L'analyse du métabolisme urbain: intérêt et limites pour l'évaluation de la durabilité de l'approvisionnement alimentaire d'un territoire ?

Le cas de Montpellier agglomération

Mémoire de recherche présenté par Lola Munuera Montero

Le 30 Septembre 2013

Pour l'obtention du :

Master recherche 2- A2D2

Agriculture, Alimentation et Développement Durable

Sous la direction de : Benoît Daviron

Septembre 2013

Sommaire

INTRODUCTION 1

1. DE L'ECOLOGICAL ECONOMICS" AU CONCEPT DE METABOLISME SOCIO-ECONOMIQUE 4

1.1 « ECOLOGICAL ECONOMICS » 5
1.1.1 LE PROCESSUS ECONOMIQUE ET L'ENTROPIE 8
1.2 LE METABOLISME SOCIO-ECONOMIQUE 12
1.2.1 L'ANALYSE DU METABOLISME SOCIO-ECONOMIQUE 13
1.3 IMPORTANCE DE L'ANALYSE DU METABOLISME URBAIN : CONNEXION « VISUELLE » ENTRE ECOSYSTEMES ET SYSTEMES SOCIO-ECONOMIQUES. 15
1.3.1 APPLICATIONS DE L'ANALYSE DU METABOLISME 17

2. LE METABOLISME URBAIN:METHODE D'ANALYSE DU METABOLISME SOCIO-ECONOMIQUE 21

2.1 LE METABOLISME URBAIN : CONNEXION ENTRE ECOSYSTEMES ET SYSTEMES SOCIOECONOMIQUES 23
2.1.1 PRINCIPALES METHODES POUR L'ANALYSE DU METABOLISME URBAIN 24
2.2 TRAVAUX EXISTANTS 26
2.3 L'ANALYSE DU METABOLISME LIE A L'ALIMENTATION 29
2.3.1 L'AZOTE 29
2.3.1.1 IMPORTANCE DE L'ANALYSE DES FLUX DE L'AZOTE 30
2.3.1.2 LES ETAPES DE LA CASCADE DE L'AZOTE 32

3. L'HERAULT ET MONTPELLIER AGGLOMERATION : UN CAS EXEMPLAIRE DU METABOLISME LINEAIRE ET DEFICITAIRE 33

3.1 OBJECTIF DE L'ETUDE, PERIMETRE ET ANNEE D'ETUDE 33
3.2 PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE LA REGION D'ETUDE 34
3.2.1 CONTEXTE DEMOGRAPHIQUE 34
3.2.2 CONTEXTE SOCIOECONOMIQUE 39
3.2.3 PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES TERRITOIRES D'ETUDES 41
3.3 RESULTATS 44
3.3.1 FLUX 47
3.1.2 BILAN DES FLUX GENERAL LIE A L'ALIMENTATION ET AGRICULTURE 57
3.1.3 BILAN DE FLUX D'AZOTE 59

CONCLUSION 63

ANNEXES 65

BIBLIOGRAPHIE 73

Table des figures

Figure 1 Concept de "Ecological Economics" 8
Figure 2 Evolution de l'entropie qui circule à travers du système socio-économique 10
Figure 3 Différences entre profile métabolique des régimes socio écologiques agraire et industriel 12
Figure 4 Bilan de matières brutes, Île de France, 2003, kt (t) 13
Figure 5 Méthodes de recherches pour analyser le métabolisme des systèmes socio-économiques 16
Figure 6 Analyse du métabolisme: modèle 17
Figure 7 Représentation du métabolisme durable de la ville de Toronto Port Lands 20
Figure 8 Evolution des modèles du processus qui décrivent le métabolisme 22
Figure 9 Le concept de métabolisme urbain 23
Figure 10 Symboles des circuits d'énergie en interaction avec l'écosystème 25
Figure 11 Représentation schématique du cycle de vie d'un produit 25
Figure 12 Le métabolisme de Bruxelles, Belgique au début de 1970 26
Figure 13 Chronologie des études du métabolisme urbain 28
Figure 14 Schéma du circuit de l'azote 30
Figure 15 Le cycle global de l'azote préindustriel et actuel 31
Figure 16 Périmètre de Montpellier Agglomération/ Surface en espaces vertes 33
Figure 17 La communauté d'agglomération de Montpellier et son aire urbaine 36
Figure 18 la croissance montpelliéraine dans son contexte départementale 37
Figure 19 Evolution de l'urbanisation de Montpellier Agglomération 38
Figure 20 Evolution de l'urbanisation d'une partie de Montpellier 38
Figure 21 Espaces d'intensité urbaine potentielle actuels 38
Figure 22 Répartition des espaces de Montpellier agglomération 42
Figure 23 Les unités agro physionomiques de Montpellier Agglomération 42
Figure 24 Evolution de la disponibilité alimentaire France kg/hab/an 48
Figure 25 Extraction locale utilisée en France, 1990-2010, millions de tonnes 49
Figure 26 Nombre des hectares boisés dans l'Hérault entre 1974-2007 50
Figure 27 Image des espaces boisés de l'Hérault 50
Figure 28 Provenances des fruits et légumes %, 2006, Hérault 53
Figure 29 Provenances des céréales et produits animaux %, 2006, Hérault 54
Figure 30 Emission de gaz à effet de serre, Hérault, 2006, kt **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 31 Emissions de gaz à effet de serre, 2006, Hérault 56
Figure 32 Bilan de matières brutes kt,(t), Hérault, 2006 58
Figure 33 Bilan de matières brutes kt, (t), Montpellier agglomération, 2006 59
Figure 34 Bilan des flux de l'azote dans l'Hérault 2006, kgN/km2/an 60
Figure 35 Bilan des flux de l'azote par habitant héraultais , 2006,kgN/hab/an 61
Figure 36 Evaluation des zones vulnérables par nitrates 62

Table des tableaux

Tableau 1 Différences des intercommunalités en France 35
Tableau 2 Variation de la population entre 1999-2006 37
Tableau 3 Population active en 2006 (personnes de 15 à 64 ans) 40
Tableau 4 Principales caractéristiques des territoires d'études 2006 41
Tableau 5 Production de céréales, légumes et fruits, Hérault, 2006, Ktonnes 49
Tableau 6 Taux d'évolution de boisement 50
Tableau 7 Récolte du bois, 2006,kt 51
Tableau 8 Bilan de biomasse, 2006, kt 51
Tableau 9 Bilan des flux de fruits, légumes, céréales, produits animaux, Hérault, 2006, kt 52
Tableau 10 Consommation d'eau en milliers de m3 54
Tableau 11 Emission de polluants atmosphériques et gaz à effet de serre, Hérault, 2006, kt 55
Tableau 12 Totalité des émissions dans l'Hérault 55
Tableau 13 Compost de produits organiques 57

Sigles et acronymes

AGRESTE: Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt
CORPEN: Comité d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses
DMC: direct material consumption
DMI: Direct Material Input
DRAAF : Direction régional de l'alimentation, de l'agriculture et de la foret du Languedoc Roussillon
EL: extraction locale
EUROSTAT: Detailed Statistics on the European Comission
Ex: exportation
FAOSTAT: Food and Agrculture Organization
FFOM: fractions fermentables d'ordures ménagères
GAEC : Groupements Agricoles d'Exploitation Collective
IFN: Inventaire de Foret National
INSEE: Institut National de la statistique et des études économiques
IPCC: Intergovernamental Panel on Climate Change
ISDND: Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux
ITOM: Installations de traitement d'ordures ménagères
MEDDTL: Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie
MSC : Marine stewardship council
N: Azote
ONCFS: office national de la chasse et de la faune sauvage
SAA: Statistique agricole annuelle
SAAA : systèmes agroalimentaires alternatifs
SCOT: Schéma de cohérence territoriale
SIMBOX: Computer program for the simulation of material, substance,energy and monetary flows in anthropogenic systems
SITRAM: système d'information sur le transport de marchandises
SOE: State of Environment
STAN: SubsTAnce flow Analysis
SUME: Sustanaible Urban Metabolism for Europe.
WWF: World Wildlife Fund for Nature

Avant- propos

Ce mémoire est le produit de mon stage de fin d'études du master 2-A2D2. Ce stage, d'une durée de cinq mois, a été réalisé dans le cadre du projet *Surfood* (Sustainable Urban Food Systems), coordonné par la Chaire Unesco - Alimentations du monde- en collaboration avec SupAgro.

Remerciements

Je souhaite remercier toutes les personnes qui m'ont aidé durant ce stage et sans qui la rédaction de ce mémoire n'aurait pas été possible.

Je remercie tout particulièrement Benoît Daviron pour sa disponibilité, son aide, ses conseils avisés et ses réflexions tout au long du stage.

Un grand merci également à l'ensemble de l'équipe du projet « SurFood » pour leur apport des connaissances.

Merci aussi à Gilles Billen pour ses conseils et son aide pour la réalisation du bilan d'azote.

Je souhaite également remercier tous les stagiaires du CIRAD et mes amis, Edgar, Naomi, Géraldine et Fernando Ramos, pour leur soutien moral et leur présence quotidienne.

Enfin un grand merci à ma famille et à William pour tout le reste.

Introduction

La croissance économique et démographique qui s'accompagne d'une augmentation des revenus et d'un processus d'urbanisation accéléré se traduit par un changement de structures socio-économiques qui deviennent de plus en plus demandeuses et consommatrices de ressources naturelles. Une telle augmentation rend non-durable le système économique actuel du fait du caractère non-renouvelable de certaines des ressources consommées.

Jusqu'à récemment, la détérioration et l'épuisement des ressources naturelles n'étaient pas pris en compte dans les analyses de la plupart des économistes. Les théories de la croissance des années 50, 60 et 70 étaient fondées sur l'hypothèse du renouvellement permanent et illimité des ressources. Elles ne considéreraient pas que les ressources naturelles pouvaient jouer un rôle dans l'économie et ignoraient que ces ressources pouvaient devenir un facteur limitant de l'activité économique. De la même façon, la relation entre activité économique et flux de matières-énergie était négligée. Les flux de matières et d'énergie n'étaient considérés que lorsque des flux monétaires leur étaient associés (vente, achat, importation, exportation). Mais aujourd'hui une réflexion sur les flux de matières et d'énergie générés par les systèmes socio- économiques mérite d'être approfondie et d'être poussée plus loin.

Le système économique a besoin d'apports énergétique et de matières pour fonctionner, ce qui à son tour génère des déchets (vers l'air, l'eau et les sols) qui vont avoir un impact négatif sur l'environnement (MARTINEZ-ALIER, 1994). L'analyse des flux d'énergie et de matières associés aux systèmes économiques semble donc indispensable pour réorienter les politiques de développement et tendre vers un développement plus durable qui repose sur l'équilibre des facteurs sociaux, économiques et environnementaux.

Les problèmes environnementaux liés à la gestion des ressources et au développement économique actuel se sont accentués au cours des dernières années et font de plus en plus l'objet de discussion. Le déséquilibre demande-ressources se creuse et la dégradation des ressources naturelles devient de plus en plus visible et ressentie. Or les ressources sont utilisées dans l'activité économique pour la production de biens et services, leur épuisement est donc source des préoccupations.

Face à ces problèmes, l'analyse quantitative des flux apparait comme une façon de mesurer l'empreinte environnementale de chaque système économique avec, in fine, l'ambition de limiter les flux qui ont des impacts non désirables sur l'environnement et d'infléchir l'économie vers un fonctionnement plus circulaire. De leur côté, les travaux sur l'analyse du métabolisme apparaissent de plus en plus comme essentiels

pour examiner le fonctionnement d'un système socioéconomique urbain dans son ensemble (Barles, 2008).

Ce mémoire est le produit d'un stage de fin d'études de 5 mois, réalisé dans le cadre du programme *Surfood* (Sustainable Urban Food Systems), coordonné par la Chaire UNESCO - Alimentations du monde, en collaboration avec SupAgro. L'objectif de ce stage était d'identifier et de quantifier les flux des matières et énergies liés à l'alimentation de Montpellier. Nous avons cherché à répondre à la question suivante : dans quelle mesure l'analyse du métabolisme urbain permet-il d'évaluer la durabilité de l'approvisionnement alimentaire d'un territoire?

Notre ambition initiale était de faire une estimation des flux qui traversent Montpellier agglomération. Ce territoire présente en effet un intérêt particulier du fait de sa forte croissance démographique et de son fort dynamisme d'un point de vue urbain. Toutefois du fait de l'absence d'un certain nombre de données sur la ville de Montpellier, ce mémoire se concentre sur l'analyse quantitative des flux de matières et énergies de l'Hérault.

Pour construire notre méthodologie d'analyse du métabolisme urbain nous nous sommes appuyés sur le « courant » de l'« Ecological Economics ». Nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux méthodes qui permettent de comptabiliser les flux de matières et d'énergie en vue d'analyser et de repérer où se trouvent les problèmes en termes de durabilité et de proposer des scenarios susceptibles de conduire à une gestion plus durable des ressources.

Le mémoire est organisé en trois parties. Dans un premier temps, nous étudierons le concept de « Ecological Economics » et ses différentes approches puis nous développerons aborderons plus en détail celle du métabolisme urbain. Nous verrons ainsi que l'analyse du métabolisme lié à l'alimentation est un outil qui nous permet d'observer les modes de consommation actuelle et de les analyser.

Dans un second temps nous nous ferons une revue bibliographique des différents travaux publiés sur ce sujet et les approches existantes. Cela nous permettra de bien étudier les variables qui concernent l'analyse du métabolisme lié à l'alimentation. Nous exposerons par la suite la méthode que nous avons choisie pour effectuer cette analyse et à l'occasion nous présenterons les différentes modalités d'analyse et de mesure du métabolisme qui existent.

Enfin dans un troisième temps, afin de valider l'applicabilité de l'analyse du métabolisme vue dans les parties précédentes nous analyserons étape par étape la mise en place d'un bilan de flux de matières et énergies du département de l'Hérault et nous comparerons les résultats d'autres études de cas déjà publiées. Nous nous appuierons sur différentes bases de données et de traitements statistiques pour à la

fin dresser un bilan des flux d'azote, qui peut être considéré comme un indicateur phare des activités agricoles et alimentaires.

1. DE L'ECOLOGICAL ECONOMICS" AU CONCEPT DE METABOLISME SOCIO-ECONOMIQUE

En économie la nature est le plus souvent considérée comme une ressource illimitée, un bien libre. Par conséquent la production agricole, qui est le processus de transformation de la nature en produit agricole, est à son tour considérée comme limitée par le seul progrès technique et non pas par les ressources de base du système agricole (Izac, 1997). Pourtant, la nature comme outil principal dans la formation du capital était un thème discuté par les physiocrates, une des premières écoles de la pensée économique apparue en France au 18ème siècle. Ces derniers soutenaient que seule l'agriculture peut créer de la richesse pour une nation parce qu'elle est fondée sur les dons gratuits de la nature.

Plus tard, au 19 ème siècle David Ricardo parle du rôle prépondérant de la terre comme facteur de production, « Des pouvoirs originaux et indestructibles du sol », dans son livre d'analyse du développement économique. Il est le premier à prévoir l'évolution de l'économie vers l'état stationnaire du fait de la limitation des terres (Rotillon, 2010).

Beaucoup plus tard, vers les années 1970, quelques économistes ont commencé a souligner que la capacité productive de la nature pour satisfaire tous les besoins humains n'est pas illimitée et « qu'une manipulation excessive de l'écosystème dans le but d'obtenir un agrosystème avec des taux de production élevés ou de produits qui entrainent des couts environnementaux ,peut occasionner même des pertes irréversibles » (Georgescu-Roegen, 1993).

Vers les années 1990, les économistes se sont intéressés de plus en plus à l'analyse écologique des mécanismes économiques. Le concept de capital naturel a été développé ou plutôt a émergé dans le cadre des comptes nationaux. Le concept a été utilisé pour mesurer le revenu net actuel d'un pays en prenant en considération le fait que le capital naturel diminue ou s'épuise dans certains pays (l'exploitation des minéraux).

Finalement, « le concept de capital naturel a été utilisée depuis 1994 par quelques économistes qui s'intéressent à l'identification du niveau optimal du capital naturel nécessaire pour assurer la durabilité dans un pays » (Adger, 1997).

Ces tentatives relativement récentes de reconnaître les limites de la rareté des ressources naturelles ont abouti à la émergence du courant de l'« Ecological Economics », qui traite des relations entre l'écosystème et les systèmes socio-économiques. «Le système socio-économique est vu comme un sous système de la biosphère et ce dernier et considéré comme un entier» (Izac, 1997) .

1.1 « Ecological Economics »

L'utilisation intensive de ressources naturelles limitées remet en question la durabilité économique, sociale et environnementale de l'ensemble des systèmes sur le long terme. Ainsi les questions qui tournent autour des externalités, des coûts et des bénéfices sociaux, de la pollution et de la dégradation des ressources naturelles, (érosion, salinisation, structures des sols, perte de biodiversité), font de plus en plus l'objet d'études de l'économie conventionnelle. Cette thématique de la durabilité économique a suscité deux approches, une de « forte » durabilité, et un autre de « faible » durabilité, bien différentes parmi les économistes.

Une des ces approches concerne la vision optimiste de la durabilité des systèmes socio-économiques. D'après Solow et Weitzman le savoir faire de l'homme, (man-made), peut toujours remplacer le capital naturel. Ils s'appuient, pour leur démonstration, sur les travaux scientifiques de Goeller et Weinberg sur le mercure, en disant qu'il s'agit d'un substitut de matériaux rares, et que grâce au développement de la technologie on peut toujours arriver à trouver des autres matériaux qui remplacent ceux qui deviennent rares. Ils prennent en compte, bien entendu, la possibilité de chercher des matériaux au-delà des frontières de la planète.

L'autre approche, bien opposée a celle de « the age of substituability », concerne la vision pessimiste de la durabilité des systèmes socio-économiques. Elle s'appuie sur le principe de la thermodynamique, plus précisément sur la loi de l'entropie. Cette loi montre qu'à l'occasion de tout processus de transformation de la matière ou de l'énergie, l'entropie augmente. Les inputs dont on se sert sont de faible entropie (haute qualité) alors que les outputs sont d'haute entropie, (basse qualité : déchets) et, le plus souvent, ne peuvent pas être réutilisables. En effet, la façon dont l'énergie s'y trouve ne peut pas être convertie de nouveau en travail. Grosso modo cette loi explique que les fonctions écologiques des ressources énergétiques fossiles, (qui représentent l'accumulation pendant de millions d'années d'énergie solaire), ne peuvent pas être remplacées.

Dans la première théorie, la possibilité d'avoir recours à une autre planète pour y vivre ou y extraire des matériaux rend l'approche de Solow plus justifiable. Mais les êtres humains, les animaux et les plantes ont besoin d'oxygène, d'eau, d'une température semblable à celle de la terre et de ressources naturelles pour y vivre. Cette réalité invalide fortement l'hypothèse selon laquelle tout capital naturel est substituable. On voit qu'il n'est pas possible de remplacer tout le capital naturel et tous les services que la terre et la biomasse nous fournit, par du capital « man-made », au moins à l'heure actuelle.

Historiquement, à partir de l'évolution de la technologie, on estime qu'on peut toujours trouver des solutions pour substituer le capital naturel. La biosphère comporte une technologie naturelle fondamentale capable de réduire le dioxyde de carbone et de le recombiner avec l'hydrogène et d'autres éléments. Une telle technologie aussi performante et qui a été créée pendant des millions d'années montre la difficulté de la substituer. Pour cela, l'approche de la loi de l'entropie, que nous allons développer postérieurement, semble plus proche de la réalité et semble mieux faire face aux contraintes de durabilité des systèmes socio-économiques.

Cette idée de « faible durabilité » est à l'origine des dernières études sur le mode de développement des systèmes socio-économiques. Les apports de ces études confirment que l'observation et l'analyse des impacts et des effets dus à l'extraction des ressources naturelles ne peuvent pas être considérées de manière isolées car c'est le système socio-économique qui s'appuie et se nourri d'eux-mêmes. Ceci exige une connaissance de la structure et du fonctionnement des écosystèmes naturels qui sont à la base du développement des systèmes socio-économiques. Cette connaissance marque les limites physiques du développement auxquelles les activités humaines, y compris l'économie, doivent s'adapter y.

A partir de ces évidences, le courant de l'« Ecological Economics » apparait comme la science de la gestion de la durabilité. Avec ce courant la question de la durabilité dans le temps d'un système socio-économique, qui est marqué par ses échanges avec le milieu physique, commence à prendre une place importante dans les analyses des économistes. « Précisément , l'économie actuelle essaie de faire une extension de sa réflexion vers les processus physiques de production et usages » (Naredo, 2002).

Selon Naredo, le marché doit maintenant garantir pas seulement l'optimum économique mais il doit aussi se convertir dans un instrument qui s'utilise pour trouver des solutions qui s'adaptent aux objectifs actuels. L'économie s'ouvre à une réalité physique et biologique. L'« Ecological Economics » apporte un point de vue économique sur la gestion des ressources utiles et rares en tenant compte de leur évolution dans le temps. Le processus de production est considérée comme un

système ouvert et dépendant des matières et des énergies qu'il échange avec son environnement. Une représentation du système économique est alors caractérisée par le déséquilibre. On peut considérer donc que l'« Ecological Economics » est une approche écologique de l'économie conventionnelle. « C'est une nouvelle approche sur les interrelations dynamiques entre les systèmes économiques et l'ensemble total des systèmes physiques et sociaux » (Van Hauwermeiren, 1998).

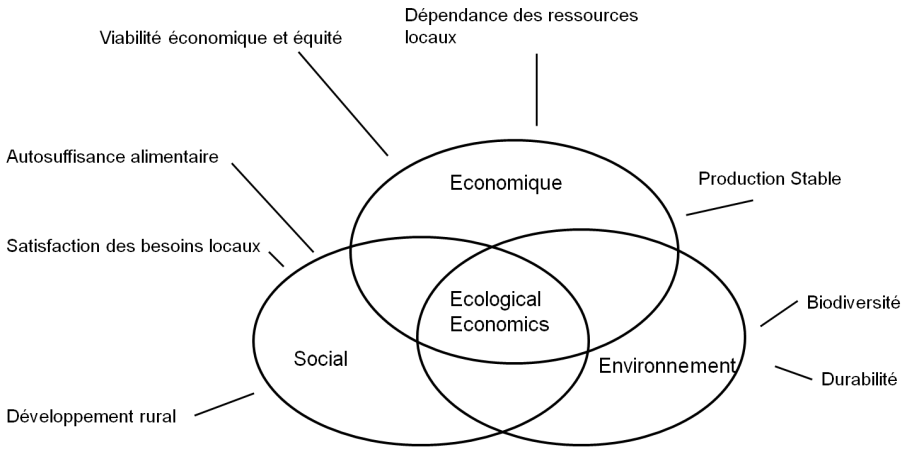
L'« Ecological Economics » aborde aussi le point de vue social via des discussions qui tournent autour de l'équité, de la distribution, de l'éthique et des processus culturels. Ce sont tous des points qui semblent être essentiels lorsque l'on aborde les problèmes relatifs à la durabilité. Pourtant c'est une vision systémique et transdisciplinaire qui dépasse l'actuel paradigme économique.

L'« Ecological Economics », s'appui sur le fait que la terre ou l'écosystème global, est un système ouvert à l'énergie solaire qui est la base de son fonctionnement. En relation avec le système économique, l'écosystème global exerce, avec une capacité limitée, deux fonctions principales : (1) fournir des matières et des énergies et (2) être « l'égoût » et transformateur de leur déchets et résidus.

L'« Ecological Economics », considère que l'activité économique n'est ne se contente pas d'utiliser des ressources naturelles de manière isolée, sinon qu'elle est centrée sur l'utilisation des écosystèmes. L'analyse se base sur les lois de la thermodynamique où le dégrée de développement de l'économie se limite à l'écosystème en lui-même.

Pourtant, nous pouvons dire que cette courant est à l'origine des nouvelles préoccupations autour les limitations des ressources au sein du développement des systèmes socio-économiques. Ces préoccupations concernent l'équité, la sécurité alimentaire, la conservation des ressources et le développement durable parmi autres. L' « Ecological Economics » comporte les complexités autour de ces préoccupations. (Figure 1).

Figure 1 Concept de "Ecological Economics"



Réalisation personnelle depuis « Ecological Economics » de Martinez-Alier

Ainsi l'« Ecological Economis » se présente comme une science qui intègre les aspects économiques, écologiques, sociaux et culturels avec l'objectif d'optimiser les systèmes économiques dans l'espace et dans le temps.

Cette discipline s'intéresse donc au caractère social, culturel et prend en compte les décisions individuelles des hommes dans l'usage des matières et d'énergie. « Une écologie humaine, (qui inclut l'étude des conflits politiques, les attitudes éthiques, les systèmes de prix), est la même chose qu'une science économique authentique : l'étude de la répartition des ressources limités pour les objectifs humaines, actuel et futurs » (Martínez Alier, 1987).

1.1.1 Le processus économique et l'entropie

Il y a dans l'histoire de la pensée économique une évolution de la représentation du processus économique. A la fin du 18 ème siècle, le processus économique était représenté par un diagramme circulaire qui représentait la production et la consommation dans un système clos. Ainsi l'économie orthodoxe n'était pas loin de cette approche qui décrivait le processus économique comme un modèle mécanique autosuffisant. Les économistes marxistes voyaient aussi le processus économique comme un ensemble circulaire qui se suffit à lui-même.

Les années soixante-dix sont marquées par le processus de « naturalisation » des sciences sociales. Au début de ces années, certains économistes reconnaissent qu'il existe des limitations physiques et écologiques à la croissance économique et que le modèle de développement suivi par les pays industrialisés et basé sur

une consommation intensive d'énergie, sans faire attention aux conditions écologiques de la planète, n'était pas durable dans le temps.

Dans un contexte politico-économique, marqué par la récession et la hausse des prix des combustibles fossiles ainsi que par un environnement touché par la pollution et menacé par sa dégradation, ces sujets sont devenus de plus en plus importants et occupent une place centrale dans les débats.

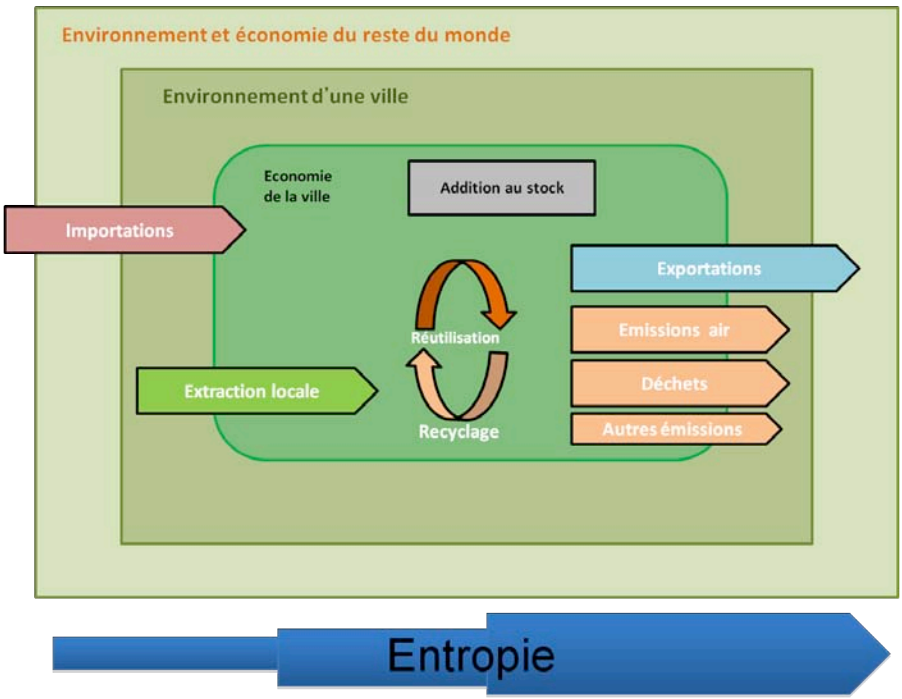
Ainsi, en 1970, Georgescu- Roegen, dans son livre « *The entropy law and the Economic process* » réalise une analyse du processus économique avec une perspective énergétique en s'appuyant sur les principes de la thermodynamique, qui est une branche de la physique qui traite de la conservation et des échanges d'énergie dans les systèmes et qui peut aider à fournir des aperçus sur les caractéristiques du capital naturel. Il établit que l'économie a besoin d'entrées de matières et énergies et qu'elle produit deux types de résidus : de la chaleur sous forme dissipée et des déchets matériels.

Dans les termes de la thermodynamique, le capital naturel est constitué de ressources à faible entropie (Georgescu-Roegen, Grinevald, et Rens, 2006). Le concept d'entropie, (mesure de désordre d'énergie), se réfère au deuxième principe de la thermodynamique. Une faible entropie implique un potentiel élevé à convertir de l'énergie en travail. L'énergie ne peut pas être créée ou détruite, (premier principe de la thermodynamique), mais elle change qualitativement d'un état dans lequel elle est facilement disponible et de haute qualité, (faible entropie), à un état de haute entropie où elle est de faible qualité et n'est pas facilement disponible pour une transformation supplémentaire, (deuxième principe de la thermodynamique). Le processus économique, vue du point de vue de la thermodynamique, absorbe des matières et de l'énergie dans un état de baisse entropie et elle en sort dans un état de haute entropie et donc de basse qualité et difficilement transformable.

Selon Georgescu-Roegen, la structure matérielle du processus économique peut être représentée en terme de relation entre les inputs de faible entropie, (ressources d'une grande valeur), et les outputs d'entropie élevée, (produits finaux sans valeur : déchets). Donc ce qui rentre dans le processus économique c'est la ressource naturelle de grande valeur et ce qui en sort ce sont les déchets sans valeur. Donc les manipulations énergétiques génèrent de l'entropie alors que l'activité économique inévitablement produit des déchets. Le développement économique ne peut donc que s'accompagner de l'épuisement des ressources de caractère non-renouvelables et irremplaçables.

Afin de mieux comprendre comment l'entropie évolue dans le processus économique, on peut observer la figure 2 qui montre dans quelle mesure l'entropie augmente au fur et à mesure que l'on passe par les différentes étapes du processus économique.

Figure 2 Evolution de l'entropie qui circule à travers du système socio-économique



Réalisation personnelle

« Il ne faut pas s'étonner si nul n'a réalisé que nous ne pouvons produire des réfrigérateurs, des automobiles ou des avions à réaction « meilleure et plus grands » sans produire aussi des déchets « meilleurs et plus grands » » (Georgescu-Roegen, Grinevald, et Rens, 2006). A partir de cette citation, on peut dire que le processus économique ne se développe pas de manière isolé et indépendant. Il ne peut pas marcher sans un processus d'échanges dans le temps qui a une influence cumulative dans l'environnement.

L'influence cumulative sur l'environnement se traduit par des déchets qui altèrent l'environnement de plusieurs façons : chimique, nucléaire et physique. Il y a aussi une partie des déchets qui se dégradent par le processus naturel, (saletés, cadavres, excréments), mais une autre partie n'est pas sûre d'être éliminée ou d'être convertie en déchets moins polluants.

Comme nous l'avons mentionné auparavant, le processus économique se déroule dans un espace délimité, ce qui rend encore plus dangereuses ces

pollutions. Jusqu'à récemment les économistes ne prenaient pas en compte cette considération et le fait que les inputs ne peuvent pas être utilisés de façon illimitée, (ressources naturelles), dans le processus économique ils ne considéraient pas beaucoup cette influence cumulative car les outputs, (déchets), n'ont pas un grand valeur économique.

Les économistes donc ont été surpris lorsque le problème de la pollution a commencé à inquiéter tout le monde mais « ils insistaient qu'il convient de mesurer les ressources en termes économiques, et non point en termes physiques » (Georgescu-Roegen, Grinevald, et Rens, 2006). Ceci nous montre qu'ils font abstraction des lois naturelles. Il semble très important que les économistes intègrent la loi de l'entropie pour expliquer la rareté économique. Si cette loi n'existait pas, on pourrait réutiliser l'énergie à chaque fois mais il n'y aurait pas une différence économique entre les biens matériels et la terre comme limitant de la production, comme Ricardo l'indiquait.

Ceci met en relief l'utilité de ce concept pour expliquer et compléter la façon dont se développe le processus économique. Ainsi, les dernières études, comme celui de Hong Kong, de Warren-Rhodes and Koenig, visent à se centrer sur la gestion de l'eau, l'utilisation d'énergie, les analyses des sols et la qualité du développement de l'économie parmi d'autres facteurs.

D'après cette théorie, il existe une nécessité d'étudier le développement économique en relation avec l'épuisement des ressources et de son impact sur l'environnement, car dans un monde avec ressources limitées, le développement illimité ne peut pas avoir lieu. « La question des ressources non-renouvelables laisse voir l'économie comme l'écologie des sociétés humaines, c'est-à-dire, comme l'étude de l'utilisation des matières et d'énergie par l'humanité » (Martínez Alier, 1987)

A fin de mieux comprendre l 'influence des principes de la thermodynamique sur le processus économique, l'inclusion de la question du métabolisme socio-économique semble évidente pour expliquer que le processus économique se développe autour de plusieurs facteurs qui concernent le milieu où il se développe, (inclus les ressources des autres milieux). Il est pourtant nécessaire de présenter le concept de métabolisme socio-économique, en d'autres termes, il s'agit de comprendre pourquoi et comment ce concept est apparu, voir son évolution et comment à partir de son analyse on peut estimer les besoins qu'un système économique mobilise pour son développement, le décrire, et en évaluer l'influence sur son milieu.

1.2 Le métabolisme socio-économique

L'économie est un système qui transforme les matières et énergies en produits et services pour la consommation humaine. Ce processus génère des déchets vers l'air, (CO_2 entre autres), les sols et l'eau. Comme plusieurs auteurs, , (Kenneth Boulding ou Georgescu-Roegen), l'ont souligné depuis 1970, l'économie est donc nécessairement ouverte à l'entrée des matières et des énergies, et à la sortie des déchets. Ceci prouve que l'économie n'est pas un système autosuffisant et que le processus économique doit se voir depuis une perspective de métabolisme socio-économique qui est définit comme l'interaction entre la nature et la société. L'économie est un sous-système ouvert à l'intérieur d'un système plus global.

Le concept de métabolisme socio-économique a été utilisé pour analyser l'évolution de la consommation des ressources des sociétés. Le métabolisme socio-économique des sociétés a évolué dans le temps car les comportements de consommation et de production ont changé en parallèle au processus de développement des systèmes socio-économiques. On constate que la révolution industrielle a été la transition de régimes socio-métaboliques agraires vers des régimes industriels.

Figure 3 Différences entre profile métabolique des régimes socio écologiques agraire et industriel

		Agrarian Regime**	Industrial Regime	LD 2000	DC 2000	EU15 2000	AUT 1830	AUT 2000	UK 1750	UK 1830	UK 2000
Population density	[cap/km²]	<40	100–300	40	76	116	42	97	30	76	247
Energy use per cap	[GJ/cap/yr]	50–70	150–400	33	64	205	73	197	63	68	189
Energy use per unit area	[GJ/ha/yr]	20–30	200–600	13	49	216	31	191	19	52	468
Biomass	[%]	95–100	10–30	92	50	23	99	29	94	54	12
Fossil fuels	[%]	0–5	60–80	8	50	77	0.5	61	6	46	78
Other	[%]	0–5	0–20	*	*	*	0.5	10	*	*	10
Material use per cap	[t/cap/yr]	2–5	15–25	4.2	6.8	16	5.8	18.1	5.7	6.4	11.6
Material use per unit area	[t/ha/yr]	1–2	20–50	1.3	4.8	18	2.4	17.5	1.7	4.9	28.7

Source : Krausman, Schall and Schulz (2003)

Cette transition du caractère agraire vers une prédominance industrielle est un changement qui a eu des conséquences importantes pour la demande de matières et d'énergie au niveau mondial. Les différentes études des différents pays montrent les trajectoires des demandes des matières et énergies dans leurs balances, et on constate que les métabolismes socio-économiques ont une caractéristique en commun, l'industrialisation.

L'industrialisation et le développement de l'économie à provoqué une augmentation de l'usage de l'énergie per capita, (20GJ), des pays développés, et

certains pays comme la Chine et l'Inde sont en train de suivre la même trajectoire. Ainsi, on constate que la transition socio-métabolique du système agraire aux systèmes industrialisé se manifeste par une augmentation de l'usage des matières et des énergies accompagnées par une diminution de la population agraire qui se dirige vers une étape où l'être humain produira des émissions de CO_2 trois fois, (voir plus), plus que les émissions actuels.

Pour tout cela, à l'époque actuelle, la recherche se dirige vers la « durabilité » des sociétés et de l'environnement. Ainsi, le concept de transition doit faire preuve d'un changement plus grand, celui de se diriger vers un chemin autre que l'augmentation des matières et des énergies. En d'autres termes, il faut converger vers une transition de « qualité » qui donne un nouvel état durable aux systèmes.

L'analyse des transitions historiques qu'a connue l'humanité dans l'usage des matières et des énergies peut donner des pistes pour concevoir des systèmes socioéconomiques plus durables.

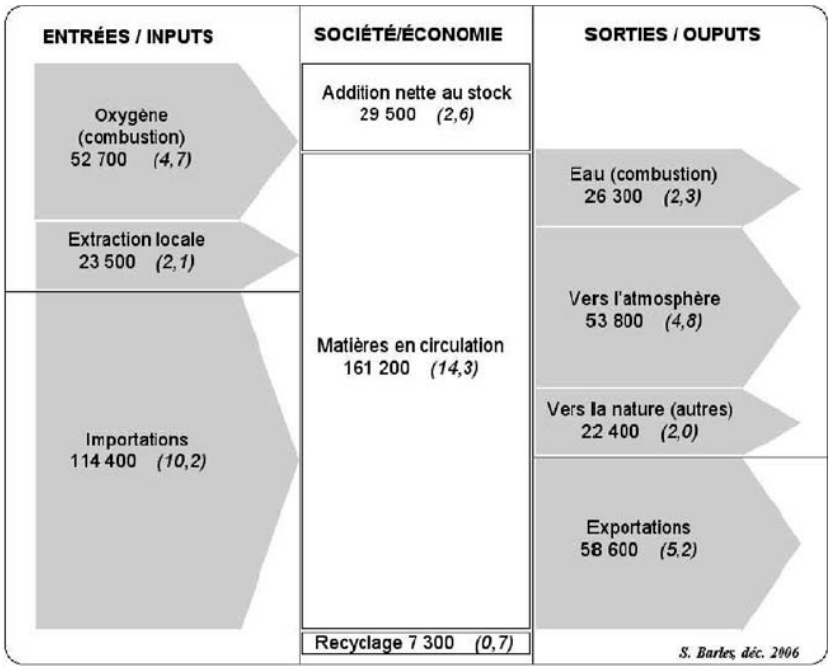
L'analyse du métabolisme socio-économique des sociétés représente un outil important pour faire face aux différents enjeux actuels.

1.2.1 L'analyse du métabolisme socio-économique

L'analyse du métabolisme est la représentation d'un modèle de flux de matières et énergies. Il s'agit en d'autres termes d'un bilan de matières brutes. En s'appuyant sur le principe de la conservation de l'énergie et de la matière, cette analyse quantifie les flux qui rentrent et qui sortent dans un système et observe le stock qui s'accumule au sein du système. Cette comptabilité des flux est différente de la comptabilité économique classique qui les considère liés à des flux monétaires (production, importation, exportation).

La figure 4 représente la quantification des matières brutes pour la région d'Île de France, cela donne une idée de comment l'analyse du métabolisme d'un système socio-économique peut être représentée et les informations que l'on peut en soustraire.

Figure 4 Bilan de matières brutes, Île de France, 2003, kt (t)



Source : Sabine barles,2006.

La figure 4 montre le bilan de la circulation linéaire des matières d'un système. En termes très général et sans rentrer dans les détails, on observe que la région d'Île de France est très peu autosuffisante, (les importations occupent la plupart des entrées). Ceci se traduit par une forte dépendance de l'extérieur pour son approvisionnement. Les rejets vers la nature représentent une grande partie des flux qui sortent, c'est donc un signe de faible performance écologique de la région.

Les activités du système socio-économique impliquent une extraction des ressources, locales ou extérieures qui vont être consommées et transformées. Ces matières vont par la suite être rejetées sous une autre forme, le plus souvent défavorables pour le milieu qui l'entoure.

L'analyse du métabolisme est un outil qui montre l'ensemble des flux d'un territoire et de son économie. Elle peut aussi être utilisée pour révéler son évolution et donc les besoins des systèmes socio-économiques dans le temps.

Rassembler les statistiques des flux des matières et énergies d'un territoire dans le temps permet d'observer l'évolution et les changements que peut subir une économie. On peut y découvrir sa trajectoire de développement. Présenter l'histoire sur une période de flux directs de matières dans une économie (c'est-à-dire, l'extraction locale et les importations qui deviennent stocks, déchets et exportations), peut montrer les besoins qu'une économie a eu, voir l'empreinte

écologique qui se produit par le développement et voir ainsi la durabilité dans le temps d'un système socio-économique.

Les calculs des flux des matières et énergie et la comptabilisation des déchets que produit une économie sont des domaines d'études qui ne peuvent pas s'enfermer dans une spécialisation de « histoire de l'environnement » mais qui doit être incorporée au sein de la science économique.

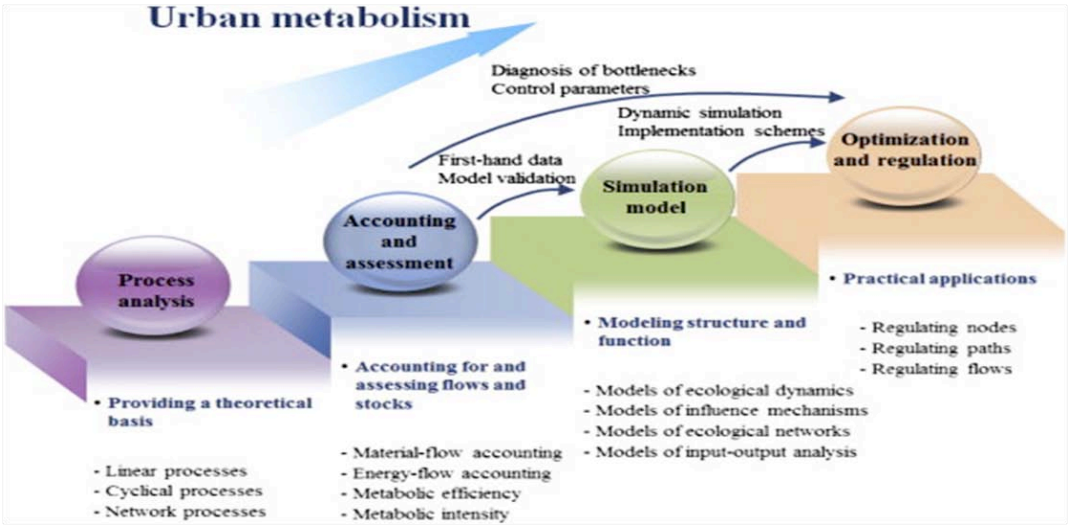
1.3 Importance de l'analyse du métabolisme urbain : connexion « visuelle » entre écosystèmes et systèmes socio-économiques.

Nous avons constaté dans les parties précédentes que l'analyse du métabolisme est un outil qui donne une information approfondie du fonctionnement des systèmes, c'est-à-dire, les flux qu'ils mobilisent pour satisfaire leurs besoins, les apports nécessaires au sein des systèmes, et les flux qu'ils rejettent.

Par ailleurs, les villes comme territoires avec des activités humaines intensives, font face à des problèmes écologiques et environnementaux profonds qui sont le résultat du développement socio-économique. La possibilité d'utiliser l'analyse du métabolisme des systèmes socio-économiques pour réorienter et simuler des villes plus durables en termes écologiques et dans le temps s'impose comme solution aux problèmes écologiques actuels. Pour cela il est nécessaire de développer des méthodes qui puissent répondre à cet enjeu.

A partir de la recherche de nouvelles approches, les chercheurs pourraient trouver différents attributs dont doit être doté un système socio-économique pour être durable. Cette méthode pourrait être un support pour promouvoir le développement durable des villes. Dans la figure 5 on peut observer les différentes étapes qui pourraient suivre cette recherche d'une méthode qui a pour objectif de simuler une « ecological city ».

Figure 5 Méthodes de recherches pour analyser le métabolisme des systèmes socio-économiques



Source : Revue ElSEVIER- Environmental Pollution. Yan Zhang

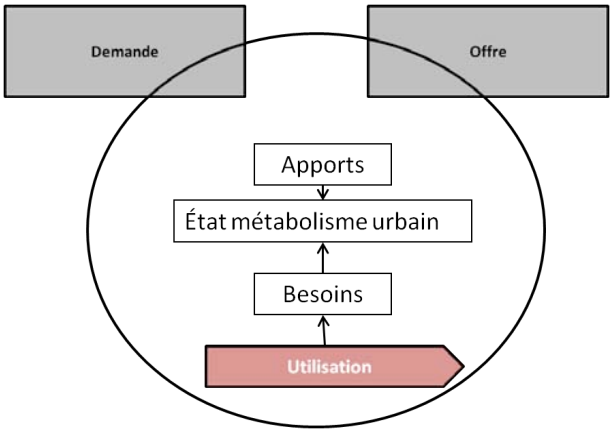
Le développement des systèmes socio-économiques montre qu'il y a une inévitable sortie des flux, la plupart qui porte atteinte au milieu naturel, d'où l'importance de développer des méthodes qui permettent de déterminer le métabolisme des villes et leur empreinte environnementale. Ceci semble nécessaire afin de déterminer les flux défavorables et de pouvoir réfléchir plus profondément à un changement de fonctionnement des systèmes.

L'analyse du métabolisme, tant du point de vue de la qualité du développement des systèmes que des implications économiques, représente un outil pour leur avenir. La croissance des demandes de ressources doit être orientée et dirigée d'une autre manière qui tient en compte les besoins des systèmes actuels et futurs. Il y a donc nécessité de planifier pour maîtriser les mécanismes du développement économique et organiser de manière consciencieuse le développement.

L'analyse du métabolisme urbain est un exercice complexe qui suppose la prise en compte d'un grand nombre de variables. Il serait ambitieux, dans l'état actuel de nos connaissances, de prétendre rendre compte des mécanismes d'évolution du métabolisme des villes au sein de diverses sociétés. Mais développer une approche permettant d'inscrire l'analyse du métabolisme dans un modèle économique typique est pertinent. Il s'agit de représenter les variables comprises dans le modèle.

Le modèle doit se faire en fonction des besoins et de la consommation des systèmes, à partir de la collecte et la mise en forme des données pour analyser la situation a l'heure actuelle. La figure 6 représenterait la planification d'un modèle qui prend en compte les différents variables d'un système socioéconomique.

Figure 6 Analyse du métabolisme: modèle



Source : Réalisation personnelle

La demande et l'offre dépendent des macro-variables extérieures qui dépendent au même temps de l'environnement culturel et social des systèmes socio-économiques comme la croissance démographique du système, l'urbanisation rapide et la monétarisation de l'économie. Du côté de la demande doivent être prises en compte les habitudes de consommation en matières et énergies en fonction de la population du système. Du côté de l'offre il faut distinguer l'extraction locale, les importations, les exportations et le stock.

L'élaboration du modèle qui vise à concecoir des systèmes socio-économiques durable à partir de l'observation du métabolisme implique de faire l'inventaire et l'analyse de situations dans un moment concret, la détermination quantitative des objectifs souhaités dans le temps, l'identification des moyens exploitables dans les systèmes pour arriver aux objectifs fixés.

1.3.1 Applications de l'analyse du métabolisme

Depuis sa conception par Wolman, le métabolisme urbain a été étudié pour des raisons pratiques. Outre les éléments de compréhension qu'elle apporte, l'analyse du métabolisme urbain propose divers applications scientifiques. Ces applications concernent la mesure de la durabilité, la comptabilité des gazes à effet de serre, la modélisation mathématique pour l'analyse des politiques et le

design urbain. Cette liste de quatre applications n'est pas exhaustive et les études du métabolisme sont riches en données et possèdent bien d'autres applications potentielles.

- ***Indicateurs de durabilité***

L'étude du métabolisme urbain fait partie du rapport « State of Environnement » (Maclaren, 1996) .Dans ce cadre, il fournit indicateurs de la durabilité des villes tels que l'efficience énergétique, les cycles des matières, la gestion de déchets et l'infrastructure des systèmes urbains. Généralement, les paramètres du métabolisme urbain répondent aux critères des bons indicateurs de durabilité comme : validité scientifique, (basée dans les principes de matière et énergie), représentative, relevant pour les planifications urbaines, basée autour des données qui peuvent être comparées dans le temps, qui sont compréhensibles et certes. « Les principales objectives du rapport du SOE sont ceux de l'analyse et la description des conditions environnementales et les tendances pour que le métabolisme urbain puisse être utilisé comme précurseur du processus de création des politiques » (Maclaren, 1996).

- ***Comptabilité des gaz à effet serre***

Compte tenu de l'objectif des villes de réduire leurs émissions de gaz à effet serre, une des applications utile des indicateurs du métabolisme urbain est la quantification des émissions urbaines réelles. Le dioxyde de carbone, le méthane parmi autres gazes de gaz à effet de serre émis par les villes, sont des composants du métabolisme urbain en lui-même.

Les émissions qui concernent les villes, comporte généralement des émissions produites en dehors des limites de la ville comme par exemple, la génération d'électricité ou l'élimination des déchets exportés. Même si les émissions de gaz a effet serre sont produites en dehors de la ville, son calcule requière des mesures des consommations d'énergie, de matières et de production des déchets du métabolisme urbain.

En accord avec les prémisses de l' « Intergovernamental Panel on Climate Change », (IPCC), les émissions de la plupart des secteurs est estimée en multipliant le niveau d'activité par un facteur d'émission. Par exemple, les émissions pour le approvisionnement de l'électricité d'une communauté sont calculées en multipliant le niveau de consommation par l'intensité des émissions de gaz à effet de serre de l'approvisionnement d'électricité régional/national. Les paramètres de l'analyse du métabolisme urbain donnent de l'information pertinente sur les niveaux des activités des différents secteurs. Une comparaison

des émissions des villes a été fait par (Kennedy et al., 2010) a travers des études du métabolisme urbain, (voir annexes 1).

- ***Modélisation mathématique pour l'analyse de politiques***

  La plupart des chercheurs ont utilisé l'analyse du métabolisme urbain pour comptabiliser les flux de matières et énergies, mais maintenant il y a autour de cette thématique le développent des modèles mathématiques.

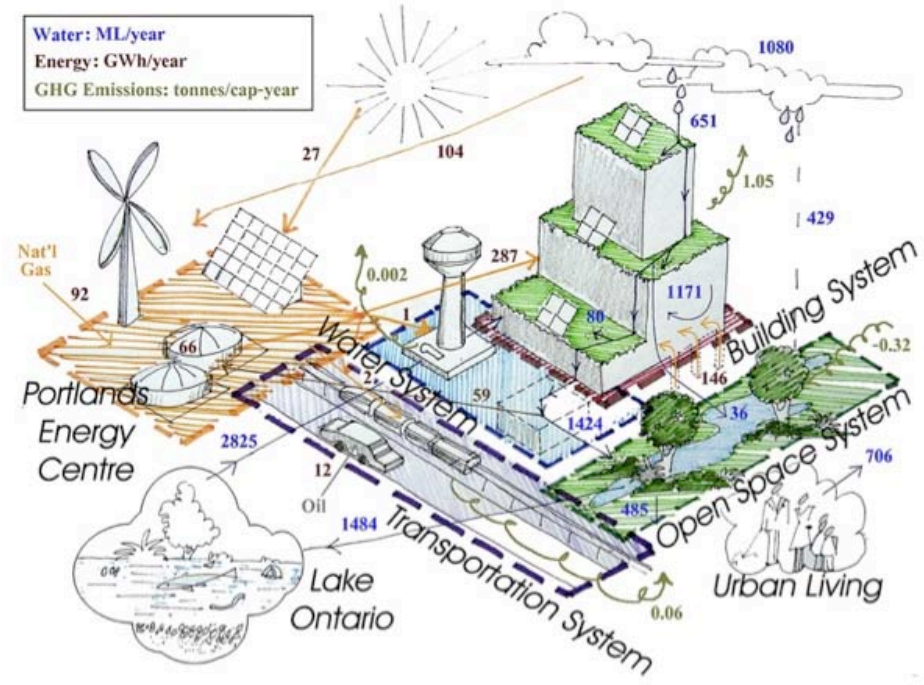
  Ces modèles ont été développés principalement pour étudier les métaux et nutriments spécifiques du métabolisme urbain. Des plateformes comme SIMBOX (Computer program for the simulation of material-, substance-, energy- and monetary flows in anthropogenic systems) et STAN (subSTance flow ANalysis) représentent les actions et flux dans le métabolisme en relation avec des modèles économiques des inputs et outputs, (voir annexe 2).

  Ces modèles peuvent servir à simuler des changements futurs du métabolisme urbain résultant des innovations technologiques ou politiques. Ces modèles ont comme objectif de donner une solution aux problèmes environnementaux.

- ***Outils de conception des futurs systèmes urbains***

  Des étudiants ingénieurs civils de l'université de Toronto utilisent l'analyse du métabolisme urbain comme un outil pour réorienter la conception durable des villes. Les étudiants conçoivent une construction écologique avec des systèmes alternatifs d'énergie et de matières. Ils construisent les flux d'eau, d'énergie, de nutriments et de matières a travers du système urbain en réduisant de cette manière les entrées des ressources et les sorties des déchets, (voir figure 7).

Figure 7 Représentation du métabolisme durable de la ville de Toronto Port Lands



Source : Revue ElSEVIER- Environmental Pollution. (Kennedy, Pincetl, et Bunje, 2011)

La mise en place de l'analyse du métabolisme semble importante pour arriver aux objectifs et besoins qui s'imposent actuellement pour le développement durable des villes. Pour appuyer cette affirmation, dans la partie suivante nous developpons des méthodes d'analyse du métabolisme urbain et nous rendons compte des analyses menées sur différentes villes du monde. Cela pourra nous aider à infléchir les a futures analyses du métabolisme urbain.

2. LE METABOLISME URBAIN : METHODE D'ANALYSE DU METABOLISME SOCIO-ECONOMIQUE

La vision de l'économie en terme de métabolisme socio-économique est apparue en 1883 avec Karl Marx, (en allemand, Stoffwechsel) qui importe le concept de métabolisme de la biologie pour décrire les relations entre la nature et les sociétés humaines. Marx a montré un intérêt pour les cycles de matière dans l'économie mais bien d'autres auteurs se sont aussi intéressés au concept de métabolisme comme nous pouvons le constater ci-dessous.

En effet plus tard, Wolman (1965) relance le concept de métabolisme pour étudier les problèmes de pollution de l'air et de l'eau dans les villes américaines. Il traite alors les villes comme des écosystèmes. Il décrit comment les flux de matières et énergies rentrent dans le système, comment les produits se créent et comment les déchets se génèrent. Pour Wolman, comprendre la relation entre les ressources consommées, la production des produits et les déchets crées, est la clé pour comprendre comment un écosystème urbain fonctionne. Il explique que pour qu'un écosystème urbain fonctionne comme un écosystème naturel, les déchets, qui découlent de l'activité de consommation de ressources, doivent être réutilisés. Ceci permet d'éviter l'accumulation de matières et de contrecarrer les effets négatifs sur l'environnement du système socio-économique. Avec Wolman, le concept de métabolisme socio-économique a évolué vers le concept de métabolisme urbain.

Après Wolman, différents chercheurs ont développé le concept de métabolisme urbain. Par exemple, Girardet (1990) a proposé un modèle de métabolisme urbain cyclique car il considérait qu'une représentation linéaire du métabolisme, qui parte de l'entrée des ressources dans un système suivit par l'activité de consommation pour ensuite se terminer par la production de déchets, était une représentation incomplète de la réalité. En effet ce modèle ne permettait pas de voir la réelle pression ou influence exercée par l'homme sur le milieu naturel qui l'entoure. Ainsi pour avoir une vision plus réelle et complète des répercussions de l'action de l'homme sur l'environnement, le modèle doit être représentée de manière cyclique.

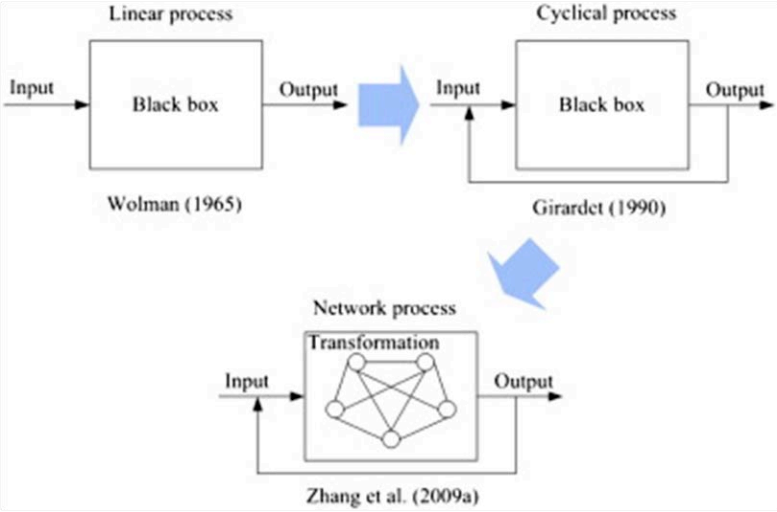
Newman (1999) a combiné un modèle de métabolisme urbain qui prend en compte des facteurs sociaux (la santé des habitants, l'éducation, l'emploi).

Plus récemment Brunner (2007) a souligné l'importance du recyclage dans le processus du métabolisme urbain. Il s'est intéressé à la relation existante entre le métabolisme d'un système et la gestion des déchets. A partir de là il a essayé de

réorienter le modèle actuel. Dans ses travaux, Zhang (2006) a analysé les différentes étapes du processus de métabolisme: les entrées, la transformation, les cycles et la sortie des matières et énergie. Il fait la différence entre deux aspects du processus de métabolisme, les différentes étapes, (anabolisme, catabolisme), et les objets métaboliques (ressources et déchets qui circulent à travers du système). D'autres auteurs se sont penchés sur la relation entre le métabolisme et la manière dont il interagit avec son environnement. En d'autres mots, il cherche à savoir dans quel mesure un métabolisme peut affecter un territoire en se posant la question de savoir aussi comment cette influence exercée sur le territoire peut être changée ou améliorée d'un point de vue de la durabilité.

Nous pouvons donc constater que le concept de métabolisme urbain a évolué dans le temps et a été traité de façon différente selon les auteurs. De plus, nous pouvons remarquer comment ce concept est devenu de plus en plus complet grâce aux apports de la recherche. Ainsi la figure 8 ci-dessous illustre la manière dont la notion de métabolisme urbain a évolué depuis 1965 jusqu'à nos jours.

Figure 8 Evolution des modèles du processus qui décrivent le métabolisme



Source : Urban metabolism (Zhang, 2013)

Actuellement de nombreuses recherches portent sur le processus du carbone métabolique pour étudier l'impact du métabolisme urbain sur le changement climatique mais aussi optimiser les mécanismes qui dominent les interactions entre les composantes de la structure du système socio-économique et le fonctionnement du système. En effet par rapport au fonctionnement de l'écosystème, il est inefficient. En revanche, les analyses quantitatives visent aujourd'hui à évaluer l'impact du facteur humain sur les flux métaboliques d'un système urbain. Comprendre pourquoi l'être humain préfère un flux plutôt qu'un autre semble important pour créer des connections entre les différentes parties du système urbain qui peuvent servir pour les réguler.

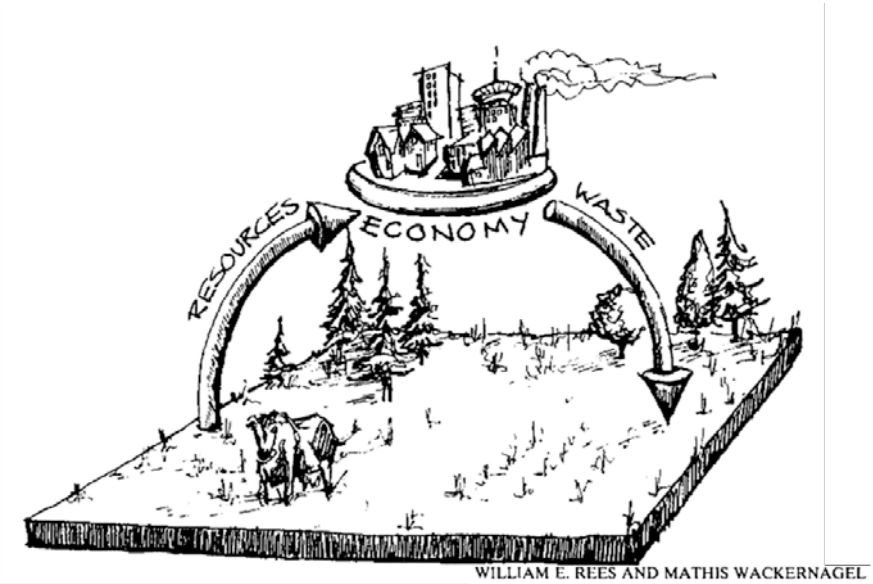
Les problèmes relatifs à la gestion des externalités et de l'appréhension du capital naturel "sans valeur" ne sont pas encore abordés. Il y a pourtant la nécessité de développer de nouvelles méthodologies qui puissent intégrer les externalités générées par les systèmes urbains sur l'environnement pour arriver à formuler des modèles de simulation. Ceci permettrait de repérer les situations susceptibles d'être plus favorables.

L'analyse du métabolisme urbain des sociétés exige des méthodologies spécifiques qui ont commencé à se développer au cours de ces dernières années.

2.1 Le métabolisme urbain : connexion entre écosystèmes et systèmes socioéconomiques

Après avoir vu l'évolution du concept de métabolisme dans le temps, nous pouvons maintenant le définir comme l'ensemble des processus par lesquels les villes mobilisent consomment et transforment les ressources naturelles qui les entourent. Il est clair que « ce processus génère des conséquences en amont, avec le prélèvement d'énergie et de matières premières, et en aval avec les rejets vers la nature (vers l'eau, le sol et l'air) » (Barles, 2008). L'ensemble de ces flux de matières et d'énergie a un impact sur les écosystèmes et la biosphère qui abrite les systèmes socioéconomiques.

Figure 9 Le concept de métabolisme urbain



Source: (Rees et Wackernagel, 2012)

Analyser l'ensemble des ces processus, va nous permettre d'estimer les flux qu'un système socio-économique mobilise pour répondre à ses besoins et les flux qu'il

rejette vers la nature. Etudier et quantifier ces flux nous permettra donc d'évaluer les effets locaux, différés et globaux des systèmes qui font partie de l'empreinte environnementale des villes (aquatique, alimentaire et énergétique). « Selon la dimension, la forme, la localisation et la profondeur de cette empreinte on peut observer l'évolution de l'empreinte dans le temps et définir, donc, le type de métabolisme de chaque ville » (Barles, 2008).

Ceci nous permet d'identifier quels flux sont les plus défavorables et de concevoir des méthodes pour agir et tendre vers des situations meilleures. A partir de cette évidence on peut dire que l'analyse du métabolisme peut faire le lien entre l'économie, l'environnement et le développement durable des systèmes socio-économiques. Etant donné la situation actuelle, c'est-à-dire, la perte de biodiversité, la présence excessive des nitrates dans l'eau, l'usage excessif des terres, eau, matières et énergies, l'analyse du métabolisme urbain semble un outil important pour étudier les écosystèmes urbains et pouvoir les réorienter.

Pour cela, de nombreuses études se sont développées au cours des dernières années. La plupart tourne autour de trois méthodes différentes que nous allons exposer dans la partie suivante.

2.1.1 Principales méthodes pour l'analyse du métabolisme urbain

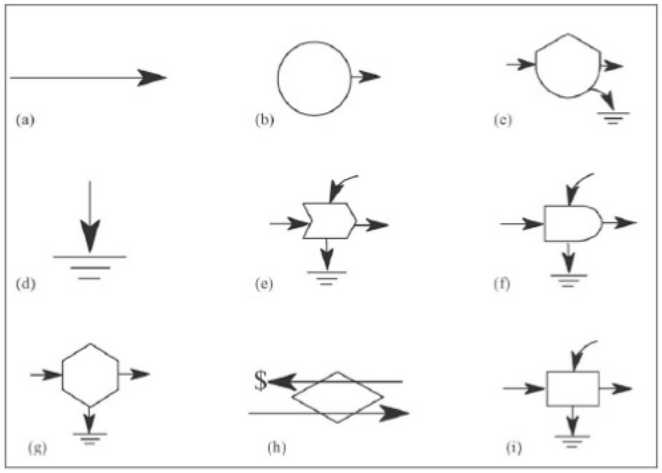
Le métabolisme urbain offre un outil d'analyse qui révèle le comportement de consommation de matières et d'énergie des systèmes socio-économiques. Le développement des sociétés a introduit des changements dans le métabolisme des systèmes socio-économiques. Ainsi, les méthodes pour les analyser ont évolué depuis la première apparition du concept de métabolisme urbain avec Wolman.

Une littérature considérable existe autour des méthodes de l'analyse du métabolisme urbain. Parmi cette revue de littérature, on peut les regrouper en trois méthodes principales.

La première méthode consiste à quantifier les flux des matières. Déterminer les entrées et les sorties des matières qui se produisent au sein d'un système. Parmi les travaux qui ont utilisé cette méthode ont a démontré que, pour être assimilé, le flux de sortie, qui se fait sous forme de déchets, nécessite une superficie plus grande que celle de la ville étudiée. Cette méthode nous montre que si l'on veut faire face aux enjeux de durabilité environnementale d'une ville alors il faut se pencher sur la question relative à la gestion des déchets qu'elle produit. La deuxième méthode privilégie la quantification des flux d'énergie, considérée comme la principale

relation liant les écosystèmes et les systèmes socio-économiques. Cette méthode assure que l'énergie est à la base de la création de flux car c'est elle qui se sert directement ou indirectement pour produire des biens et services. Dans la figure ci-dessous on peut observer les différents circuits énergétiques qui décrivent les interactions entre les composantes de l'écosystème parmi les flux énergétiques.

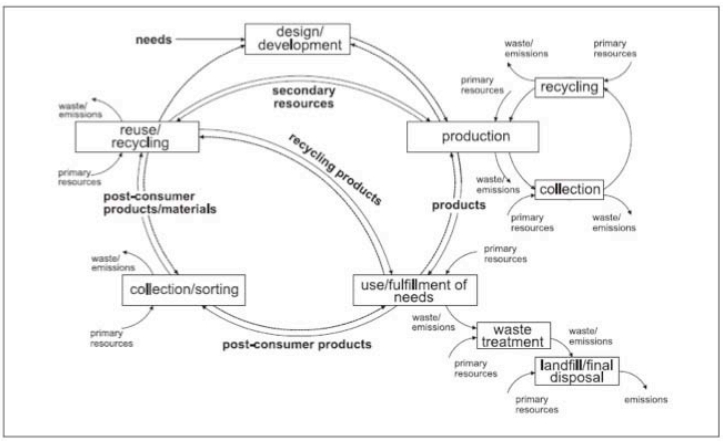
Figure 10 Symboles des circuits d'énergie en interaction avec l'écosystème



a) energy circuit ; b)source ; c) tank ; d)heat sink ; e)interaction ; f)producer ; g)consumer ; h)transaction ; i)box
Source : Huang et al.,2006

La troisième méthode consiste en l'analyse du cycle de vie des produits au sein d'un système et son potentiel d'impact sur l'environnement. Cette méthode peut évaluer les émissions des inputs et outputs associés à l'activité économique dans les différents secteurs de l'économie. En d'autres termes c'est un outil qui donne une dimension socio-économique des impacts environnementaux des activités urbaines. Il analyse la quantité de « polluants » émis à chaque étape où le produit passe. Dans la figure on peut voir la représentation schématique du cycle de vie d'un produit.

Figure 11 Représentation schématique du cycle de vie d'un produit



Source : Rebitzer et al. 2004

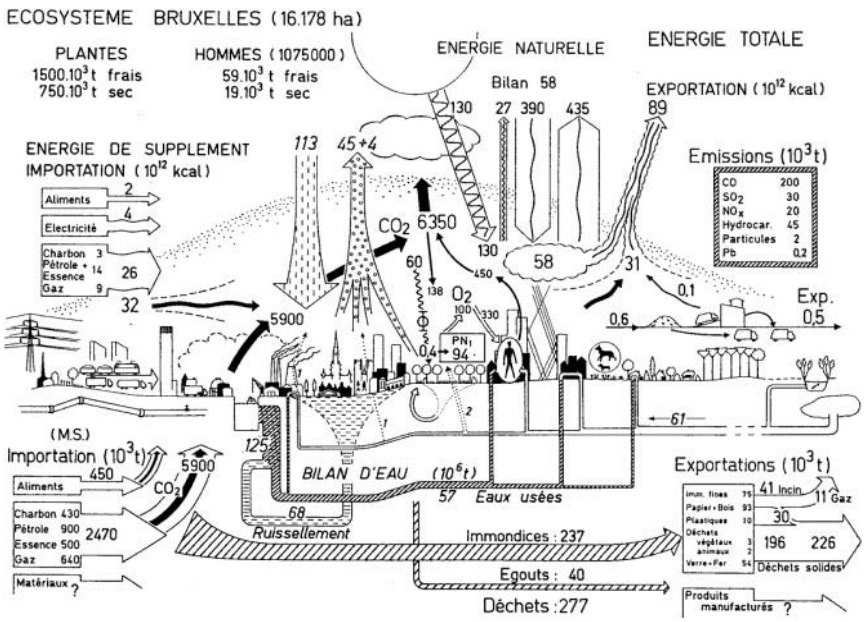
2.2 Travaux existants

Le concept de métabolisme urbain est fondamental pour développer des territoires plus durables. Il est apparu dans les années 70, disparu pendant les années 80 et il est réapparu dans les années 90. Très récemment la recherche autour de ce concept a été plus développée. Cela est visible par les nombreux travaux qui ont été publiés sur ce sujet.

Les premières études se focalisaient sur des études quantitatives. Wolman (1965) a utilisé les statistiques nationales de l'eau, la nourriture et l'emploi du carburant pour déterminer les entrées et sorties des flux per capita dans une hypothétique ville américaine d'un million d'habitants.

D'après Wolman, l'intérêt de l'analyse du métabolisme urbain pour évaluer les questions autour de l'usage des matières et énergies des villes a augmenté. Dans le domaine de l'énergie, l'analyse du métabolisme urbain est apparue depuis la compréhension d'une disponibilité limitée des combustibles fossiles et ses impacts sur l'environnement. Ainsi, à travers l'analyse du métabolisme urbain « thus, reducing impacts means the reduction of current resource inputs in order to achieve more sustainable outcomes in the future » ,(Newman et Kenworthy, 1999). Les premiers travaux autour l'analyse de l'usage d'énergie, directe ou indirecte, se sont fait à partir d'études sur trois villes : Tokyo, Brussels et Hong Kong. Une des études les plus complètes, voir figure 12, est celle du métabolisme de Bruxelles car elle inclue un bilan de l'énergie naturelle.

Figure 12 Le métabolisme de Bruxelles, Belgique au début de 1970



Source: The urban metabolism of Brussels. Duvigneaud et Denayeyer-De Smet, 1977

Pendant les années 70, les études décrivaient le métabolisme en relation avec les équivalences de l'énergie solaire. Ces analyses caractérisaient les produits selon la quantité nécessaire d'énergie pour les produire faisant l'hypothèse que la radiation solaire était la seule source d'énergie, (entrée d'énergie). Cette méthode a été par la suite réutilisée pour la ville de Miami, Paris, Taipei et Beijing.

Pendant les années 80 les publications sur le métabolisme ont cessé et il existe juste une publication, (Bohle 1994), dans laquelle se constate que l'analyse du métabolisme urbain a un potentiel pour examiner les systèmes urbain alimentaires dans les pays en voie de développement. A partir de là des spécialistes tels que Girardet commencent à voir la relation qui peut être faite entre le métabolisme urbain et le développement durable des villes.

Les années 90 ont connu un certain nombre de développement des méthodes d'analyses des flux de matières en particulier dans la quantification des flux et des stocks de ressources. Par exemple, des statistiques d'EUROSTAT ont été construites pour donner les quantités des combustibles fossiles en kilotonnes/an. Les études de Baccini et Brunner sont basées dans les précédentes analyses du métabolisme en termes énergétiques des années 70, avec l'incorporation des flux d'eau, matières et nutriments exprimés en flux de masse.

Le changement du millénaire est marqué par plusieurs travaux autour de l'analyse du métabolisme urbain. Newman (1999) a publié une étude sur la ville de Sydney, qui fait partie d'un rapport sur l'Australie le « State of the Environment ». Il propose un modèle qui inclut des indicateurs de santé, emploi, éducation parmi autres. L'étude de la relation entre métabolisme urbain et la qualité de vie est mené par les australiens.

Warren-Rhodes et Koenig (2001) ont actualisé l'étude de la ville de Hong Kong. Cette étude a été très importante car elle montre l'intérêt de comprendre le métabolisme urbain. Elle décrit l'augmentation des impacts sur l'environnement pendant la transition du système-socioéconomique de Hong Kong entre 1971 et 1997 avec l'addition de 3 millions de personnes. La consommation per capita de nourriture, eau et matières a augmenté respectivement autour de 20%, 40% et 149% en comparaison de l'année 1971. « Ainsi les émissions totales, les outputs de CO_2, les déchets solides se sont accrus respectivement de 30%, 250%, 245% et 153% » (Warren-Rhodes et Koenig, 2001).

Kennedy et al. (2007) ont mené une étude dans laquelle ils se centrent sur la compréhension du changement du métabolisme. Ils ont incorporé des analyses antérieures des villes comme Toronto, Cape, et London qui montrent que le métabolisme des villes est en train d'augmenter. Ils expliquent qu'il y a une nécessité de « gérer» l'accumulation des polluants dans l'eau, sols et dans l'air.

L'analyse du métabolisme s'est fait aussi autour des nutriments, principalement le phosphore et l'azote. Cela a été fait pour la ville de Bangkok et de Stockholm. Les flux d'azote dans le métabolisme alimentaires ont été étudiés pour les villes de Toronto et Paris.

La figure 13 montre la liste des travaux menés sur le métabolisme urbain depuis les années 1960 et montrent leur augmentation au cours des dernières années. D'autres travaux de recherche sont en attente de publications telles ceux du projet « SUME ».

Figure 13 Chronologie des études du métabolisme urbain

Author (year)	City or region of study	Notes/contribution
Wolman (1965)	Hypothetical US city of 1 million people	Seminal study
Zucchetto (1975)	Miami	Emergy approach
Stanhill (1977); Odum (1983)	1850s Paris	Emergy approach
Hanya and Ambe (1976).	Toyko	
Duvigneaud and Denayeyer-De Smet (1977)	Brussels	Includes natural energy balance
Newcombe et al. (1978); Boyden et al. (1981)	Hong Kong	Particularly comprehensive metabolism study
Girardet (1992)		Recognized link to sustainable development of cities
Bohle (1994)		Critiqued metabolism perspective for studying food in developing cities
European Environment Agency (1995)	Prague (comprehensive metabolism study)	Energy use data for Barcelona and seven other European cities given in the report.
Nilson (1995)	Gävle, Sweden	Phosphorus budget
Baccini (1997).	Swiss Lowlands	
Huang (1998).	Taipei	Emergy approach
Newman (1999); Newman et al. (1996)	Sydney	Adds liveability measures
Stimson et al. (1999)	Brisbane & Southeast Queensland	Framework relating urban metabolism to quality of life.
Hermanowicz and Asano (1999)		Water
Hendriks et al. (2000).	Vienna & Swiss Lowlands	
Warren-Rhodes and Koenig (2001).	Hong Kong	
Baker et al. (2001)	Phoenix & Central Arizona	Nitrogen balance
Sörme et al. (2001)	Stockholm	Heavy metals
Svidén and Jonsson (2001)	Stockholm	Mercury
Obernosterer and Brunner (2001)	Vienna	Lead
Færge et al. (2001)	Bangkok	Nitrogen & Phosphorus
Chartered Institute of Wastes Management (2002)	London	
Gasson (2002)	Cape Town	
Barrett et al. (2002)	York, UK	Materials
Obernosterer (2002)		Metals
Sahely et al. (2003).	Toronto	
Emmenegger et al. (2003)	Geneva	
Burstrom et al. (2003)	Stockholm	Nitrogen & Phosphorus
Gandy (2004)		Water
Lennox and Turner (2004)		State of the Environment report
Hammer and Giljum (2006)	Hamburg, Vienna and Leipzig	Materials
Kennedy et al. (2007)		Review of changing metabolism
Schulz (2007)	Singapore	Materials
Barles (2007a)	Paris	Historical study of nitrogen in food metabolism
Forkes (2007)	Toronto	Nitrogen in food metabolism
Zhang and Yang (2007)	Shenzhen, China	Develops eco-efficiency measure
Ngo and Pataki (2008)	Los Angeles	
Chrysoulakis (2008)		New project under EU 7th framework
Schremmer and Stead (2009)		New project under EU 7th framework
Barles (2009, 2007b)	Paris	Analysis of central city, suburbs and region.
Zhang et al. (2009)	Beijing	Emergy approach
Niza et al. (2009)	Lisbon	Materials
Deilmann (2009)		Studies relationship between metabolism and city surface
Baker et al. (2001)		Water
Thériault and Laroche (2009)	Greater Moncton, New Brunswick	Water
Browne et al. (2009)	Limerick, Ireland	Develops measure of metabolic efficiency

Source : Revue ElSEVIER- Environmental Pollution. Kennedy et al 2011

2.3 L'analyse du métabolisme lié a l'alimentation

Depuis l'origine de l'existence, les humains doivent s'alimenter pour répondre à leurs besoins d'énergie, de protéines et de minéraux. De la terre et d'autres ressources naturelles sont utilisés. La production des aliments a changé depuis le 19ème siècle, et la demande en a augmenté. Ainsi l'agriculture a utilisé de plus en plus d''énergie fossile et de fertilisants, au même temps que dans la diète humaine les protéines animales ont pris de plus en plus d'importance bien que plus espace et plus des ressources soient nécessaires pour les produire.

Malthus, économiste et démographe, a argumenté à la fin du 18 ème siècle que l'espèce humaine ne serait capable de garantir son approvisionnement alimentaire qu'à la condition de strictement limiter sa reproduction.

L'Organisation des Nations Unies prévoit une augmentation de la population dans les zones urbaines de plus de un 40 % de la population actuel, c'est a dire d'une population mondiale de 9100 millions d'habitants pour 2050. Ainsi en 2030, le 60 % de la population mondiale devrait vivre dans les zones urbaines, loin des terres agricoles où leur nourriture est produite. De son côté, le « Living Planet report 2002 » (WWF 2002), prédit une augmentation de la consommation mondiale de viande et poisson de 100% entre 2000 et 2050, ce qui ne peut que conduire à une augmentation l'utilisation des ressources et des espaces pour la production agricole.

Dans ce contexte se pose inévitablement la question de savoir s'il sera possible de garantir le futur de la consommation humaine, surtout compte tenu de l'augmentation de la consommation de produits d'origine animale. Pour tout cela, il semble important de faire des analyses du métabolisme urbain autour de l'alimentation et agriculture car cette analyse peut servir pour réorienter l'agriculture et le système alimentaire d'un territoire donné.

Cette analyse met à jour la relation entre la consommation alimentaire humaine avec l'environnement car elle révèle les flux de matières comment par exemple, ceux d'azote.

Cette analyse des flux autour de l'alimentation se fait en étudiant les flux des nutriments comme l'azote et le phosphore.

Aussi, il semble important de faire un bilan de flux d'azote car c'est un nutriment clé pour l'agriculture et l'alimentation humaine.

2.3.1 L'azote

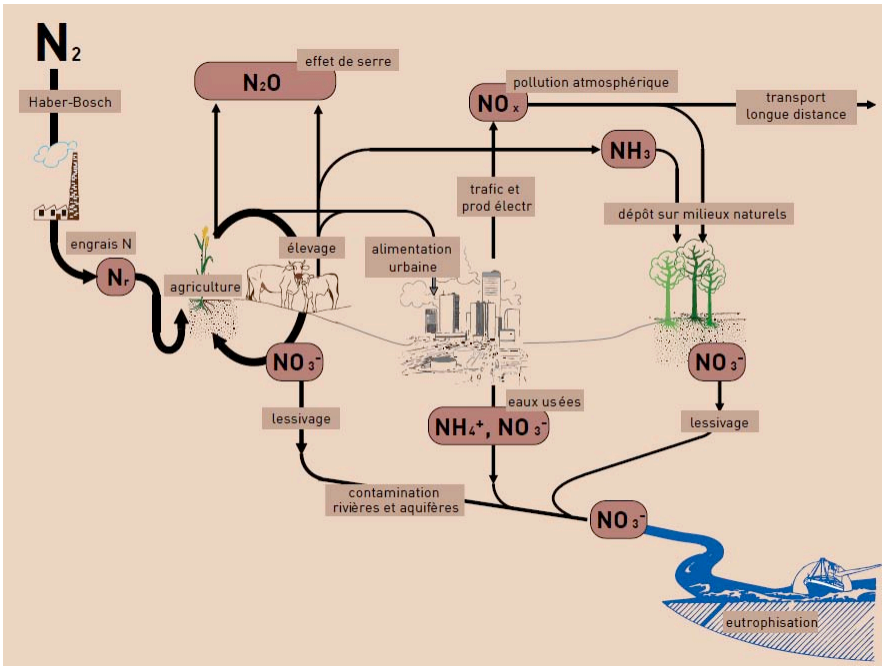
Dans cette partie d'abord on décrira pourquoi nous semble important d'évaluer les flux d'azote. Dans la partie des résultats, nous tenterons de faire un bilan de flux du

département de l'Hérault car, comme nous l'avons souligné précédemment, cela n'est pas possible pour l'agglomération de Montpellier en raison du manque de données concernant un certain nombre de variables nécessaires à l'exercice.

2.3.1.1 Importance de l'analyse des flux de l'azote

L'azote est un élément clé dans l'agriculture car c'est l'élément le plus souvent limitant la production végétale. Il est régulateur du fonctionnement des écosystèmes dont les systèmes socio-économiques font partie. Ainsi il est présent dans les protéines, (alimentation humaine).L'azote est présent dans l'eau ou la terre mais aussi dans l'atmosphère sous forme pure mais aussi sous forme d'oxydes d'azote (N_2O), que conduit à la formation d'ozone, facteur de pollution atmosphérique. La qualité de l'air est donc influencée par cet élément. La figure 14 montre la présence de l'azote dans toutes ses étapes.

Figure 14 Schéma du circuit de l'azote

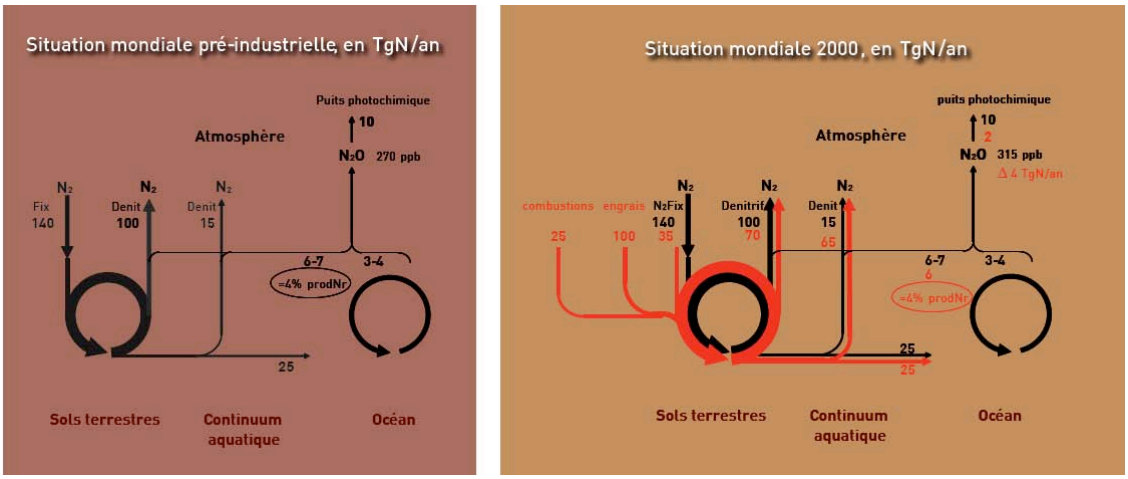


Source : (Agence de l'eau Seine-Normandie, Billen, et Programme interdisciplinaire de recherche sur l'environnement de la Seine, 2011)

Les émissions vers l'air sont une des préoccupations environnementales majeures de nos jours. Du fait du changement climatique, les états commencent se rendre compte de l'impact des émissions vers l'atmosphère et actuellement ils font des efforts pour les diminuer. Ces efforts se concentrent sur la diminution des gaz à effet de serre y compris les oxydes d'azote et l'ammoniac.

Le résultat des pratiques agricoles et urbaines actuelles est que les milieux naturels se retrouvent enrichis en azote de manière indirecte. Aujourd'hui, la quantité d'azote présente dans la biosphère du fait des systèmes socio-économiques, est supérieure à celle qui produite par les processus naturels de fixation biologique. « Cette perturbation a multiplié par deux l'intensité du cycle naturel a l'échelle du monde, par 4 en Europe, (Mouchel et Billen, 2011)». « Cela provoque une altération de leur flore et de leur faune qui se traduit par une perte de biodiversité, et une pollution des milieux aquatiques (PIREN-Seine n° 3, la pollution par les nitrates) ». Il s'agit d'une perturbation préoccupante car elle est à l'origine de problèmes environnementaux multiples, (contamination nitrique des eaux, eutrophisation marine, pollution atmosphérique par les oxydes de l'azote et l'ammoniac, pluies acides, altération de sols, accroissements de l'effet de serre, destruction de la couche d'ozone).

Figure 15 Le cycle global de l'azote préindustriel et actuel



Source : Programme Piren-Seine.

Ce phénomène est récent car il est la conséquence du progrès de l'industrie chimie et l'augmentation du trafic automobile.

Les effets négatifs dus à la perturbation du cycle de l'azote sont de plus en plus présents et les projets pour les diminuer commencent apparaitre. A l'échelle européenne citons « Nitrogen in Europe » qui a donné lieu à un ouvrage collectif vient faisant les points « sur tous les aspects des perturbations du cycle de l'azote (Sutton, Howard, et Erisman, 2011) ». Pour ces raisons, l'analyse des flux d'azote dans notre analyse semble importante car il peut décrire l'empreinte environnementale que l'azote fait sur l'ensemble du territoire d'étude.

Aussi l'azote est une unité de mesure qui permet de comparer des flux des différentes matières comme les engrais, déchets, les légumes en en fait de toute

biomasse, qui peut donner un ensemble des flux dans un système socioéconomique.

2.3.1.2 Les étapes de la cascade de l'azote

Après l'analyse des perturbations apportées au cycle de l'azote à l'échelle du globe, notre étude se concentre sur le département de l'Hérault. Comment l'azote est-il apporté sur ce territoire en conséquence des activités urbaines et agricoles ? Avec quelles conséquences environnementales ?

Tout d'abord nous allons faire référence au concept de la cascade d'azote, avant de décrire les étapes du son parcours. La cascade d'azote désigne « le cheminement à travers les différents compartiments de la pédosphère, de la biosphère et de l'atmosphère, d'un atome d'azote introduit sous forme d'azote réactif, avant de retourner dans le réservoir de diazote atmosphérique (Mouchel et Billen, 2011) »

- *La gestion de l'azote alimentaire urbain*

Les habitants d'un département comme l'Hérault agissent sur les milieux naturels qui les entourent et l'alimentent, en stimulant dans ce territoire la production de produits agricoles et concentrant vers elle un flux d'azote considérable. Chaque habitant urbain consomme en effet aujourd'hui plus de 8 kgN/an sous forme de produits céréaliers, animaux, fruits et légumes.

Prés d'un tiers d'azote rejoint les déchets solides urbains ; le reste est ingéré et se retrouve sous formes d'excréments dans les eaux résiduaires urbaines. Autrefois, l'azote contenu dans les eaux usées, s'il n'était pas rejeté intégralement aux rivières, n'était que partiellement retenu par les stations d'épuration. Grace a la directive européenne sur les eaux résiduaires urbaines de 1991, les agglomération de plus de 10000 habitants dans les zones dites sensibles à l'eutrophisation sont obligées de procéder à un traitement spécifique destinée a retenir l'azote et le phosphore.

Dans la partie suivante on va développer les différents sources et méthodes utilisées pour l'analyse du métabolisme urbain lié a l'alimentation dans notre territoire d'étude dans le quel est compris l'analyse des flux d'azote.

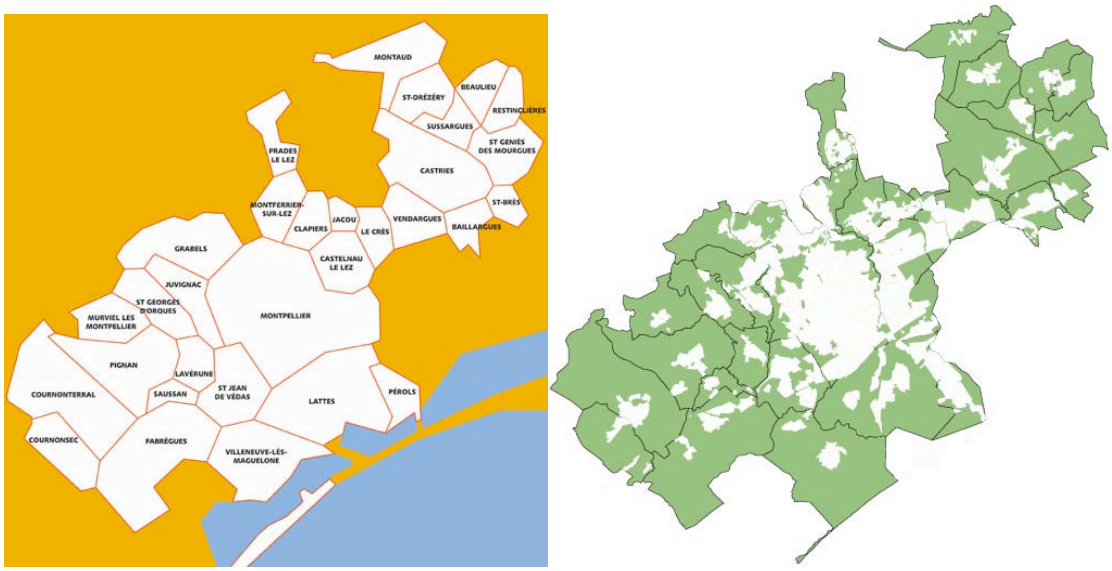
3. L'Hérault et Montpellier agglomération : un cas exemplaire du métabolisme linéaire et déficitaire

Dans cette partie nous présentons dans un premier temps les résultats de l'ensemble des flux des matières liés à l'alimentation et agriculture de l'Hérault. Dans un deuxième temps nous avons estimé, à partir des données départementales, ces mêmes flux pour l'agglomération de Montpellier.

3.1 Objectif de l'étude, périmètre et année d'étude

L'objectif initial de ce travail était d'estimer les flux liés à l'alimentation de l'agglomération de Montpellier. Du fait de l'absence de donnés pour divers flux au niveau l'agglomération nous avons construit un bilan portant sur le département de l'Hérault. Puis, à partir des résultats calculés par habitant et par an, réaliser une estimation pour l'agglomération de Montpellier.

Figure 16 Périmètre de Montpellier Agglomération/ Surface en espaces vertes



Source : SCOT Montpellier agglomération

Le cas de l'agglomération de Montpellier est très intéressant car ce territoire présente une forte croissance, (la plus élevée de France), qui est accompagnée d'une urbanisation extensive. Ce fort dynamisme se manifeste maintenant depuis plusieurs décennies et il suscite de nombreuses interrogations notamment s'agissant de ses impacts environnementaux. L'analyse des flux que mobilise ce territoire pour ses besoins et des flux qu'il rejette vers la nature, en nous

permettant d'estimer son empreinte environnementale, peut dans une certaine mesure contribuer à répondre à ses questionnements.

Nous avons cependant limité notre analyse aux flux de matière et d'énergie liés à l'alimentation et agriculture. Cette partie s'articulera donc autour des questions suivantes : d'où viennent les flux entrants à Montpellier Agglomération et dans l'Hérault ? Où vont les flux sortants ?

Cette étude porte sur l'année 2006 car c'est l'année pour laquelle l'ensemble de données nécessaires à notre travail était disponible. Afin de donner une certaine profondeur à l'analyse, nous avons par ailleurs confronté les résultats que nous avons obtenus pour l'Hérault et l'agglomération montpelliéraine avec ceux obtenus par Sabine Barles pour la Haute-Garonne et le Grand Toulouse.

Nous présenterons les résultats obtenus aux échelles départementale et intercommunale tout en nous efforçant, lorsque cela sera possible, d'établir une comparaison entre nos territoires d'étude et ceux de la Haute-Garonne et de l'agglomération toulousaine et de Paris pour le cas des flux d'azote.

3.2 Principales caractéristiques de la région d'étude

Avant de nous centrer sur la question des flux générés par l'agglomération de Montpellier et de l'Hérault, il nous faut présenter brièvement le contexte général et la dynamique agricole de nos territoires d'étude. Notre propos se centrera sur l'agglomération de Montpellier à partir de l'analyse du département de l'Hérault. Les éléments qui suivent permettent de comprendre le cadre dans lequel se développe la situation de ce territoire.

3.2.1 Contexte démographique

Montpellier Agglomération est une communauté d'agglomération issue de la transformation du District de Montpellier en 2001. Le District a été reconnu en 1965 et avait alors pour compétences les politiques d'urbanisation et de développement économique (Montpellier Agglomération, 2012). Il était alors composé de 12 communes.

En 1999, la loi « renforcement et simplification de la coopération intercommunale » a cherché à amplifier le mouvement et à l'étendre aux espaces urbains en créant une nouvelle catégorie juridique dédiée : la communauté d'agglomération dont l'essor spectaculaire résulte de la transformation

d'anciennes structures (districts, syndicats d'agglomération nouvelle...).Depuis 1999, l'intercommunalité se déploie donc sous la forme de 3 catégories de communautés, plus ou moins intégrées selon les contextes territoriaux.

Tableau 1 Différences des intercommunalités en France

COMMUNAUTE	SEUIL	COMPETENCES
Communes	Aucun	Aménagement de l'espace Développent économique
Agglomération	Au moins 50 000 habitants, centre ville plus de 15 000 habitants	Aménagement de l'espace Développent économique Transports collectifs urbains Equilibre social Habitat Politique de la ville
Urbaine	Plus de 450 000 habitants	Urbanisme Voirie Parcs de stationnement Valorisation des déchets Assainissement, Cimetières, Abattoirs, Marchés d'intérêt national.

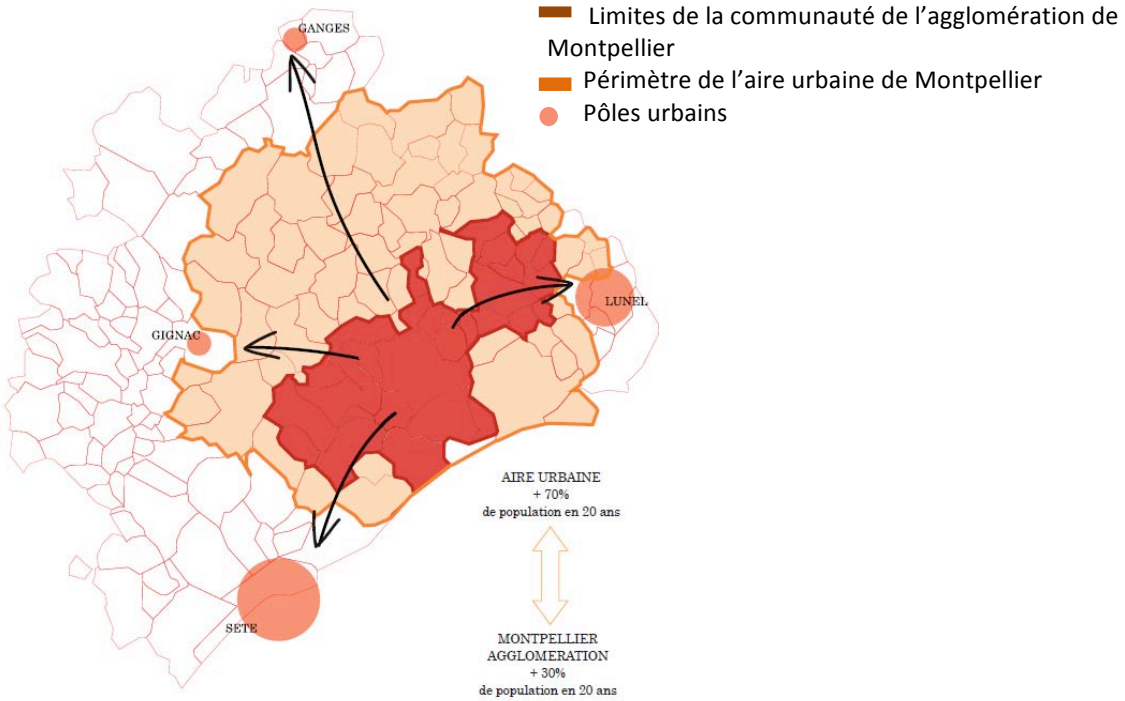
Source : Réalisation personnelle à partir de la loi de renforcement et de simplification de la coopération intercommunale

Le passage en communauté d'agglomération a non seulement augmenté le nombre de communes concernées par ce regroupement, mais aussi a changé la manière d'aborder la gestion du territoire. Montpellier Agglomération, en se dotant d'un Agenda 21, est maintenant organisée autour d'un «projet global et concerté de développement durable en faveur de l'intérêt général», (Montpellier Agglomération, 2012). Elle s'appuie pour cela sur le concept d'écocité, en écho à la marque « Montpellier Unlimited » (Roussel, Chargée de mission du service développement économique, 2013).

Son périmètre rassemble trente-une communes sur une surface de 438.5 km². Cela représente le 7% du territoire du département de l'Hérault. L'agglomération de Montpellier constitue également, du point de vue de l'INSEE, le pôle urbain* de l'aire urbaine de Montpellier (80% de la population de l'aire urbaine).

*Pôle urbain : unité urbaine offrant plus de 10 000 emplois. Unité urbaine : commune ou ensemble de communes présentant une zone de bâti continu (pas de coupure de plus de 200 mètres entre deux constructions) qui compte au moins 2 000 habitants (INSEE).

Figure 17 La communauté d'agglomération de Montpellier et son aire urbaine



Source : SCOT de l'agglomération de Montpellier

Avec ses 419 291 habitants**, l'agglomération de Montpellier regroupe 40 % de la population de l'Hérault, soit près de la moitié des habitants du département ce qui fait d'elle la quinzième agglomération de France (recensement 2009 de l'INSEE).

L'agglomération de Montpellier attire près de 3200 nouveaux habitants chaque année, (l'apport migratoire contribue pour 58 % à la croissance démographique), soit la plus forte augmentation démographique de France de ces 20 dernières années. Les projections démographiques de 2006, estiment qu'en 2020, l'agglomération atteindra jusqu'à 100 000 habitants supplémentaires. La croissance démographique a progressé entre 1990 et 2006, (la plus élevé de France). Elle s'essouffle depuis 1999 avec un taux de croissance de 1.5 % par an entre 1999 et 2006 (tableau 2).

***Au 1er janvier 2012 (source INSEE)*

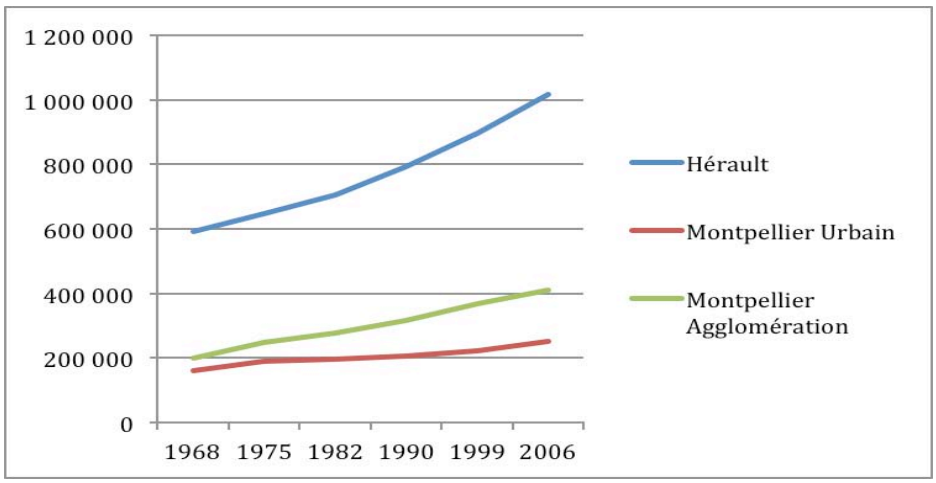
Tableau 2 Variation de la population entre 1999-2006

	Population 1999	Population 2006	Taux annuel de variation 1990-2006	Population 2012	Croissance 1990-2012
Agglomération	366 945	406 139	+1,5	419 291	
Montpellier ville	225 511	254 974	+1,6	258 366	+ 22,53
Périphérie	141 434	154 505	+1,3		
Reste aire urbaine	92 527	103 696	+1,6		

Réalisation personnelle depuis INSEE

Pour donner une idée de la croissance de Montpellier nous l'avons resitué dans son contexte régional et national.

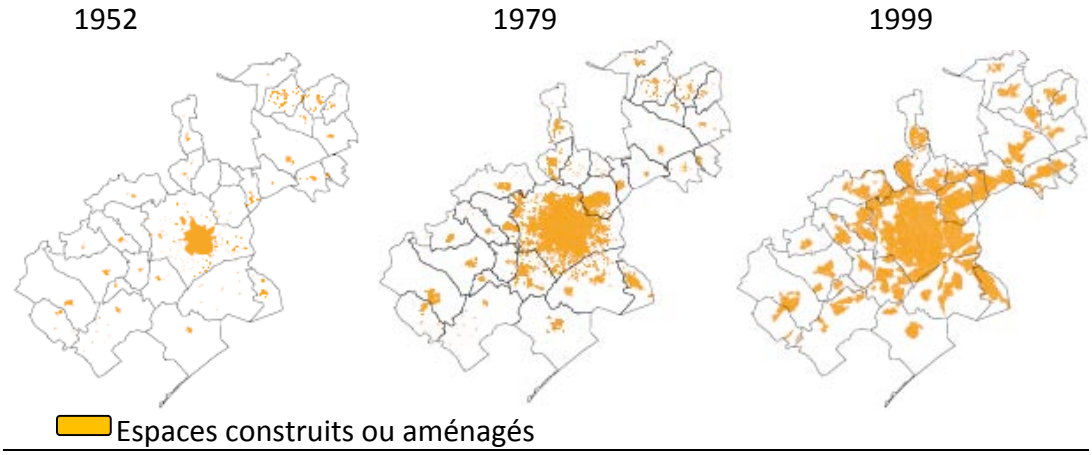
Figure 18 La croissance montpelliéraine dans son contexte départementale



Réalisation personnelle depuis INSEE

Cette croissance démographique a provoqué une considérable augmentation, sur les 35 dernières années, de l'occupation résidentielle, (figure 19) et des pratiques urbaines, (se déplacer, s'éduquer, consommer, travailler). La figure 20 présente l'évolution de la répartition de l'espace d'une partie de Montpellier entre 1952 et 2004.

Figure 19 Evolution de l'urbanisation de Montpellier Agglomération



Source : SCOT agglomération de Montpellier

Figure 20 Evolution de l'urbanisation d'une partie de Montpellier



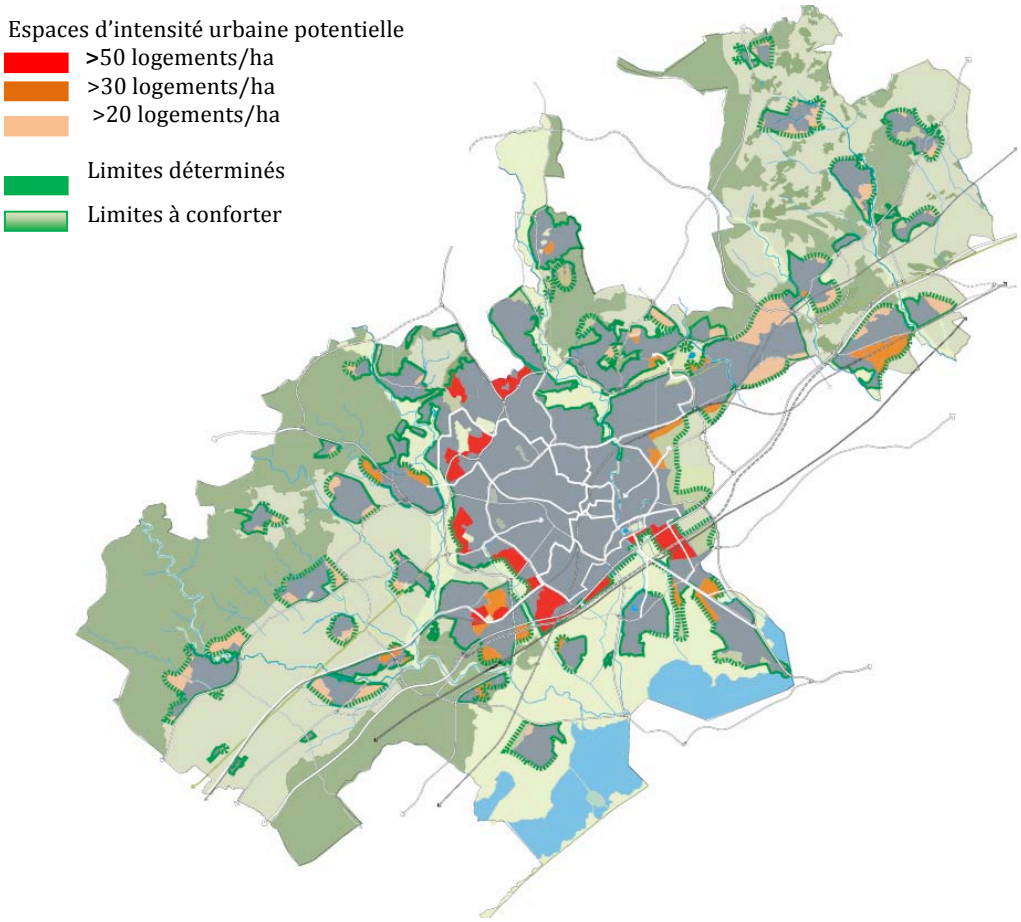
Source : IGN 1952



Source : IGN 2004

Le SCOT de l'agglomération de Montpellier, vise à renforcer l'intensité des espaces d'extension urbaine autour de projets qui prennent en compte les réalités sociales, économiques et environnementales. Cette dernière dimension s'impose de plus en plus dans la réflexion de l'aménagement des villes.

Figure 21 Espaces d'intensité urbaine potentielle actuels



Source : SCOT Montpellier Agglomération

Les projets de la gestion urbaine devront faire face à l'augmentation de population d'ici à 2020 et la question de l'espace nécessaire pour l'accueillir s'impose autour des projets d'urbanisation.

3.2.2 Contexte socioéconomique

Certaines des caractéristiques socio-économiques de Montpellier agglomération sont celles d'un territoire attractif qui se développe. Cela provoque une évolution d'emploi dynamique grâce à la création de nombreuses entreprises. Cela s'explique à partir de la croissance démographique qui est un des moteurs de ces forces créatrices.

Dans son ensemble, Montpellier agglomération est un territoire urbain jeune du fait de la présence de nombreux étudiants qui ont choisi Montpellier pour entamer et/ou poursuivre leurs études

Les emplois se concentrent principalement dans Montpellier et quelques communes limitrophes, comme Lattes, Castelnau le Lez, Saint Jean de Vedas, et Pérols. Cette concentration entraine des flux importants de déplacements domicile-travail pour les actifs dont le lieu de travail ne se situe pas dans la commune où ils résident. Les déplacements sont nombreux et les distances parcourues s'allongent car l'attractivité de Montpellier s'étend au-delà des frontières de l'Agglomération et même au-delà des limites de l'aire urbaine. En 2006, Montpellier Agglomération comptait 186 200 emplois. Depuis 1999, l'évolution de l'emploi a été très dynamique, environ + 3 %, soit 5 000 emplois supplémentaires par an. Ce sont dans les métiers de la culture et de loisirs, du bâtiment et de prestations intellectuelles, (architectes, ingénieurs), que le rythme de progression de l'emploi a été la plus marqué. Ces métiers, ainsi que ceux de santé et de d'action sociale, d'éducation et de formation, de conception et de recherche sont les plus représentés dans l'Agglomération montpelliéraine.

Tableau 3 Population active en 2006 (personnes de 15 à 64 ans)

Population active	**Montpellier**	Communes périphériques	Montpellier Agglomération
Population active de 15 à 64 ans	109 875	71 828	181 702
dont population active occupée en %	81,7	89,4	84,7
dont chômeurs en %	18,3	10,6	15,3
Part des actifs dans la population totale des 15 à 64 ans en %	61,4	69,9	64,5
Population active occupée	90 554	64 616	155 171
dont agriculteurs en %	0,2	0,7	0,4
dont artisans, commerçants en %	4,8	8,0	6,1
dont cadres en %	22,3	21,5	22,0
dont professions intermédiaires en %	28,5	29,5	28,9
dont employés en %	29,3	27,2	28,4
dont ouvriers en %	14,9	13,1	14,2

Réalisation personnelle depuis Insee

- ***Un territoire touché par le chômage***

Bien que la croissance démographique de l'agglomération ait été une force créatrice d'emplois, cela n'a pas suffi à combler les besoins de la population montpelliéraine et ceux des nouveaux arrivants. Le taux de chômage en 2013 est

supérieur à 14%. Ce chiffre fait de Montpellier la commune avec le plus fort taux de chômage en France.

3.2.3 Principales caractéristiques des territoires d'études

Cette partie présente les principales caractéristiques de la région, département et assimilés pour offrir une vision d'ensemble des territoires analysés, (Hérault et Montpellier agglomération). Elle est centrée sur la répartition de sols afin d'avoir une vision globale de l'espace et de voir quelle partie du territoire est dédiée à l'agriculture.

Actuellement le développement urbain de Montpellier s'effectue au détriment des espaces agricoles et naturels. Pour infléchir cette tendance, les nouveaux projets d'aménagement mis en place pour un développement durable de l'agglomération visent trois objectifs parmi lesquels, la préservation des espaces verts est le plus importante. Dans le tableau 4 nous pouvons observer la répartition d'espaces de l'agglomération en faisant comparaison avec la région et le département où elle se situe.

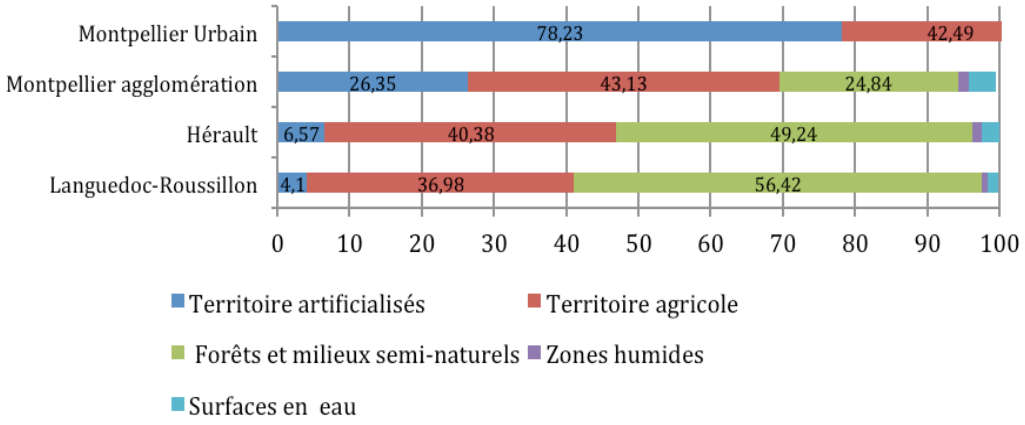
Tableau 4 Principales caractéristiques des territoires d'études 2006

	Région	Départements et assimilés		
	Languedoc-Roussillon	Hérault	Montpellier agglomération	Montpellier Urbain
Population(nb)	2 534 100	1 018 958	406139	225 511
Superficie (km^2)**	27848,5	6247,9	438,5	57,23
Territoire artif. (%)	4,1	6,57	26,35	78,23
Territoire agri. (%)	36,98	40,38	43,13	20,81
Forêts et milieux semi-naturels (%)	56,42	49,24	24,84	0,96
Zones humides (%)	0,9	1,28	1,49	0,0
Surfaces en eau (%)	1,44	2,52	3,69	0,0
Emplois	940 384	392 887	186 220	134 176
Agriculture (%)	4,2	2,8	0,8	0,4
Industrie (%)	8,4	7	6,8	5,4
Construction (%)	7,8	7,5	6,1	4,6
Tertiaire (%)	79,6	82,7	86,4	89,6
Produit intérieur brut	60 300			
Millions d'euros	65 656			
Euros/emploi				

*Réalisation personnelle d'après l'Insee et Corine Land Cover 2006 *Insee ** Corine Land Cover*

La figure 22 présente la répartition des espaces de Montpellier agglomération et la compare avec celle de la région et du département.

Figure 22 Répartition des espaces de Montpellier agglomération



Source: réalisation personnelle d'après AGRESTE, Corine Land Cover

➢ *Quelle espace pour l'agriculture ?*

Nous présentons ici, sommairement, le dynamisme agricole de Montpellier agglomération. Cette observation va nous permettre d'observer la situation de l'agriculture dans le territoire et va nous donner des pistes pour comprendre les résultats des certains flux comme sont ceux de production, importation et exportation.

En 2010, plus de huit exploitations agricoles héraultaises sur dix sont spécialisées en viticulture et l'Hérault demeure le deuxième département viticole au niveau national. La viticulture représente 61% de la valeur de la production agricole départementale et la vigne couvre 47% de la SAU départementale soit 86 100 ha en 2010 et 14% du territoire du département (Source RA 2010).

Entre 1988 et 2010 le nombre total d'exploitations cultivant de la vigne, (y compris les petites), a été divisé par 3 passant de 22 175 exploitations a 8 200 en 2010 (source: recensement agricole 2010).

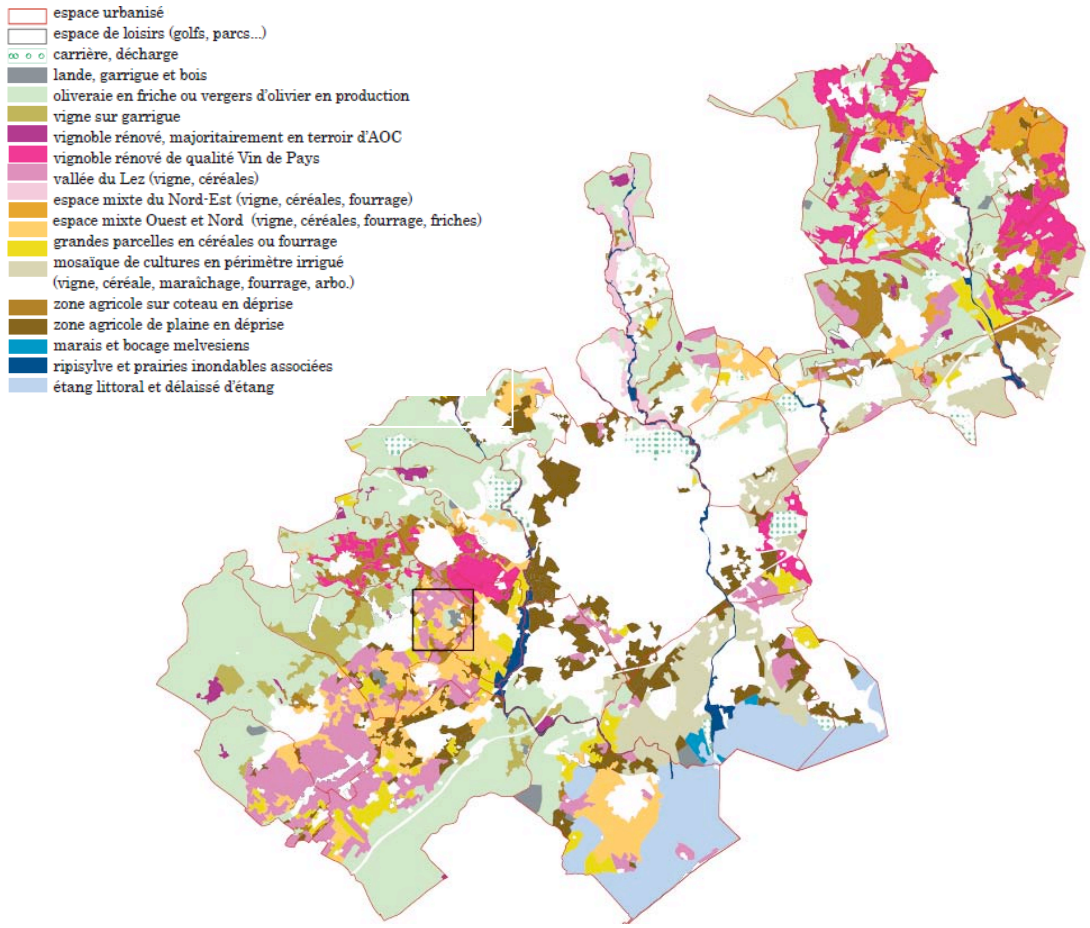
La production viticole diminue régulièrement depuis 2000, et les parcelles non replantées sont converties en d'autres cultures, restent en friche ou sont vouées à l'urbanisation. La place des vignes est importante dans le paysage, mais d'autres cultures le façonnent également. Exploitées par les éleveurs, les surfaces toujours en herbe, (STH), marquent le territoire du nord du département.

Les grandes cultures, (céréales et oléo-protéagineux), représentent 21 300 ha en 2011 dont 93% en céréales. Le blé dur, adapté au climat méditerranéen, constitue

80% des surfaces dédiées aux grandes cultures. Ces cultures sont concentrées sur la plaine littorale et biterroise et viennent en complément d'activité ou en remplacement de la vigne arrachée

L'agriculture dans l'agglomération de Montpellier, historiquement, est comme, dans l'ensemble de la région de Languedoc, dominé par la viticulture. Dans ces dernières années la surface dédiée à ce type de culture a crû de 15 % dans les communes du nord-est. D'après des données de l'AGRESTE, sur l'agglomération de Montpellier, la surface agricole utilisé a souffert une diminution d'un 20 % depuis 1979. L'agglomération de Montpellier se caractérisé par un espace agricole de plus en plus restreint et de plus en plus spécialisé en viticulture. D'autres productions ont pris de l'importance, notamment le maraîchage et l'élevage dont l'attractivité est liée à la proximité des circuits courts. Pour voir l'ensemble du la répartition agricole de notre territoire d'étude on peut regarder la figure 23.

Figure 23 Les unités agro physionomiques de Montpellier Agglomération



Source : SCOT de l'agglomération de Montpellier

3.3 Résultats

Dans cette partie on va quantifier les flux des matières et énergie que l'Hérault mobilise pour ses besoins en alimentation et agriculture pour l'année de référence. On va essayer de calculer pour chaque flux combien représente un habitant.

3.1.1 Présentation des sources et de la méthode utilisée

La comparaison entre d'une part, la Haute-Garonne et le Grand-Toulouse et d'autre part, l'Hérault et l'agglomération de Montpellier est possible dans quelques parties puisque nous avons utilisé les mêmes sources et méthodes (à quelques adaptations près).

L'analyse repose sur la réalisation d'un bilan de matières brutes dédié aux fruits, légumes, céréales et produits animaux.

Cette étude porte sur l'année 2006 car c'est celle pour laquelle l'ensemble de données nous étaient accessibles*. Les données de population, issues de l'INSEE, concernent la population municipale (Insee, RP 2006 exploitations principales).

a) Bilan des flux de fruits, légumes, céréales et produits animaux

(Extraction locale (EL) + Importations (DMI)) – Exportations (Ex) = Consommation nette (DMC).

Le bilan repose sur la comptabilité des flux entrants dans le système, eux-mêmes décomposés en extraction locale – Produits animaux, fruits, légumes et céréales récoltés au sein du périmètre d'étude – et importations, et des flux sortants. Les données concernant l'extraction locale à l'échelle départementale sont issues de la base de données AGRESTE du ministère de l'Agriculture.

*La base de données SITRAM 2006 a été acquise dans le cadre du projet Confluent ANR-08-VILL-0008

Les données relatives aux importations et exportations sont issues de la base de données AMSTRAM. Cependant, ces données présentent des limites qui ont un impact sur le bilan des fruits et légumes.

b) **Evaluation de la provenance des marchandises consommées par un territoire : AMSTRAM, statistiques de transport et de production**

Il nous faut préciser que la collecte des données nous a été facilitée par Gilles Billen lors de sa visite à Montpellier. Grace à lui nous avons pu avoir accès au logiciel AMSTRAM créé par Marie Sylvestre, Gilles Billen et Josette Garnier.

L'application AMSTRAM s'appuie sur trois types de données :

- **Données de transport de marchandises** : base SITRAM (Système d'information sur les transports de marchandises) produite par le Ministère des Transports et de l'équipement.

  Elle recense chaque année les flux de marchandises entre le lieu de dernier chargement (département français ou pays étranger) et leur destination (département français). Cette base est gérée par le Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS) du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et la Mer. La base existe depuis 1975 en ce qui concerne le transport routier (données issues d'enquêtes), 1974 pour le rail (données SNCF), 1971 pour la navigation intérieure (données Voies Navigables de France), 2000 pour la route au niveau européen et 1973 pour le commerce extérieur (données des Douanes). La nomenclature répartie les marchandises en 176 catégories et les flux sont donnés en tonnes annuelles

  Pour l'étranger, FAOSTAT (Food and Agriculture Organization) fournit une base de données des échanges commerciaux de produits agricoles bruts et transformés et recense chaque année le volume de produits échangés entre les différents pays du monde, quel que soit le mode de transport utilisé. Les produits sont répartis en 574 catégories et les données sont fournies en tonnes ou en nombre de têtes de bétail.

- **Données de production de marchandises** Les données de production de marchandises brutes issues de l'agriculture sont disponibles par département français et par année via Agreste, l'organisme de statistique et de recensement dépendant du Ministère de l'Agriculture. Ces données ne concernent que les quantités de produits agricoles bruts récoltés.

  FAOSTAT fournit également des données de production issues de l'agriculture au niveau national: récoltes de produits bruts, animaux terrestres vivants et produits transformés d'origine animale ou végétale.

- **Données géographiques et échelle de représentation des résultats** : Afin de cartographier l'origine de l'approvisionnement en marchandises, AMSTRAM dispose de couches d'informations géographiques délimitant les territoires concernés par les données statistiques employées ici à savoir les limites des départements français et des pays du monde. Les données géographiques ont été extraites de la base de données OpenStreetMap.

La liste des produits utilisée dans la base de données AMSTRAM ainsi celle des produits de la base AGRESTE sont données en annexe 6.

c) Adaptations pour le passage à l'échelle de l'agglomération de Montpellier

La base AMSTRAM n'existant pas aux échelles urbaines ou communales, nous avons fait l'hypothèse que la structure de la consommation nette était la même pour les agglomérations que pour les départements correspondants. Cette hypothèse s'appuie sur le constat concernant l'existence de formes « [d'] homogénéisation des comportements de consommation » et notamment «…de produits alimentaires [développées] avec la mondialisation et les politiques marketings des firmes transnationales» (Buton, 2006, p.25).

d) Données de biomasse

La production agricole est connue grâce à la statistique agricole annuelle (SAA) établie chaque année pour la France entière, les régions et les départements. La SAA donne des informations sur les surfaces, les productions et les rendements. Les données sont rassemblés par l'Agreste, service statistique du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentations, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire.

e) Consommation d'oxygène

Déduit des émissions. « En première approche, oxygène consommée est égale au CO_2 produit » (Barles et Bognon, 2011).

f) Emission vers l'air : eau

Déduit des émissions. « En première approche, eau produite par combustion, c'est à dire, 50% CO_2 produit » (Barles et Bognon, 2011)

f) Autres émissions vers l'air

Il existe un inventaire des émissions polluantes sur la région Languedoc-Roussillon pour l'année de référence, issues de l'AIR Languedoc-Roussillon. Cet inventaire fournit des données concernant les émissions d'une trentaine de polluants incluant les principaux gaz à effet de serre d'origine humaine et naturelle. La base comporte les émissions par secteurs d'activité pour les principaux polluants. Nous avons ainsi utilisé les données relatives aux émissions produites par l'agriculture et par habitant/an. Ces données existent au niveau régional, départemental et aussi pour l'agglomération de Montpellier.

h) Emission vers l'eau et vers le sol

La détermination des émissions vers l'eau, des décharges et d'une partie des usages dissipatifs (épandage agricole en particulier) nécessite la connaissance d'une part des flux de déchets, d'autre part de leurs modes et de leur lieu de traitement. Il faut tout d'abord recenser les différents flux de déchets solides et liquides puis en déduire les flux vers la nature en fonction des modes de traitement. Hormis les déchets ménagers et assimilés, il est difficile de recenser ces données car ils sont inexistants. Il est encore et plus difficile de suivre les déchets concernent l'alimentation et l'agriculture.

Les données concernant les déchets ménagers et assimilés ont été obtenue à partir du site de « SINOE » qui est une base de données consolidée et sécurisée. Cette base dispose d'un historique unique de 10 ans de données sur la gestion des déchets ménagers et assimilés.

i) Recyclage bio-déchets

Lors d'un entretien avec la responsable, (Marie Castagnet), de revalorisation de bios-déchets de la chambre de l'agriculture de l'Hérault nous avons pu recenser les données concernant l'année 2010 publiées dans le « Projet de plan de Prévention et de Gestion des Déchets Non Dangereux »

j) Consommation d'eau

La base de donnés EIDER produite par Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDTL) fournie des données concernant la consommation de l'eau par l'agriculture et par habitant/an. Nous n'avons toutefois pas pu réaliser un bilan complet car nous ne connaissons pas les flux d'eau de sorties.

Ces différentes données sont présentées dans un tableau mis en annexe 3.

3.3.1 Flux

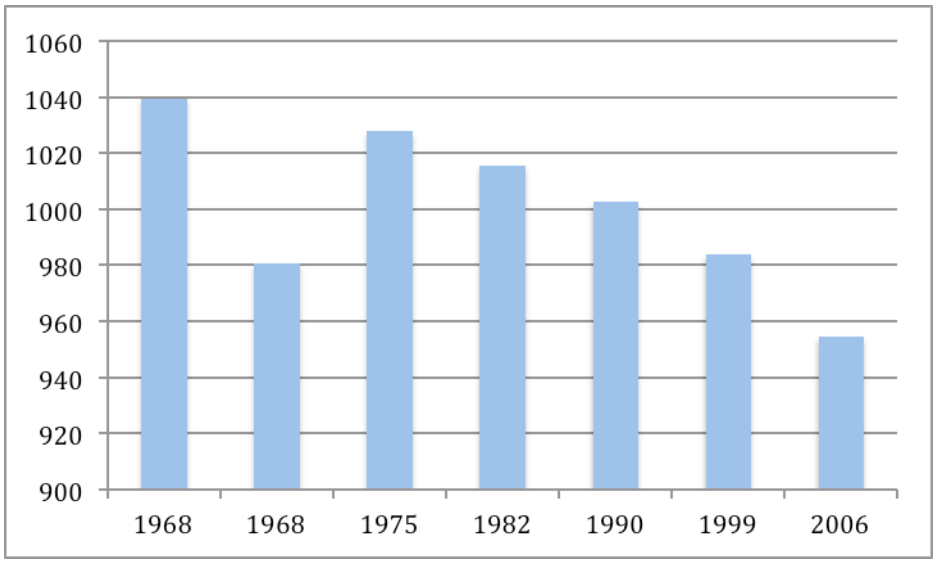
3.1.1.1 *Disponibilité alimentaire*

Nous avons observé l'évolution de la disponibilité alimentaire dans le temps jusqu'à 2006 pour voir combien est disponible pour un habitant français et observé dans quelle situation nous nous trouvons pour l'année d'étude. Elle est calculée à partir de la base de données FAOSTAT qui donne les chiffres par pays et par année.

A partir de l'image 24 nous pouvons observer une baisse progressive de la disponibilité alimentaire en France. Cela peut s'expliquer par le fait que la basse de données prend en compte les produits sans transformation et depuis quelques années les produits pré cuisinés et prêt à consommer sont de plus en plus présents dans les points de vente.

La croissance démographique est aussi un factor qui détermine la creuse de demande des aliments mondiaux qui se traduit en moins disponibilité dans le temps.

Figure 24 Evolution de la disponibilité alimentaire France kg/hab/an

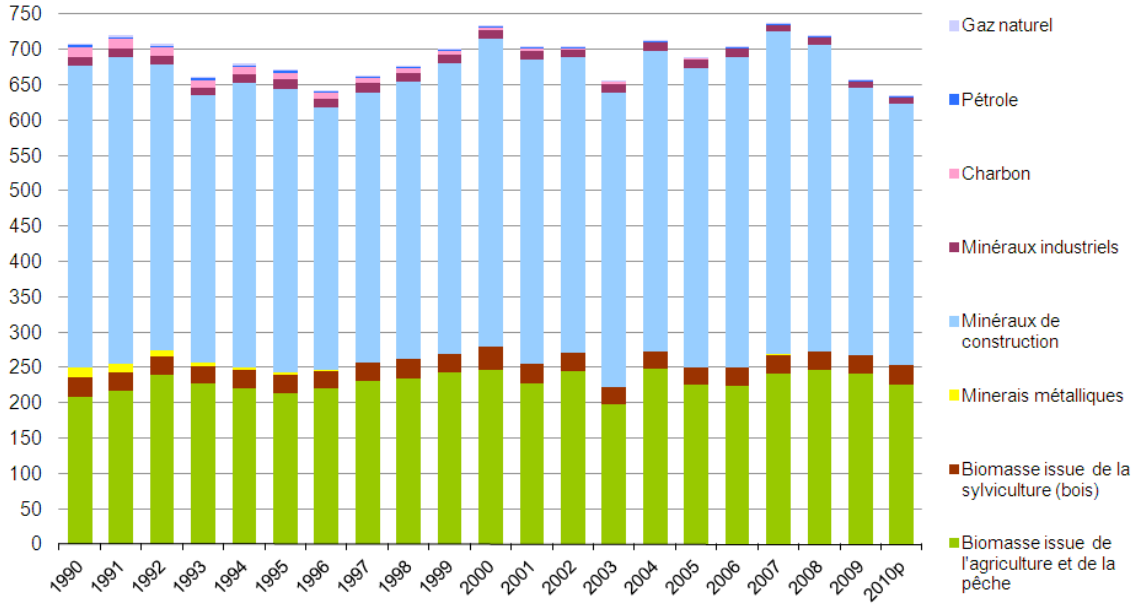


Réalisation personnelle d'après FAOSTAT et INSEE **Produits : voir annexe 4*

3.1.1.2 *Extraction locale*

L'extraction locale est bien connue à niveau national et montre les deux composants majeurs de ce flux : les minéraux de construction et la biomasse. Pour notre étude on prend seulement en considération l'ensemble de la biomasse car les analyses de flux concernent la partie liée à l'agriculture et à l'alimentation.

Figure 25 Extraction locale utilisée en France, 1990-2010, millions de tonnes



Source : Matieres extraites 2011

➢ Biomasse

Biomasse agricole

La production agricole est bien connue grâce à la statistique agricole annuelle (SAA) publié chaque année pour la France entière, mais aussi à l'échelle régionale et départementale, qui donne des indications sur les surfaces, les rendements et les productions. Les données sont centralisées par l'Agreste.

Tableau 5 Production de céréales, légumes et fruits, Hérault, 2006, Ktonnes

	Hérault	t/hab	t/km^2
Céréales	62,97	0,15	16,53
Légumes	55,155		
Fruits	41,827		

Source : Agreste

Biomasse forestière

L'agreste permet aussi de connaître, à l'échelle départementale, la production de bois en volume. Ces données avec celles de l'IFN, donne une information assez précise de la récolte du bois qui se produit dans le territoire.

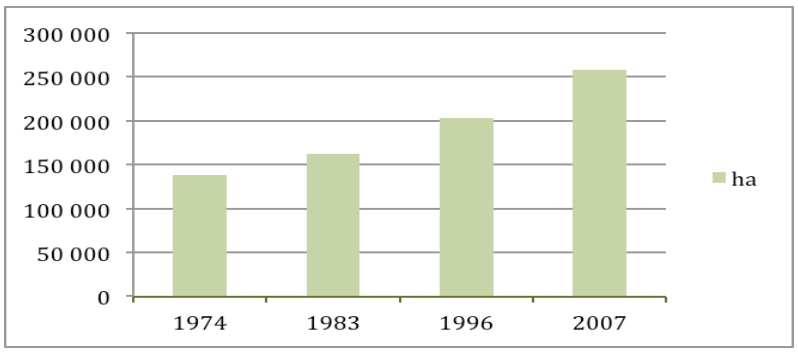
Avec une superficie boisée de 258 000 ha le département de l'Hérault a un taux de boisement de 41% supérieur au taux moyen national (25,4%) et proche du taux régional (43%). Dans le tableau 6 nous pouvons observer l'évolution depuis les années soixante dix. Dans la figure nous pouvons voir une photo de l'inventaire Forestier National de l'année 2002 car pour l'année 2006 il n'existe pas

Tableau 6 Taux d'évolution de boisement

1977	1984	1997	2007
29,60 %	26,10 %	29,60 %	26,97 %

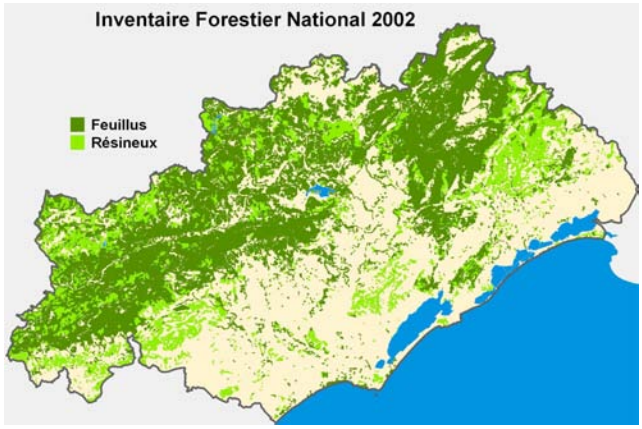
Source : IFN

Figure 26 Nombre des hectares boisés dans l'Hérault entre 1974-2007



Réalisation personnelle depuis IFN

Figure 27 Image des espaces boisés de l'Hérault



Source : IFN

Les données de récolte de bois pendant l'année 2006 sont connues à partir de l'Inventaire Forestier National.

Tableau 7 Récolte du bois, 2006,kt

	Hérault	t/hab	t/km^2
Récolte de Bois	143*	0,16	26,25

Source : IFN **kt non ecorcé*

Le tableau 8 donne une vue synthétique de l'extraction locale de biomasse aux deux échelles. L'extraction par habitant diminuera si on le considère pour Montpellier agglomération car ça reflétera l'artificialisation de sols.

Tableau 8 Bilan de biomasse, 2006, kt

	Hérault	t/hab	t/km^2
B. Agricole	174,364	0,188	16,53
B. Forestière	143	0,16	23,25
B. Totale	246,279	0,31	39,78

Source : Agreste

3.1.1.3 *Importations et exportations*

La connaissance des importations et des exportations du département est très complète, grâce à la base de données AMSTRAM que nous avons développée dans la partie sources et méthodes. L'objectif de cette partie c'est d'estimer les flux des importations et exportations pour l'année 2006.

Le tableau 9 présente le bilan global des flux de fruits, légumes, céréales et produits animaux en Hérault en milliers de tonnes, à l'exception de la dernière ligne exprimée en kg/hab/an ce qui nous permet de transposer les chiffres à l'échelle de Montpellier Agglomération.

Nous constatons que dans la partie de légumes l'Hérault importe beaucoup et exporte une grande partie. La consommation donc reste très grande par habitant. Ce chiffre méritait une analyse plus profonde mais comme première approche nous pouvons l'expliquer pour l'existence des plateformes des Auchan et Carrefour à côté de Béziers où les marchandises « dorment » et postérieurement part sans être comptabilisées par rapport aux données de la base AMSTRAM. Aussi, la moitié des marchandises des tomates qui rentrent du marché de Saint Charles, (Perpignan), dans l'Hérault et qui passe par ses autoroutes mais qui ne restent pas, peut sembler aussi une explication aux données de légumes. L'Hérault semble une ville dortoir des marchandises.

Tableau 9 Bilan des flux de fruits, légumes, céréales, produits animaux, Hérault, 2006, kt

	EL	I France	I Monde	DMI	Export	DMC
Agrumes	0,0	0,0	1,549	1,549	0,0	1,549
Autres fruits et noix frais	45,728	166,038	1,255	213,021	62,723	150,298
Fruits congelés, séchés ou déshydratés, préparations et conserves de fruits	0,0	26,4	31,239	57,639	2,016	55,623
Total fruits	**45,728**	**192,438**	**34,043**	**272,209**	**64,739**	**207,47**
Autres légumes frais ou congelés	64,567	771,157	33,649	869,373	475,926	393,447
Légumes secs	0,428	15,663	0,921	17,012	14,666	2,346
Préparations et conserves à base de légumes	0,0	0,0	28,566	28,566	0,0	28,566
Total légumes	**64,995**	**786,82**	**63,136**	**914,951**	**490,592**	**424,359**
Froment, épeautre, méteil	0,968	7,952	0,0	8,92	8,237	1,583
Orge	3,25	0,0	0,0	3,25	0,0	3,25
Seigle	0,025	0,0	0 ,0	0,025	0,0	0,025
Avoine	0,836	0,0	0,0	0,836	0,0	0,836
Maïs	2,629	3,504	0,0	6,133	4,628	1,505
Riz	0,0	0,0	4,784	4,784	0,0	4,784
Farine, semoules, gruaux de céréales	0,0	94,008	1,588	95,596	0,0	95,596
Malt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Autres produits à base de céréales	0,0	33,969	20,094	54,063	0,0	54,063
Paille, foin, balle de céréales	55,933	0,0	0,008	55,941	0,989	54,952
Total céréales	**63,641**	**139,433**	**26,474**	**229,548**	**13,854**	**216,594**
Animaux vivants	7,096	0,0	0,021	7,117	0,0	7,117
Viande fraîche, réfrigérée et congelée	0,0	26,784	1,387	28,171	18,887	9,284
Lait frais et crème fraîche	6,476	54,652	0,0	61,128	21,808	39,320
Beurre, fromage, autres produits laitiers	0,0	20,550	3,814	24,364	0,0	24,364
Oeufs	3,513	6,3	1,258	11,071	0,0	11,071
Viande séchée, salée, fumée, préparations et conserves de viande	0,0	4,851	1,503	6,354	7,005	0,651
Total produits animaux	17,085	113,137	7,983	138,205	47,7	91,807
Ensemble fruits, légumes, céréales et produits animaux	**191,449**	**1231,828**	**131,636**	**1554,913**	**616,885**	**940,23**
Kg/hab/an	*188*	*1209*	*129*	*1526*	*605*	*923/**630***

Source : Réalisation personnelle depuis AMSTRAM

Au total, la consommation nette s'élève à 923 Kg/hab, mais ce chiffre englobe la chiffre « incorrecte » des légumes car las disponibilité intérieure en France et la disponibilité alimentaire de légumes est entre 128 et 100 kg/hab. Donc en comptant un chiffre moyen entre celles deux ci, on compte que la consommation de légumes est de 114 kg/hab. Pourtant la consommation nette s'élève à 630,31 kg/hab chiffre intermédiaire par rapport a la disponibilité alimentaire en France pour l'année 2006.

La distance entre les chiffres d'extraction locale et consommation nette est considérable, la seconde représentant près de 9 fois la première, ce qui traduit la dépendance du département à l'égard de l'extérieur pour son approvisionnement. En d'autres termes, il faudrait multiplier la production du département par 9 pour atteindre l'autosuffisance.

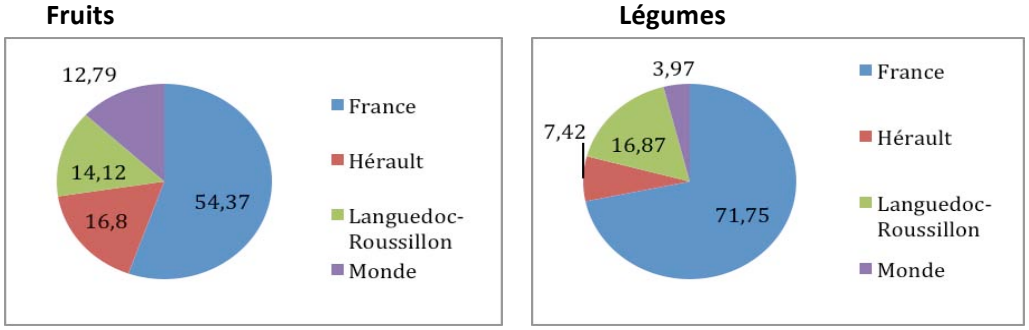
En prenant en compte le chiffre corrigé de la consommation nette, la distance entre DMI et DMC est tout aussi considérable, avec DMI= 2,4 DMC c'est qui se traduit en une priorité de fonction d'échange plutôt que celle d'approvisionnement, puisque près du 40 % des entrées totales sortent du département. Au total, DMI représente 8 fois l'extraction locale. La présence des centrales d'achat ou du marché d'intérêt national contribue à expliquer cette situation.

Dans l'annexe numéro 5 nous pouvons regarder les chiffres pour l'Haute-Garonne et faire une comparaison.

- Provenance des marchandises

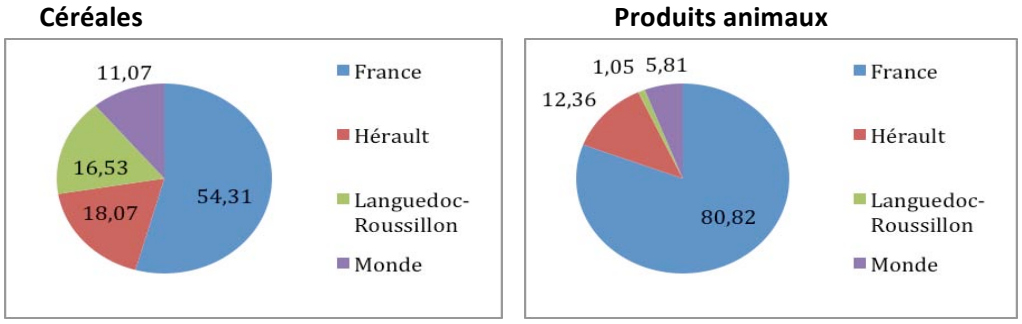
Reconnaître la dépendance du département et son rôle de plaque tournante surtout pour les légumes ne suffit pas : encore faut-il déterminer l'origine et la destination des produits. Afin d'apporter une vision synthétique de ces flux, les aires d'approvisionnement on été divisées en 4 catégories, (Hérault, France, Languedoc-Roussillon et reste du monde), pour les 4 tipes de produits. Cela est possible grâce à la basse de données AMSTRAM. Par contre, pour la destination de produits nous n'avons pas de données accessibles, non plus le temps de traiter.

Figure 28 Provenances des fruits et légumes %, 2006, Hérault



Source : Réalisation personnelle depuis AMSTRAM

Figure 29 Provenances des céréales et produits animaux %, 2006, Hérault



Source : Réalisation personnelle depuis AMSTRAM

Les origines des flux sont essentiellement nationales. Les échanges avec le reste du monde restent faibles par rapport aux échanges régionaux ou départementaux. Pour l'approvisionnement des céréales et fruits, l'extraction locale représente un petit quart des entrées, de même que plus de la moitié restante sont fourni par le reste de la France. Dans l'annexe 6 nous pouvons observer des plans qui concernent l'origine des entrées au niveau départemental, régional, national et mondial.

3.1.1.4 *Eau*

Pour le flux de l'eau, nous n'avons estimé que la consommation par hab/an et la consommation que se produit par l'agriculture. Dans le bilan général nous ne l'incorporons pas car nous ne connaissons pas les flux de sorties et ça produira un déséquilibre dans le bilan. Nous l'ajoutons ici pour avoir une idée générale de la consommation de cette ressource naturelle.

Tableau 10 Consommation d'eau en milliers de m3

Eau souterraine utilisée pour l'agriculture	2746,41
Eau superficielle utilisée pour l'agriculture	45250,02
TOTAL Usage Agriculture	**47996,43**
Eau superficielle utilisée pour l'usage domestique	9251,38
Eau souterraine utilisée pour l'usage domestique	108629,01
TOTAL Usage domestique	**117880,39**
TOTAL	**165876,82**
t/hab/an	72,3

3.1.1.1 Emissions vers l'air, l'eau, le sol

➢ Emissions atmosphériques

Les données des émissions sont connues à partir de l'AIR-Languedoc-Roussillon qui est un organisme agrée par l'Etat pour la mise en ouvre de la surveillance de la qualité de l'air et la diffusion de l'information sur les cinq départements de la région Languedoc-Roussillon.

Dans les inventaires des émissions de polluants atmosphériques et nous pouvons observer l'ensemble du département et le comparer avec la région. Le tableau 11 montre l'ensemble des polluants de l'Hérault pour l'année d'étude.

Tableau 11 Emission de polluants atmosphériques et gaz à effet de serre, Hérault, 2006,

Hérault	kt	kg/hab	Kg/ha	% région
CO_2	4339	4000	7000	31
CH_4	511 (eq. CO_2)	493 (eq. CO_2)	837 (eq. CO_2)	39
N_2O	399 (eq. CO_2)	385 (eq. CO_2)	653 (eq. CO_2)	19
SO_2	1,53	1	3	18
NO_x	20	19	33	31
COVNM	43	42	71	29
CO	35	33	57	30
PM	6	6	10	28
GES : CO_2, CH_4 et N_2O	5249 (eq. CO_2)	4878 (eq. CO_2)	8490 (eq. CO_2)	30

Source : Réalisation personnelle depuis AIR-LR

Les données sont issues pour chaque activité et pour le bilan général nous prenons en compte que l'agriculture. L'information de chaque polluant est détaillée en annexes par secteur.

Le tableau montre la totalité des émissions des tous les polluants.

Tableau 12 Totalité des émissions dans l'Hérault

Hérault	kt
Emissions atmosphériques	5354,53
Dont GES	5248

Total	kt	t/hab	t/km^2
Emissions atmosphériques	5354,53	4,979	801

Source : Réalisation personnelle depuis AIR-LR

L'agriculture est responsable d'un 12 % de gaz à effet de serre produits dans le département, cela se traduit en près de 630 kt. Dans la figure nous pouvons observer les différents composants qui participent dans la formation de gaz à effet de serre.

Figure 30 Emissions de gaz à effet de serre, 2006, Hérault



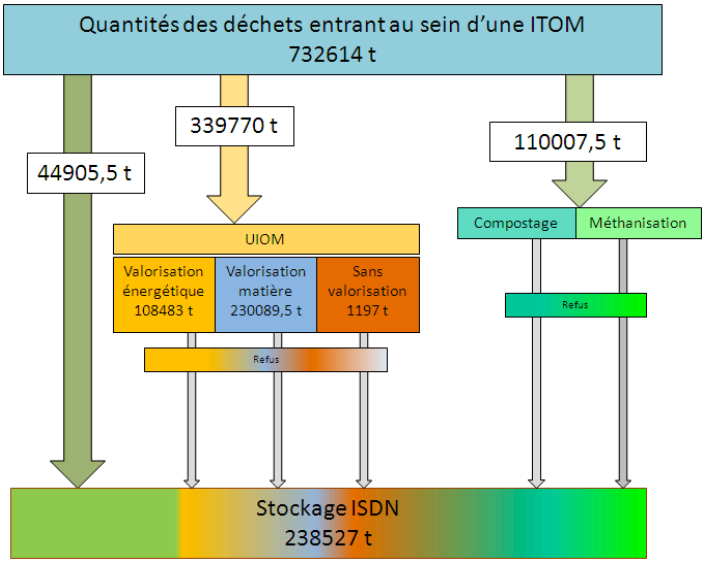
Source : Inventaires AIR-LR

➢ Déchets

La détermination des émissions vers l'eau, des mises en décharge et d'une partie des usages dissipatifs (épandage agricole en particulier) nécessite la connaissance des flux de déchets, de leurs modes et de leur lieu de traitement (dans ou hors périmètre). Hormis les déchets ménagers et assimilés il s'agit d'un véritable casse-tête.

Déchets ménagers et assimilés

A partir des données EIDER du MEDDTL et en particulier le tableau de synthèse « Production, valorisation et élimination des déchets ménagers et assimilées, région et départements », nous avons essayé de faire un schéma qui englobe les principaux flux de déchets entrant au sein des installations de traitement d'ordures ménagères dans le département. Il est alors nécessaire de convertir ces flux entrants en différents flux sortants des installations. Dans la figure nous pouvons observer le devenir des déchets en fonction de leur mode de traitement.



Réalisation personnelle d'après Eider-Sinoe

Les déchets ménagers correspondent à « tout déchet, dangereux ou non dangereux, dont le producteur est un ménage ». Encore une fois notre objectif est d'estimer les déchets qui concernent l'alimentation et agriculture, c'est à dire, les produits organiques.

Les produits organiques issus de ces derniers sont principalement les Fractions Fermentescibles d'Ordures Ménagères, (FFOM), les boues de stations d'épuration, les déchets verts ainsi que les composts élaborés à partir de ces produits. Les biodéchets correspondent à « tout déchets non dangereux biodégradable de jardin ou de parc, tout déchets non dangereux alimentaire ou de cuisine issu notamment des ménages, des restaurants, des traiteurs ou de magasins de vente et de détail, ainsi que tout déchets comparable provenant des établissements de production ou de transformation des denrées alimentaires » (Décret 2011-828 du 11 juillet 2011 portant su diverses dispositions relatives à la prévention et à la gestion des déchets, article 8).

Les données de l'ensemble de déchets de produits organiques réelle est difficile d'obtenir une chiffre total. Par contre, la valorisation des biodéchets soit pour le compostage, incinération, épandage, etc., nous pouvons donner un chiffre approximatif de la quantité valorisé à partir de la lecture de la guide technique des produits organiques utilisables en agriculture de la gestion de déchets de la chambre d'agriculture de l'Hérault. Les données datent pour l'année 2009 car pour notre année d'étude est inexistante.

Tableau 13 Compost de produits organiques

Origine	Tonnes/an
Urbaine	+1,9 million de tonnes
a) Compost ordures ménagères	49 479
➢ FFOM	➢ 27 038
➢ Biodéchet	➢ 12 441
b) Déchets verts	25 000
c) Boues de stations d'épuration	18 200
➢ Epandage	➢ 2 950
➢ Compost	➢ 15 200

Réalisation personnelle à partir Guide Technique des produits organiques L-R 2011

3.1.2 Bilan des flux général lié a l'alimentation et agriculture

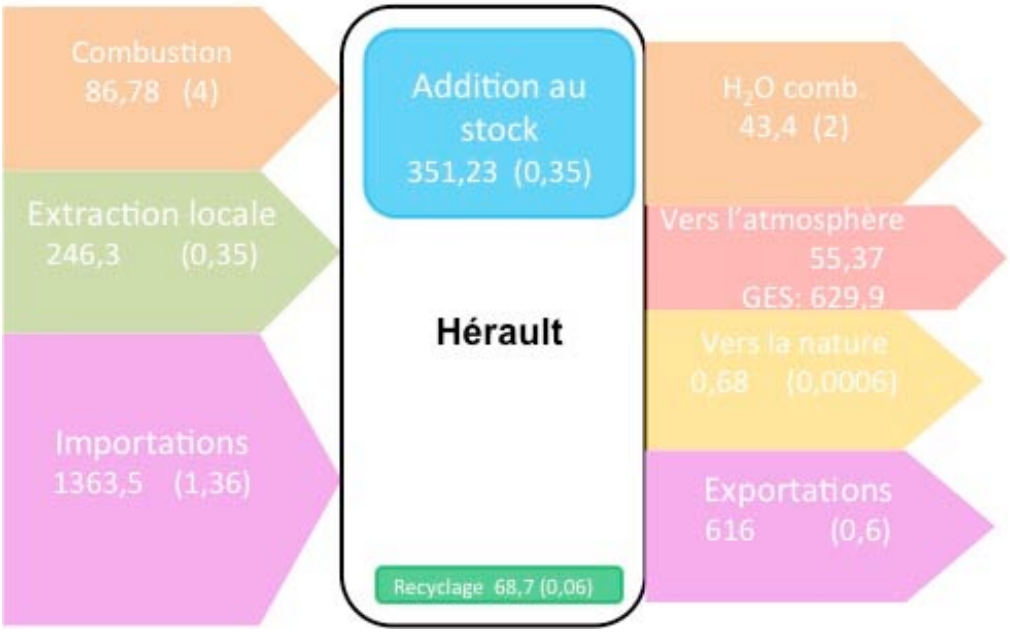
La figure montre le bilan de matières brutes du département de l'Hérault pour l'année 2006. La quantité de matières mises en jeu par l'agriculture et alimentation

départementale concerne les entrées totales qui représentent près de **2 t/hab**, une addition au stock annuelle de **0,35 t/hab**.

Les rejets vers la nature ne sont pas représentés car il manque des données par rapport aux émissions par habitant en termes de consommation alimentaire.

Enfin, le dernier enseignement notable de ce bilan est justement la **faiblesse du recyclage** tel qu'il est actuellement pratiqué, puisqu'il représente à peine **0,06 t/hab**.

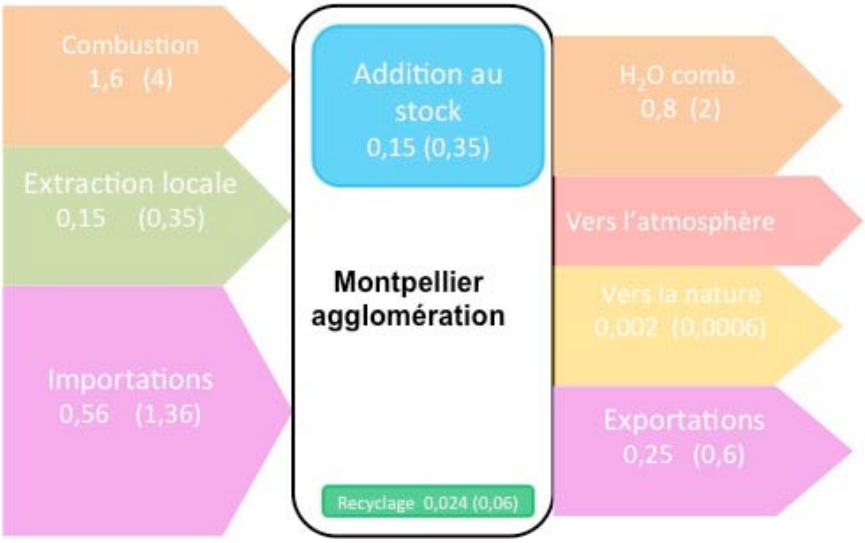
Figure 31 Bilan de matières brutes kt,(t), Hérault, 2006



Réalisation personnelle à partir des données calculées au sein du mémoire

Le second bilan que nous pouvons observer dans la figure 33, a été réalisé pour l'agglomération de Montpellier, en ramenant les chiffres par habitant. Cette hypothèse s'appuie sur le constat concernant l'existence de formes « [d'] homogénéisation des comportements de consommation » et notamment «…de produits alimentaires [développées] avec la mondialisation et les politiques marketings des firmes transnationales» (Buton, 2006, p.25).

Figure 32 Bilan de matières brutes kt, (t), Montpellier agglomération, 2006



Réalisation personnelle à partir des données calculées au sein du mémoire

Le bilan de matières brutes tel que nous l'avons présenté permet de soupeser le fonctionnement du territoire étudié et d'avoir une vision d'ensemble de leur métabolisme lié à l'alimentation et agriculture. Les résultats obtenus pour les territoires étudiés expriment la consommation nette en t/hab, et kt.

Le métabolisme est un métabolisme de consommation et d'échange. Les produits sont generalment importés, et le territoires détruit la moitié, après il exporte le reste. Il stocke très peu.

Nous pouvons observer que comptabiliser les matières ne suffit pas. Il y a des autres aspect qui s'échapent de notre analyse.Qui gouverne ces flux ? Qui décide leur orientation ? Les réponses à ces questions sont complexes et pourtant necessaires de développer.

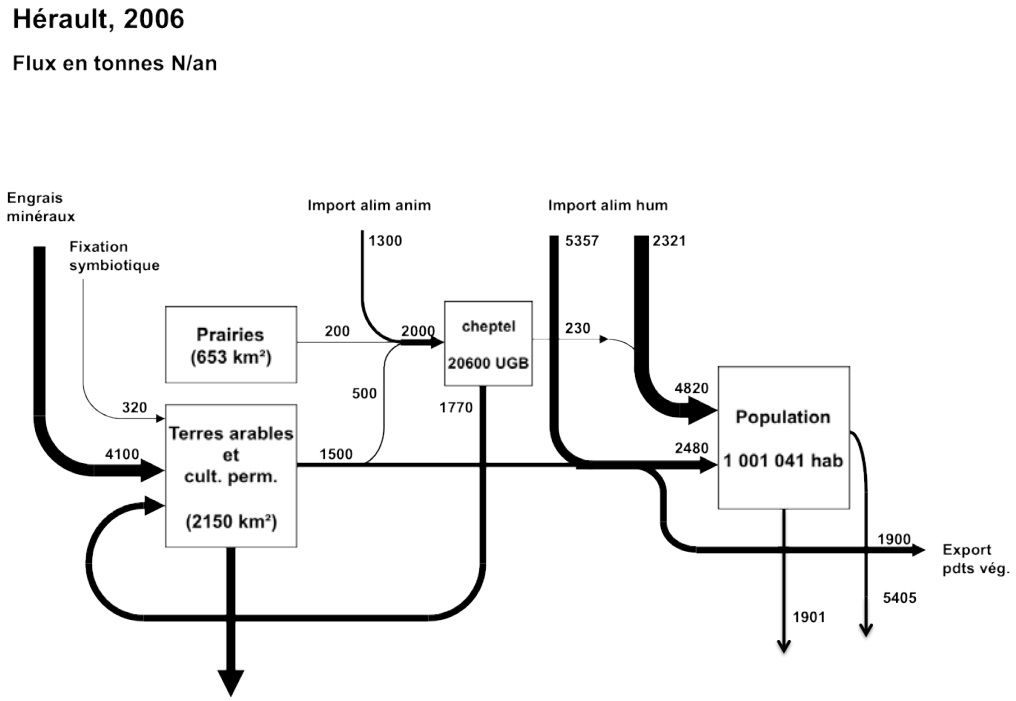
Dans la partie suivante nous étudierons les flux concernant l'azote.

3.1.3 Bilan de flux d'azote

Pour évaluer à l'échelle du département il faut établir le bilan des apports d'azote liés aux activités humaines sur ce territoire. Certains de ces apports sont intentionnels et résultent du développement de la population urbaine et de la demande alimentaire qu'elle exerce sur l'agriculture. A partir de ça l'enjeu est d'identifier des solutions réalistes pour diminuer les émissions dans l'environnement.

L'objectif est de faire un bilan des flux de l'azote en ce que concernent l'agriculture et l'alimentation dans l'Hérault. Pour cela nous nous sommes appuyés sur la méthode faite dans les travaux de Gilles Billen pour le cas du Bassin de la Seine. Elle s'appuie sur les basses de donnés Sitram, Amstram, et autres sources comme l'Agreste ou Eider, qui offrent des données des flux d'azote par département en France.

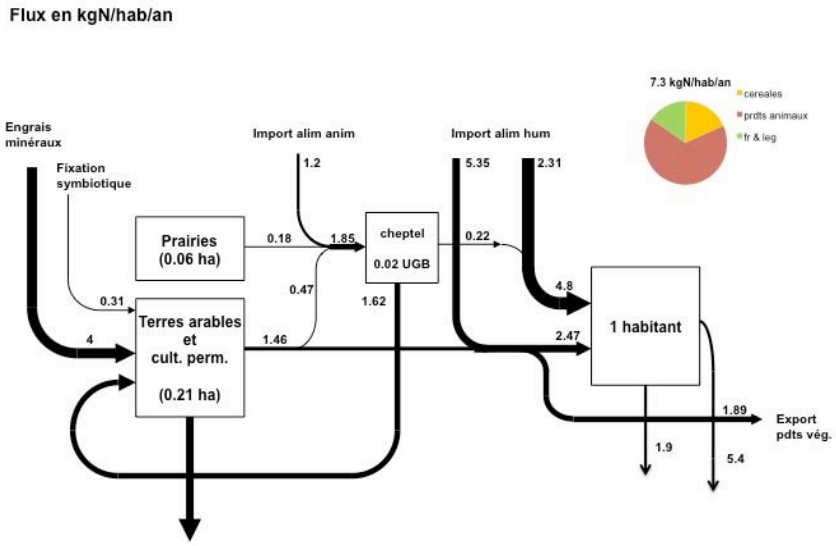
Figure 33 Bilan des flux de l'azote dans l'Hérault 2006, kgN/km2/an



Réalisation personnelle en collaboration avec Gilles Billen depuis AMSTRAM

En ramenant ce bilan par habitant les chiffres de ce bilan, il est possible de décomposer l'empreinte alimentaire azotée individuelle de l'héraultais, et de définir un équivalent-habitant (equ-hab) généralisé, qui représenterait les flux d'azote générés à tous les stades de la chaîne agroalimentaire par l'alimentation d'un habitant, soit 7.35 kgN/hab/an, (Voir Figure 35).

Figure 34 Bilan des flux de l'azote par habitant héraultais, 2006,kgN/hab/an



Réalisation personnelle en collaboration avec Gilles Billen depuis AMSTRAM

- **Diagnostic Hérault**

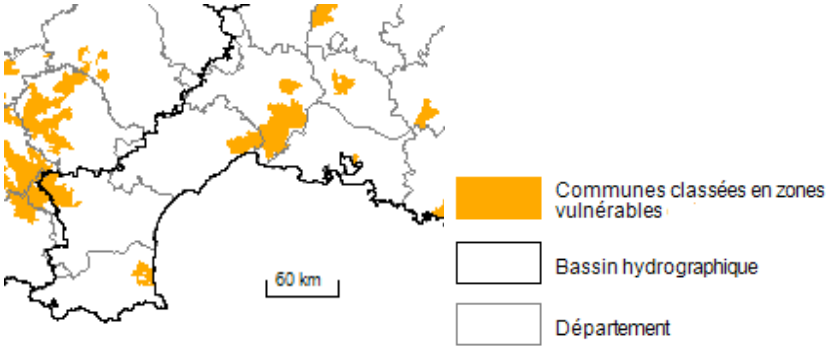
L'agriculture de l'Hérault est dominée par les grandes cultures (surtout viticulture), avec peu d'élevage et pourtant un recours très limité à la fertilisation organique, qu'elle soit d'origine animale ou végétale. Pour cela on observe une grande importation de l'extérieur des engrais. Cela peut aussi expliquer la considérable importation des produits végétaux. Les besoins de la population en protéines végétales sont satisfaits par les importations de l'extérieur (60 % France, 12% Monde).

Le faible développement de l'élevage ne permet pas d'assurer les besoins de la population en protéines animales car c'est un élevage très sous-dimensionné par rapport aux besoins en produits animaux de la population, (importation de la plus grande partie de la consommation humaine de produits animaux), et cependant largement dépendant pour son alimentation de l'importation de fourrage exogène.

En termes de protéines totales, l'agriculture du département ne suffit pas à subvenir aux besoins de la population. On voit donc bien la dépendance de ce territoire de l'extérieur pour ces besoins alimentaires, système que reste très peu autosuffisant et donc très ouvert.

La pollution pas nitrates on ne peut pas l'ajouter dans le bilan car sans un flux d'eau nous ne pouvons pas faire figurer cela comme un flux d'N. Pour cela, à partir de la basse de données Eider on peut savoir la quantité maximale apporté ver l'eau (43 mg/l) qui fait qu'une partie de ce territoire soit vulnérable.

Figure 35 Evaluation des zones vulnérables par nitrates



Source : ministère d'écologie, du développement durable et de l'énergie

- Mesurer et améliorer

Depuis pas longtemps, des programmes d'incitations à l'application de bonnes pratiques agricoles sont menées en France, notamment sur l'égide du CORPEN. Ces mesures se dirigent vers une fertilisation azotée plus respectueuse avec l'environnement.

On constat qu'il faut repenser les pratiques agricoles ainsi comme la chaîne agro-alimentaire pour diminuer l'impact qu'on est en train d'exercer sur les milieux naturels. La demande en produits issues de l'agriculture biologique et les mouvements de relocalisation de l'approvisionnement alimentaire font partis des alternatives pour aider à cette diminution de la pollution de l'azote.

Conclusion

Nous avons dans un premier temps tenté de décrire la relation entre le processus économique et son environnement, description utile et nécessaire à la compréhension de l'interaction continue entre les systèmes socio-économiques et les écosystèmes. Nous nous sommes appuyés sur la science thermodynamique avec la loi de l'entropie pour donner un poids plus fort à notre étude. La loi de thermodynamique qui est développée dans ce mémoire n'est au fond que la physique de la valeur économique. Elle prouve que la nature joue aussi un rôle important dans le processus économique et dans la formation de la valeur économique.

Après la revue bibliographique des études publiées depuis 1965, l'analyse du métabolisme apparait comme une des solutions efficaces pour étudier les impacts des systèmes socioéconomiques sur l'écosystème global. Il montre les flux de matière et d'énergies des systèmes socio-économiques qui peuvent se révéler être un outil important pour la compréhension de la nature et l'évolution de l'économie humaine. L'analyse du métabolisme semble donc être un outil fiable pour diriger les systèmes socioéconomiques vers systèmes plus durables, dans leur forme, et dans le temps.

Pour vérifier l'applicabilité de l'analyse du métabolisme, nous avons étudié le cas du département de l'Hérault. Après la récolte des données issues des différentes bases de données, nous les avons traitées à la fois de manière statistique mais aussi en les comparant aux analyses de métabolisme d'autres territoires. Les flux que les villes consommatrices mobilisent sont reflétés dans l'analyse et on constate que l'économie présente dans le territoire est linéaire. Des problèmes de gestion des flux comme les flux de nutriment avec notamment l'azote sont montrés dans les bilans. Un changement de la gestion des flux de façon circulaire rendrait un territoire plus durable et plus autosuffisant.

L'option d'avancer vers le développent durable nécessite de favoriser des instruments scientifiques comme l'analyse du métabolisme des systèmes socio-économiques. Cet instrument est capable de nous tenir informés correctement et sans ingérence sur la situation de la durabilité écologique et de l'économie, afin d'appliquer telles informations et connaissances pour la prise de décisions et les actions de nos sociétés. Des instruments tels que le métabolisme urbain, capables de fournir des rapports d'évaluation et d'orientation des impacts des systèmes socioéconomiques sur l'écosystème global, peuvent fournir des idées pour l'adoption de nouveaux modes de développement.

Évoluer en partant du principe que les systèmes socio-économiques peuvent construire à n'importe quel coût un nouvel environnement revient à ignorer les limites imposées par les lois naturelles.

Comment dimensionner la taille de l'économie mondiale pour que ne soient pas dépassée les limites imposées par la durabilité de la biosphère est donc la question cruciale de nos jours. L'étude du métabolisme urbain se présente comme un outil entre l'écologie et l'économie pour donner des réponses au développement durable des systèmes socio-économiques.

Annexes

- *Annexe 1 : Comparaison des émissions des villes*

City or metropolitan region	Definition	Year	Population	Total emissions million t CO_2 e	Per capita emissions t CO_2 e
Athens	Metropolitan region	2005	3,989,000	41.57	10.4
Barcelona	City	2006	1,605,602	6.74	4.2
Bologna	Province	2005	899,996	9.97	11.1
Brussels	Capital region	2005	1,006,749	7.55	7.5
Frankfurt	Frankfurt/Rhein Main	2005	3,778,124	51.61	13.7
Geneva	Canton	2005	432,058	3.35	7.8
Glasgow	Glasgow and the Clyde Valley	2004	1,747,040	15.30	8.8
Hamburg	Metropolitan region	2005	4,259,670	41.52	9.7
Helsinki	Capital region	2005	988,526	6.94	7.0
London	Greater London	2003	7,364,100	70.84	9.6
Ljubljana	Osrednjeslovenska region	2005	500,021	4.77	9.5
Madrid	Comunidad de Madrid	2005	5,964,143	40.98	6.9
Naples	Province	2005	3,086,622	12.49	4.0
Oslo	Metropolitan region	2005	1,039,536	3.63	3.5
Paris	Ile de France	2005	11,532,398	59.64	5.2
Porto	Metropolitan region	2005	1,666,821	12.14	7.3
Prague	Greater Prague	2005	1,181,610	11.03	9.3
Rotterdam	City	2005	592,552	17.64	29.8
Stockholm	Metropolitan region	2005	1,889,945	6.88	3.6
Stuttgart	Metropolitan region	2005	2,667,766	42.57	16.0
Torino	Metropolitan region	2005	2,243,000	21.86	9.7
Veneto	Province	2005	4,738,313	47.29	10.0
Austin	City	2005	672,011	10.48[a]	15.6[a]
Calgary	City	2003	922,315	16.37[a]	17.7[a]
Denver	City and county	2005	579,744	11.08	19.4
Los Angeles	County	2000	9,519,338	124.04	13.0
Minneapolis	City	2005	387,711	7.03[a]	18.3[a]
New York	City	2005	8,170,000	85.87	10.5
Portland	City	2005	682,835	8.47[a]	12.4[a]
Seattle	City	2005	575,732	7.82[a]	13.7[a]
Toronto	Greater Toronto Area	2005	5,555,912	64.22	11.6
Washington	District of Columbia	2000	571,723	11.04[a]	19.3[a]
Mexico City	City	2000	8,669,594	35.27[a]	4.1[a]
Rio de Janeiro	City	1998	5,633,407	12.11	2.1
Sao Paulo	City	2000	10,434,252	14.22	1.4
Bangkok	City	2005	5,658,953	60.44	10.7
Beijing	Beijing Government administered area	2006	15,810,000	159.00	10.1
Delhi	Metropolitan area	2000	15,700,000	20.65[a]	1.6[a]
Kolkata	National capital territory	2000	13,200,000	17.80[a]	1.1[a]
Shanghai	Shanghai Government administered area	2006	18,150,000	211.98	11.7
Seoul	Seoul City	1998	10,321,496	42.03[a]	4.1[a]
Tianjin	Tianjin Government administered area	2006	10,750,000	119.25	11.1
Tokyo	Tokyo metropolitan government admin. area	2006	12,677,921	62.02	4.9
Cape Town	City	2006	3,497,097	40.43	11.6

[a] Excludes aviation and marine emissions.

Source : Kennedy et al, 2009

- *Annexe 2 : flux liées aux modèles économiques*

Model and Author	Management Strategy			Step			Sustainability Dimension			Description / Application
	Eco-Efficiency	Consistency	Modesty	Flow Analysis	Valuation	Policy	economic	physical-ecol.	social	
Regional Metabolism (SIMBOX) Baccini / Bader (1996); Redle / Baccini (1998)	+	+	-	+	-	-	-	+	-	Metabolism among different activities of the sectors: agriculture, industry, private households, waste management e. g. housing and construction
ComBox Burström et al. (1997)	+	+	-	+	-	-	-	+	-	State of the environment monitoring is combined with material flow accounting to describe the metabolism of selected substances
Industrial Metabolism Ayres et al. (1969, 1994)	+	-	-	+	-	-	+	+	-	Calculation the industrial flows and processes and their effluents
SIBIOSES Janssen / van den Bergh (1999)	+	+	+	+	-	+	+	-	+	Model describes the metabolism in a multi-regional and multi-sectoral framework
Substance flow analysis (SFINX) van der Voet (1996)	+	+	-	+	+	-	-	+	-	Nutrient flows in dairy farms; regional cadmium and chlorine flows
MATTER/MARKAL Gielen et al. (1998)	+	+	-	+	+	-	+	+	-	Environmental accounting in energy and Material systems to reduce greenhouse gas emission
ORWARE Björklund / Bjuggren (1998)	+	+	-	+	+	-	-	+	-	Combination of static material flows model and LCA for simulation scenarios of biodegradable waste management
LCNetBase Norris (1998)	+	+	-	+	+	-	+	+	-	Analysis of the upstream environmental consequences of industries and commodities and the economy as a whole
MIPS Schmidt-Bleek (1994)	+	-	-	+	+	-	+	+	-	Model of material intensity per unit service to show the amount of materials needed to satisfy a particular human need
MEFIS Rademacher / Stahmer (1996)	+	-	-	+	-	-	+	+	-	Material and energy flow information system based on a physical input-output table
Sustainable Districts (GEMIS) Fritsche et al. (2000)	+	+	+	+	+	-	+	+	+	Computer model for environmental and cost analysis of energy-, transport- and material systems, used in a demand based material flow analysis model
Umberto Rolf (1994)	+	+	-	+	-	-	-	+	-	Accounting and modelling tool for LCA's and material flows
Inter-industrial Material Flow Management Sterr (1999)	+	+	-	+	-	+	+	+	-	Regional GIS combined with Access based waste manager for calculating alternative inter-company cooperation and flow management; the Rhein-Neckar project
Systems ecology Zucchetto /Jansson (1985); Dabbert et al. (1999)	+	+	-	+	+	+	+	+	-	Generic term for models, which describe ecological and economic systems an their interaction in sub model (landscape models)

Source : Baccini and Bader 1996

- *Annexe 3 : Principales sources de données*

Flux	Département
Extraction locale	
Biomasse	Biomasse végétale : AGRESTE http://agreste.agriculture.gouv.fr/
Eau	Base de données EIDER (MEDDTL) : http://eider.ifen.fr/Eider/
Importations et exportatior	
Hors combustibles fossiles	SITRAM* et AMSTRAM (base de données proportionné par Gilles Billen)
Sorties vers la nature	
Vers l'air : émissions	CITEPA AIR-Languedoc-Roussillon: http://www.air-lr.org/
Vers l'air : eau	Déduit des émissions. En première approche, eau produite par combustion =50 % co2 produit.
Vers l'eau et vers le sol	Nécessité de recenser les différents flux de déchets solides et liquides dans un premier temps, puis d'en déduire les flux vers la nature en fonction des modes de traitement
Déchets ménagers et assimilés	Base de données SINOE (ADEME) Projet de Plan de Prévention et de Gestion des Déchets Non Dangereux. Conseil régional de l'Hérault
Déchets industriels dangereux et non dangereux	Base de données SINOE (ADEME)
Assainissement	Agences de l'eau
Déchets agricoles	Base de données SINOE (ADEME) Projet de Plan de Prévention et de Gestion des Déchets Non Dangereux. Conseil régional de l'Hérault
Flux dissipatifs	
Recyclage	
Biodéchets, déchets verts	Guide technique des produits organiques utilisables en agriculture. Chambre d'agriculture Languedoc-Rousillon. EIDER

➢ *Annexe 4 : Produits pour le calcul de la disponibilité alimentaire*

CULTURES		ELEVAGE ET PECHE
Agrumes, Autres		Abats Comestible
Ananas	Huile de Sésame	Animaux Aquatiques Autre
Arachides Decortiquees	Huile de Tournesol	Beurre, Ghee
Avoine	Légumes, Autres	Cephalopodes
Banane	Légumineuses Autres	Crustacés
Bière	Maïs	Crème
Blé	Noix	Graisses Animales Crue
Boissons Alcooliques	Oignons	Huiles de Foie de Poisso
Boissons Fermentés	Olives	Huiles de Poissons
Café	Oranges, Mandarines	Lait - Excl Beurre
Citrons & Limes	Orge	Miel
Clou	Pamplemousse	Mollusques, Autres
Coco (Incl Coprah)	Patates Douce	Oeufs
Céréales, Autres	Piments	Perciform
Datte	Plantains	Plantes Aquatiques
Edulcorants Autres	Pois	Poissons Eau Douce
Feve de Cacao	Poivre	Poissons Marins, Autres
Fruits, Autres	Pommes de Terre	Poissons Pelagiques
Haricots	Pommes	Viande d Ovins/Caprins
Huil Plantes Oleif Autr	Racines, Nda	Viande de Bovins
Huile Graines de Coton	Raisin	Viande de Suides
Huile d Arachide	Riz (Eq Blanchi)	Viande de Volailles
Huile d Olive	Seigle	Viande, Autre
Huile de Coco	Soja	
Huile de Colza&Moutarde	Sucre Eq Brut	
Huile de Germe de Maïs	Thé	
Huile de Palme	Tomates	
Huile de Palmistes	Vin	
Huile de Soja	Épices, Autres	

Source : réalisation personnelle d'après FAOSTAT

➢ *Annexe 5 : Bilan des flux de fruits et légumes,Haute-Garone,2006,kt*

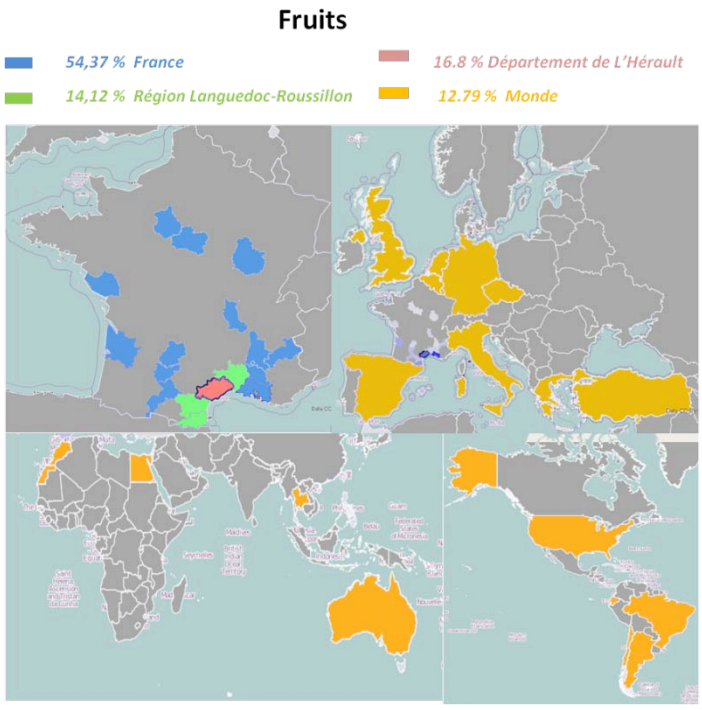
Tableau 3. Bilan des flux de fruits et légumes, Haute-Garonne, 2006, kt.

	EL	I France	I Monde	DMI	Ex France	Ex Monde	Export	DMC
Agrumes	0,0	0,0	11,7	11,7	0,0	0,0	0,0	11,7
Autres fruits et noix frais	1,3	116,0	6,5	123,8	38,0	9,1	47,1	76,7
Fruits congelés, séchés ou déshydratés, préparations et conserves de fruits	0,0	14,1	12,0	26,2	47,1	0,1	47,3	-21,1
Total Fruits	**1,3**	**130,1**	**30,2**	**161,6**	**85,2**	**9,2**	**94,4**	**67,3**
Autres légumes frais ou congelés	33,0	1 034,6	11,3	1 078,8	786,9	1,1	788,0	290,8
Légumes secs	0,2	19,1	0,0	19,3	53,9	5,7	59,5	-40,3
Préparations et conserves à base de légumes	0,0	0,0	7,8	7,8	0,0	0,0	0,0	7,8
Total Légumes	**33,1**	**1 053,6**	**19,2**	**1 105,9**	**840,8**	**6,8**	**847,6**	**258,3**
Ensemble Fruits & légumes	**34,4**	**1 183,7**	**49,4**	**1 267,6**	**926,0**	**16,0**	**942,0**	**325,6**
Kg/hab/an	*29*	*998*	*42*	*1 068*	*781*	*14*	*794*	*274*

NB. EL : extraction locale ; I : importations ; DMI : Direct Material Input ; Ex : exportations ; DMC : direct material consumption (consommation nette).

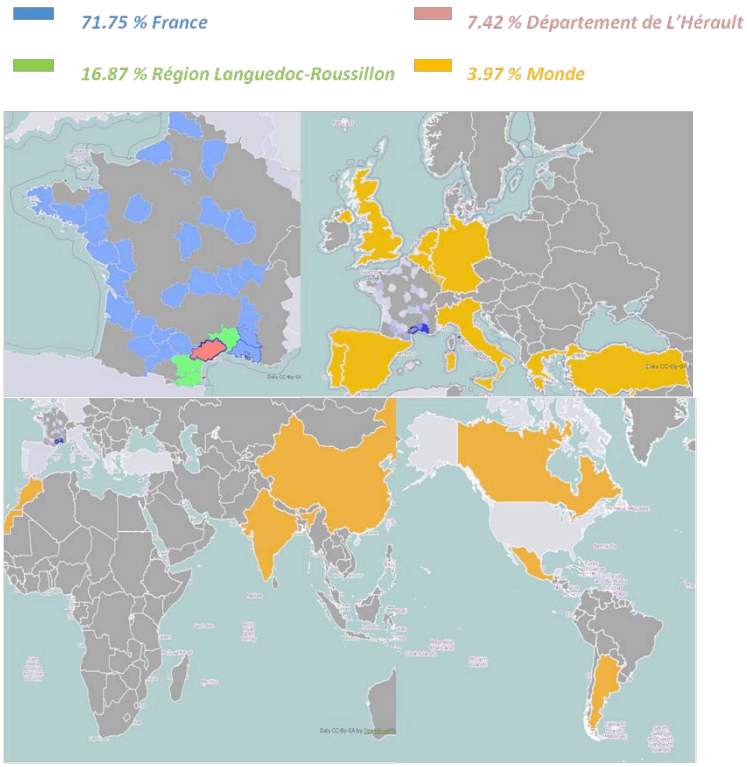
Source : Projet Confluent Sabine Barles

➢ *Annexe 6 : Plans d'importations vers l'Hérault*



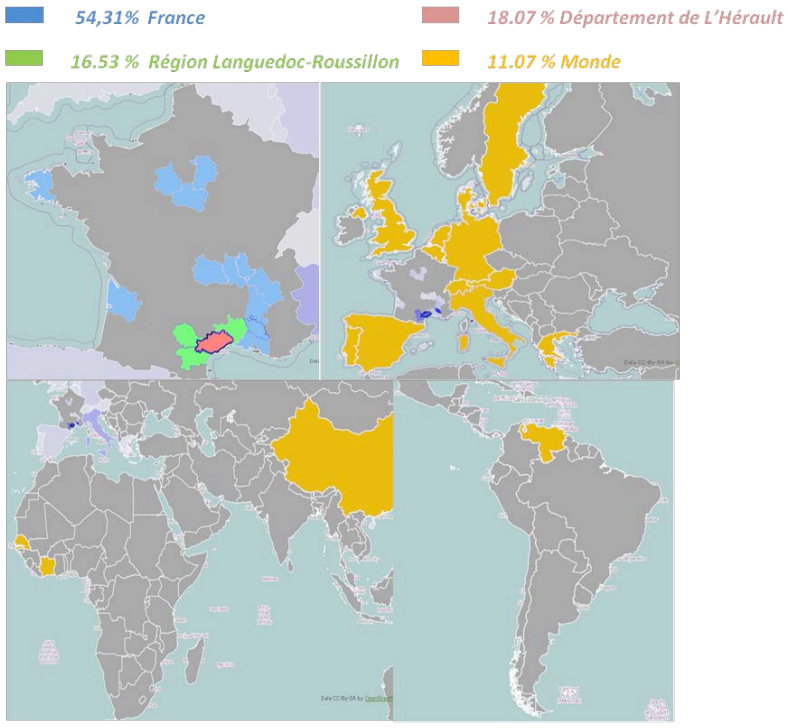
Réalisation personelle depuis Amstram **Produits : voir ci dessous*

Légumes

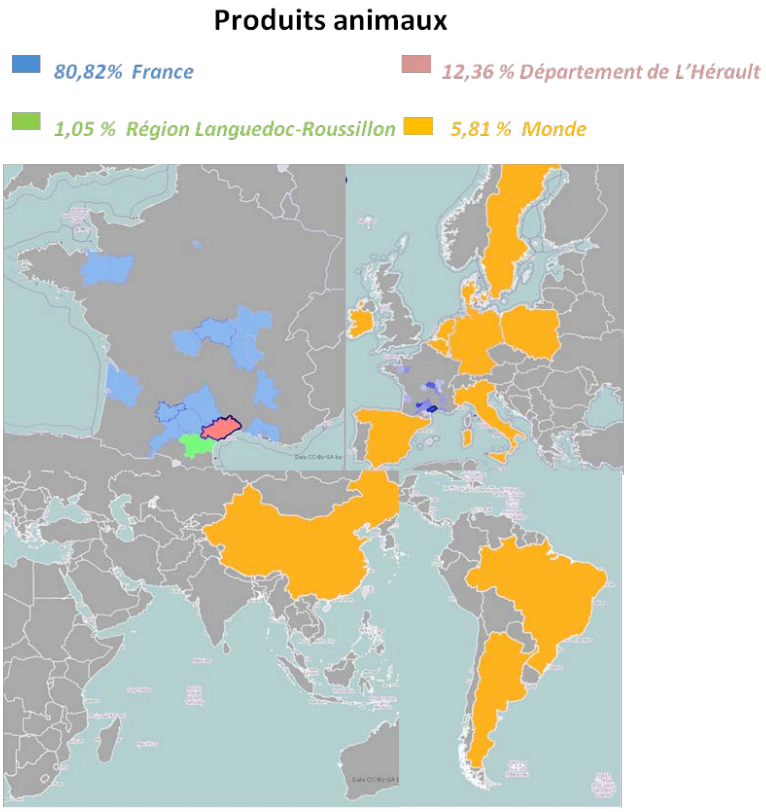


Réalisation personelle depuis Amstram **Produits : voir ci dessous*

Céréales



Réalisation personelle depuis Amstram **Produits : voir ci dessous*



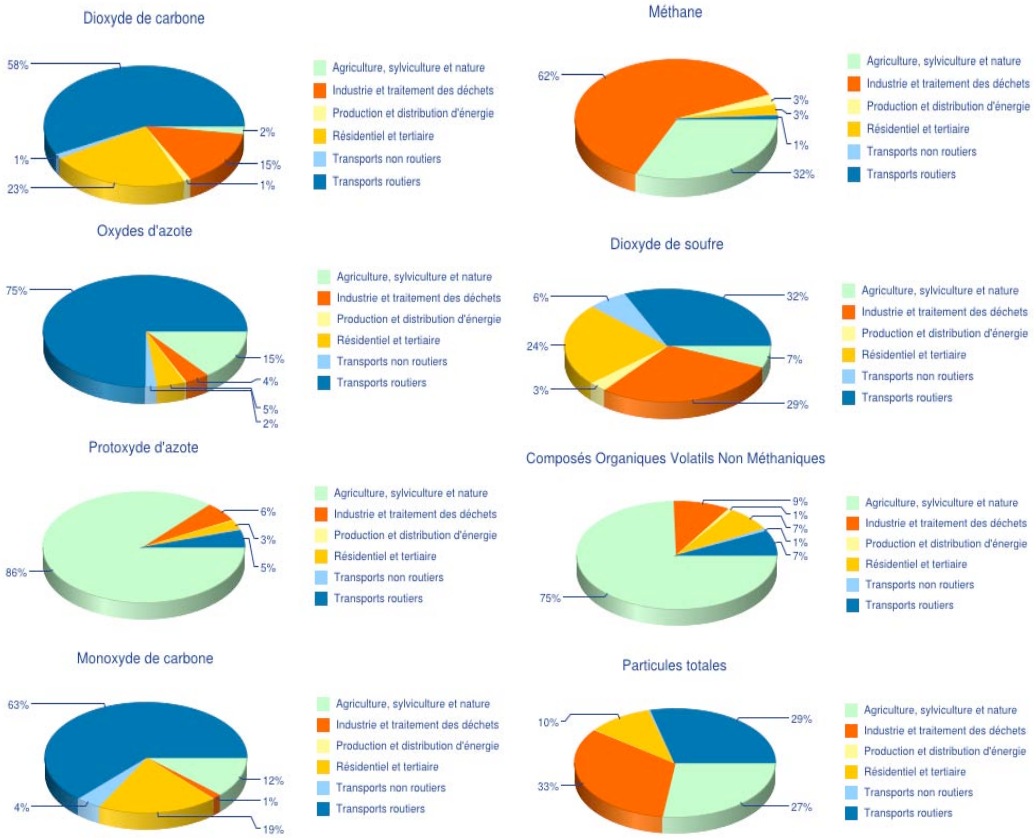
Réalisation personelle depuis Amstram **Produits : voir ci dessous*

Les grandes familles des produits

Fruits	Fruits, (somme abricots, cerises, pavies, pêches, nectarines, pommes, poires, agrumes), autres (fruits congelés, séchés ou déshydratés, préparations et conserves de fruits), noix.
Légumes	Légumes, Autres (laitues, chicorées frisées et scaroles, concombres, courgettes), Oignons, Olives, pommes de terre, Racines & Tubercules Sec, Tomates, Autres légumes frais ou congelés, Préparations et conserves à base de légumes, Légumes secs, Haricots (somme des haricots frais, secs, verts), Légumineuses Autres (fèves), Pois.
Céréales	Avoine, Blé, Céréales, Maïs, Orge, Riz, Seigle, Froment épeautre méteil, Autres céréales, Farines, semoules, gruaux de céréales, Autres produits à base de céréales.
Produits animaux	Produits laitiers (Beurre, Ghee, Crème, Fromage, Lait entier), Viande et œufs (Œufs, Viande de Bovins, Viande de Suidés / Porc, Viande de Volailles, Viande d'Ovins/Caprins, Viande fraiche réfrigérée et congelée, viande séchée, salée, fumée, préparations et conserves de viande.

Source : réalisation personnelle d'après la Nomenclature Statistique Transport (NST) version 1974 et logiciel AMSTRAM. URL : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr (rubrique sources et méthodes)

- *Annexe 7 : Emissions atmosphériques par polluant*



Source : AIR Languedoc-Rousillon

Bibliographie

Ackerman Frank, 2005, « Material flows for a sustainable city »,. *International Review for Environmental Strategies*, vol. 5, n° 2, p. 499

Adger W. N. « Sustainability and social resilience in coastal resource use ». *CSERGE GEC Work. Pap.* 1997.

Agence de l'eau Seine-Normandie, Billen G., Programme interdisciplinaire de recherche sur l'environnement de la Seine. *La cascade de l'azote dans le bassin de la Seine: comprendre les processus pour inverser les tendances*. Nanterre : Agence de l'eau Seine-Normandie, 2011. ISBN : 9782918251149 2918251143.

Barles Sabine, « 5.3. Le métabolisme urbain: L'azote, XIXe-XXe siècle. »,.

Barles S., Bognon S. *Projet confluent*. 2011.

Barles S. « Comprendre et maîtriser le métabolisme urbain et l'empreinte environnementale des villes ». *Responsab. Environ*. 2008. n°25.

Billen Gilles, 2011, *L'empreinte alimentaire de Paris en 2030*,

Georgescu-Roegen N., Grinevald J., Rens I. *La décroissance: entropie, écologie, économie*. Paris : Ellébore-Sang de la terre, 2006. ISBN : 2869851685 9782869851689.

Georgescu-Roegen N. « The entropy law and the economic problem ». *DALY HE TOWNSEND KN Valuing Earth Econ. Ecol. Ethics Mass.*1993. p. 75–88.

Holmes Tisha et Pincetl Stephanie, 2012, « UCLA INSTITUTE OF THE ENVIRONMENT URBAN METABOLISM LITERATURE REVIEW Winter 2012 »

Van Hauwermeiren E. « Mots clé: Économie Écologique, Transdiscipline, Science Post-normale, Systèmes Complexes. » 1998.

Izac A.-M. N. « Ecological economics of investing in natural resource capital in Africa ». *Replenishing Soil Fertil. Afr.* 1997, p. 237–251.

Kennedy C., Pincetl S., Bunje P. « The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design ». *Environmental Pollution.*

Kennedy C., Steinberger J., Gasson B., Hansen Y., Hillman T., Havránek M., Pataki D., Phdungsilp A., Ramaswami A., Mendez G. V. « Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities ». *Energy Policy*. 2010. Vol. 38, n°9, p. 4828–4837.

Maclaren V. W. « Urban sustainability reporting ». *J. Am. Plann. Assoc.* 1996. Vol. 62, n°2, p. 184–202.

Alier Juan Martínez, 1990, *Ecological Economics: Energy, Environment and Society*, Basil Blackwell.

Martínez Alier J. *Ecological economics: energy, environment, and society*. Oxford, New York, NY, USA : Basil Blackwell, 1987. p.286 ISBN :0631157395.

MARTINEZ-ALIER J. « The environment as a luxury good or too poor to be green. Modeles de developpement soutenable (des approches exclusives ou complementaires de la soutenabilite? Paris, 16-18 mars 1994) »p. 1017‑1032.

Mouchel J.-M., Billen G. *La cascade de l'azote dans le bassin de la Seine* 2011.

Naredo J. M. « Economía y sostenibilidad: la economía ecológica en perspectiva ». *Polis Rev. Latinoam.*

Newman P., Kenworthy J. *Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence*. Island Press, 1999 p.468 ISBN: 9781597262590.

Rees W., Wackernagel M. « Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable–and why they are a key to sustainability ». *Urban Sociol. Read.*.2012.

Rotillon G. *Économie des ressources naturelles*. Paris : la Découverte, 2010. ISBN :9782707164551 2707164550.

Sutton M. A., Howard C. M., Erisman J. W. *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives*. Cambridge University Press, 2011 p.665 ISBN : 9781139501378.

Warren-Rhodes K., Koenig A. « Ecosystem appropriation by Hong Kong and its implications for sustainable development ». *Ecol. Econ.* 2001. Vol. 39, n°3, p. 347–359.

Zhang Y. « Urban metabolism: A review of research methodologies ». *Environmental Pollution* Vol. 178, p. 463‑473.

Munuera Montero, Lola

L'analyse du métabolisme urbain: intérêt et limites pour l'évaluation de la durabilité de l'approvisionnement alimentaire d'un territoire ?

Le cas de Montpellier agglomération

Résumé

L'analyse du métabolisme apparaître comme une des solutions efficaces pour étudier les impacts des systèmes socioéconomiques sur l'écosystème global. Il montre les flux des matières et énergies des systèmes socio-économiques qui peuvent révéler un outil important et exceptionnel pour la compréhension de la nature et de l'évolution de l'économie humaine. L'analyse du métabolisme émerge comme un outil pour diriger les systèmes socioéconomiques vers systèmes plus durables, dans leur forme, et dans le temps.

Dans ce mémoire, nous avons étudié le territoire du département de l'Hérault. Après la récolte des données issues des différentes bases de données, nous les avons traitées à la fois de manière statistique mais aussi en les comparant aux analyses de métabolisme d'autres territoires. Les flux que les villes consommatrices mobilisent sont reflétés dans l'analyse et on constate que l'économie présente dans le territoire est linéaire. La réalisation de l'analyse du métabolisme urbain du territoire nous a permis de donner une première réponse aux questions posées.

Des problèmes de gestion des flux comme les flux de nutriment avec notamment l'azote sont montrés dans les bilans. Un changement de la gestion des flux de façon circulaire rendrait un territoire plus durable et plus autosuffisant.

Mots-clés : Métabolisme urbain, « Ecological Economics », Flux, Azote, Système, Entropie, Développement durable.

Abstract

Analysis of the metabolism appears to be an efficient solution to study the impact of socioeconomics system on global ecosystem. It shows matter and energy flows of the socio-economics systems that can reveal an important tool for the understanding of Nature and evolution of human economy. Study of the urban metabolism is in fact a useful tool to conduct socioeconomic system to more sustainable systems in their organization and duration.

In this thesis we have focused on a specific area: Herault department. After gathering all the data from different sources, a statistical anaylsis and a comparison with already existing analysis of metabolism for different cities. This analysis gave already a first overview, thus a first part of the answer.

Flows that are mobilized by consuming cities are reflected in the analysis and we can see that economy on this area is linear. Problems of flows management like nitrogen flow are shown in the appraisals. A change in the flows management could lead to a more sustainable and self-reliant area.

Key-words: Urban Metabolism, « Ecological Economics », Flux, Nitrogen, Systems, Entropy, Sustanaible Development.