

Le métabolisme de Paris et de la région Île-de-France : Un premier bilan

Sabine Barles¹

¹ Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines, Paris, France, <http://www.univ-mlv.fr/~www-ltmu/>, sabine.barles@univ-paris8.fr

1. Introduction.....	1
2. Méthode.....	2
2.1. Choix de la méthode	2
2.2. Aperçu de la méthode et des flux à identifier	3
2.3. Périmètre d'étude	5
3. Sources	6
4. Résultats	7
4.1. Paris.....	9
4.2. Paris et la petite couronne.....	10
4.3. Île-de-France.....	11
4.4. Comparaison.....	12
4.4.1 Paris versus Paris et petite couronne.....	13
4.4.2 Zone urbaine dense versus Île-de-France	15
5. Conclusion	17
6. Remerciements.....	18
7. Liste des abréviations	18
8. Bibliographie.....	18

1. Introduction

Le rôle central joué par les espaces urbanisés au regard des grands enjeux environnementaux contemporains et à venir ne fait pas de doute, qu'il s'agisse de l'échelle locale (fonctionnement des écosystèmes, santé publique), régionale (pollution atmosphérique acide et ou photochimique, effets sur les hydrosystèmes, etc.) ou planétaire (changement climatique, ouverture des cycles biogéochimiques). Principaux lieux de consommation, les villes constituent aujourd'hui les principaux lieux d'émission de polluants et déchets divers et contribuent à l'anthropisation de la biosphère.

Ces enjeux et ces impacts amont (prélèvements sur les ressources) et aval (rejets divers) sont souvent analysés de manière sectorielle : consommation énergétique liée aux transports urbains, consommation énergétique des bâtiments, émissions de gaz à effet de serre, pressions sur la ressource en eau, production de déchets urbains, rejets d'eaux usées, etc., inventaire à la Prévert qui montre bien les implications multiples des espaces urbains dans les problématiques environnementales.

Plusieurs méthodes existent aujourd'hui qui visent à dépasser ces approches sectorielles. Le concept d'*empreinte écologique* permet ainsi de déterminer la surface (fictive) affectée aux consommations d'un habitant moyen d'une ville, d'une région, d'un pays, voire de la planète (Rees, Wackernagel, 1996). Elle a récemment été déterminée pour la France en général et la ville de Paris en particulier et a permis de montrer que le Parisien consomme l'équivalent de 6 hectares (soit 6 hectares globaux) pour son alimentation, sa consommation de biens et services, ses déplacements, son logement — bien plus que la surface urbanisée qui lui est dévolue — (WWF France, 2002) ; plus récemment encore, une étude préliminaire conduite pour l'Île-de-France la porte à 5,6 hectares globaux par Francilien (Cordeau, Nascimento, 2005). Cependant, si l'intérêt de cet indicateur réside

dans son caractère synthétique, il ne permet pas de rendre compte du fonctionnement biogéochimique des espaces urbains et des interactions matérielles entre les sociétés et nature.

L'analyse du métabolisme urbain, c'est-à-dire l'identification des flux de matières qui entrent dans la ville, de leur transformation dans le système urbain, des flux de matières qui y sont stockés et de ceux qu'il émet constitue une approche complémentaire de celle de l'empreinte écologique qui présente un grand intérêt pour la compréhension du rôle environnemental des villes (Baccini, Brunner, 1991 ; Barles, 2002 ; Bringezu, Fischer-Kowalski, Kleijn, Palm, 1997) et se situe dans les perspectives ouvertes par l'écologie industrielle (Billen, Toussaint, Peeters, Sapir, Steenhout, Vanderborght, 1983 ; Ayres, Simonis, 1994 ; Erkman, 1998) et territoriale. À partir de l'identification des principaux flux entrants (combustibles, aliments, biens, matières premières) et sortants (émissions diverses, déchets, produits finis ou semi-finis), l'analyse des flux de matières brutes (*material flow analysis - MFA*) permet de mesurer la pression urbaine sur l'environnement. Elle constitue le préalable à l'analyse des flux de substances (*substance flow analysis - SFA*) : carbone, azote, phosphore, métaux lourds, etc., dont la connaissance est indispensable à l'amélioration des performances écologiques des villes (Ayres, Simonis, 1994 ; Baccini, Brunner, 1991 ; Kleijn, Van Der Voet, 2001 ; Ayres, Ayres, 2002).

Jusqu'à présent, l'analyse des flux de matières brutes (*MFA*) et celle des flux de substances (*SFA*) sont restées relativement peu développées en France en ce qui concerne les espaces urbains — on notera néanmoins le travail de Bernard Dambrin (1982), réalisé voici vingt ans, qui posait les bases d'une analyse du métabolisme de l'agglomération parisienne. Des travaux conduits ailleurs en Europe (Amsterdam, Vienne, Stockholm, Hambourg, etc.) ont plus récemment montré la pertinence de la démarche.

Nous présentons ici les résultats d'une recherche relative au métabolisme de Paris et de la région Île-de-France. Plus précisément il s'agit, dans la lignée des travaux qui viennent d'être évoqués, de poser les bases d'une analyse des flux de matières brutes : faisabilité, disponibilité et qualité des sources, quantification, pertinence et apports de la démarche. La méthode proposée par le service européen de statistique (Eurostat) a été retenue (Eurostat, 2001). On présente dans un premier temps les principes retenus et les raisons du choix de cette méthode, puis les résultats obtenus à différentes échelles : Paris, Paris et petite couronne, Île-de-France et les enseignements à en tirer¹.

2. Méthode

2.1. Choix de la méthode

La première étape de la recherche a été consacrée au choix de la méthode d'analyse des flux de matières brutes. En effet, plusieurs équipes de recherche travaillent à ces questions depuis quelques années à l'échelle internationale et ont développé des approches différentes tant en ce qui concerne la définition des flux et la façon de les quantifier que la détermination des limites du système étudié.

Parmi celles-ci, deux méthodes semblent particulièrement abouties : la première, initiée par Peter Baccini et Paul H. Brunner (1991 ; voir aussi Brunner, Rechberger, 2004), présente l'intérêt d'avoir été élaborée précisément pour les approches régionales et locales et d'avoir déjà été appliquée à plusieurs agglomérations et ou régions — en particulier Vienne (Daxbeck, Lampert, Morf, Obernosterer, Rechberger, Reiner, Brunner, 1997) et plus récemment Genève (Faist Emmenegger, Frischknecht, 2003). Les principes généraux sont les suivants :

- le système est constitué « par un groupe d'éléments, les interactions entre ces éléments, et les frontières entre eux et d'autres éléments dans l'espace et le temps » (Brunner, Rechberger, 2004, p. 43), soit les limites géographiques du système étudié et un pas de temps d'une année dans la plupart des cas, sachant que les limites verticales sont fixées à 500 m du niveau du sol en hauteur et à une profondeur telle que les eaux souterraines y sont incluses ;

¹ Le rapport de recherche détaillé est disponible sur le site du Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines : <http://www.univ-mlv.fr/~www-ltmu/>.

- les flux liés à quatre activités humaines, considérées comme résumant les besoins matériels humains : 1) nourrir, 2) laver, 3) résider et travailler, 4) transporter et communiquer (Brunner, Rechberger, 2004, p. 44-47), sont analysés.

La seconde méthode a été mise au point par le service européen de statistique (Eurostat). Sa vocation initiale est la réalisation de bilans nationaux voire continentaux, la quantification des flux de matières brutes et la détermination d'indicateurs y relatifs apparaissant comme un complément des indicateurs économiques usuels. Il s'agirait alors de suivre annuellement les indicateurs matériels au même titre que les indicateurs économiques. La méthode a été élaborée par un groupe de travail et après plusieurs moutures a pris sa forme quasi-définitive en 2001 (Eurostat, 2001). Elle a en particulier été appliquée à l'Allemagne (Bringezu, 1998) ; à l'Europe des 15 (Bringezu, 2001) ; à l'Autriche, au Japon, aux Pays-Bas, aux Etats-Unis (Matthews, 2000), plus rarement à l'échelle régionale et urbaine. On note néanmoins son utilisation pour l'analyse des flux de matières brutes dans la Ruhr (Bringezu, 1998), ainsi qu'à Amsterdam (Kleijn, Van Der Voet, 2001) et Hambourg (Hammer, Giljum, Hinterberger, 2003). Les principes généraux en sont les suivants (Eurostat, 2001) :

- le système étudié (désigné par « Economy ») est borné dans l'espace par les limites administratives du territoire considéré, il ne contient que la population humaine, ses activités, ses productions et ses artefacts : par rapport à la méthode précédente, on note d'une part que l'entrée territoriale est plus affirmée, d'autre part que le système exclut les composantes naturelles du territoire étudié (air, eau, sol) ;
- les flux étudiés sont très globaux (entrées, sorties, addition au stock, recyclage), avec une attention particulière aux flux indirects ou flux cachés (voir ci-dessous), il ne s'agit donc pas d'analyser des fonctions, des activités et des processus, mais des échanges entre une société localisée donnée et son environnement (nature d'une part, autres sociétés d'autre part).

Dès lors, il nous était possible soit de choisir l'une de ces deux méthodes, soit d'en élaborer une troisième. A priori la première semblait la plus indiquée compte tenu de sa vocation régionale. Cependant, certaines hypothèses qui la sous-tendent ne paraissaient pas totalement vérifiées, en particulier la définition des activités de base qui mériterait selon nous d'être discutée. Ce constat a conduit à privilégier la méthode d'Eurostat, qui servira de base à la réflexion méthodologique. En effet, cette approche ne fixant que quatre flux généraux, elle ne préjuge pas de la circulation de la matière dans le système étudié et permet de nombreuses adaptations selon le contexte. Nous en tirons donc un double avantage : la compatibilité avec la méthode standardisée à l'échelle européenne, qui fait d'ailleurs référence à l'échelle internationale, et la liberté d'adaptation au contexte local.

2.2. Aperçu de la méthode et des flux à identifier

La Figure 1 présente le schéma de principe de l'analyse des flux de matières brutes selon la méthode Eurostat. On note que la consommation d'eau n'est pas mentionnée : en effet, les quantités sont telles qu'elles masquent les autres consommations. La problématique du cycle anthropisé de l'eau n'en demeure pas moins fondamentale, mais devrait faire l'objet d'un traitement spécifique² ; en revanche et de façon évidente, les rejets dans le milieu aquatiques sont comptabilisés. Par ailleurs, afin d'équilibrer le bilan, il est nécessaire de prendre en compte à la fois l'oxygène consommé et l'eau produite lors de la combustion des hydrocarbures.

² Elle fera l'objet de la thèse de Petros Chatzimprios, engagée en octobre 2006.

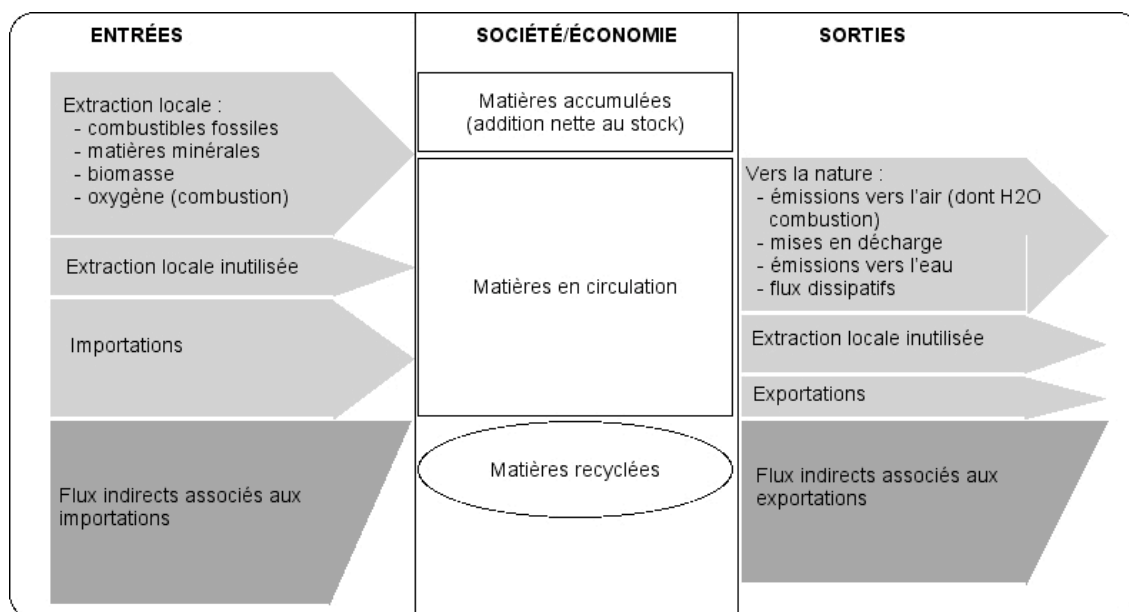


Figure 1. Schéma de principe de l'analyse des flux de matières brutes (Eurostat, 2001).

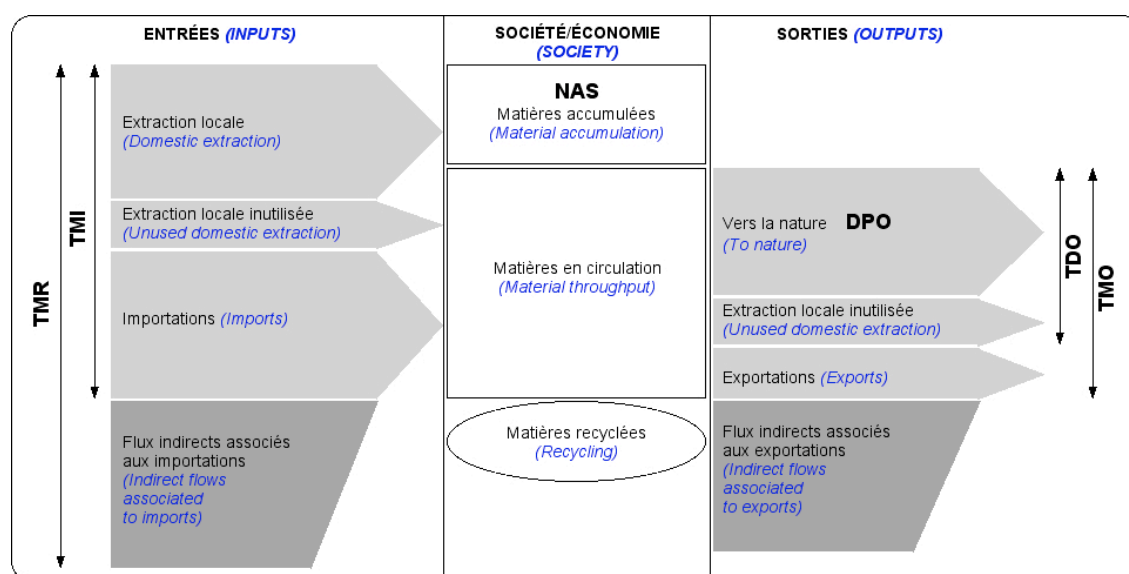


Figure 2. Principaux indicateurs issus du bilan de matières (Eurostat, 2001).

- TMI : Total Material Input
- TMR : Total Material Requirement
- TMO : Total Material Output
- TDO : Total Domestic Output
- DPO : Direct Processed Output
- NAS : Net Addition to Stock
- DMI (non représenté ici) : Direct Material Input (extraction locale utilisée + importations)
- DMO (non représenté ici) : Direct Material Output (DPO + exportations)
- DMC (non représenté ici) : Direct Material Consumption (DMI – exportations)
- $TMI = NAS + TMO$ $DMI = NAS + DMO$

Une fois les limites du système définies, il s'agit de quantifier :

- **les entrées**
 - prélèvements locaux :
 - extraction locale (utilisée) de matières, dont oxygène consommé par la combustion,
 - extraction locale inutilisée,
 - importations (en provenance d'autres régions et pays) : matières premières, combustibles, produits finis ou semi-finis,
 - flux indirects associés aux importations : prélèvements réalisés à l'extérieur afin de permettre les importations (équivalent en matières premières et extraction inutilisée des produits importés) ;
- puis **les sorties** :
 - matières *rendues* à la nature :
 - émissions vers l'air (dont eau produite par la combustion) et l'eau, mises en décharge,
 - usages et pertes dissipatifs,
 - extraction locale inutilisée,
 - exportations (vers d'autres régions ou pays) : matières premières, combustibles, produits finis ou semi-finis, déchets,
 - flux indirects associés aux exportations : prélèvements réalisés afin de permettre les exportations (équivalent en matières premières et extraction inutilisée des produits exportés) ;
- enfin **l'addition nette au stock** qui résulte de la confrontation des entrées et des sorties après prise en compte du recyclage.

La quantification des différents flux permet la détermination de plusieurs indicateurs standardisés (Figure 2).

2.3. Périmètre d'étude

Si la ville de Paris présente des limites stables depuis 1860 (à quelques annexions près), elle est loin de représenter l'agglomération qui la contient, qu'il s'agisse de sa population (Figure 3 et Tableau 1), de sa structure sociale ou des activités qui y prennent place. Paris compte aujourd'hui un peu plus de deux millions d'habitants répartis sur 105 km², contre plus de six millions sur @ km² pour l'ensemble formé par Paris et la petite couronne et onze millions d'habitants sur 12 000 km² pour la région Île-de-France ; la population parisienne stagne depuis quelques années après une régression engagée dans les années 1960 : la croissance urbaine est avant tout celle des banlieues et des espaces périurbains.

Cantonner l'analyse à Paris masquerait ainsi la véritable pression métropolitaine sur les ressources et l'environnement. Parallèlement, la capitale est dotée d'un appareil statistique solide, dont ne disposent pas toujours les autres départements franciliens. Nous avons donc choisi de travailler simultanément à trois échelles : celle de Paris, celle de Paris et la petite couronne, enfin celle de la région.

Ce choix permet aussi de comparer les résultats obtenus selon que l'on considère une ville centre, une zone agglomérée dense ou une région urbaine ayant néanmoins une activité agricole non négligeable.

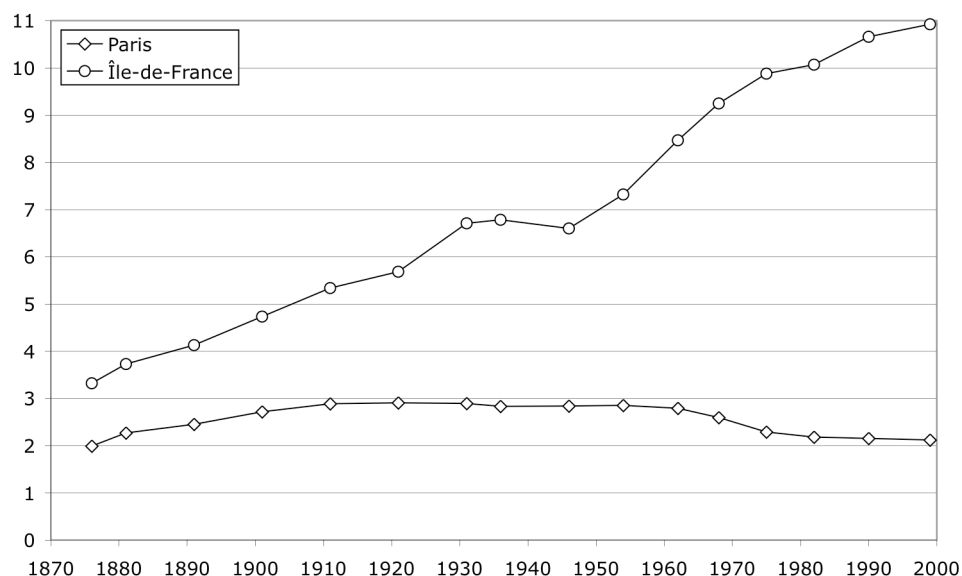


Figure 3. Population, Paris et actuelle Île-de-France, 1876-1999, millions d'habitants.

Tableau 1. Population, Île-de-France, 2000-2004, milliers d'habitants au 1^{er} janvier (INSEE).

	75	92	93	94	77	78	91	95	IdF
2000	2 140	1 440	1 387	1 233	1 201	1 359	1 140	1 110	11 009
2001	2 154	1 455	1 392	1 239	1 215	1 366	1 147	1 115	11 083
2002	2 160	1 470	1 400	1 245	1 228	1 374	1 154	1 124	11 154
2003	2 168	1 481	1 408	1 251	1 242	1 381	1 164	1 131	11 226
2004	2 164	1 494	1 417	1 259	1 257	1 390	1 172	1 139	11 291

3. Sources

Ces choix méthodologiques faits, le repérage et la collecte des données ont été engagés. Il s'agissait, sur la base du schéma d'Eurostat, de localiser les données existantes, de préciser leur qualité — fraîcheur, continuité, compatibilité, régularité, exhaustivité, échelle d'observation —, de procéder à une première phase de collecte.

Nous avons ainsi pu vérifier que :

- la région Île-de-France et la ville de Paris sont particulièrement bien pourvues en statistiques locales (un rapide sondage a montré que beaucoup de régions françaises ne l'étaient pas autant), mais ces statistiques demeurent très dispersées et leur collecte nécessite une bonne connaissance des acteurs tant nationaux que locaux, privés que publics ;
- à la production statistique régulière s'ajoutent de nombreuses études particulières qui ont l'inconvénient de ne pas être reproduites, ce qui rend la constitution d'un bilan de matières pérenne difficile ;
- les données produites régulièrement concernent la production agricole (extraction locale de biomasse), le fret (importations et exportations), les déchets ménagers et assimilés ;
- les données ponctuelles, vieilles ou difficiles d'accès concernent en particulier l'extraction de minéraux, l'importation et l'extraction de combustibles fossiles (pour lesquelles les statistiques sont partiellement incompatibles avec les exigences du bilan de matières), les déchets solides et liquides (hors déchets ménagers et assimilés), les émissions atmosphériques ;
- la détermination des flux indirects, locaux ou liés aux importations, est, sans surprise, difficile ; elle n'a pas été réalisée et devrait faire l'objet d'un travail complémentaire.

Malgré ces limites, la collecte des données s'est avérée fructueuse (Tableau 2). L'année 2003 a été retenue comme année de référence pour l'établissement du bilan. En effet, il s'est vite avéré que 2003 constituait la plus proche parmi les années les mieux renseignées. Elle a été analysée sur la base de la population annuelle moyenne établie d'après les chiffres de l'INSEE (Tableau 3).

Tableau 2. Données nécessaires au bilan de matière : synthèse.

Flux	Sources de données et remarques
Extraction locale	
Combustibles	DGEMP et INSEE. Données discontinues
Minéraux	DRIRE et UNICEM. Données discontinues
Biomasse	AGRESTE. Données annuelles détaillées pour la production agricole, mise à jour plus tardive pour la forêt, données discontinues pour la chasse
Oxygène	Déduit des émissions
Importations	
Combustibles	DGEMP essentiellement. Données incomplètes, datées pour certaines, nécessitant la compilation d'études ponctuelles.
Autres	SITRAM. Données annuelles détaillées, sauf pour le transport ferré par poste et à l'échelle départementale
Sorties vers la nature	
Air : émissions	CITEPA. Données ponctuelles à l'échelle départementale (2000).
Air : eau	Déduit des émissions
Décharge	ORDIF, ADEME, DREIF (matériaux de démolition). Données bisannuelles pour les déchets ménagers et assimilés (devraient devenir annuelles), rares pour les autres déchets. Recherche des modes de traitement nécessitant la compilation d'études ponctuelles
Vers l'eau	SIAAP, AESN. Données inégales
Flux dissipatifs	Données éparses et incomplètes
Exportations	SITRAM. Données annuelles détaillées, sauf pour le transport ferré par poste et à l'échelle départementale
Recyclage	Idem décharge

Tableau 3. Population annuelle moyenne des trois zones d'étude, 2003, milliers d'habitants (INSEE).

Paris	Paris et petite couronne (PPC)	Île-de-France (IdF)
2 166	6 321	11 259

4. Résultats

Trois bilans ont été réalisés, correspondant aux trois zones concentriques définies précédemment. Le Tableau 4 et le Tableau 5 en donnent les principales caractéristiques pour chacune des zones (flux totaux puis flux par habitant).

Tableau 4. Bilan de matières, Paris, Paris et petite couronne (PPC) et Île-de-France (IdF), 2003, kt.

	Paris	PPC	IdF
ENTRÉES			
Extraction locale		0	
Combustibles	0	0	540
Minéraux	0	0	16 994
Biomasse	0	30	6 013
Oxygène	6 561	24 011	52 653
Total Extraction locale	6 561	24 041	76 200
Importations			
Combustibles	3 914	13 048	26 095
Autres	15 242	56 453	88 350
Total Importations	19 156	69 500	114 445
TOTAL entrées (DMI)	25 717	93 541	190 645
TOTAL Entrées O ₂ excepté (DMI hors O ₂)	19 156	69 530	137 992
SORTIES			
Vers la nature			
Air : émissions	6 714	24 469	53 839
Air : eau	3 281	12 006	26 327
Décharge	0	2 498	20 013
Vers l'eau	0	8	42
Flux dissipatifs	150	436	2 398
Total Sorties vers la nature (DPO)	10 145	39 416	102 618
Exportations			
Rejets exportés	4 096	9 610	69
Autres	8 378	40 406	58 502
Total Exportations	12 474	50 017	58 571
TOTAL Sorties (DMO)	22 619	89 433	161 189
TOTAL Sorties H ₂ O excepté (DMO hors H ₂ O)	19 338	77 427	134 862
RECYCLAGE			
Interne	0	4 211	7 320
Externe	1 854	444	0
Total Recyclage	1 854	4 656	7 320
ADDITION NETTE AU STOCK (NAS)	3099	4 109	29 457
CONSOMMATION NETTE	10 778	29 094	79 490

Tableau 5. Bilan de matières, Paris, Paris et petite couronne (PPC) et Île-de-France (IdF), 2003, t/hab.

	Paris	PPC	IdF
ENTRÉES			
Extraction locale		0,0	
Combustibles	0,0	0,0	0,0
Minéraux	0,0	0,0	1,5
Biomasse	0,0	0,0	0,5
Oxygène	3,0	3,8	4,7
Total Extraction locale	3,0	3,8	6,8
Importations			
Combustibles	1,8	2,1	2,3
Autres	7,0	8,9	7,8
Total Importations	8,8	11,0	10,2
TOTAL entrées (DMI)	11,9	14,8	16,9
TOTAL Entrées O ₂ excepté (DMI hors O ₂)	8,8	11,0	12,3
SORTIES			
Vers la nature			
Air : émissions	3,1	3,9	4,8
Air : eau	1,5	1,9	2,3
Décharge	0,0	0,4	1,8
Vers l'eau	0,0	0,0	0,0
Flux dissipatifs	0,1	0,1	0,2
Total Sorties vers la nature (DPO)	4,7	6,2	9,1
Exportations			
Rejets exportés	1,9	1,5	0,0
Autres	3,9	6,4	5,2
Total Exportations	5,8	7,9	5,2
TOTAL Sorties (DMO)	10,4	14,1	14,3
TOTAL Sorties H ₂ O excepté (DMO hors H ₂ O)	8,9	12,2	12,0
RECYCLAGE			
Interne	0,0	0,7	0,7
Externe	0,9	0,1	0,0
Total Recyclage	0,9	0,7	0,7
ADDITION NETTE AU STOCK (NAS)	1,4	0,7	2,6
CONSOMMATION NETTE	5,0	4,6	7,1

4.1. Paris

La Figure 4 synthétise le bilan parisien.

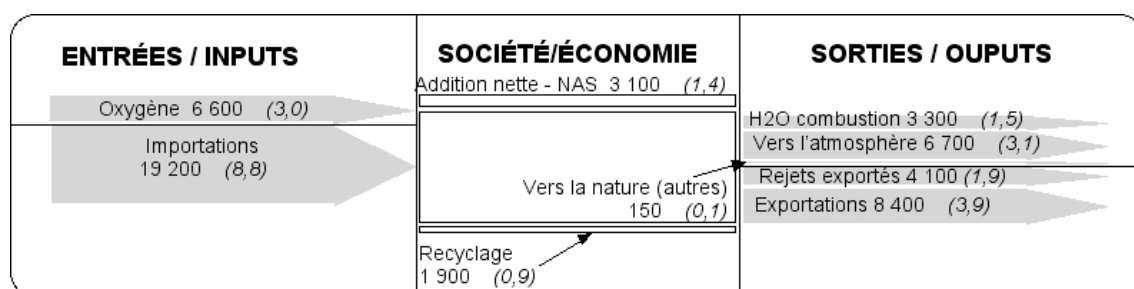


Figure 4. Bilan de matières brutes, Paris, 2003 (kt et, entre parenthèses, t/hab).

On note que l'extraction locale est limitée à l'oxygène consommé par la combustion : Paris, ville dense et imperméabilisée, ne peut utiliser ses ressources naturelles et importe l'intégralité des matières nécessaires à son fonctionnement, soit 8,8 t/hab dont 20 % de combustibles fossiles (1,8 t/hab). Au total, l'entrée directe de matières (DMI)³ s'élève à 11,8 t/hab ou 8,8 t/hab selon que l'on comptabilise l'oxygène de combustion ou pas. On mesure l'intérêt de cet indicateur par rapport aux indicateurs courants de consommation, en particulier par rapport à la consommation nette (production locale + importations – exportations) qui s'élève à 5 t/hab. En effet, cette consommation n'a été rendue possible que par une entrée de matières beaucoup plus élevée, qui donne une indication de la pression sur les ressources engendrée par la fonctionnement parisien⁴.

L'examen des sorties renvoie une image similaire : Paris exporte des marchandises (3,9 t/hab), mais aussi des rejets. En effet, les rejets locaux vers la nature (DPO) se limitent aux émissions atmosphériques, soit 4,6 t/hab ou 3,1 t/hab selon que l'on considère l'eau produite par la combustion ou pas. Il ne faudrait pas en conclure que les rejets parisiens sont limités. Paris ne prend en charge localement ni ses déchets solides (traités en banlieue), ni ses rejets liquides (qui sont dirigés pour l'essentiel vers la station d'épuration d'Achères, en grande couronne). Au total, les rejets s'élèvent à 6,6 t/hab, dont 30 % exportés, ou, si l'on excepte l'eau produite par la combustion, 5,1 t/hab dont près de 40 % exportés. Finalement, les sorties directes de matières (DMO) s'élèvent à 10,4 t/hab ou 8,9 t/hab selon le mode calcul.

Le recyclage (RC) reste limité — 0,9 t/hab —, et encore ne se fait-il pas dans Paris. L'ensemble des rejets produits avant recyclage s'élève ainsi à 7,4 t/hab dont 12 % recyclés, ou 6 t/hab si l'on excepte l'eau de combustion, dont 15 % recyclés. Les quantités recyclées apparaîtront encore plus faibles si elles sont comparées aux quantités totales de matières nécessaires au fonctionnement parisien, soit la somme des entrées directes de matière (DMI) et des matières recyclées (RC) : 12,7 t/hab en comptant l'oxygène de combustion, 9,7 t/hab en l'omettant. Le recyclage n'y contribue que pour 7 % dans le premier cas, 9 % dans le second.

Enfin, l'addition nette au stock représente 3 100 kt soit environ 1,4 t/hab : Paris a beau être une ville densément bâtie dont niveau de vie est relativement élevé et dont la population est quasiment stable, elle semble continuer à se remplir de matières, ce qui permettrait de la qualifier de non durable.

4.2. Paris et la petite couronne

La Figure 5 schématise les principaux flux caractéristiques du métabolisme de Paris et de la petite couronne.

De même qu'à Paris et pour les mêmes raisons, l'extraction locale est limitée à l'oxygène consommé par la combustion⁵, les importations s'élevant à 11 t/hab dont à nouveau 20 % de combustibles fossiles (2,1 t/hab). Au total, l'entrée directe de matières (DMI) s'élève à 14,8 t/hab ou 11 t/hab selon que l'on comptabilise l'oxygène de combustion ou pas, à comparer à la consommation nette qui s'élève à 4,6 t/hab.

Les rejets locaux vers la nature (DPO) ne se limitent plus aux émissions atmosphériques, mais comprennent une part non négligeable des déchets solides et une partie des liquides (station d'épuration de Valenton) ; ils s'élèvent à 6,2 t/hab ou 4,3 t/hab selon que l'on comptabilise ou pas l'eau produite par la combustion. Cependant, l'ensemble Paris et petite couronne demeure exportateur de rejets : 1,5 t/hab. Les rejets engendrés par cette zone s'élèvent à 7,8 t/hab (eau de combustion comprise) dont 20 % exportés ou 5,9 t/hab (eau de combustion exceptée) dont moins de 30 % exportés.

³ Dans le cas de Paris, les indicateurs DMI et TMI sont confondus, puisqu'il n'y a pas d'extraction locale inutilisée. Il en va de même pour les indicateurs de sortie DMO et TMO.

⁴ Il s'agit bien d'une indication, puisque les ressources effectivement mobilisées comprendraient l'extraction locale inutilisée (ici nulle) et les flux indirects (importants mais non comptabilisés ici).

⁵ L'extraction de biomasse n'est pas nulle pourtant : 30 kt.

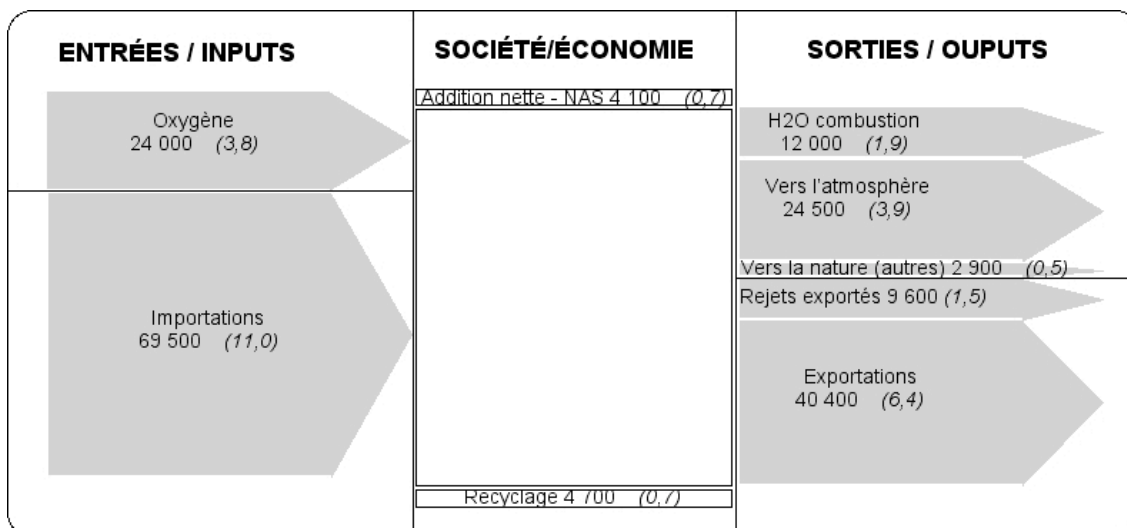


Figure 5. Bilan de matières brutes, Paris et petite couronne, 2003, kt et, entre parenthèses, t/hab.

Finalement, les sorties directes de matières (DMO) s'élèvent à 14,1 t/hab ou 12,2 t/hab selon le mode de calcul.

Le recyclage (RC) reste ici aussi limité — 0,7 t/hab —, essentiellement à l'intérieur de la zone. L'ensemble des rejets produits avant recyclage s'élève ainsi à 8,5 t/hab (eau de combustion comprise) ou 6,6 t/hab (eau exclue) et le taux de recyclage à 9 % et 11 % respectivement. Le besoin total de matière (DMI+RC) s'élève par ailleurs à 15,5 t/hab (oxygène de combustion compris) ou 11,7 t/hab (oxygène exclu), le recyclage en représente à peine 5 % et 6 % respectivement.

L'addition nette au stock s'avère moindre que si l'on considère Paris seul : environ 4 100 kt soit 0,7 t/hab.

4.3. Île-de-France

La Figure 6 schématise les principaux flux caractéristiques du métabolisme francilien.

À l'opposé des cas précédents, l'extraction locale ne se limite plus à l'oxygène consommé par la combustion. L'activité agricole francilienne se traduit en effet par une extraction de biomasse de l'ordre de 0,5 t/hab, tandis que les matériaux de construction représentent une ponction sur les ressources locales de 1,5 t/hab. Au total l'entrée directe de matières (DMI) s'élève à 16,9 t/hab ou 12,3 t/hab selon que l'on comptabilise l'oxygène de combustion ou pas, dont 14 % de combustibles fossiles dans le premier cas, 19 % dans le second, et à comparer à la consommation nette qui s'élève à 7,1 t/hab, bien plus que dans les cas précédents.

L'Île-de-France exporte très peu de ses rejets (69 kt). Les sorties locales vers la nature (DPO) représentent ainsi peu ou prou l'ensemble des rejets, soit 9,1 t/hab en comptant l'eau de combustion, 6,8 t/hab en l'omettant. Les sorties directes de matière s'élèvent ainsi à 14,3 t/hab ou 12 t/hab selon le mode de calcul.

Le recyclage (RC) est une nouvelle fois très limité : 0,7 t/hab. Il représente 7 % des rejets avant recyclage (eau de combustion comprise), ou 9 % si l'on excepte l'eau produite par la combustion. Le besoin total de matière (DMI+RC) atteint par ailleurs 17,6 t/hab (oxygène de combustion compris) ou 12,9 t/hab (oxygène exclu), dont respectivement 4 % et 5 % fournis par le recyclage.

Enfin, l'addition nette au stock atteint 2,6 t/hab, beaucoup plus que dans les cas précédents.

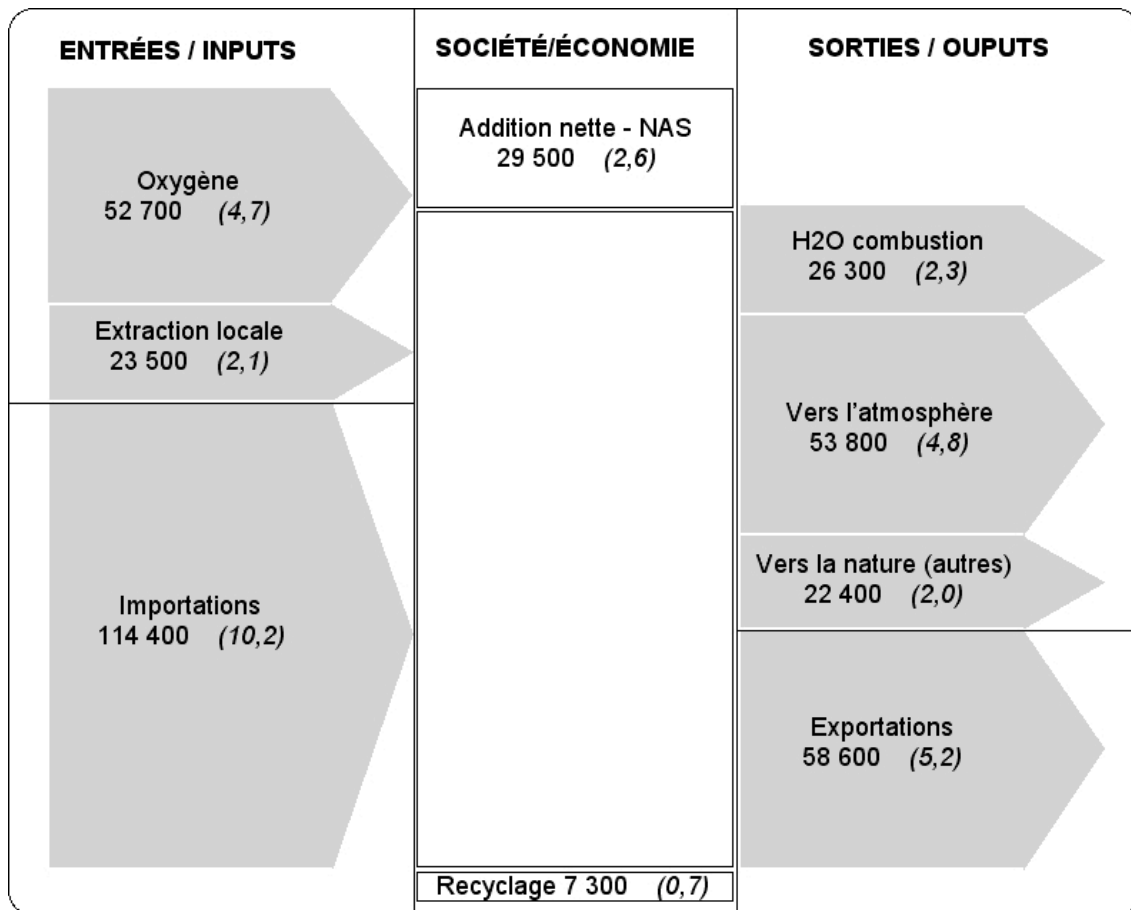


Figure 6. Bilan de matières brutes, Île-de-France, 2003, kt et, entre parenthèses, t/hab.

4.4. Comparaison

La Figure 7 et la Figure 8 permettent de visualiser les principaux indicateurs issus des bilans de matière pour les trois zones concentriques.

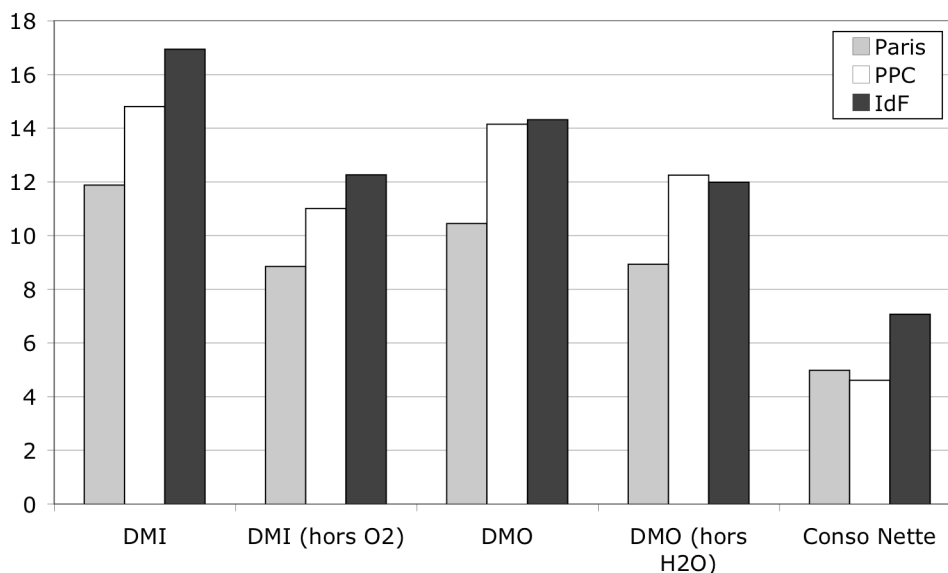


Figure 7. Principaux indicateurs matériels : DMI, DMO, consommation nette, Paris, Paris et petite couronne, Île-de-France, 2003, t/hab.

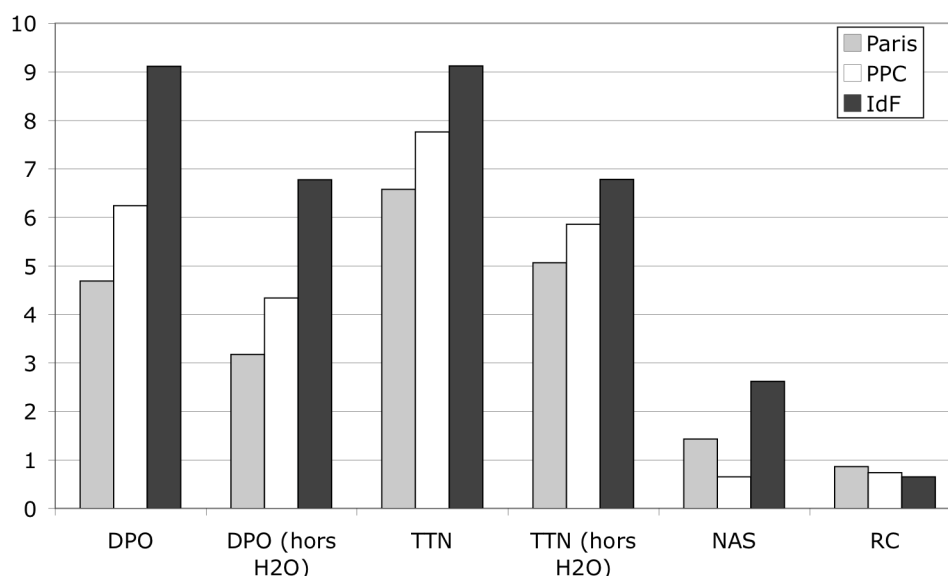


Figure 8. Principaux indicateurs matériels : DPO, TTN, NAS, RC, Paris, Paris et petite couronne, Île-de-France, 2003, t/hab.

4.4.1 Paris versus Paris et petite couronne

Les valeurs varient sensiblement que l'on considère Paris seul ou l'ensemble formé par Paris et la petite couronne, et ce quel que soit l'indicateur considéré, à l'exception peut-être du recyclage pour lequel la différence est faible et probablement non significative.

Les entrées directes de matières (DMI) sont très supérieures pour l'ensemble Paris et petite couronne : 14,8 t/hab contre 11,9 t/hab pour Paris seul, l'écart étant moindre si l'on excepte l'oxygène de combustion : 11 t/hab et 8,8 t/hab respectivement ; on retrouve des écarts similaires pour les exportations de marchandises.

L'extraction locale se limitant à l'oxygène de combustion dans les deux cas, les entrées directes de matière et les exportations peuvent être étudiées plus finement grâce aux statistiques du fret, qui nous permettent de considérer Paris d'une part et la petite couronne d'autre part. La base de données SITRAM (Système d'information sur les transports de marchandises), gérée par le Service économique et statistique du ministère de l'Équipement, permet en effet d'accéder aux statistiques départementales du fret, les produits étant répartis en dix catégories (Tableau 6) ; en revanche, les données par type de produit ne sont pas départementalisées pour le transport ferré. Par conséquent, la comparaison exclut les marchandises transportées par chemin de fer (par ailleurs minoritaires).

Tableau 6. Classification des produits dans la base de données SITRAM.

0. produits agricoles,	5. produits métallurgiques,
1. produits alimentaires,	6. matériaux de construction,
2. combustibles minéraux solides,	7. engrais,
3. produits pétroliers,	8. produits chimiques,
4. minerais,	9. produits manufacturés et messagerie.

Pour les importations, les principaux écarts entre Paris et la petite couronne portent sur les matériaux de construction et les produits manufacturés, qui entrent en plus grandes quantités en petite couronne (en t/hab) ; cet écart est similaire pour les exportations, avec en outre un surcroît d'exportation de produits agricoles et alimentaires pour la petite couronne. La supériorité des flux unitaires (*i. e.* par habitant) caractérisant la petite couronne traduit son dynamisme industriel et commercial, puisqu'elle apparaît comme un lieu privilégié d'échanges de matières (notamment avec le

reste de l'Île-de-France) ; ces échanges sont indispensables à son fonctionnement comme à celui de Paris, dont sont originaires et qui est destinataire d'une partie des flux.

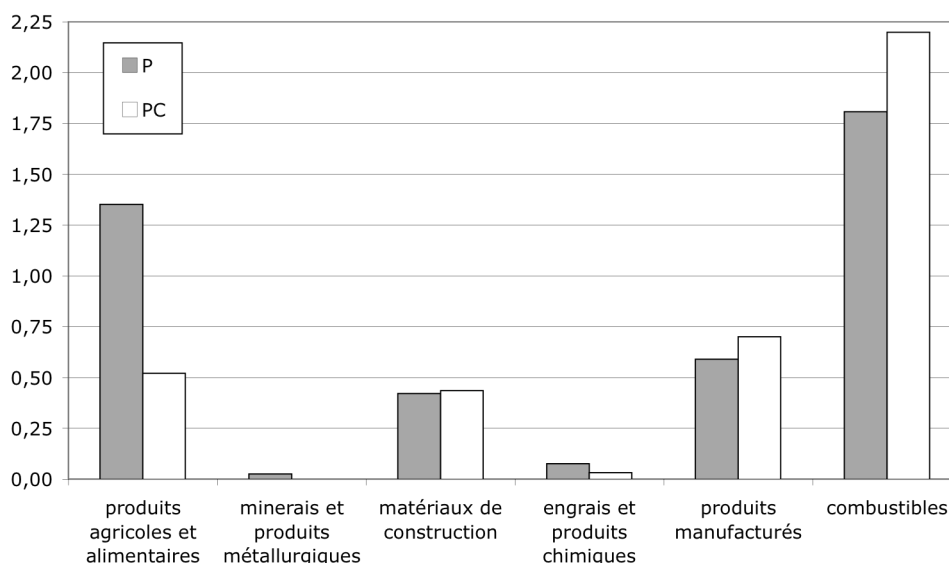


Figure 9. Composition de la consommation nette (hors chemin de fer), Paris et petite couronne, 2003, t/hab.

La comparaison des consommations nettes (importations moins exportations en l'absence d'extraction locale, soit 4,3 t/hab pour Paris et 3,8 t/hab pour la petite couronne, hors chemin de fer) confirme la complémentarité entre ces deux zones (Figure 9). Si la consommation de combustibles est supérieure en petite couronne⁶, ce qui traduirait d'une part le rôle de l'activité industrielle, d'autre part l'impact des formes urbaines (densité moindre⁷), celle de produits agricoles et alimentaires est très supérieure à Paris. L'une des raisons en est que la capitale étant une importante zone d'emplois (1 600 800 au recensement de 1999 (INSEE)), de même qu'une zone touristique, elle engendre un besoin alimentaire qui ne se réduit pas à celui de ses seuls habitants, et comprend une partie de celui des habitants de la petite couronne (actifs résidants en petite couronne et travaillant à Paris par exemple). De même, la consommation nette de produits manufacturés est légèrement supérieure en petite couronne, mais ces produits peuvent très bien être acquis par des habitants de Paris (centres commerciaux périphériques).

L'écart concernant les sorties locales vers la nature a déjà été évoqué : Paris exporte ses rejets, moins que l'ensemble Paris et petite couronne. On mesure toute l'importance qu'il y a à distinguer les rejets dans les exportations, puisque la simple prise en compte de l'indicateur DPO conduirait à une conclusion erronée pour Paris selon laquelle la capitale produirait peu de rejets vers la nature. L'indicateur TTN (qui n'apparaît pas dans la méthode Eurostat) constitue donc le complément indispensable de l'indicateur DPO.

L'écart est néanmoins visible entre les deux valeurs de TTN. Il est essentiellement dû à des émissions atmosphériques moindres à Paris qu'en petite couronne (4,6 t/hab eau comprise et 3,1 t/hab eau exclue pour Paris ; 6,4 t/hab eau comprise et 4,3 t/hab eau exclue pour la petite couronne seule).

L'addition au stock s'élève à 3 100 kt à Paris, à 4 200 kt pour l'ensemble Paris et petite couronne. Rapportée à l'habitant, elle se monte à 1,4 t/hab et 0,7 t/hab respectivement. Cet indicateur

⁶ Cette assertion est à examiner avec précaution car elle découle des hypothèses que nous avons dû émettre et non de sources statistiques directes.

⁷ L'impact d'une moindre densité concerne avant tout la consommation énergétique liée aux transports, puisqu'elle entraîne l'augmentation de la portée des déplacements d'une part et le recours plus fréquent à la voiture particulière d'autre part ; elle peut aussi avoir un effet sur la consommation énergétique des bâtiments, mais celle-ci peut-être contrebalancée par une meilleure performance (meilleure isolation car bâtiment plus récent).

étant obtenu de façon indirecte (par soustraction), il est très sensible aux erreurs cumulées et la différence constatée n'est peut-être pas significative.

En résumé, les écarts constatés entre Paris et la petite couronne traduisent :

- les fonctions différentes de ces zones : importance des importations et exportations en petite couronne (industrie et négoce), importance de la consommation nette à Paris (pôle d'emplois et de tourisme), les indicateurs matériels sont donc à même de rendre compte de différences d'ordre socio-économique ;
- la dépendance de Paris par rapport à la petite couronne, notamment pour ce qui concerne les rejets solides (et liquides dans une moindre mesure) ;
- et finalement la complémentarité entre Paris et la petite couronne du point de vue des flux de matières.

Il ne serait donc pas pertinent de réduire l'étude du métabolisme urbain à celui de la ville-centre, puisque ce serait masquer certains flux importants (rejets exportés par exemple). En outre, ces résultats montrent l'insuffisance des données relatives aux combustibles fossiles et militent pour la réalisation d'un bilan énergétique complémentaire du bilan de matières (démarche adoptée à Genève (Faist Emmenegger, Frischknecht, 2003)).

4.4.2 Zone urbaine dense versus Île-de-France

La comparaison entre l'ensemble Paris et petite couronne, que nous conviendrons d'appeler « zone urbaine dense » dans ce sous-chapitre, et l'Île-de-France apporte d'autres informations. En effet, si certains indicateurs sont proches (DMO et recyclage en particulier), les autres connaissent des différences sensibles.

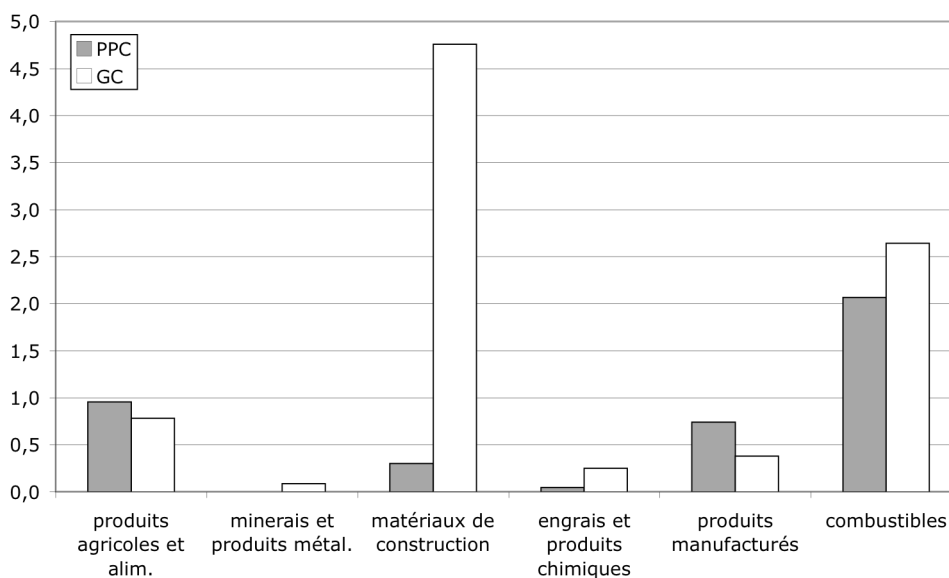


Figure 10. Composition de la consommation nette (hors chemin de fer), ensemble Paris et petite couronne et grande couronne, 2003, t/hab.

L'Île-de-France exploite une partie de ses ressources ; contrairement à la zone urbaine dense, l'extraction locale n'y est pas réduite à l'oxygène consommé par la combustion et comprend 0,5 t/hab de biomasse et 1,5 t/hab de matériaux de carrière. En outre, les entrées directes de matières (DMI) sont supérieures en Île-de-France : 16,9 t/hab contre 14,8 t/hab pour la zone urbaine dense ; l'écart est moindre si l'on excepte l'oxygène de combustion : 12,3 t/hab et 11 t/hab respectivement.

Les données du fret (hors chemin de fer), ajoutées pour les importations à l'extraction locale, permettent de comparer la zone urbaine dense à la grande couronne. Elles montrent que, qu'il s'agisse des entrées directes de matière ou des exportations de marchandises, l'écart est particulièrement important pour les produits agricoles et alimentaires, les matériaux de construction et les produits

manufacturés qui entrent et sortent en plus grandes quantités de la grande couronne que de la zone urbaine dense, ce qui traduit le rôle agricole, industriel et commercial joué par cette zone.

La consommation nette est très supérieure à l'échelle de l'Île-de-France : 7,1 t/hab contre 4,6 t/hab pour la zone urbaine dense. La composition en est surtout très différente quand on compare cette dernière à la grande couronne (Figure 10) : si l'on consomme autant de produits agricoles et alimentaires en zone urbaine dense qu'en grande couronne, celle-ci se distingue par sa très forte consommation de matériaux de construction : 4,8 t/hab contre 0,3 t/hab pour la zone urbaine dense, une moindre consommation de produits manufacturés et une plus forte de combustibles.

En ce qui concerne les matériaux de construction, ces chiffres traduisent l'importance du processus de périurbanisation et l'enjeu que sa maîtrise représente en termes de pression sur les ressources. La croissance de la population est certes un peu plus forte en grande couronne francilienne : +3,1 % entre le 1^{er} janvier 2000 et le 1^{er} janvier 2004, contre +2,2 % dans la zone urbaine dense et +2,6 % pour l'ensemble de la région. Mais la périurbanisation, caractéristique du développement de la grande couronne, se traduit par le développement d'un habitat consommateur de matériaux directement (pour sa construction) et indirectement (pour celle des infrastructures). En 2003, la zone urbaine dense a un solde migratoire positif de 25 000 habitants, soit une consommation de matériaux de construction de 80 t/hab nouveau ; quant à la grande couronne, elle a reçu 40 100 nouveaux arrivants, soit 590 tonnes de matériaux de construction pour chacun d'entre eux (et 450 t/hab nouveau à l'échelle régionale). Ces chiffres sont bien sûr à observer avec précaution : les populations annuelles sont estimées ; les données relatives aux matériaux de construction sont entachées d'erreur (absence du transport ferré dans les données utilisées) ; tous les matériaux de construction ne sont pas directement ou indirectement consommés par les nouveaux arrivants. Seuls les ordres de grandeur doivent donc être pris en compte : ils montrent néanmoins des différences significatives entre zone urbaine dense et grande couronne ; ils montrent aussi que l'Île-de-France est loin d'être autonome en la matière puisque l'extraction locale de matériaux de construction se monte à peine à 1,5 t/hab.

De même, la plus forte consommation unitaire de combustibles en grande couronne (hypothétique compte tenu du mode de calcul) traduirait-elle à la fois l'effet des formes urbaines, la diversité des fonctions de ce territoire (urbain, agricole et industriel) et la présence de centrales thermiques qui ne sont pas destinées à son seul approvisionnement, mais alimentent aussi la zone urbaine dense.

Enfin, la différence concernant les produits manufacturés est probablement due à des variables socio-économiques.

Les rejets locaux vers la nature sont, dans le cas francilien, presque égaux aux rejets totaux vers la nature (DPO = TTN). L'Île-de-France conserve ainsi la quasi-intégralité de ses rejets, contrairement à la zone urbaine dense. Ces rejets totaux vers la nature sont supérieurs à l'échelle francilienne : 9,1 t/hab contre 7,8 t/hab pour la zone urbaine dense. Cet écart est essentiellement dû aux émissions atmosphériques.

Tableau 7. Déchets solides ultimes, Île-de-France, 2003 (kg/hab).

	Paris	PC	GC	IdF
Déchets ménagers et assimilés	98	83	150	116
Déchets industriels banals	115	67	64	75
Déchets du bâtiment et des travaux publics	1 654	1 746	1 301	1 533
Déchets agricoles	0	0	32	14
Déchets industriels spéciaux	0	18	63	34
Déchets d'assainissement	4	4	7	6
Total	1 872	1 919	1 617	1 778

Cependant, la composition des rejets vers la nature varie d'une zone à l'autre, en particulier en ce qui concerne les déchets solides mis en décharge (déchets ultimes, Tableau 7). La production de

déchets ménagers ultimes est ainsi de 150 kg/hab en grande couronne contre moins de 100 kg/hab en zone urbaine dense, où la production initiale de déchets⁸ est pourtant réputée supérieure. Ceci montre l'inégalité des filières de traitement voire de tri entre les différentes zones et peut-être un enjeu pour la grande couronne. En revanche, les déchets du bâtiment et des travaux publics sont plus importants en zone urbaine dense qu'en grande couronne, où l'on construit par ailleurs beaucoup, comme nous l'avons vu. La zone urbaine dense renouvelle ses constructions, tandis que la grande couronne les multiplie. La supériorité des déchets industriels banals à Paris émane de la nature des activités économiques qu'accueille la capitale, comme celle des déchets industriels spéciaux et d'agriculture en grande couronne témoigne de son tissu économique.

Enfin, l'addition nette au stock est très supérieure à l'échelle régionale 2,6 t/hab contre 0,7 t/hab pour la zone urbaine dense. Malgré les réserves émises à l'égard de la fiabilité de cet indicateur, il confirme l'importance de la périurbanisation et l'enjeu de sa maîtrise.

En résumé, les écarts constatés entre la zone urbaine dense (Paris et petite couronne) et la grande couronne traduisent :

- les fonctions différentes de ces zones : importance de l'extraction locale, des importations et exportations en grande couronne (agriculture, construction, industrie et négoce), différences observées dans la composition de la consommation nette ;
- la dépendance de la zone urbaine dense par rapport à la grande couronne, notamment pour ce qui concerne les matériaux de construction et les rejets solides et liquides ;
- l'enjeu représenté par la périurbanisation en termes de consommation de matières et de matériaux de construction en particulier ;
- l'intérêt du travail à plusieurs échelles.

5. Conclusion

Les résultats présentés ici mériteraient d'être approfondis. Ils montrent néanmoins la pertinence d'une analyse du métabolisme urbain et régional à l'aide d'un bilan de matières brutes. On mesure l'intérêt qu'il y aurait à effectuer ce bilan régulièrement, afin de mesurer l'impact amont et aval des espaces urbanisés et la plus ou moins grande efficacité des politiques environnementales mises en œuvre.

On retiendra en particulier :

- l'importance du travail à plusieurs échelles, compte tenu de la complémentarité entre la ville centre et sa banlieue, de la dépendance des espaces urbanisés par rapport aux espaces qui les jouxtent, en particulier pour la fourniture de matériaux de construction et l'évacuation des rejets vers la nature ;
- l'énormité des quantités de matières mises en jeu, dès lors que l'on ne se contente pas de calculer la consommation nette (déjà importante), ou tel ou tel rejet ;
- le caractère dominant des émissions atmosphériques dans les rejets vers la nature, qui ne doit pas masquer l'importance de la mise en décharge ;
- le faible taux de recyclage, quel que soit son mode de calcul, qui traduit l'insuffisance des politiques mises en œuvre qui ne sauraient se cantonner au tri sélectif des ordures ménagères et devraient en particulier mettre l'accent sur les matériaux de construction ;
- les limites intrinsèques du recyclage qui, s'il doit être encouragé, ne peut être le seul garant de la durabilité : il ne peut concerner qu'une partie des rejets (les émissions atmosphériques sont peu valorisables, bien que le gisement potentiel soit mal évalué), le gisement est de fait limité si on le compare aux besoins actuels de matières ; le recyclage doit donc être accompagné d'une politique de réduction des flux entrants (dématérialisation et décarbonisation) ;
- l'enjeu représenté par les matériaux de construction et par les processus d'urbanisation qui sous-tendent leur consommation : il est certainement nécessaire de mieux valoriser les déchets du bâtiment et des travaux publics, mais il l'est aussi de maîtriser les entrées de matière dans la filière,

⁸ Déchets produits par les ménages comptabilisés avant tri et traitement.

compte tenu 1) des limites du gisement régional, 2) des limites du gisement de déchets, 3) de l'impact environnemental des carrières, où qu'elles se situent ;

- les disparités observées aux différentes échelles de travail, en particulier en ce qui concerne la consommation nette, l'addition nette au stock (témoin de non-durabilité) et la consommation de combustibles, toutes trois plus importantes en grande couronne qu'en zone urbaine dense ;
- la nécessité de réaliser un bilan énergétique complémentaire, ou au moins de disposer de statistiques plus précises concernant la consommation d'énergie primaire ;
- celle de réaliser un bilan d'eau complémentaire.

6. Remerciements

L'auteur tient à remercier d'une part Gilles Billen, Josette Garnier et Laurence Lestel pour leurs utiles suggestions, d'autre part Tifenn Audrain et Natacha Lizerot qui ont contribué à la collecte des données et sans lesquelles cette recherche n'aurait pas abouti.

7. Liste des abréviations

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AESN	Agence de l'eau Seine-Normandie
AGRESTE	Service statistique du ministère de l'Agriculture et de la Pêche
CITEPA	Centre interprofessionnel d'études de la pollution atmosphérique
DGEMP	Direction générale de l'énergie et des matières premières
DREIF	Direction régionale de l'équipement d'Île-de-France
DRIRE	Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement
GC	Grande couronne
IdF	Île-de-France
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
ORDIF	Observatoire régional des déchets d'Île-de-France
PC	Première couronne
PPC	Paris et première couronne
SIAAP	Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne
SITRAM	Système d'information sur les transports de marchandises
UNICEM	Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction

8. Bibliographie

- Ayres R. U., Ayres L. W., (eds.) (2002). *A Handbook of Industrial Ecology*. Cheltenham, Edward Elgar.
- Ayres R. U., Simonis U. K. (eds.) (1994). *Industrial Metabolism*. Tokyo, United Nations University Press.
- Baccini P., Brunner P. H. (1991). *Metabolism of the Anthroposphere*. Berlin, Springer Verlag.
- Barles S. (2002). Le métabolisme urbain et la question écologique. *Annales de la recherche urbaine* 92:143-150.
- Barles S. (2007). *Mesurer la performance écologique des villes : Le métabolisme de Paris et de l'Île-de-France*. Rapport final pour le compte de la ville de Paris. Champs-sur-Marne, Laboratoire TMU (UMR CNRS AUS 7136).
- Billen G., Toussaint F., Peeters P., Sapir M., Steenhout A., Vanderborght J. P. (1983). *L'écosystème Belgique. Essai d'écologie industrielle*. Bruxelles, Centre de recherche et d'information socio-politique.
- Bringezu S. (1998). From quantity to quality : Material Flow Analysis. In : Bringezu S., Fischer-Kowalski M., Kleinj R., Palm V. (eds.). *Analysis for Action : Support for Policy towards Sustainability by Material Flow Accounting*. Wuppertal, Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, 1998.

- Bringezu S. (2001). *Material Flow Analysis for the European Union and Beyond : Implications for Statistics and Policy*. Communication à la 1ère conférence de l'ISIE, Leiden, 12-14 nov. 2001.
- Bringezu S., Fischer-Kowalski M., Kleijn R., Palm V. (eds.) (1997). *Regional and National Material Flow Accounting : From Paradigm to Practice*. Wuppertal, Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy.
- Brunner P. H., Rechberger H. (2004). *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. Boca Raton, Lewis Publishers.
- Cordeau E., Nascimento I. (2005). *L'empreinte écologique des habitants de la région Île-de-France : Première approche*. Paris, IAURIF.
- Dambrin B. (1982). *Écologie urbaine : Le cas de la région parisienne*. Thèse de 3e cycle, Université de Paris VII.
- Daxbeck H., Lampert C., Morf L., Obernosterer R., Rechberger H., Reiner I., Brunner P. H. (1997). The anthropogenic metabolism of the city of Vienna. In : Bringezu S., Fischer-Kowalski M., Kleijn R., Palm V. (eds.). *Regional and National Material Flow Accounting : From Paradigm to Practice*. Wuppertal, Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. p. 249-254.
- Erkman S. (1998). *Vers une écologie industrielle*. Paris, éd. Charles Léopold Mayer & la librairie FPH.
- Erkman S. (2004). *Vers une écologie industrielle*. Paris, éd. Charles Léopold Mayer & la librairie FPH. 2^e éd. rev. Et augm.
- Eurostat (2001). *Economy wide material flow accounts and balances with derived resource use indicators. A methodological guide*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Eurostat (2001). *Economy wide material flow accounts and balances with derived resource use indicators. A methodological guide*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
- Faist Emmenegger M., Frischknecht R. (2003). *Métabolisme du canton de Genève. Phase 1*. Rapport final pour le compte du groupe de travail interdépartemental Ecosite de la République et du canton de Genève, Uster, ESU service.
- Hammer M., Giljum S., Hinterberger F. (2003). *Material Flow Analysis of the City of Hamburg. Preliminary results*. Document de travail, Vienne, Sustainable Europe Research Institute (SERI).
- INSEE (2006). Les zones d'emploi en Île-de-France. Disponible sur la toile, format html, [réf. du 31 oct. 2006], http://www.insee.fr/fr/insee_regions/idf/zoom/zones_emploi/zeparis_emploi.htm.
- Kleijn R., Van Der Voet E. (2001). Material flow accounting. Papier présenté au *4th Seminar on Industrial Ecology*, 14-15 juin 2001.
- Matthews E (ed.) (2000). *The Weight of Nations. Material Outflows from Industrial Economies*. Washington, World Resources Institute.
- Rees W., Wackernagel M. (1996). *Our Ecological Footprint : Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriola Island (Canada), New Society Publishers.
- WWF France (2002). *L'empreinte écologique de la France*.