire.

L'utilisation d'outils d'analyses spatiales a permis de développer et de mettre en application des protocoles puis d'analyser les résultats et de les représenter graphiquement. En effet, l'application de la technique de la classification supervisée à l'ensemble du territoire de Rennes Métropole a permis d'estimer les surfaces vertes aux ménages résidant en habitat individuels.

Le SIG, notamment avec la méthode Net-Drain que j'ai développée, a amélioré le découpage des territoires associés aux déchetteries (zones d'influence). Ainsi, après plusieurs analyses spatiales réalisées grâce au SIG, il est possible de rapprocher les surfaces correspondantes aux haies et pelouses avec les quantités de déchets verts apportées en déchetteries. Des enseignements peuvent alors être tirés qui s'avèreront utiles pour les gestionnaires chargés d'optimiser la gestion des déchets verts. En effet, nous avons apporté la preuve que les ménages disposant de parcelles de 300 à 700m² sont les plus sujets à confier leurs déchets verts à la collectivité.

Ainsi, le travail a permis d'estimer les quantités de déchets verts apportées en déchetterie exprimées en kg/m² pour chaque zone d'influence. Cela permet alors d'identifier les secteurs les plus favorables pour réaliser des campagnes de promotion du compostage domestique et ainsi d'optimiser les quantités de déchets verts gérée par Rennes métropole. Ces secteurs peuvent être identifiés par l'exploitation du cadastre numérisé uniquement, ce qui est intéressant pour des collectivités ne disposant pas d'outils de télédétection et de SIG avec des extensions spécifiques.

Par ailleurs, à la suite d'une demande d'un Service de Rennes Métropole qui s'est intéressé à mon stage, en marge de la présente étude, j'ai été sollicitée pour appliquer la méthode Net-Drain pour faire des simulations sur le territoire de Rennes Métropole sur des projets de fermeture et d'ouverture de déchetteries (cette étude complémentaire est présentée en annexe3).

Plus personnellement, ce stage m'a permis de mener un projet important, de travailler en équipe et de produire des résultats utiles en prenant en compte les demandes des partenaires du projet. J'ai également découvert les enjeux de la gestion des déchets verts en France. Ce stage m'a aussi permis d'apprendre un logiciel de traitement d'image supplémentaire (Erdas Imagine 2010). J'envisage dans la suite de mon cursus universitaire de me spécialiser dans la géomatique pour traiter des problématiques environnementales alliant la technique à la gestion de projets.

ANNEXES

I. Méthodologie pour la délimitation des zones d'influence des déchèteries Méthode Net-Drain

I. Localisation des déchetteries

Il s'agit tout d'abord de trouver la localisation exacte de toutes les déchetteries de la zone d'étude. Grâce aux adresses et à Géoportail, sur une page web, on peut trouver les coordonnées géographiques XY en Lambert II étendue de chaque déchèterie.

Il faut ensuite créer un fichier Excel dans lequel on renseigne les coordonnées XY, les communes, les adresses, les codes INSEE et postal.

Dans ArcMap, ajouter le fichier Excel avec Tools sur la barre d'outils

Pour créer un fichier shape il faut :

Faire un click droit sur les Layer → data → export data et l'enregistrer dans le bon dossier.

Note : Afin de délimiter les zones d'influence avec l'ancienne méthode, on peut créer les polygones de Thiessen autour des déchetteries par:

Dans ArcToolbox choisir "to coverage" → coverage tool → Thiessen

II. Méthode Net-Drain a. Modélisation du réseau routier

Le traitement du réseau routier va nécessiter l'utilisation d'ArcGIS Network Analyst.

La modélisation du réseau routier commence par la création d'un shapefile sur Network dataset sur ArcCatalog. Avant de faire les prétraitements sur ArcCatalog il faut avant tout organiser la base de données en respectant les étapes suivantes :

1) Déterminer le sens des routes

Avant toute chose : chaque tronçon est orienté selon son sens de saisie. L'origine du tronçon est notée F tandis que sa destination est notée T. Pour connaître le sens des rues, il faut soit choisir le symbole "flèche" dans les propriétés, soit se mettre en mode mise à jour et choisir "modifier l'entité" : la fin du tronçon est représentée par un point rouge alors que le début est un point vert.

Ensuite, il y a deux possibilités :

- soit créer un champ « **ONEWAY** » : si le sens de circulation est le même que

celui de la saisie ou en double sens, on indique DS (double sens) et F pour le reste,

- soit créer un champ « **SENSUNIQUE** » : dans ce cas on met systématiquement le sens de saisie identique au sens de circulation (clic-droit sur le tronçon puis inverser) et on indique 1 pour les sens uniques.

Le champ Oneway fonctionne mieux pour la version anglaise de Network Analyst.

2) déterminer la hiérarchie

2.1) créer un champ « **HIERARCHY** » ou « **HIERARCHIE** »

2.2) indiquer les classes auxquelles appartiennent les routes : par exemple 1 pour les autoroutes, 2 pour les rocade, etc.

3) calculer les vitesses pour les voitures

3.1) créer un champ « **VITESSE** » et attribuer les vitesses selon le type de voie : par exemple 110 pour les bretelles, 110 pour les autoroutes, 90 pour les routes régionales, 30 pour les routes de villes etc

3.2) pour avoir les vitesses des centres villes, on procède par une validation grâce aux photographies aériennes, ce qui est plus précis.

Les vitesses sont très importantes dans la structuration de Network Analyst et dans la détermination et le partage des territoires en fonction de leur appartenance. Dans notre étude, on a choisi de fixer la vitesse des centres ville à 30 km/h étant donné qu'on ne prend pas en compte les feux ni les carrefours

4) Déterminer la distance pour chaque tronçon

4.1) créer un champ «LENGTH» en mètre attribuer les distances de chaque tronçon avec field calculator et entrer cette formule :

```
Pre-logicVBA Script code =   Dim length as double
                               Dim pCurve as iCurve
                               Set pCurve = [shape]
                               LENGTH = pCurve.length
```

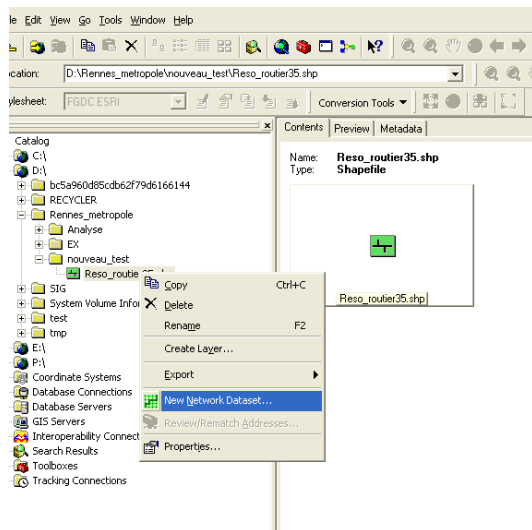
```
LENGTH= pCurve.length
```

5) Déterminer le temps de parcours de chaque tronçon

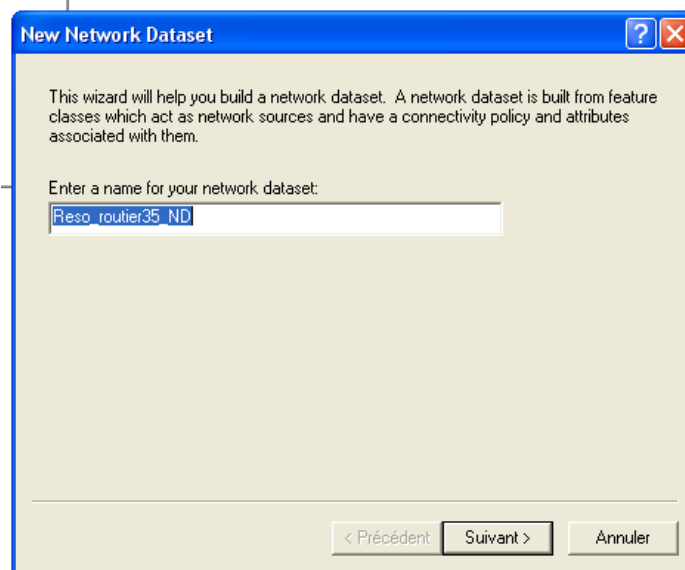
5.1) créer un champ « **TIME** » en minutes et calculer les temps par le rapport entre la distance (**length**) et la vitesse

6) Création d'un network dataset (le réseau routier pour Network)

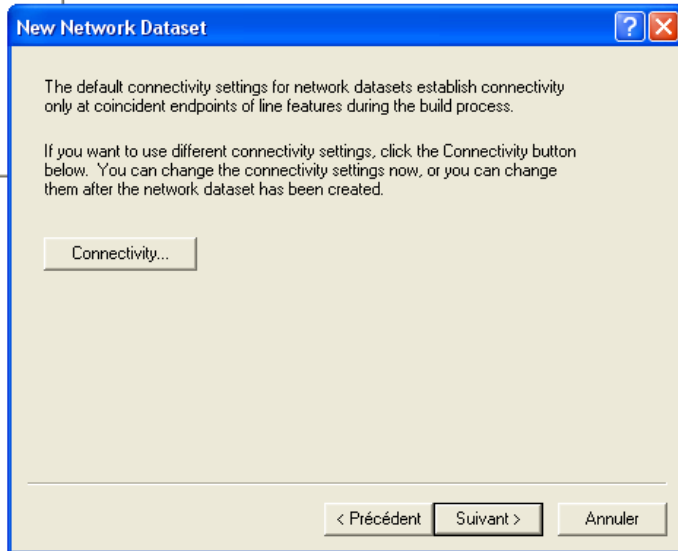
6.1 Ouvrir Arcatalog, chercher le dossier dans lequel se trouve la le thème des routes que l'on veut modéliser. Click droit sur sur le thème et choisir « New Network Dataset ».



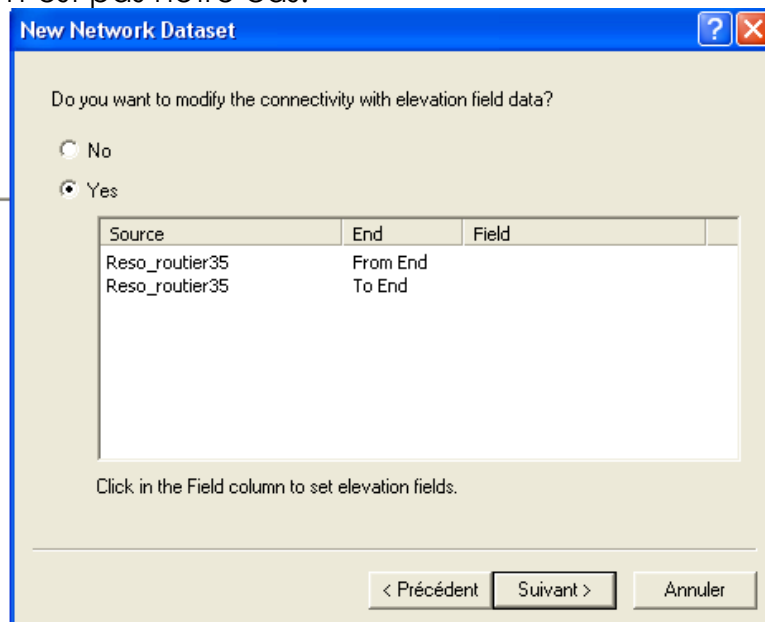
6.2 Un nom du fichier à créer est proposé par défaut mais on peut changer de nom. Cliquer ensuite sur suivant.



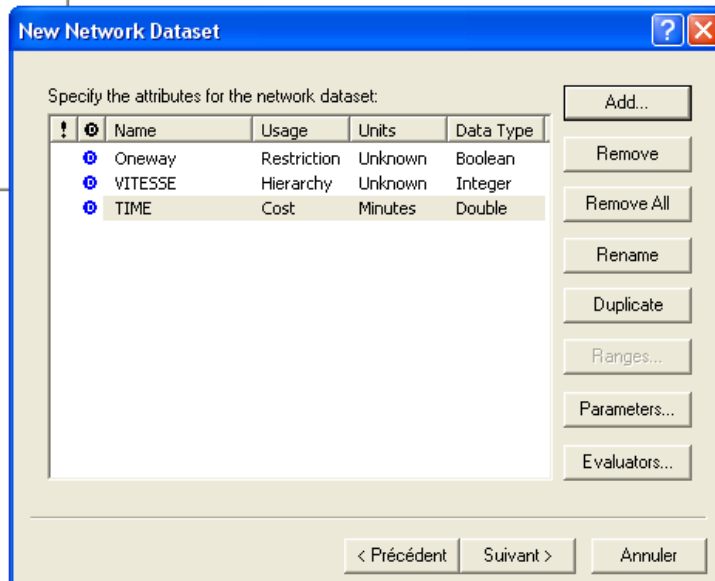
6.3 L'étape suivante concerne la connectivité. Il faut indiquer deux colonnes. Pour cela, créer des colonnes dans la base de données en amont, une première colonne pour le réseau routier, la 2^{ème} pour les lignes de bus. Les arrêts, qui font la connexion, appartiennent aux deux colonnes. Pour notre étude, nous avons un seul réseau à gérer, donc il faut cliquer sur suivant pour aller à l'étape suivante.



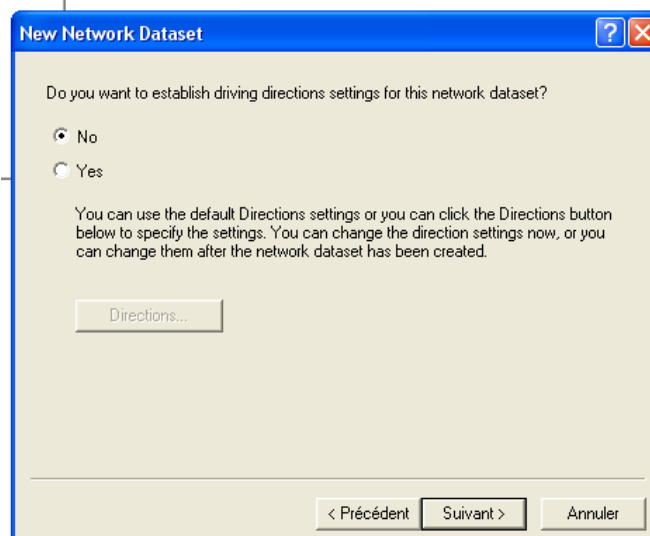
- 6.4 L'étape suivante nous permet de déterminer les « altitudes » c'est-à-dire hauteurs des ponts et tunnels. Là aussi il faut cocher la case **Yes** seulement si notre étude requière de s'intéresser aux ponts et tunnels, ce qui n'est pas notre cas.



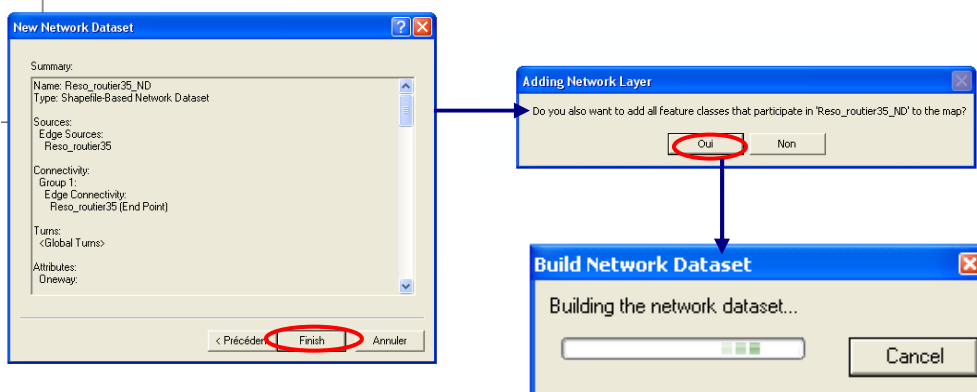
6.5 L'étape suivante est importante car c'est à ce stade qu'il faut ajouter avec **Add** toutes les colonnes créées en amont avec leurs unités comme « time » en minutes par exemple, « oneway », « vitesse » etc



6.6 A l'étape suivante, cocher **NO** et Cliquer sur suivant pour continuer



6.7 Cliquer sur **Finish** puis sur **OK** pour créer le réseau

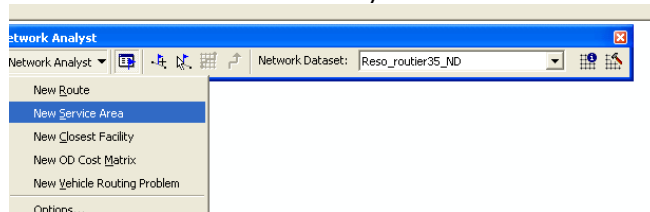


6.8 Trois fichiers sont créés. Fermer ArcCatalog et ajouter la couche dans ArcMap

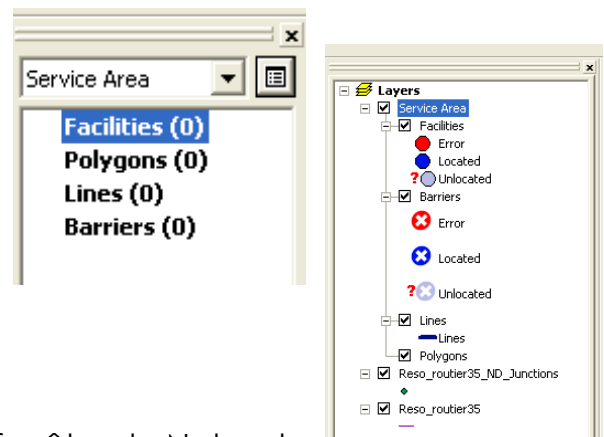
Name	Type
Reso_routier35.shp	Shapefile
Reso_routier35_ND_Junctions.shp	Shapefile
Reso_routier35_ND.nd	Shapefile Network Dataset

7) Analyse du temps pour aller dans une des déchetteries en fonction de la vitesse et des différents types de routes par Network Analyst

7.1 Dans Arcmap, activer l'extension **Network Analyst**, dans la barre d'outil de Network Analyst dérouler le et choisir **New Service Area**

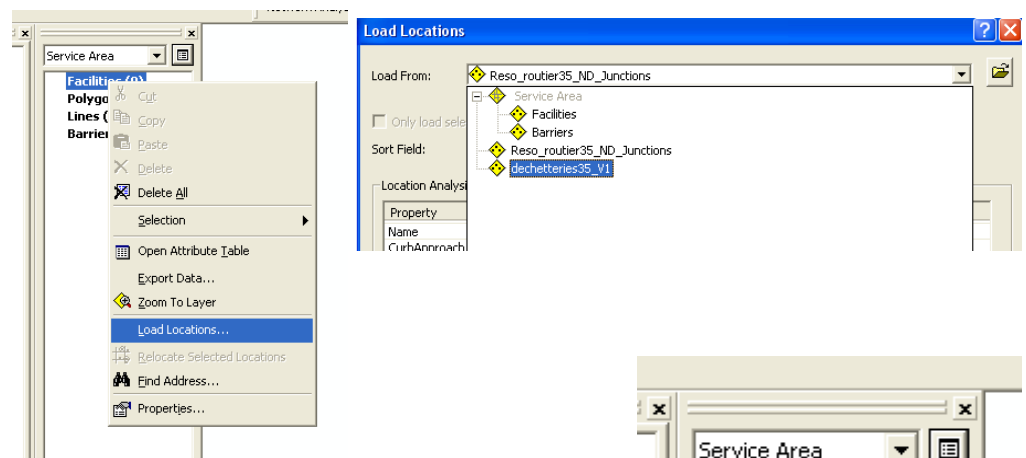


La fenêtre de **Network Analyst** va s'ouvrir **Service Area** non seulement avec la liste : Facilities, Barriers, Polygons et Lines dans la fenêtre de Network Analyst mais aussi dans les **Layers**

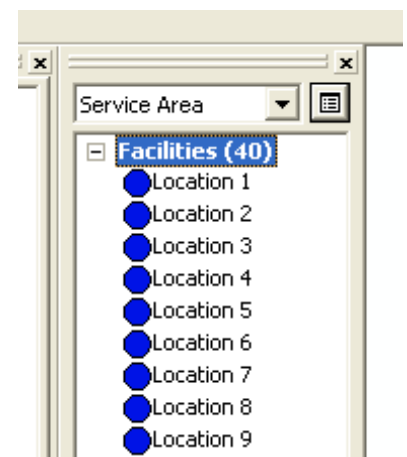


7.2 Intégration des déchetteries

Faire un click droit sur **Facilities (0)** dans la fenêtre de Network Analyst et choisir **Load Locations** pour entrer le thème des déchetteries



Les 40 déchetteries de notre étude vont être intégrées dans les **facilities**.

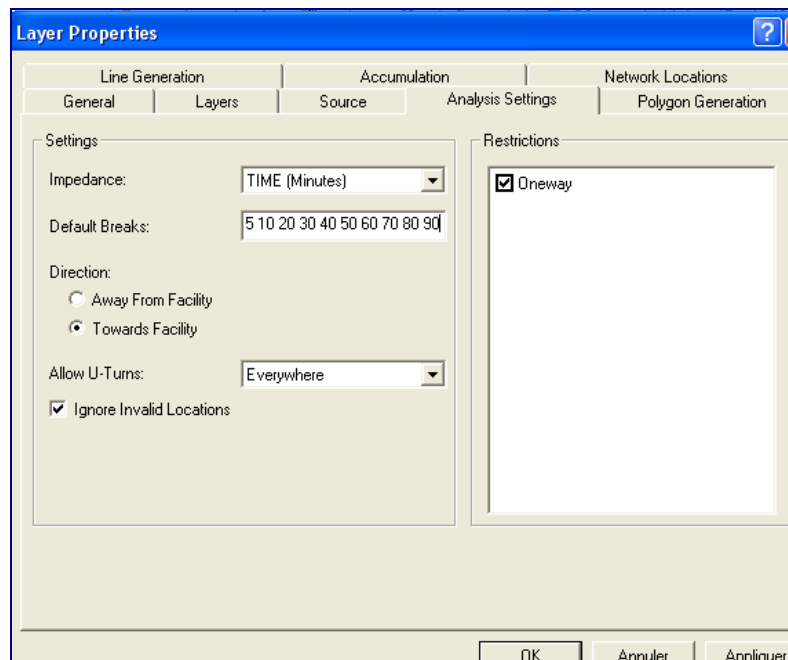


7.3 Analyses de l'accessibilité des déchetteries par rapport au réseau routier et au temps.

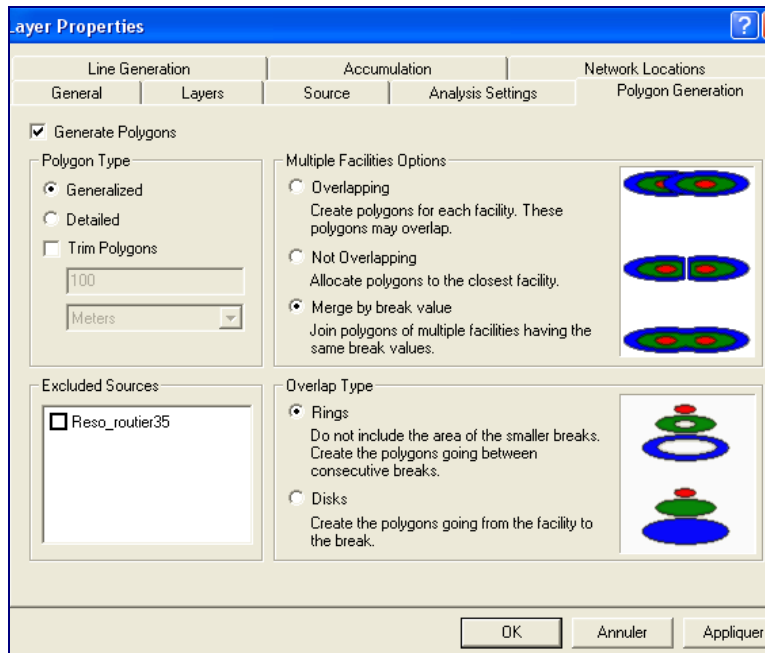
Dans la fenêtre du Network Analyst, cliquer sur le bouton :



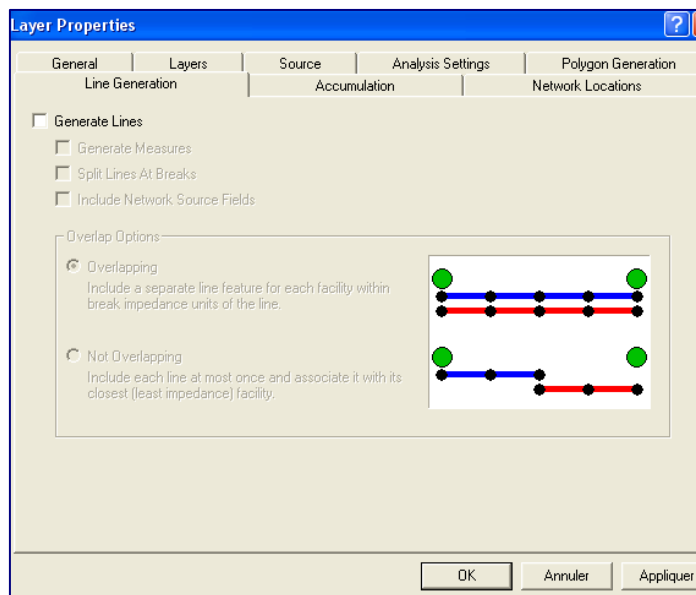
pour accéder aux propriétés de **Service Area**. Cliquer sur **Analysis Settings** pour personnaliser les propriétés. Pour **Impedance dropdown** choisir Time(Minutes) dans la liste. Pour **Default Breaks** mettre les intervalles de minutes (5 10 20 ...). Ensuite pour **Direction** cocher **Towards Facility**. Cocher **Oneway** dans la case des **restrictions**. Cocher la case **Ignore Invalid Locations**.




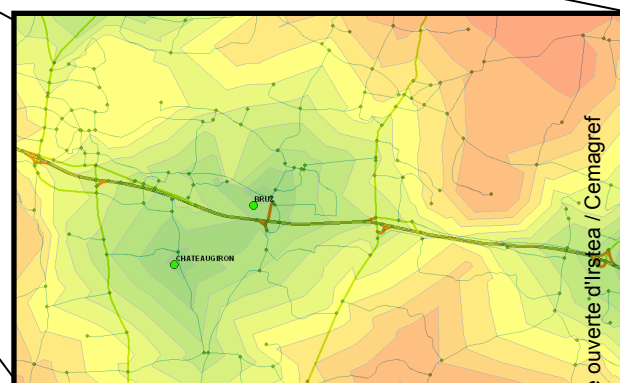
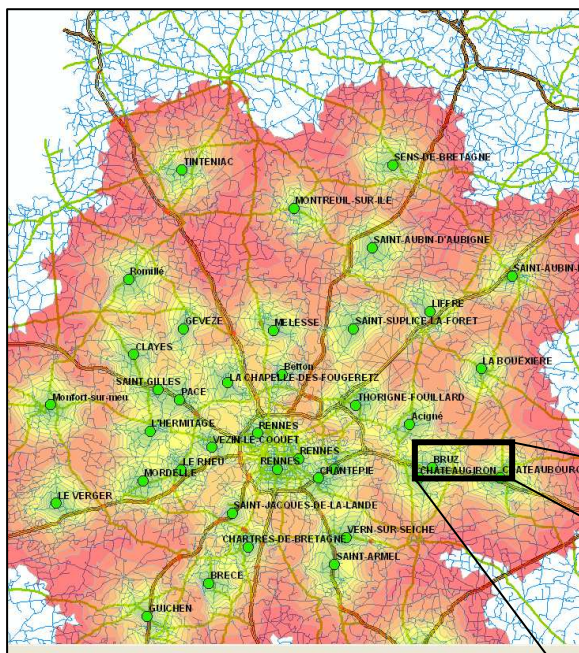
Cliquer ensuite sur l'onglet : **Polygon Generation**, vérifier que la case : **Generate polygons** est cochée sinon cocher. Dans les types de polygones, cocher **Generalized**, décocher **Trim polygon**. Dans les multiples options des facilities **cocher Merge by break value** et **Rings** pour les types de **Overlap**. Cliquer sur appliquer pour enregistrer les modifications.



Enfin cliquer sur l'onglet **Line Generation**. Laisser la case **Generation Line** non cochée. Cliquer sur **OK** pour enregistrer et finaliser les propriétés.



7.4 Retourner sur la barre d'outils de Network Analyst. Cliquer sur le bouton  pour générer la carte d'accessibilité en temps et en fonction des routes de chaque déchetterie en dégradé de couleurs.



b. Modélisation des frontières entre zones d'influence de déchèteries – Utilisation de Spatial Analyst

Dans cette étape on va utiliser Spatial Analyst, une extension d'ArcGis qui permet de créer, interroger et analyser l'information s'appuyant sur des données continues représentées le plus souvent en mode raster..

En se basant sur les données disponibles et sur des critères définis à partir des traitements réalisés par Network Analyst, on va délimiter le territoire de chaque zone d'influence. Les étapes à suivre pour ce type d'analyse spatiale sont :

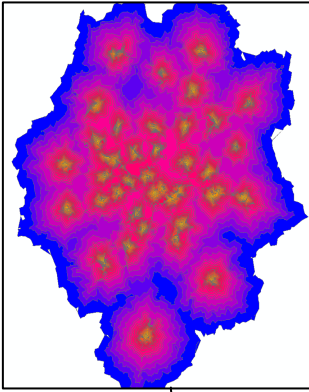
Etape 1 : choix des données en entrée : Convertir les données issues du traitement sous Network Analyst dans le format de Spatial Analyst (raster).

Etape 2 : génération de nouvelles données : création de nouvelles données à partir de données existantes.

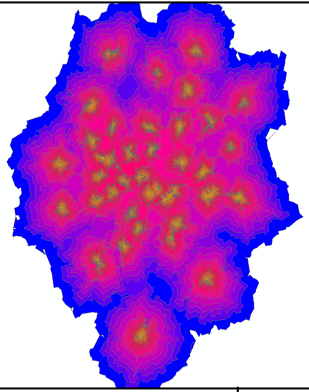
Etape 3 : combinaison des données : extraire les couches de données et les combiner afin de trouver une répartition du territoire autour de chaque déchetterie en fonction de tous les critères pris en compte.

Le diagramme suivant présente les étapes à suivre pour arriver à déterminer les zones d'influences de chaque déchetterie.

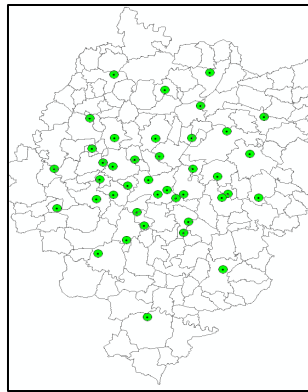
Service area



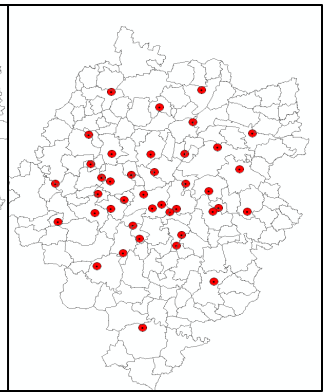
Time. shp



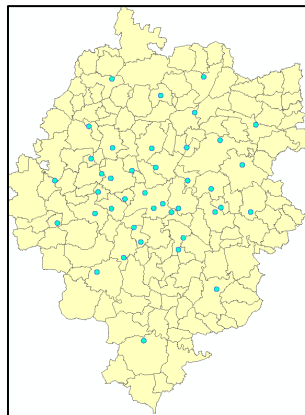
Déchetteries



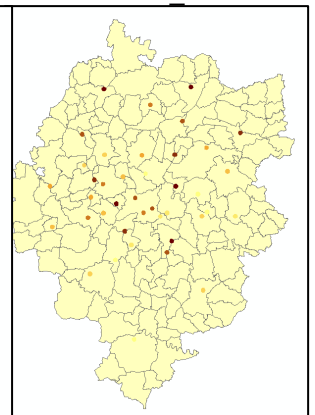
Facilities



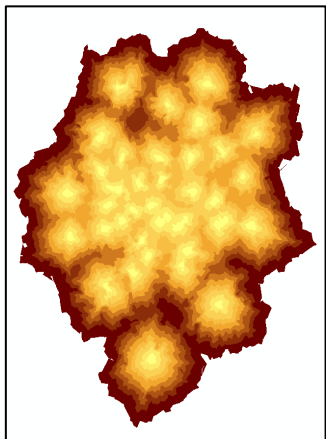
Buffer 500m



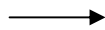
Buffer raster



Time_raster



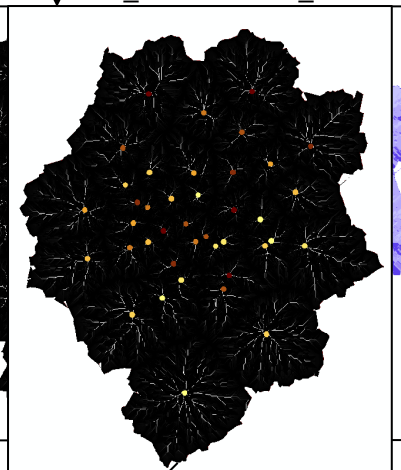
Flow accumulation



Flow Direction



Flow_Dir + Dechet_raster



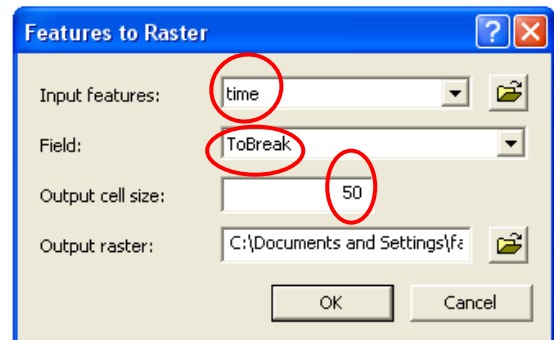
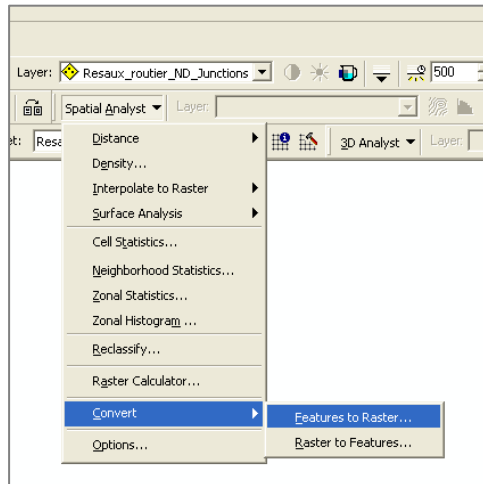
Watershead



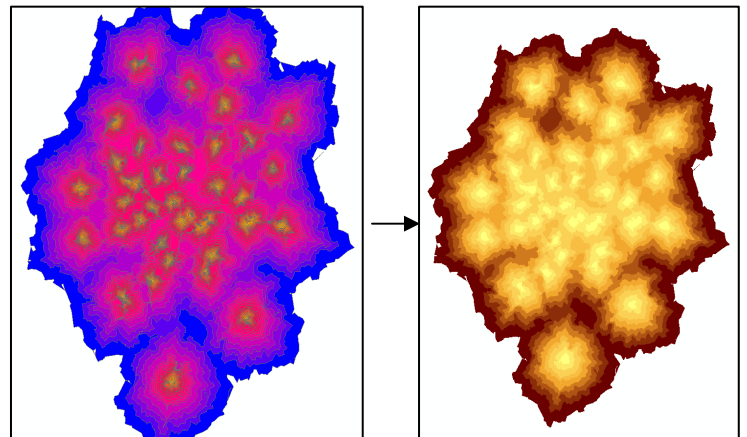
Etape 1 : préparation du jeu de données

Les données en entrée de cette partie sont les résultats du traitement réalisé sous Network Analyst,. Les données doivent être en raster c'est-à-dire qu'il faut convertir les couches «Time» et «déchetteries», en raster.

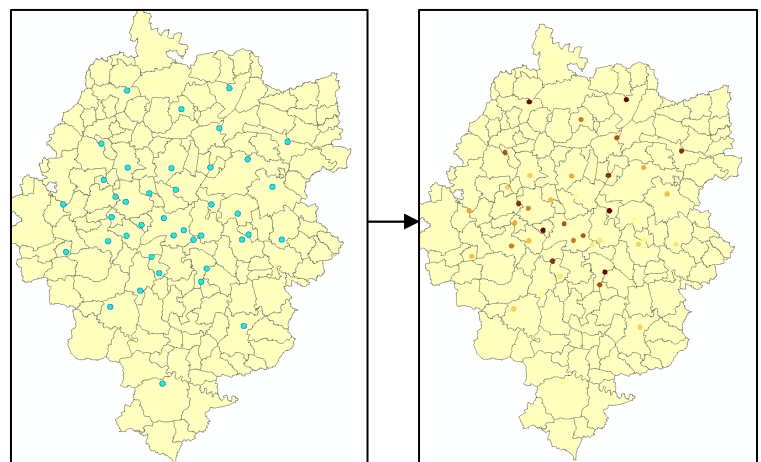
Dans la barre d'outils Spatial Analyst, choisir : Convert/Features to Raster.



Dans **Input features**, choisir le thème : « Time » pour le network Analyst et « déchetterie » pour les déchetteries. Changer les paramètres, choisir Tobreak ou FromBreak dans Field pour avoir la bonne légende. 50 dans Output cell size. Enregistrer sous « Time_Raster » dans le bon répertoire. Cliquer sur Ok.



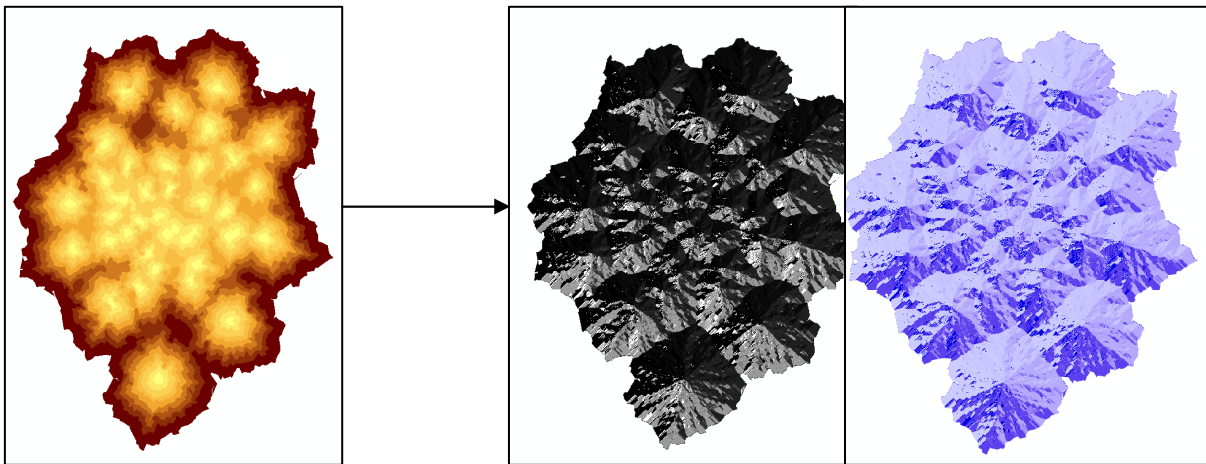
Avant de convertir les déchetteries en raster, il faut faire un buffer de 500 mètres autour des déchetteries, cela nous permettra plus tard de délimiter plus facilement les zones d'influence. Pour les déchetteries indiquer le thème « déchetterie » dans Input feature. Choisir ID dans Field pour avoir le bon nombre de déchetteries et 50m pour le paramètre **Output cell size**. Enregistrer sous « Dechetterie_Raster » dans le répertoire souhaité. Cliquer sur Ok.



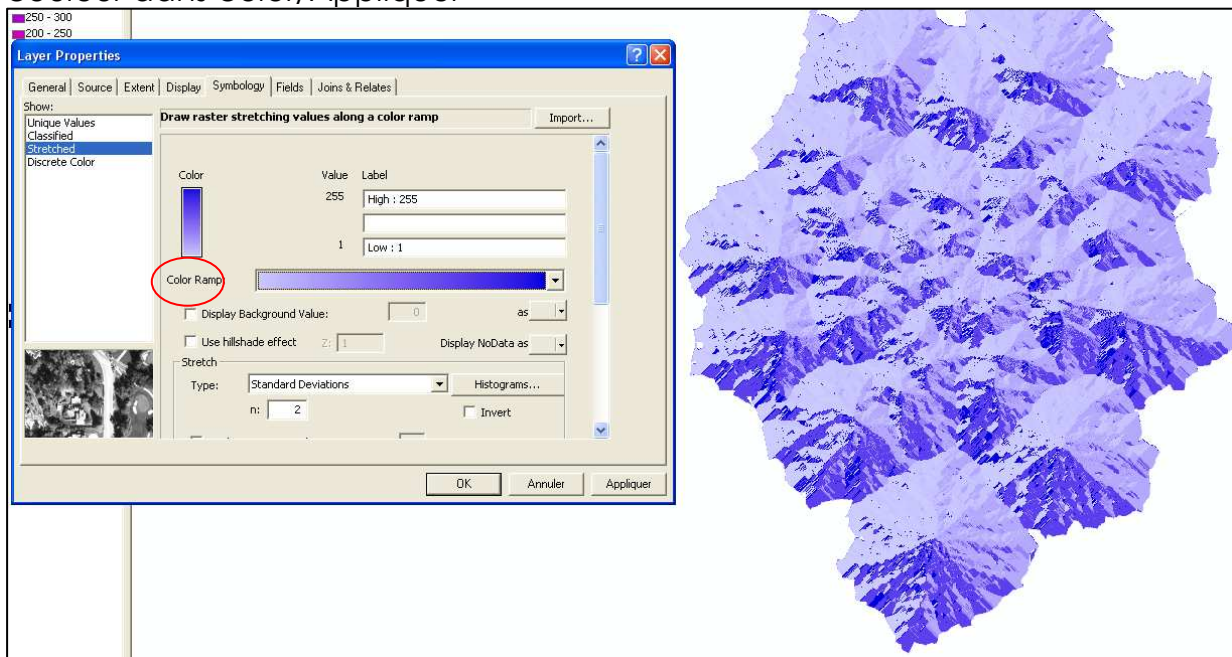
Etape 2 : création de nouvelles données

Il s'agit ici de réaliser des analyses spatiales comme s'il s'agissait d'un bassin hydrologique. L'objectif est de trouver des terrains pour chaque déchetterie, les zones d'appartenance définies à partir de critères (de vitesse et du temps) par Network Analyst.

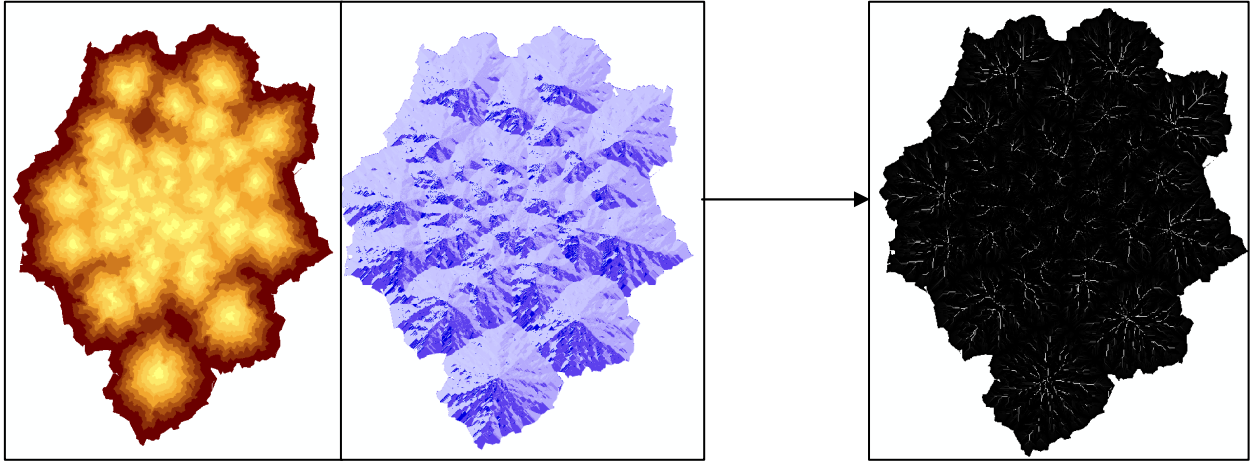
1. Calculez le flow direction à partir de la couche « Time_raster ». Dans ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/ Flow Direction /Choisir « Time_raster » dans Input Surface raster / Enregistrer sous « Flow_Dir » dans le bon répertoire /cliquez sur OK.



Pour changer la couleur : clique droit/layer properties/symbology/choisir une couleur dans color/Appliquer



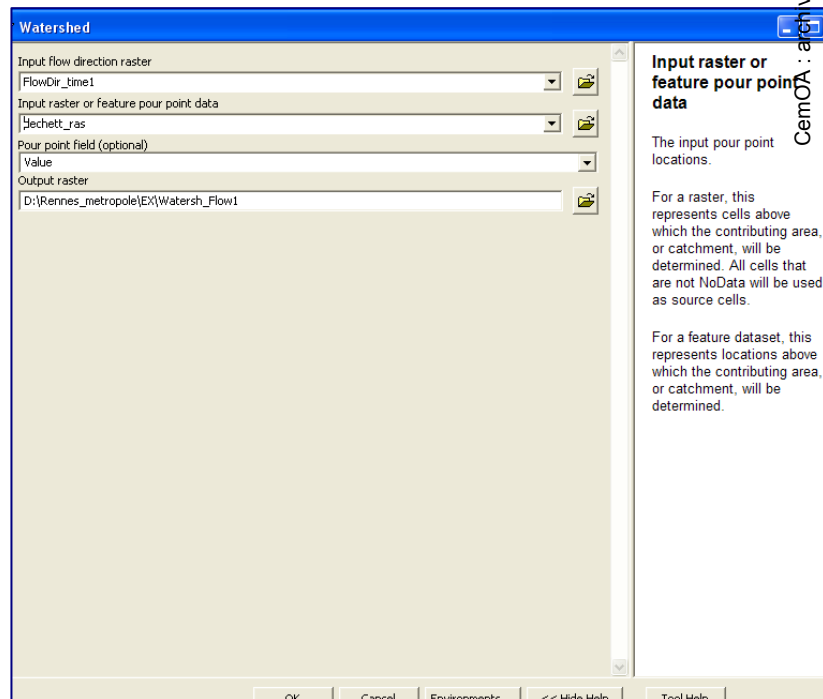
Calculez le flow Accumulation à partir de la couche « Flow_Dir ».
 Dans ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/ Flow Accumulation /Choisir
 « Flow_Dir » dans Input Surface raster / Enregistrer sous « Flow_Acc » dans le
 bon répertoire /cliquez sur OK.



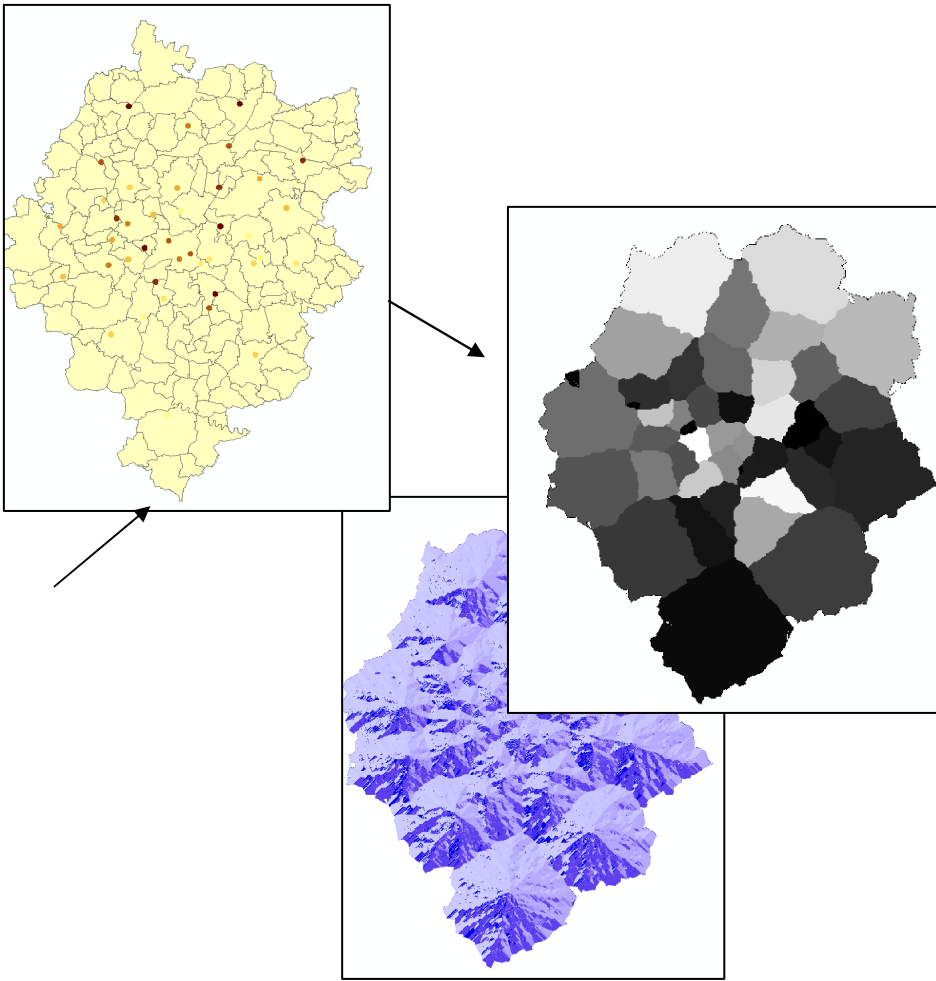
Etape 3 : Combinaison des données :

Après l'étape de calculs du Flow Direction et du Flow Accumulation on va
 passer à l'étape qui permet de combiner les différentes couches donc
 calculer le watershed

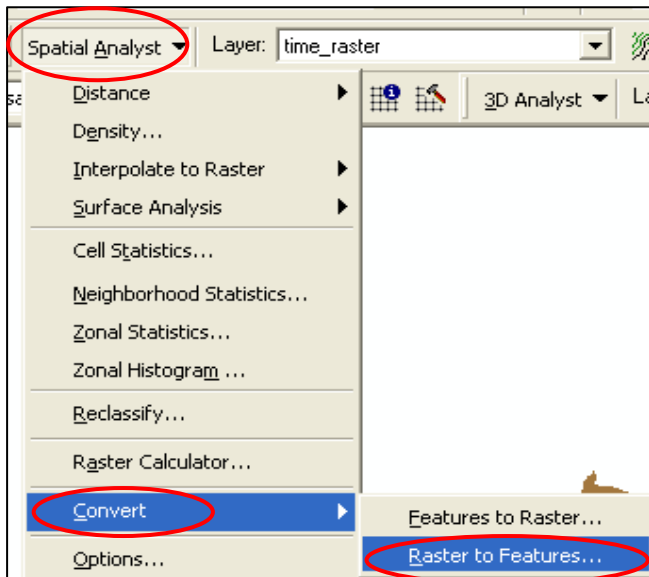
Dans ArcToolBox/Spatial Analyst
 Tools/ Watershed/Choisir
 « Flow_Dir » dans Input Flow
 direction raster / Choisir
 « Dechetterie_raster » dans Input
 raster. Enregistrer sous
 « Watershed » dans le bon
 répertoire et cliquez sur OK.



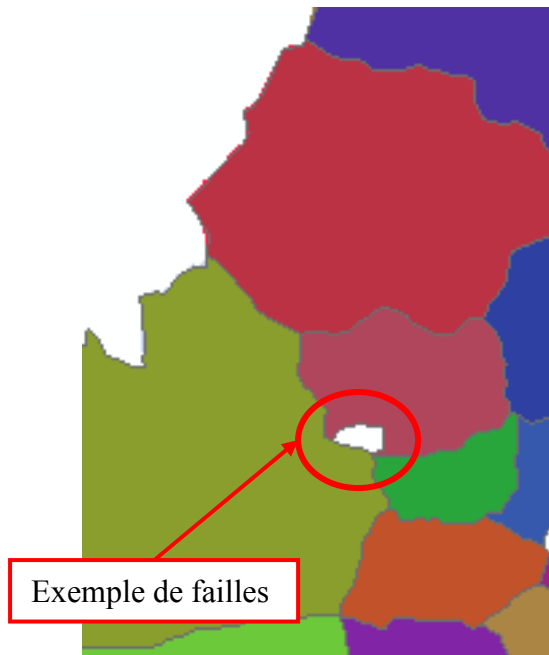
On a donc combiné le flow direction aux déchetteries pour obtenir les zones
 d'influence de chaque déchetterie :



Pour finir notre découpage des zones d'influence des déchèteries, on va convertir le thème watershed en shapefile. Pour cela il faut aller dans Spatial Analyst/Convert/ puis Raster to Features.

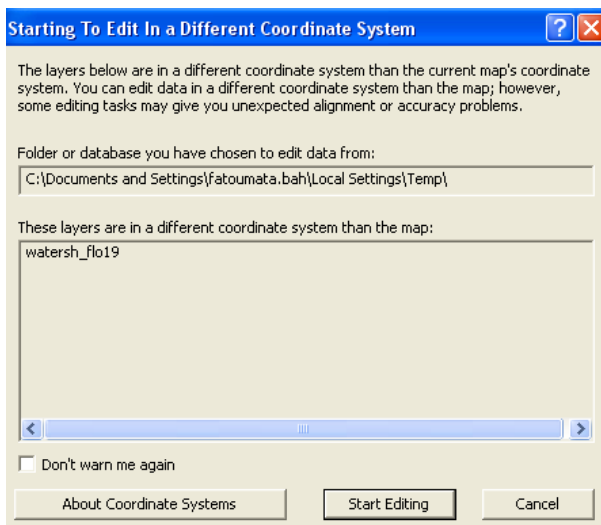


Remarque : ce traitement peut parfois demander de légères modifications pour corriger des erreurs « d'écoulements »(zones vides).

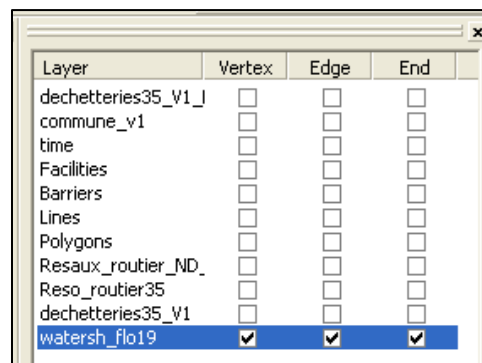


Cependant ces failles sont faciles à corriger sur ArcGis avec la fonction Edit

1. Activer la fonction edit dans la barre d'outil/Start to Edit/ choisir la bonne couche/ modify feature



2. Activer également dans la barre d'outil le snapping pour que la topologie reste correcte /donc cocher des cases de vertex, Edge et de End.

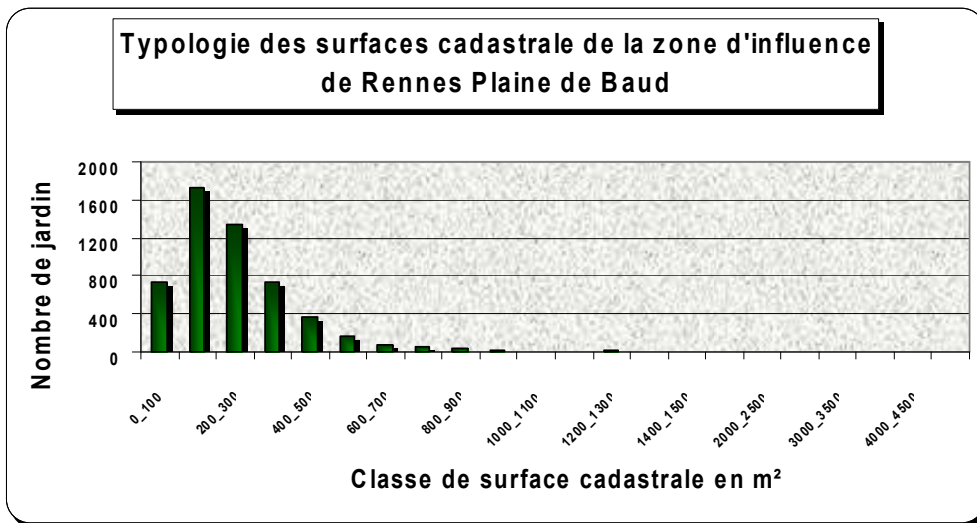
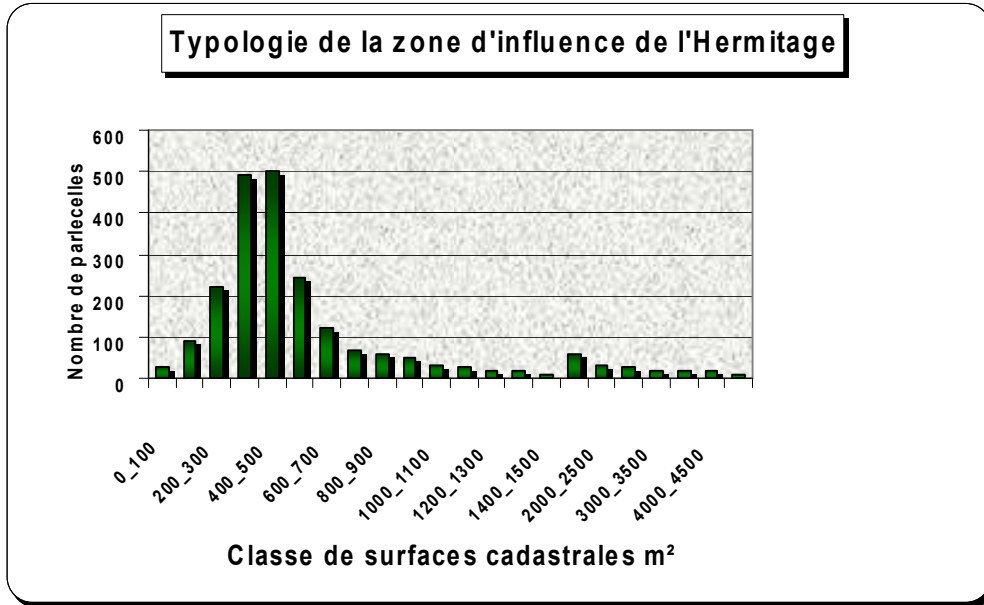


3. Procéder au collage de couche pour avoir une couche ferme

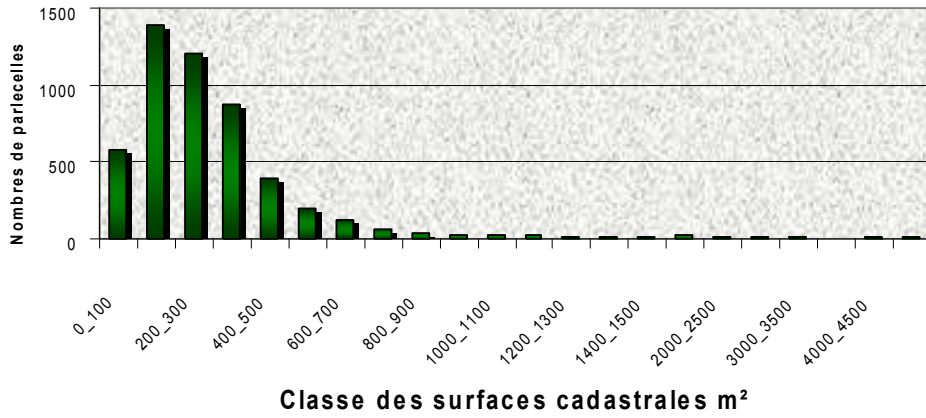


La couche géographique des zones d'influence des déchèteries est maintenant créée. Des analyses SIG peuvent maintenant être réalisées (calcul des surfaces de chaque zone d'influence, évaluation des communes contribuant le plus aux déchèteries, zones vertes par zone d'influence etc.).

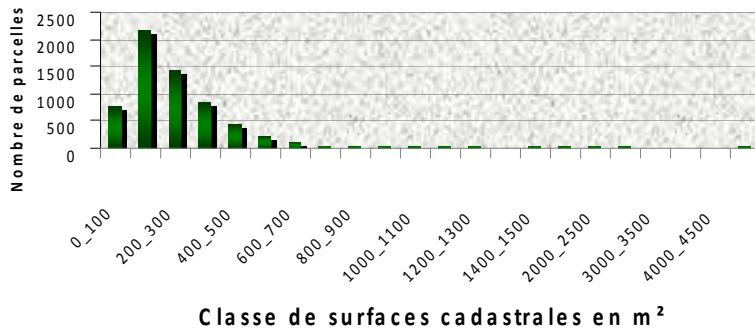
II. Typologies des surfaces cadastrales des zones d'influence



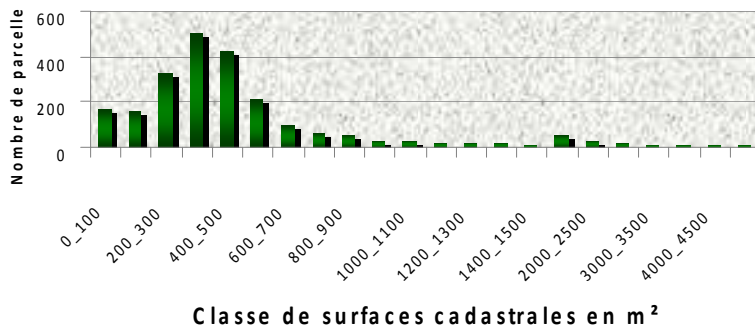
Typologie des surfaces cadastrale de la zone d'influence de Rennes Villejean



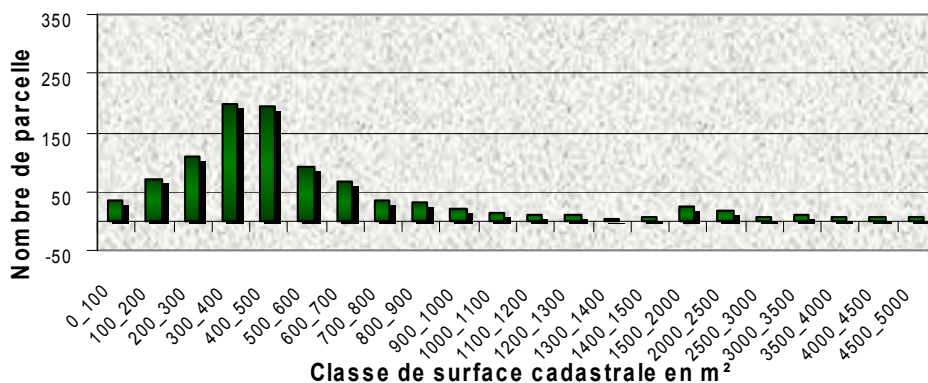
Typologie des surfaces cadastrale de la zone d'influence de Rennes Les-Boëdriers



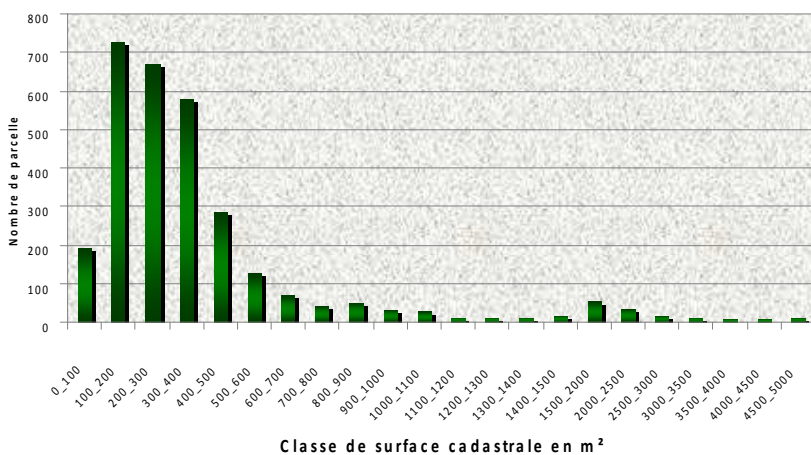
Typologie de la zone d'influence de Saint-Jacques-de-la-Lande



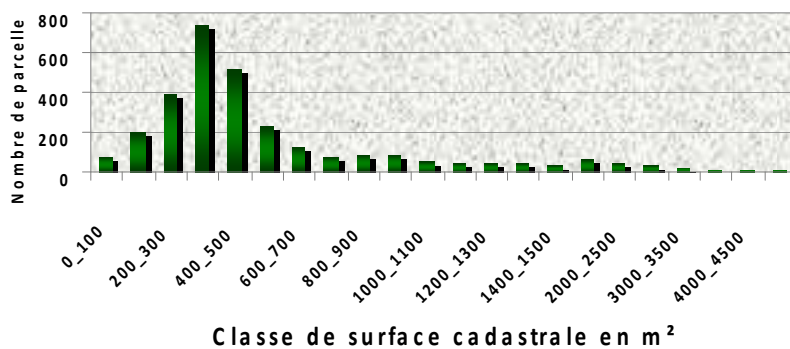
Typologie de la zone d'influence de Saint-Gilles



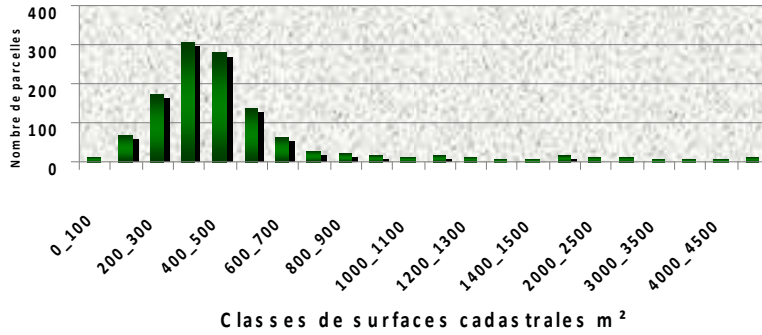
Typologie de la zone d'influence de Chantepie



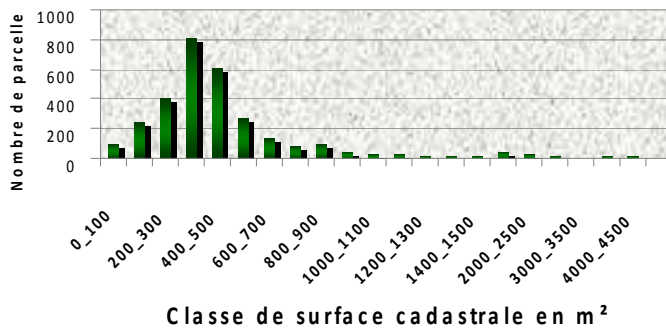
Typologie de la zone d'influence de Thorigné-Fouillard



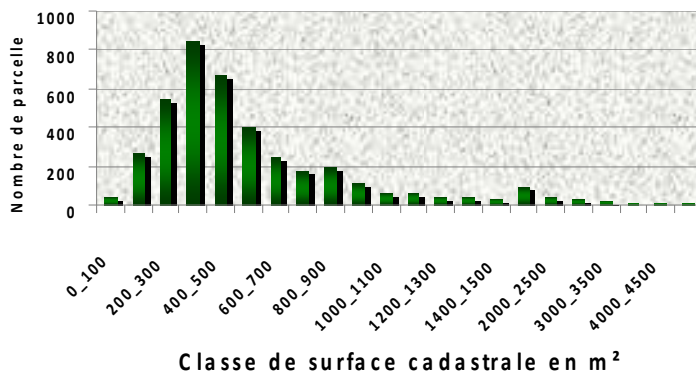
Typologie cadastrale de la zone d'influence de Vezin-le-Coquet



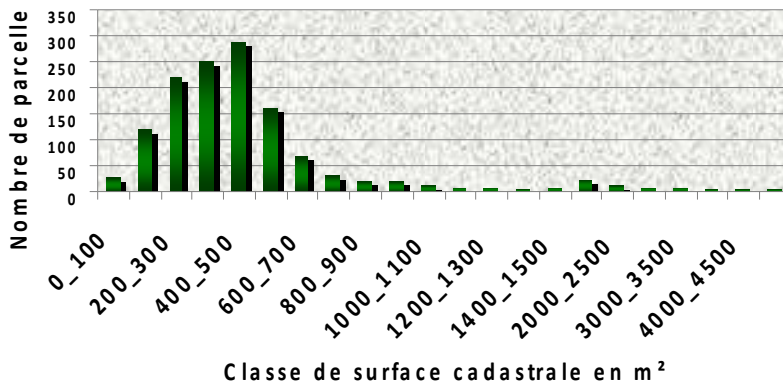
Typologie de la zone d'influence de Chartre de Bretagne



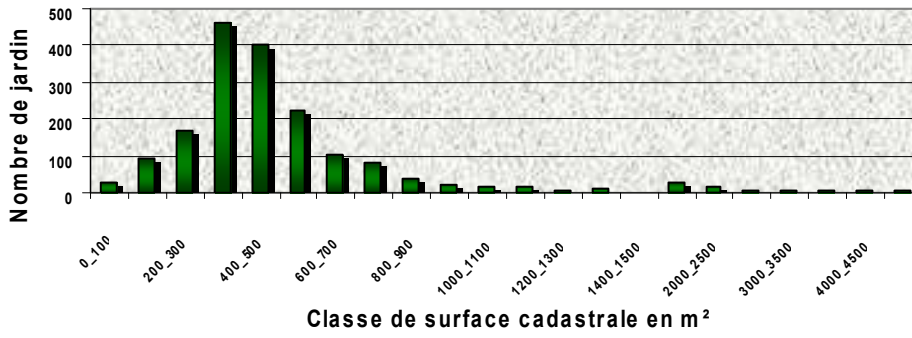
Typologie de la Zone d'influence de Betton



Typologie de la zone d'influence du Rheu



Typologie des surfaces cadastrales de la zone d'influence de Pacé



III. Projet de simulations en SIG avec l'application de la méthode Net-Drain.

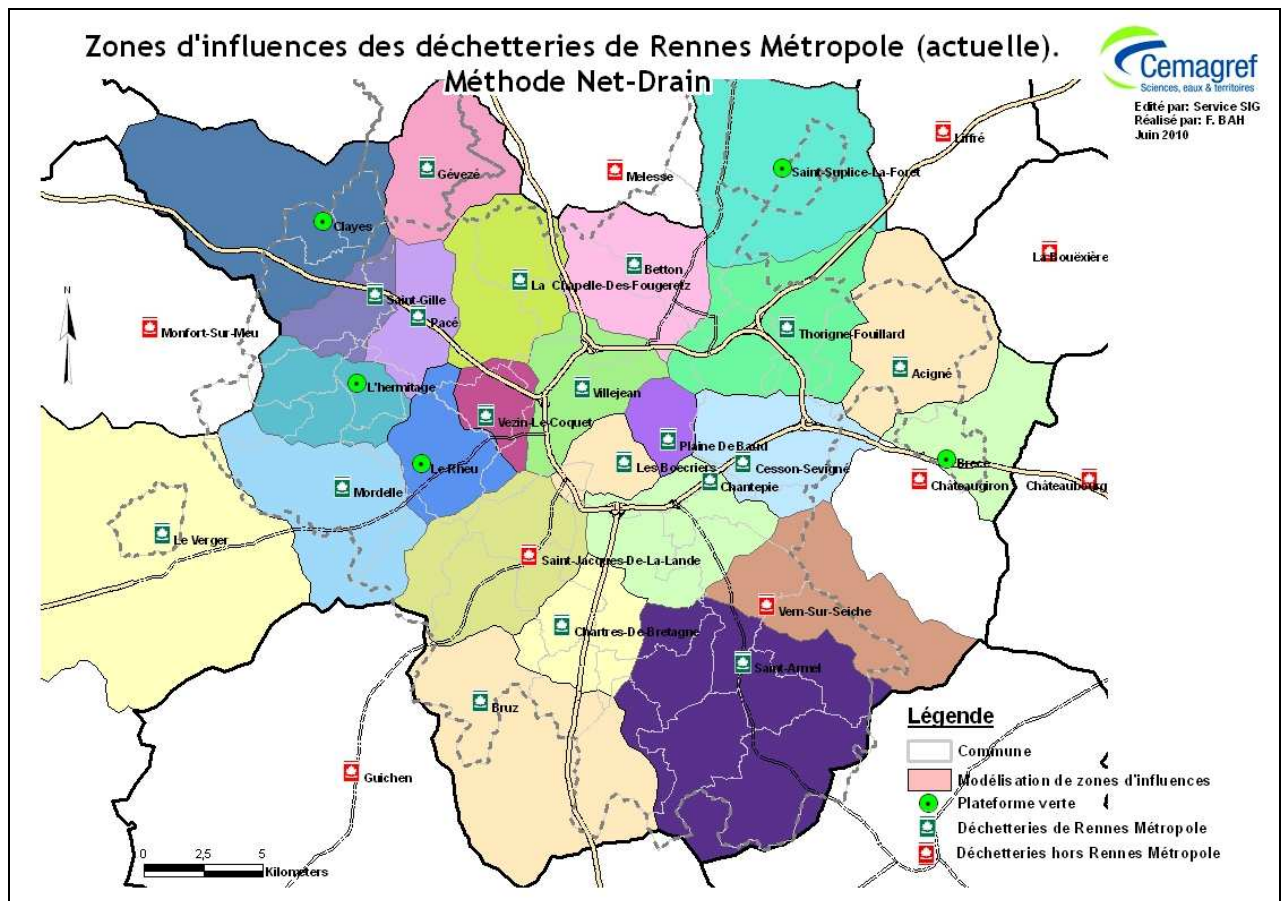
I. Introduction

La modélisation est une reproduction artificielle d'un phénomène complexe, d'une variation d'un système, voire d'un avenir possible à l'aide de modèles numériques, mathématiques ou physiques. Le résultat observé diffère en fonction des paramètres pris en compte dans les simulations. La simulation en SIG est utilisée dans des outils d'aide à la décision. Elle permet d'exploiter tant des phénomènes géographiques que des variables plus économiques ou sociales, en vue de réaliser des analyses, tester les conséquences ou les impacts de différents scénarios, chercher des solutions à des problématiques. L'utilisation d'un outil SIG permet de réaliser des modèles de simulation à partir des données attributaires et des données géo référencées dans le logiciel pour permettre une analyse spatiale du problème posé.

Dans notre cas, la simulation consiste à déterminer des zones d'influences des déchèteries de Rennes Métropole par la méthode de modélisation « Net-Drain ». Cette méthode, développée au Cemagref permet de prendre en compte les spécificités du réseau routier (temps d'accès, vitesse). Ainsi, la proximité aux voies d'accès rapides ou, à l'inverse les zones limitées à 50 km/h, influencent le zonage. Cette méthode est développée à partir du SIG Arcgis et des extensions Network Analyst et Spatial Analyst. Les déchetteries sont considérées comme étant accessibles à tous quelles que soient les communes où résident les usagers.

Plusieurs scénarios sont testés pour montrer le découpage du territoire associé à chaque déchèterie de notre zone d'étude en fonctions de plusieurs hypothèses.

La carte ci-dessous représente le découpage des zones d'influences des déchèteries de Rennes tel qu'il est actuellement.

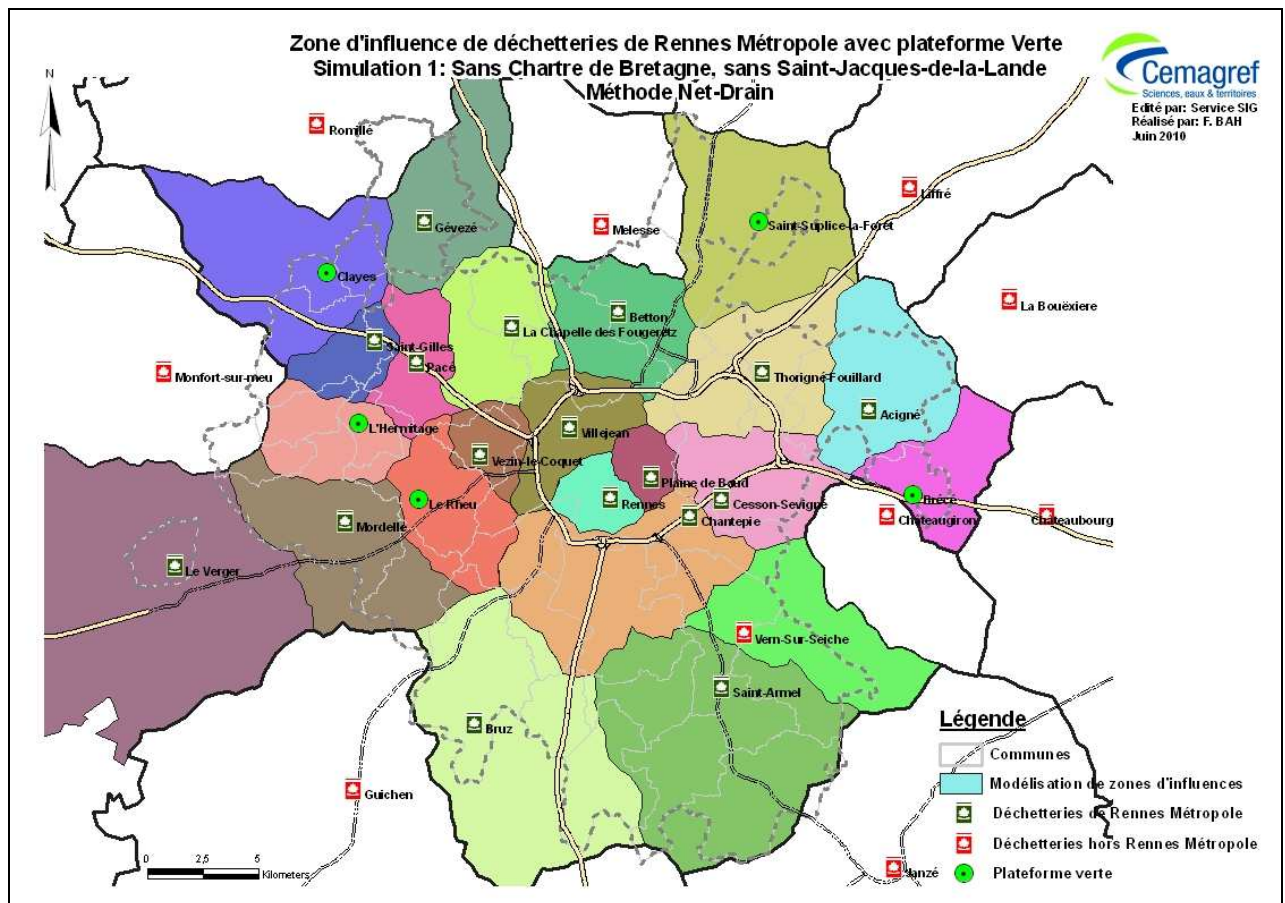


II. Simulations

La mise en place d'une simulation prend en compte les préoccupations et les futures implantations pressenties par le Service objectifs des gestionnaires selon l'espace. La simulation intervient donc dans la phase de réflexion du projet, en amont de réelles décisions ou réalisations. Dans notre étude, six scénarios seront testés, avec pour chaque cas, une modélisation du territoire associé à chaque déchèterie.

Scenario 1

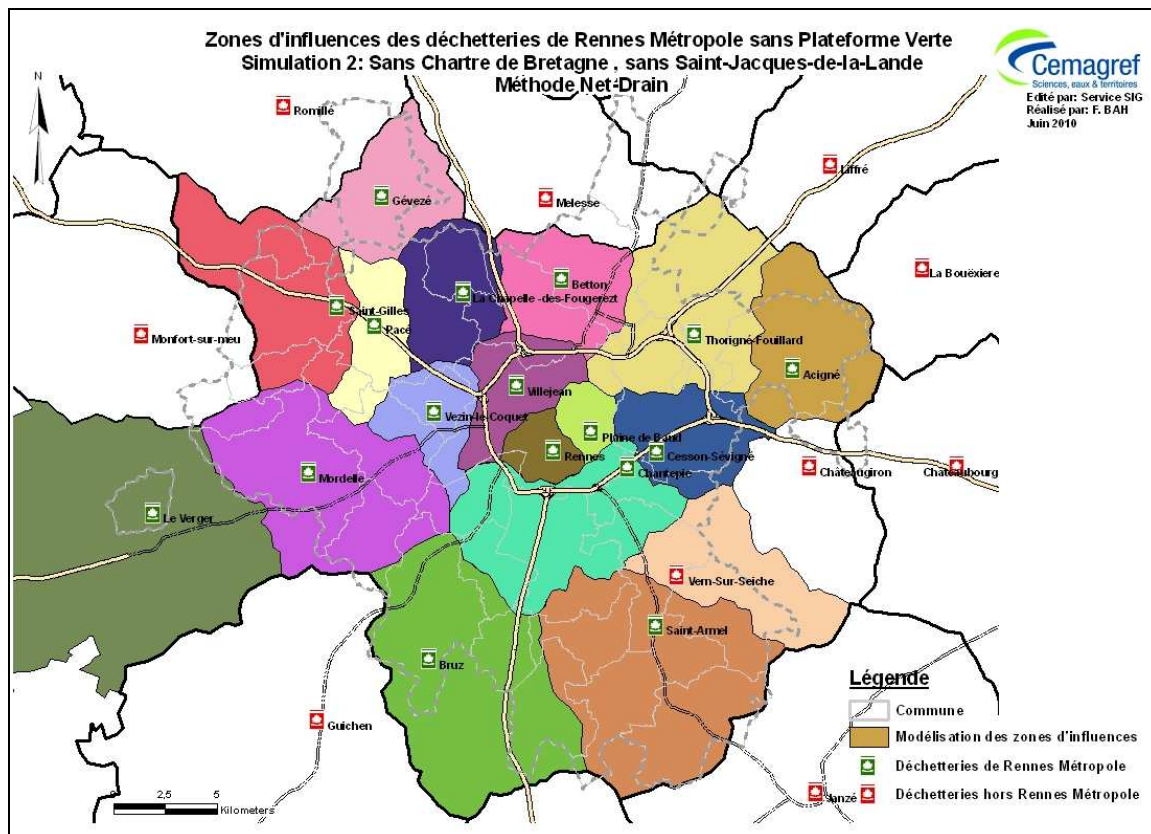
Le scénario 1 consiste à supprimer les déchèteries actuelles de Chartre de Bretagne et de Saint Jacques-de-La-Landes qui sont susceptibles d'être fermées et de faire la simulation de découpage de zones d'influences des déchèteries en incluant les plateformes vertes de Rennes Métropole. La carte ci-dessous représente ce scénario 1.



Le résultat du découpage nous montre qu'en supprimant les déchèteries de Chartre de Bretagne et de Saint Jacques-de-La-Landes, c'est la déchèterie de Chantepie qui agrandirait sa zone d'influence. Etant située à proximité de la rocade, il semblerait qu'elle soit plus facile d'accès que la déchèterie de la Plaine de Baud situé dans Rennes.

Scenario 2

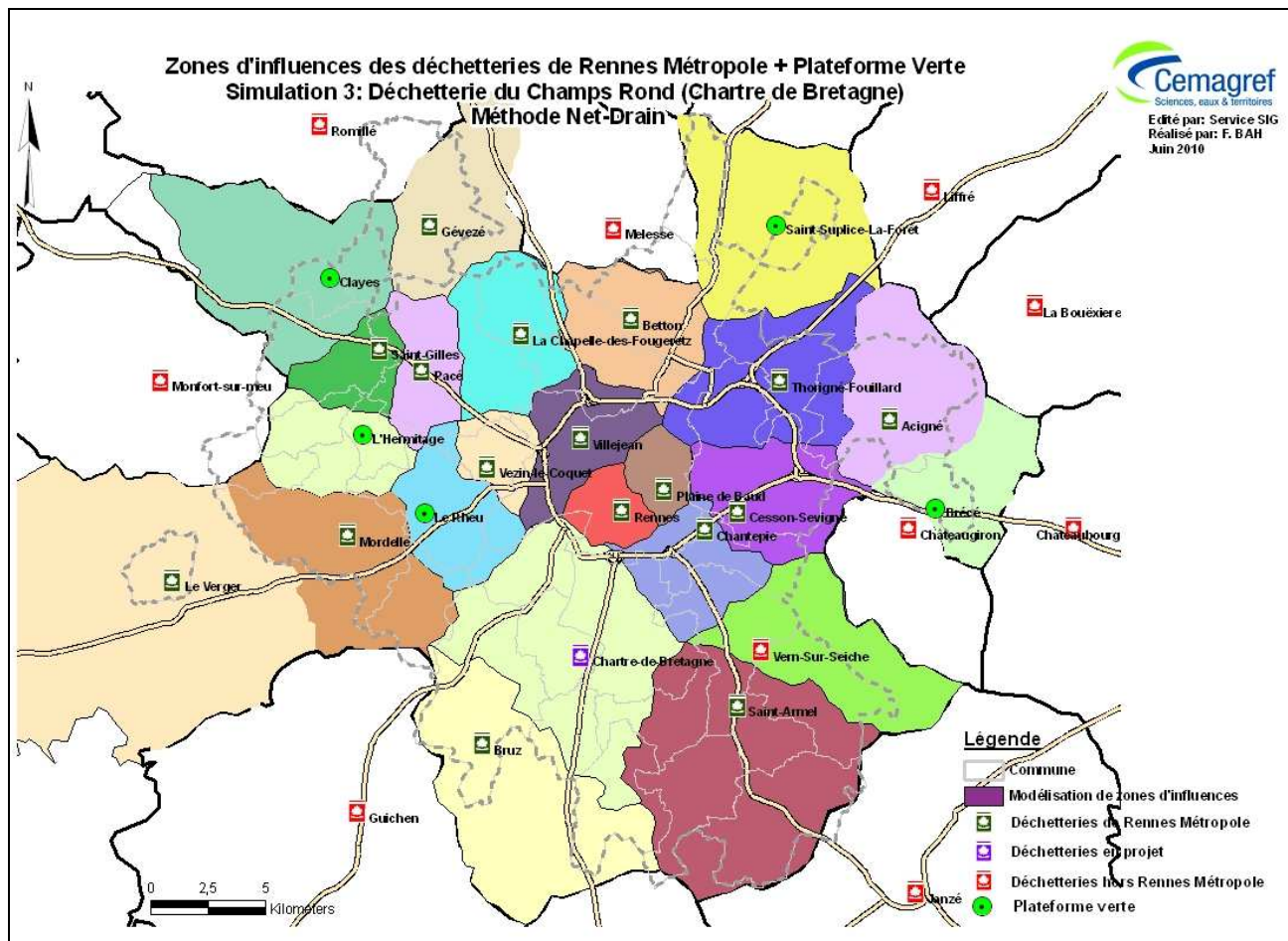
Le scénario 2 consiste également à supprimer les déchèteries actuelles de Chartre de Bretagne et de Saint Jacques-de-La-Landes. La différence entre le scénario 1 et celui-ci sera marquée par le fait qu'on va modéliser les zones d'influence sans tenir compte des plateformes vertes.



Les mêmes observations que pour le scénario 1 peuvent être faites concernant l'élargissement de la zone d'influence de Chantepie consécutivement à la suppression des déchetteries de St-Jacques-de-la-Lande et de Chartres de Bretagne. La modélisation sans les plateformes vertes montre une réattribution des territoires aux déchetteries les plus proches. La zone d'influence de Chantepie reste inchangée entre les scénarios 1 et 2.

Scenario 3

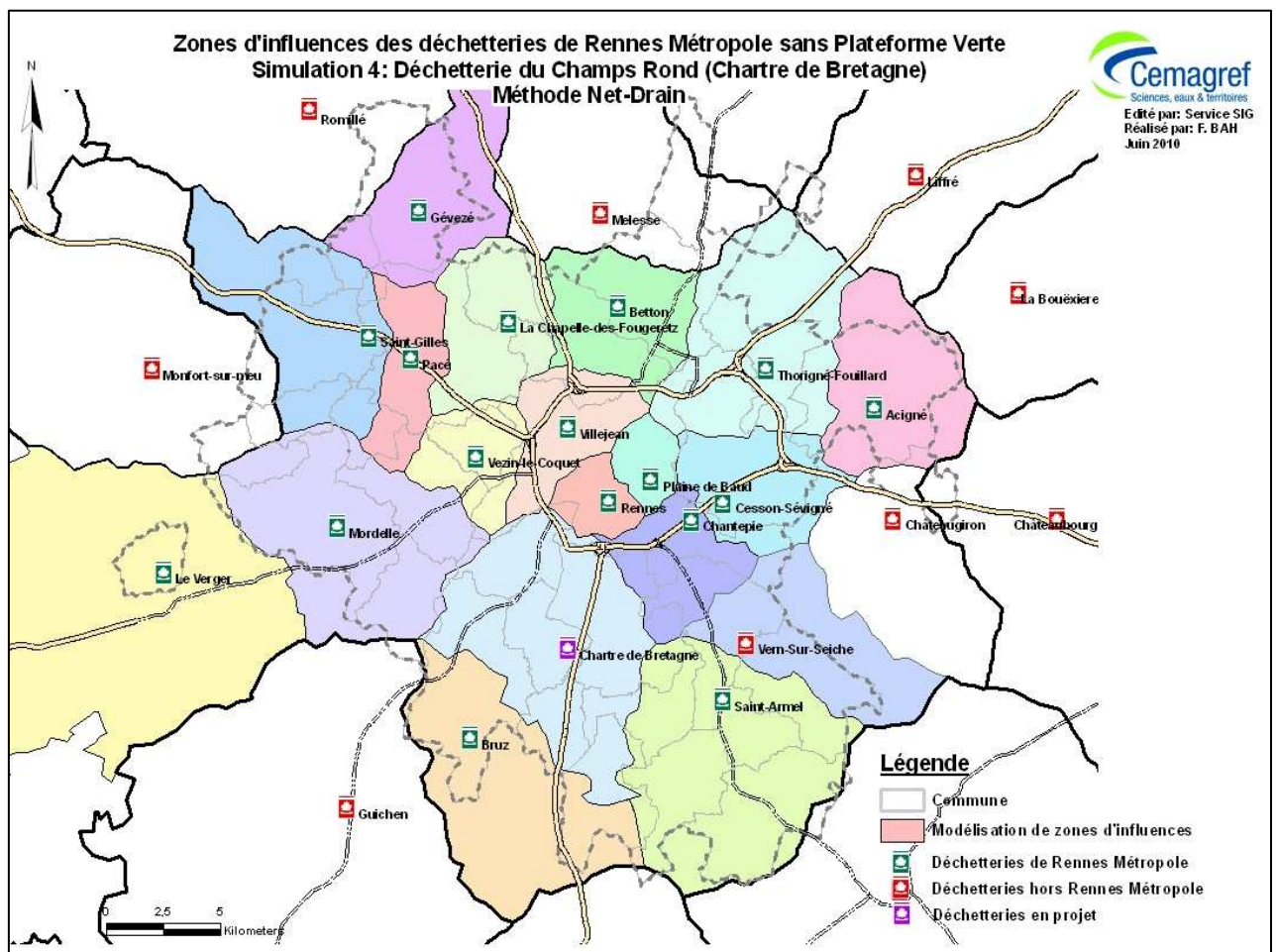
La simulation du scénario 3 consiste non seulement à supprimer les déchetteries actuelles de Chartres-de-Bretagne et de Saint Jacques-de-La-Landes mais aussi à simuler une nouvelle implantation, jugée possible par Rennes Métropole. Le lieu pressenti est situé à Chartres-de-Bretagne au lieu-dit « Champ Rond ». La carte ci-dessous représente donc le découpage des zones d'influences des déchetteries de Rennes Métropole avec cette nouvelle déchèterie en incluant les plateformes vertes.



Logiquement, la zone d'influence de Chartrepie devient plus réduite par rapport au scénario 1 et retrouve un territoire similaire à la situation actuelle. Toujours en comparaison de la situation actuelle, il est intéressant de noter que la zone d'influence de cette nouvelle implantation représente le double des surfaces des zones d'influences actuelles de St-Jacques et Chartres réunies (67,7km² pour la nouvelle implantation contre 34,1km² pour la situation actuelle). Ceci dénote un emplacement judicieux si on souhaite favoriser cette nouvelle implantation. On note également une extension du territoire de la zone d'influence vers le Sud par rapport à la situation actuelle, ce qui aurait pour effet prévisible de diminuer les apports dans les déchetteries de Bruz et Saint-Armel. Il faut néanmoins nuancer cette observation compte-tenu des habitudes déjà prises par les habitants se rendant aux déchetteries de Bruz et Saint-Armel, qui ne vont pas forcément changer de comportement.

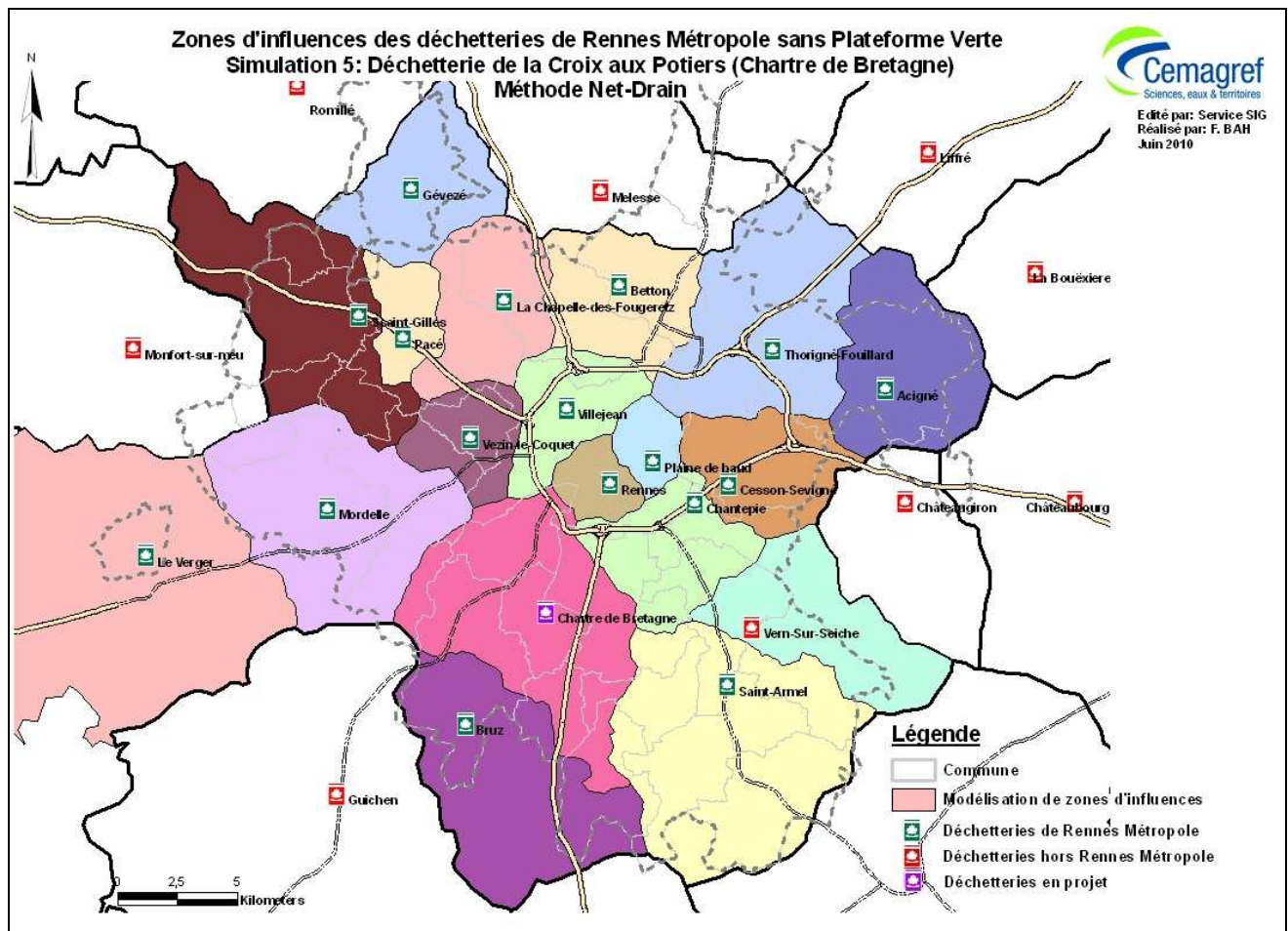
Scenario 4

Le scénario 4 est identique au scénario 3 mais sans les plateformes vertes. Les mêmes observations peuvent être notées concernant la nouvelle implantation à Chartres de Bretagne.



Scenario 5

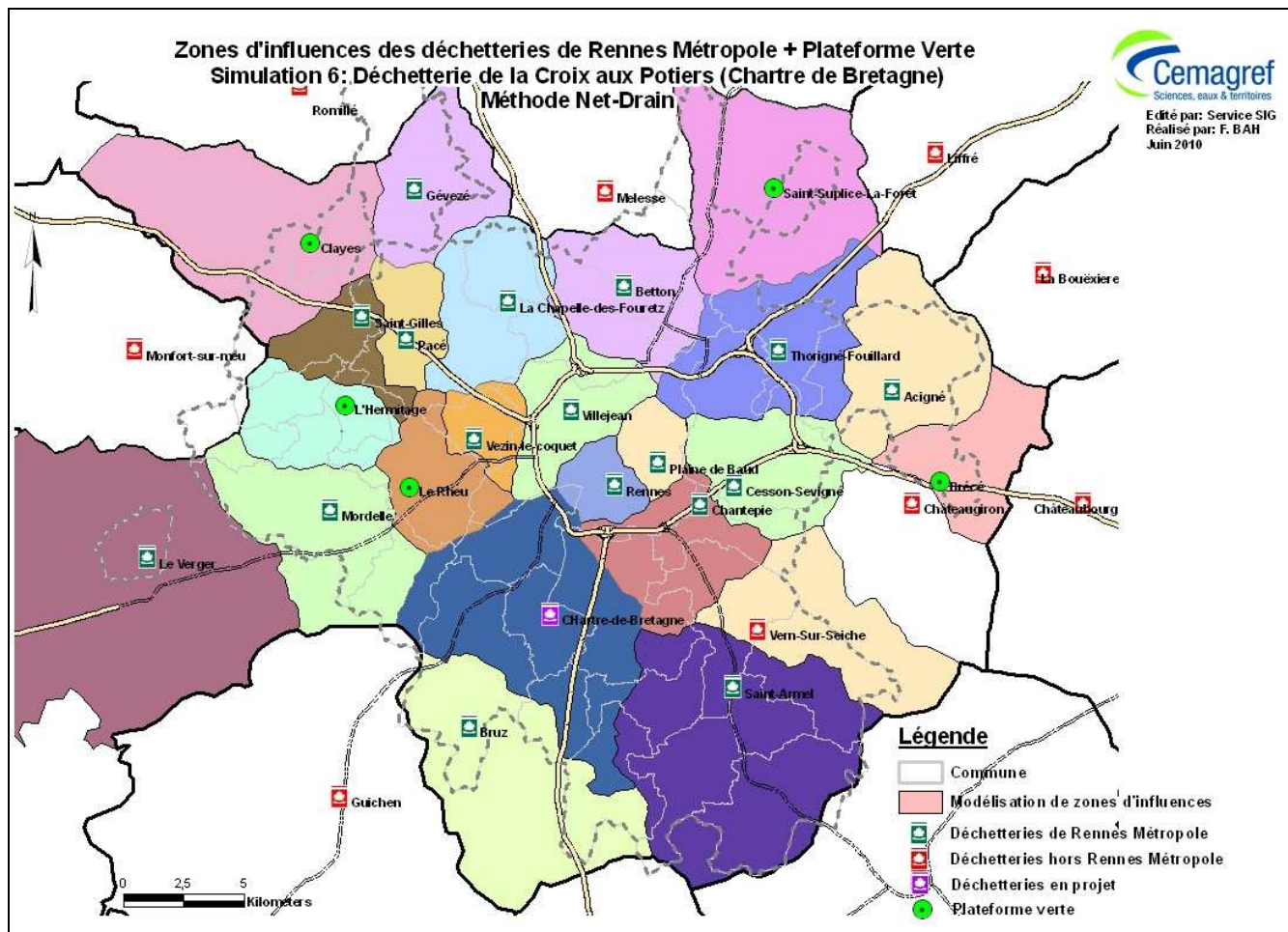
La simulation du scénario 5 est semblable à celle du scénario 3 mais le lieu de la nouvelle implantation est légèrement différent. Dans ce scénario on va implanter une nouvelle déchèterie à Chartres-de-Bretagne également mais au lieu-dit « La Croix aux Potiers ». La carte ci-dessous représente donc le découpage des zones d'influences des déchèteries de Rennes Métropole avec cette nouvelle déchèterie et avec les plateformes vertes.



La surface de la zone d'influence de ce scénario est semblable à celle du scénario 3 (respectivement 67,7 km² et 66,9 km²). Les mêmes observations que pour le test avec l'implantation aux Champs Rond peuvent être faites. Les simulations effectuées ne montrent pas de différences majeures entre les 2 implantations présentées.

Scénario 6

La simulation du scénario 6 est identique à la précédente mais sans les plateformes vertes.



Conclusion

Il est intéressant de constater que les résultats obtenus pour les 2 implantations possibles ne montrent pas de différences significatives. Cela s'explique par le fait que les deux adresses d'implantation sont proches et accessibles de la même façon. D'autres critères autres que géographiques peuvent donc être envisagés afin de faire un choix. Par ailleurs, l'une ou l'autre de ces implantations potentielles montre une zone d'influence nettement supérieure aux 2 implantations réunies actuelles de St-Jacques et de Chartres, ce qui démontre un choix judicieux pour une nouvelle implantation située aux lieux-dits « Champs ronds » ou « Croix aux Potiers ».

La simulation par analyse spatiale est donc un outil intéressant et permet la gestion prévisionnelle ainsi que la prise de décision. Néanmoins, ces résultats sont à prendre avec précaution car les simulations effectuées font l'hypothèse de changement de comportement immédiat des usagers, sans tenir compte des habitudes déjà prises. Si une déchetterie future est à promouvoir, il faudra sans doute envisager une communication adaptée afin de faire prendre conscience aux usagers les avantages d'une nouvelle implantation.

IV. Méthode de délimitation de la zone d'étude

Exploitation du cadastre : type des bâtiments à la parcelle

Description du traitement

version 1.0 – 30 mars 2010

Maël REBOUX
m.reboux@agglo-rennesmetropole.fr

Tables des matières

Tables des matières	1
Introduction	2
1/ A propos du modèle de données	2
2/ Jeux de données sources	2
3/ Traitement	2
1/ Attributs utiles au traitement	2
2/ Construction d'un code de parcelle unique	3
3/ Mappage des codes du type de bâtiment	3
4/ Dédoublonnage	3
5/ Création des attributs de typage	4
6/ Fin / nettoyage	4
4/ Exploitation	5

Introduction

Ce traitement a été réalisé dans le cadre d'une étude menée par le CEMAGREF en partenariat avec le service de Valorisation des Déchets Ménagers (SVDM) Rennes Métropole.

Il consiste à déterminer, pour chaque parcelle cadastrale, le type de bâtiment que supporte cette parcelle.

Il n'est pas possible de connaître cette information au bâtiment car le modèle de données du PCI vecteur¹ n'a pas été conçu pour « gérer » les informations sur les bâtis. Il n'est donc pas possible d'obtenir une carte avec, sur une même parcelle, un bâtiment représentant une dépendance et un bâtiment représentant une maison d'habitation.

Le typage du (des) bâtiments est donc ramené à la parcelle cadastrale et non au bâtiment.

1/ A propos du modèle de données

Afin de faciliter l'exploitation des données cadastrales, Rennes Métropole utilise les logiciels de la société ImaGIS. Le service SIG traite donc le PCI vecteur et les fichiers Majic afin de les convertir dans le modèle de données « ImaCAD ».

Dans ce modèle, le fichier « BATI » de Majic3 est « éclaté » entre plusieurs tables. Cependant, pour le traitement qui nous intéresse, la totalité des informations se retrouvent dans la table « dgi_bat ».

On fera donc un raccourci en disant que « BATI » (Majic3) = « dgi_bat » (ImaCAD).

2/ Jeux de données sources

Les jeux de données sources sont restreints car on utilise uniquement le fichier « BATI » issu du lot de données « Majic3 » transmis par la Direction Générale des Finances Publiques (DGFIP) à Rennes Métropole.

Rennes Métropole ne garantit pas la fiabilité des informations contenues dans les fichiers « Majic3 ».

3/ Traitement

Le traitement décrit ci-dessous a été réalisé avec le logiciel « ETL »² FME de la société Safe Software. Cependant, la description décrit les étapes « logiques » et peuvent donc être réalisées manuellement ou reconstituées par génie logiciel (autre logiciel ETL ou par programmation).

1/ Attributs utiles au traitement

La table « dgi_bat » contient un grand nombre de champs dont seuls 5 nous sont utiles. On ne retient donc que les 5 champs suivants :

¹ PCI = Plan cadastral Informatisé

² Extract Treat and Load

<input type="checkbox"/>	CODCOMM	Code de commune	350051
<input type="checkbox"/>	CCOPRE	Préfixe de section	(vide)
<input type="checkbox"/>	CCOSEC	Section	AD
<input type="checkbox"/>	IDPAR	Identifiant de parcelle (section + numéro)	__AD0145
<input type="checkbox"/>	TYPE	Code du type de local	1

2/ Construction d'un code de parcelle unique

On commence par recréer un code de parcelle unique afin de pouvoir ultérieurement faire une jointure attributaire avec la « couche » géographique des parcelles.

Dans la plupart des cas, il suffit de concaténer les champs :

CODEIDENT = CODCOMM & IDPAR

Mais ce traitement ne suffit pas dans le cas de communes issues de la fusion de une ou plusieurs communes (C'est le cas pour une commune de l'agglomération). En ce cas, il faut réaliser un traitement plus « lourd » en prenant un compte le préfixe de section.

3/ Mappage des codes du type de bâtiment

L'opération suivante consiste à remplacer le code du type des bâtiments par leur équivalent littéral.

L'information provient de la documentation fourni par la DGFIP :

2.3.2 Tableau des codes "Type de local"

DTELOC	Signification
1	Maison
2	Appartement
3	Dépendances
4	Local commercial ou industriel
5	DOM = maison dans descriptif
6	DOM = appartement sans descriptif
7	DOM = dépendance sans descriptif
8	Locaux de groupe 4 : évaluation tarifaire (non présente depuis 94)

On en retient que les types 1, 2, 3 et 4.

Cette opération n'est pas indispensable mais apporte du confort dans les traitements, pour le contrôle.

4/ Dédoublonnage

Une parcelle pouvant contenir, par exemple, plusieurs appartements, il n'est pas utile de conserver les enregistrements en trop. Seule l'information « cette parcelle contient au moins un appartement » est utile.

On va donc créer un identifiant unique en concaténant le code de parcelle et le type de bâtiment sur lequel on procédera à un dédoublonnage.

Il n'est pas utile de conserver ce champ après traitement.

5/ Création des attributs de typage

Pour chacun des types suivants on va créer un champ correspondant. La table attributaire doit donc ressembler à ceci :

<input type="checkbox"/>	CODCOMM	Code de commune	350051	
<input type="checkbox"/>	CODEIDENT	Identifiant unique de parcelle	350051	AD0145
<input type="checkbox"/>	MAISON	indique si la parcelle supporte une maison		oui
<input type="checkbox"/>	APPART	indique si la parcelle supporte un appartement		non
<input type="checkbox"/>	LOCAL	indique si la parcelle supporte un local industriel ou commercial		non
<input type="checkbox"/>	DEPENDANCE	indique si la parcelle supporte une dépendance		oui

L'exemple ci-dessus illustre le cas où une parcelle abrite une maison et une dépendance.

6/ Fin / nettoyage

Pour terminer, on peut trier sur le code de parcelle.

En sortie du traitement, il est produit un fichier permettant une jointure attributaire dans le logiciel SIG de son choix.

4/ Exploitation

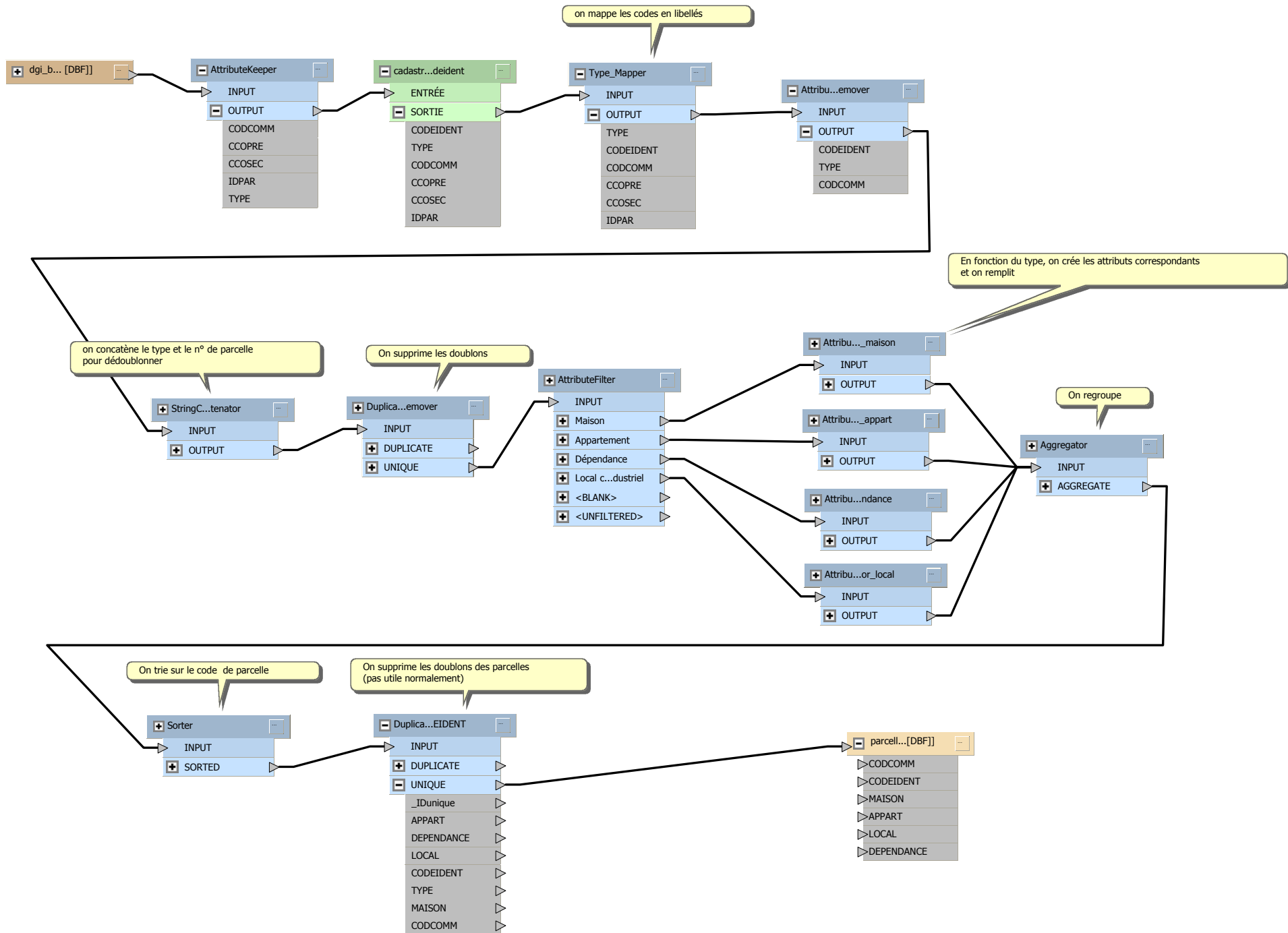
Afin de cartographier la table obtenue par le traitement, il suffit de réaliser une jointure entre le champ « CODEIDENT » de la couche géographique « parcelle » et le champ « CODEIDENT » du fichier précédemment obtenu.

Exemple de rendu :

- vert = maison
- orange = appartement
- mauve = local industriel ou commercial



CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref



Références Bibliographique

Actu-Environnement. *Dictionnaire Encyclopédique*. [En ligne].
http://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/machefer.php4

ADEME, septembre 2004. *La gestion des déchets organiques en Franche-Comté, synthèse*. Ademe, 5p. Rapport Ademe.

ADEME, 22 janvier 2007. *Plan national de soutien au compostage domestique, qualification « compostage domestique »*. Ademe, 7p. Rapport Ademe.

ADEME, DDS, DGBS, 22 janvier 2007. *Plan national de soutien au compostage domestique*. Ademe 12p. Rapport Ademe.

ADEME, mai 2007. *Compostage domestique, une idée fertile pour des déchets utiles*. Ademe 6p. Rapport Ademe.

ADEME, décembre 2007. *La collecte des déchets par le service public en France, résultats année 2005*. Ademe 22p. Rapport Ademe.

ADEME, Angers. 2007. *Les déchets en chiffres, données et références*. Ademe, 14p. Rapport Ademe, Angers.

ADEME. *L'Ademe en régions – Nos délégations régionales*. [En ligne].
<http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=12430&v=yes>

ADEME. *Domaines d'interventions – Déchets*. [En ligne]
<http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=12614>

(Pages consultées régulièrement au cours du stage)

Brunet (R.), *La carte mode d'emploi*, Paris, Fayard, 1987.

Brunet R., Ferras R., Théry H. (1992) – *Les mots de la géographie ; dictionnaire critique*. Paris : GIP RECLUS, La Documentation Française. - 470 pages.

Bavoux, Jean-Jacques, (dir.) , *Introduction à l'analyse spatiale*, coll. Synthèse géographie, Armand Colin, Paris, 1998, 96 p.

David B. (1991) – *Modélisation, représentation et gestion d'information géographique. Une approche en relationnel étendu*. – Thèse de doctorat, Université Paris 6, Informatique, Institut Géographique National – COGIT. - 215 pages.

Martin (D.), *Geographic Information System - Socioeconomic application*, London, Routledge, 1996, 210 p.

Pumain, Denise, saint Julien, Thérèse, (2001), *L'analyse spatiale*, Armand Colin, Coll. Cursus, Paris, 167 p.

Pumain D. et Saint-Julien T., 1997 : *L'analyse spatiale*. Armand Colin, Coll. Cursus, Paris, 167 pages.

Sanders L. et Durand-Dastes F., 1985 : *L'effet régional : les composantes explicatives dans l'analyse spatiale*. GIP RECLUS, Montpellier, 48 pages.

Le Grenelle Environnement. *Synthèse*. [En ligne]. <http://www.legrenelleenvironnement.fr/grenelle-environnement/IMG/pdf/SyntheseDechets.pdf>.

LEICA GEOSYSTEMS, octobre 2007. Erdas Field Guide, volume one. USA, 444p.

LEICA GEOSYSTEMS, octobre 2007. Erdas Field Guide, volume two. USA, 378p.

MAILLARD H., juillet 2007. *Etude de la répartition des déchetteries et de l'habitat sur la gestion des déchets verts des ménages à l'échelle de plusieurs communes*. Rapport de Master 2 CGEFC. Université de Nantes. 85p.

Martin (D.), *Geographic Information System - Socioeconomic application*, London, Routledge, 1996, 210 p.

Pumain, Denise, saint Julien, Thérèse, (2001), *L'analyse spatiale*, Armand Colin, Coll. Cursus, Paris, 167 p.

Pumain D. et Saint-Julien T., 1997 : *L'analyse spatiale*. Armand Colin, Coll. Cursus, Paris, 167 pages.

Sanders L. et Durand-Dastes F., 1985 : *L'effet régional : les composantes explicatives dans l'analyse spatiale*. GIP RECLUS, Montpellier, 48 pages.

Rousseau C. , mars_août 2008. *Connaître son territoire pour adapter la gestion des déchets verts des ménages (Apport du SIG et de la télédétection)*. Rapport de Master UCO.57p.

Résumé

En France, la réduction de déchets est une priorité pour des raisons environnementales et économiques, préoccupation qui s'est renforcée depuis l'élan donné par le Grenelle de l'Environnement. Les ordures ménagères résiduelles représentent en 2007 plus de la moitié du gisement collecté et les déchetteries occupent le second poste de la collecte avec en moyenne 182 kg/hab/an (ADEME, 2009, Les déchets en chiffres en France). Parmi les déchets collectés en déchetteries, les biodéchets et déchets verts représentent près du quart des quantités apportées. La gestion des déchets verts des ménages occupe une part importante dans les actions de réduction des déchets apportés en déchetterie. Pour cela, il est nécessaire de mieux connaître les spécificités du territoire et les facteurs clés qui ont un rôle sur les flux de déchets verts. Rennes Métropole réalise une expérience pilote dans le cadre du projet Miniwaste qui implique plusieurs villes de l'union européenne afin de créer une méthode innovante de réduction des déchets verts des ménages qui soit transposable dans d'autres villes européennes. Pour mieux connaître les flux, des outils d'analyses spatiales (SIG et télédétection) sont utilisés. Ces outils permettent ainsi d'estimer des "surfaces vertes" des ménages par traitement de photographies aériennes et de cartographier les zones d'influence des déchetteries. L'objectif est de faciliter la prise de décision pour implanter une nouvelle déchetterie ou pour promouvoir le compostage individuel sur des secteurs clés.

Mots-clés : SIG, compostage, télédétection, déchets verts, aide à la décision

Logiciels utilisés : Arcgis, Network Analyst, Spatial Analyst, Erdas imagine

Abstract

In France, waste reduction is a priority for environmental and economic reasons; this awareness was increased by the “Grenelle de l'Environnement”. The residual household waste in 2007 represents more than half of the deposit in civic amenity centres and occupy the second position of the production with an average of 182 kg / person/ year (ADEME, 2009, *Les déchets en chiffres en France*). Green waste represents nearly a quarter of this production. The management of green waste from households is essential to reduce the volumes brought in civic amenity centers. For this it is necessary to better understand the specificities of the territory and the key factors that have a role on the management of green waste. Rennes Metropole carries a pilot project called Miniwaste which involves European cities. The aim is to create an innovative method to reduce household green waste. To know more about these fluxes, spatial analysis tools (GIS and remote sensing) are used. These tools enable to estimate the "green areas" from household and to map the influence zones of civic amenity centres. The objective is to facilitate decision-making to promote individual composting on key sectors or for the implementation of a new centre.

Keywords: GIS, composting, remote sensing, green waste, decision support tool.

Software used: Arcgis, Network Analyst, Spatial Analyst, Erdas imagine