

Le métabolisme parisien aujourd'hui

Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme

Sabine Barles

Tonnes de charbon, de pétrole, de carbone, de méthane, de gaz à effet de serre : cette expression pondérale des consommations d'hydrocarbures et des émissions atmosphériques montre que la question énergétique peut en grande partie être inscrite dans une problématique plus vaste, celle des quantités de matières mises en jeu par nos sociétés, qu'il s'agisse des prélèvements de ressources ou des rejets.

Les activités humaines se traduisent en effet par le prélèvement d'une grande quantité de matières au sein de la biosphère – hydrocarbures, matériaux de construction, nutriments (engrais), productions végétales, métaux – dont la circulation dans les sociétés peut être qualifiée de linéaire en ce sens que les cycles de matière anthropisés ne sont pas fermés. Les combustibles fossiles sont extraits des entrailles de la terre, transformés, puis consommés ; leur combustion conduit à leur restitution à la biosphère sous forme d'émissions atmosphériques et de résidus divers ; l'azote prélevé dans l'air pour la fabrication d'engrais est en grande partie restitué sous forme de nitrates et d'ammonium dans les sols et les milieux aquatiques ; les matériaux de construction sont pour la plupart mis en décharge après démolition. En d'autres termes, les activités humaines reposent sur une consommation considérable de matières premières et sur des émissions qui le sont tout autant : vers l'air, l'eau, le sol, sous forme liquide, solide, gazeuse. De nombreux problèmes environnementaux rencontrés aujourd'hui peuvent être attribués à cette circulation abondante et linéaire : épuisement des ressources, changement climatique, eutrophisation, prolifération des déchets solides, dispersion de substances toxiques.

L'identification du problème dans sa généralité contient sa solution de principe. La durabilité passe probablement par une circulation moindre de matières – dématérialisation –, notamment d'hydrocarbures et de matières carbonées – décarbonisation – : il faut extraire moins pour rejeter moins et rejeter moins pour extraire moins. D'un point de vue strictement biogéochimique, la dématérialisation passe d'une part par une optimisation de l'utilisation des matières

limitant les pertes à toutes les étapes de l'extraction, de la transformation, du transport et de l'utilisation, d'autre part par une limitation des rejets de toute nature, enfin par la substitution de certaines matières ou sources d'énergie à d'autres. Diminuer les pertes et faire des rejets de matières premières – boucler la boucle – est un moyen de limiter non seulement les émissions de polluants mais aussi la pression sur les ressources ; substituer des sources d'énergie matérielles telles que les hydrocarbures par des sources immatérielles telles qu'énergies solaire, hydraulique, éolienne va dans le même sens. La dématérialisation appelle donc une réflexion d'ensemble sur la matérialité de nos sociétés.

Ces enjeux sont notamment ceux de l'écologie industrielle (Erkman S., 2004) et de l'économie circulaire (Yuan Z. *et al.*, 2006). Cependant, ni l'une ni l'autre ne prêtent généralement attention à la dimension urbaine et territoriale des flux de matières, qui sont abordés soit dans le strict cadre des activités industrielles et ne portent, de fait, que sur une partie du cycle des matières, soit dans un cadre d'analyse déspatialisé et déterritorialisé, ce qui conduit à minimiser les enjeux spatiaux (proximité notamment) et territoriaux (acteurs, institutions, structures) de la gestion des flux de matières.

Comprendre et analyser le métabolisme urbain

Les espaces urbanisés concentrent la moitié de la population mondiale, une partie non négligeable de la production et l'essentiel de la consommation (apparente), et constituent une cible privilégiée de la dématérialisation : non seulement de grandes quantités de matières y circulent, mais aussi ces

espaces sont-ils à l'origine de circulations tout aussi intenses dans toutes les régions de la biosphère. Longtemps considérés comme des parasites insoutenables (Barles S., 2002), ils constituent en fait des gisements peu exploités d'économies de matières et le levier d'économies à réaliser ailleurs.

Ceci posé, la dématérialisation a un préalable, faute de quoi ses principes ne sauraient être mis en œuvre : l'analyse des flux de matières – leur volume, leur intensité, leur localisation, leur circulation. Force est de constater que nous savons peu de ce métabolisme, qu'il soit industriel ou urbain. La généralisation des bilans nationaux est en cours au sein de l'Europe (Grégoire, 2007), les indicateurs synthétiques qui en découlent étant désormais de règle. Cependant, si des analyses ont été conduites pour quelques villes (voir par exemple : Bringezu S. *et al.*, 1997 ; Faist Emmenegger M., Frischknecht R., 2003 ; Hammer M., Giljum S., Hinterberger F., 2003 ; Kleijn R., Van Der Voet E., 2001), le déficit de connaissance demeure important.

L'analyse du métabolisme (urbain, régional, national) repose sur plusieurs approches complémentaires (Ayres R. U., Ayres L. W., 2002). La première consiste à réaliser un bilan de matières brutes (*i. e.* toutes matières confondues) grâce à l'identification des principaux flux entrants (combustibles, aliments, biens, matières premières) et sortants (émissions diverses, déchets, produits finis ou semi-finis), du recyclage, enfin de l'addition au stock. Ce premier bilan (*material flow analysis - MFA*) permet d'obtenir une vision synthétique du métabolisme du territoire étudié et de ses relations avec la biosphère. Partant, il contribue à l'identification de ce que pourraient être les cibles de politiques de dématérialisation. Il peut en outre servir de base à des analyses plus pointues, en particulier les analyses de flux de substances (*substance flow analysis - SFA*) : carbone, azote, phosphore, métaux lourds, dont la connaissance contribue elle aussi à l'amélioration des performances écologiques des villes. Dans la suite de ce texte, nous nous intéressons plus particulièrement aux bilans de matières brutes, sur la base d'un travail de recherche récemment consacré à l'agglomération parisienne.¹

Périmètre d'étude et sources

Le bilan de matières a été réalisé selon la méthode du service européen de la statistique (Eurostat, 2001)² pour trois zones concentriques : Paris, Paris et petite couronne, Île-de-France, de façon à permettre la mise en évidence d'éventuelles disparités en fonction de l'échelle de travail. 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 par ailleurs une activité agricole non négligeable.

Il est aussi dicté par l'appareil statistique existant : Paris, ville capitale et département est particulièrement bien dotée ce qui rend possible le travail à cette échelle (qui serait plus difficile pour d'autres villes).

D'une façon générale, les données utilisées sont disponibles à l'échelle du département, ou de la région. Il s'agissait en effet de se reposer dans la mesure du possible sur les statistiques existantes, publiques ou privées mais faciles d'accès, de façon à tester le caractère opérationnel de l'outil bilan de matières brutes – on imagine aisément qu'une collectivité territoriale hésiterait à adopter des indicateurs dont la détermination nécessite une lourde et coûteuse production de données.

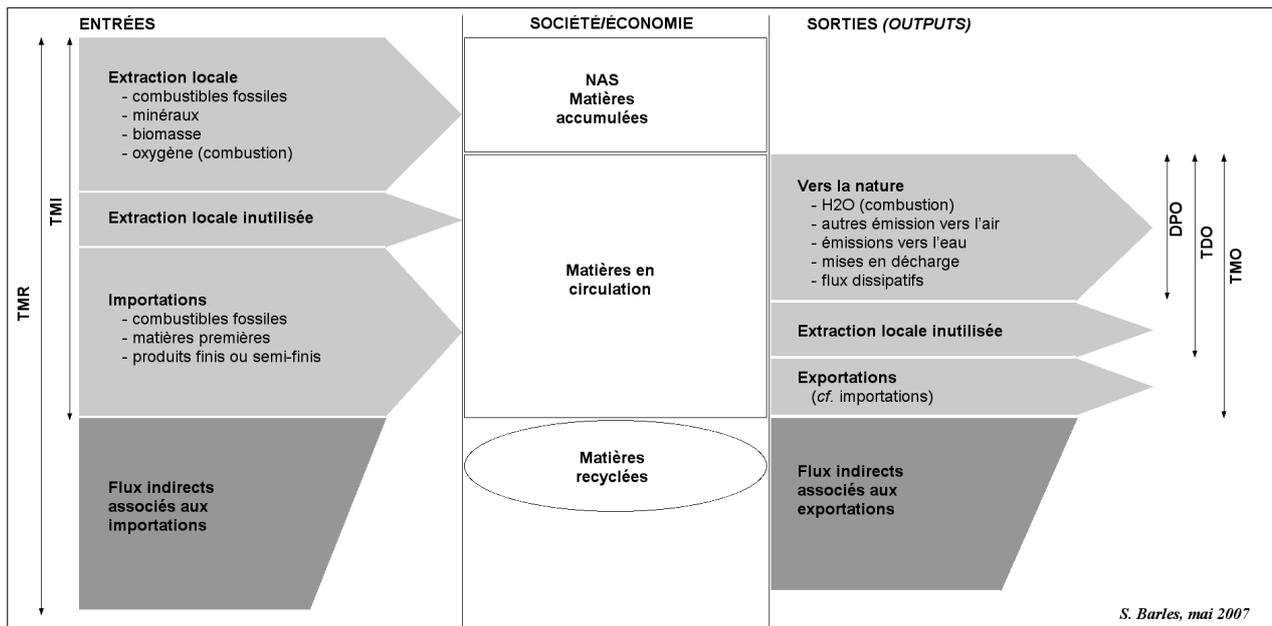
La recherche des sources fournit ainsi une première série de résultats. La région Île-de-France et la ville de Paris se montrent particulièrement bien pourvues de statistiques locales, mais celles-ci demeurent très dispersées et leur collecte nécessite une bonne connaissance des acteurs tant nationaux que locaux, privés que publics. En outre, 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 ; tandis que 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. Malgré ces limites, la collecte des données a été fructueuse. L'année 2003 a été retenue comme année de référence pour l'établissement du bilan. En effet, il s'est vite avéré qu'elle constituait la plus proche

1. La recherche qui sert de base à ce texte a bénéficié d'un financement de la ville de Paris. 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, étudiantes à l'Institut Français d'Urbanisme, qui ont contribué à la collecte des données.

2. Plusieurs méthodes existent aujourd'hui pour la réalisation de bilans spatialisés de matières brutes. Dans le cadre de ce travail, la méthode mise au point par le service européen de statistique (Eurostat, 2001) a été retenue. Elle présente l'avantage d'être déjà largement utilisée aux échelles nationale et internationale (voir par exemple : Bringezu S. *et al.*, 1998 ; Matthews E., 2000 ; Welsz H., 2005), dans une moindre mesure régionale et urbaine (voir néanmoins, pour Hambourg, Hammer M. *et al.*, 2003) et d'être plus facilement adaptable en fonction des contextes que d'autres (en particulier celle que proposent Brunner P.-H. et Rechberger H., 2004). Les principes généraux de la méthode d'Eurostat 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, il exclut donc les composantes naturelles de la zone d'étude (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 ; il s'agit donc bien d'analyser les échanges entre une société localisée donnée et son environnement (nature d'une part, autres sociétés d'autre part).

Schéma général de la comptabilité des flux de matière d'une économie



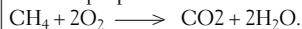
S. Barles, mai 2007

- 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)

Dans le schéma de principe de l'analyse 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 spécifique (voir la thèse en cours de Petros Chatzimpiros). 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. L'équation simplifiée de la combustion (simplifiée parce qu'elle entraîne la formation d'autres composés, qui sont quantifiés dans le bilan de matières) est en effet :

(combustible + oxygène) → (dioxyde de carbone + eau).

Par exemple pour le méthane :



Le bilan étant basé sur le principe de conservation de la matière, il faut donc quantifier l'oxygène en entrée et l'eau en sortie.

Les entrées sont ainsi constituées de l'extraction locale (matières extraites au sein du territoire d'étude et oxygène de combustion) et des importations de toute nature en provenance d'autres territoires. S'y ajoutent les entrées indirectes : extraction locales inutilisée (par exemple boues de

dragage) et flux indirects associés aux importations (qui correspondent aux matières extraites de la biosphère hors du territoire d'étude non incorporées dans les produits importés). Les sorties comprennent les matières restituées à la biosphère localement : rejets vers l'air (dont eau de combustion), l'eau et le sol, usages dissipatifs (engrais, sels de déneigement par exemple) et pertes dissipatives (usure des pneumatiques et des chaussures par exemple) – et les exportations vers d'autres territoires de toute nature. S'y ajoutent les sorties indirectes : extraction locale inutilisée (considérée comme une restitution à la nature après extraction, donc identique à celle qui est comptabilisée dans les entrées) et flux indirects associés aux exportations (qui correspondent aux matières extraites de la biosphère au sein du territoire d'étude non incorporées dans les produits exportés). L'addition nette au stock est déterminée par soustraction des sorties aux entrées (hors flux indirects associés aux importations et exportations), elle doit donc être considérée avec précaution en raison du cumul d'erreurs qui en résulte. Par ailleurs, le recyclage constitue un flux interne au système puisqu'il concerne les matières qui ne sortent pas du système (ni extraction ni rejet). Enfin, et dans la pratique, les flux indirects sont très difficiles à quantifier. Ils ne l'ont pas été dans le travail présenté ici.

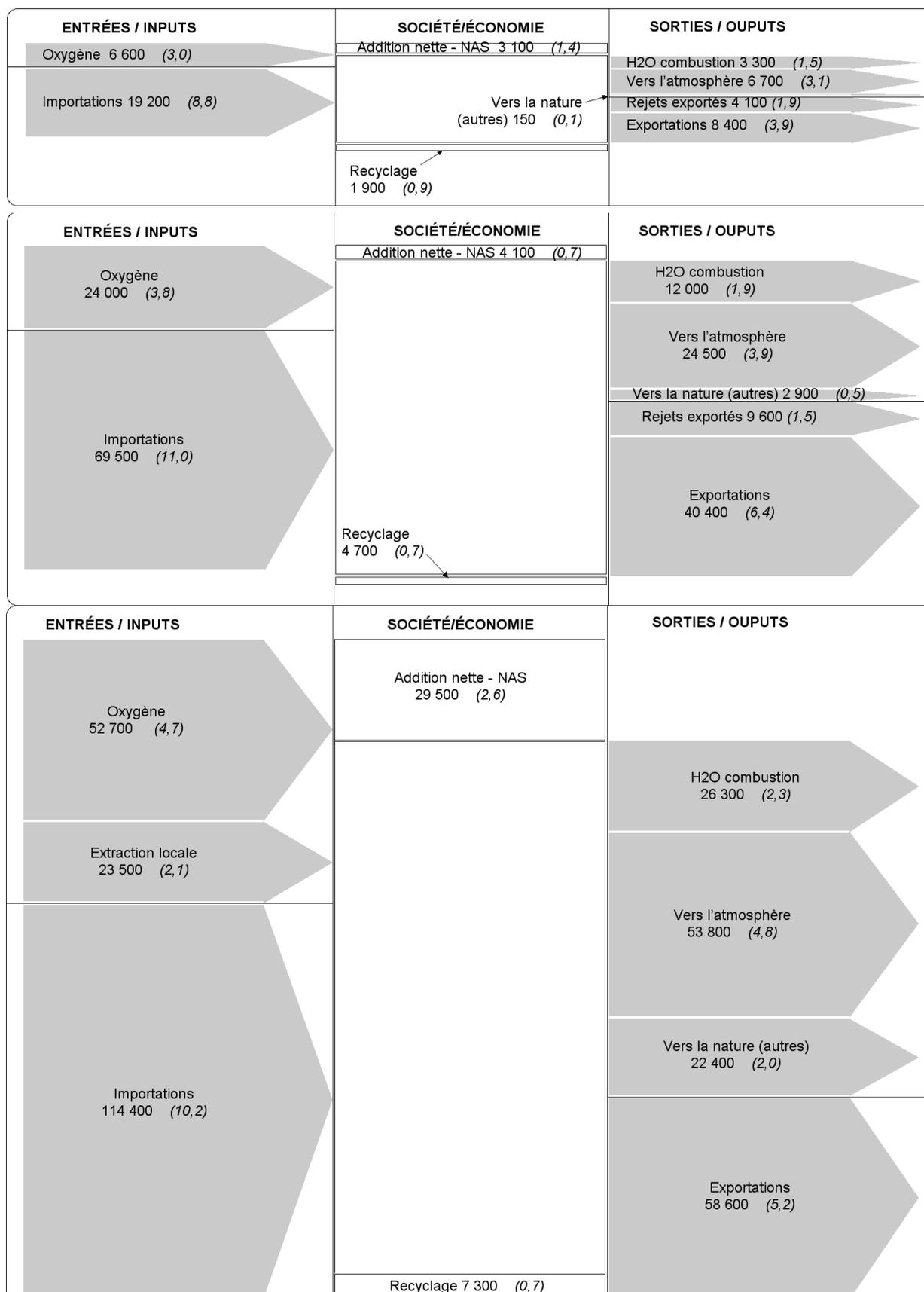
parmi les années les mieux renseignées. Elle a été analysée sur la base de la population annuelle moyenne établie d'après les chiffres de l'INSEE.

Des territoires très matériels

Les résultats sont donnés en valeur absolue (kt) et rapportés à la population (t/hab) de façon à permettre les comparaisons.

Les chiffres cités dans le texte font abstraction de l'oxygène consommé et de l'eau produite par la combustion.

Le premier intérêt du bilan est de fournir une vision synthétique de la matérialité de nos sociétés dont nous n'avons en général qu'une perception lacunaire (consommation de tel ou tel bien ou ressource, émission de tel ou tel polluant, production de tel ou tel déchet solide). Quelle que soit la zone d'étude, les chiffres sont étonnamment élevés, avec des entrées directes de matières allant de 8,8 à 12,3 t/hab, une consommation nette comprise entre 5,0 et 7,1 t/hab. Il faut bien sûr se garder



Bilan de matières de Paris (en haut), Paris et petit couronne au milieu et de l'Île-de-France en bas

de l'interprétation erronée selon laquelle un habitant consommerait cinq ou sept tonnes de matières par an : ce que nous dit cet indicateur est que la consommation nette de matière du territoire d'étude rapportée à sa population prend ces valeurs, toutes activités confondues (y compris celles des non résidents). Quoiqu'il en soit, malgré l'importance de ces chiffres, ils demeurent moins élevés que ceux qui ont été établis à l'échelle nationale pour 2001 où les entrées directes de matières s'élevaient à 17,6 t/hab et la consommation nette à 14,4 t/hab (Welsz H., 2005). Du point de vue du fonctionnement biogéochimique, la consommation nette représente la somme de l'addition au stock de matières dans le système étudié et des émissions locales vers la nature, toutes deux témoins du caractère non durable de ce système.

Le bilan agrégé permet aussi de comparer les principaux flux et notamment de mesurer la place des rejets totaux vers la nature dans le bilan (rejets locaux et rejets exportés). Ils représentent ainsi 5,1 t/hab et 43 % des entrées directes de matière à Paris, respectivement 5,8 t/hab et 53 % pour Paris et la petite couronne et 6,8 t/hab et 55 % en Île-de-France. En résumé, environ la moitié des matières qui pénètrent dans les territoires étudiés est rendue à la nature, essentiellement sous forme d'émissions atmosphériques (63 % des rejets totaux vers la nature à Paris, 67 % pour Paris et la petite couronne, 71 % pour l'Île-de-France). On mesure ainsi les enjeux de la dématérialisation et de la décarbonisation, d'autant plus que le recyclage joue aujourd'hui un rôle tout à fait mineur – moins d'une tonne par habitant, entre 6 % (Île-de-France) et 10 % (Paris) de l'entrée directe de matières. Tout reste donc à faire. Par ailleurs, le recyclage ne saurait suffire à limiter la consommation et les rejets compte tenu d'une part des quantités mises en jeu, d'autre part de la nature des rejets qui ne sont pas forcément valorisables. La durabilité nécessite donc la réduction des entrées de matières.

Quelques éléments se dégagent aussi de la comparaison des trois secteurs d'étude. Tous les flux, à l'exception de la consommation nette et du recyclage, augmentent avec la surface du territoire d'étude (il en va de même de l'addition nette au stock, mais la fiabilité de cet indicateur est limitée). Une première raison peut être mise en avant : les activités, en particulier primaires et secondaires, sont d'autant plus développées et diversifiées que le territoire pris en compte autour de la ville centre – dont on n'extrait rien localement – est vaste. Elles se traduisent par des flux importants de matières (qui pourraient prendre la forme de flux indirects à l'entrée de Paris, si ceux-ci avaient été quantifiés), puisque à l'activité d'extraction s'ajoute celle de transformation et les pertes (rejets, déchets) qui y sont associées. C'est ce qui expliquerait aussi les écarts déjà signalés entre les résultats établis à l'échelle de la France et ceux qui sont présentés ici ; il n'y aurait donc rien là d'étonnant. Une seconde raison peut cependant être avancée : la région Île-de-France comprend la zone d'extension spatiale de l'urbanisation (contrairement aux deux autres zones d'étude), caractérisée par l'étalement et la périurbanisation. Les formes urbaines, les processus de localisation (habitat, activités,

équipements) et les circulations qui les caractérisent peuvent expliquer une partie des différences observées.

Par ailleurs, la ville centre s'avère entièrement dépendante de l'extérieur, qu'il s'agisse des entrées ou des rejets vers la nature qui, à l'exception des rejets atmosphériques et des flux dissipatifs, sont entièrement exportés. Cette dépendance est légèrement moindre pour la zone urbaine dense, tandis que la région est autonome en ce qui concerne la gestion de ses rejets – mais pas, on s'en doute, pour ses entrées. Pourrait-on remplacer des importations de matières, par ailleurs coûteuses en carbone, par du recyclage local ?

Décomposer les résultats

Ces constats conduisent à une analyse plus fine des résultats, visant à les expliquer et à en tirer des conclusions opérationnelles. Une première approche peut consister à décomposer la consommation nette en distinguant Paris, la petite couronne et la grande couronne (zones concentriques). La consommation de combustibles fossiles est plus élevée en grande couronne qu'en petite couronne, en petite couronne qu'à Paris. On peut y voir le double effet des activités plus diverses et plus nombreuses de la grande couronne et de l'étalement urbain³. La consommation nette de matériaux de construction en grande couronne est par ailleurs considérable : près de 5 t/hab, dix fois plus qu'ailleurs en Île-de-France. Si le logement périurbain consomme moins de matériaux que l'appartement central, il entraîne la réalisation d'infrastructures linéaires (VRD en particulier) et d'équipements annexes qui pèsent considérablement sur le bilan de matières.

Selon l'INSEE, la population de Paris et la petite couronne aurait augmenté de 25 000 habitants en 2003, soit une consommation de 80 tonnes de matériaux de construction par habitant nouveau, contre 40 000 habitants nouveaux en grande couronne et 590 tonnes de matériaux de construction par habitant nouveau, sept fois plus. Ces résultats permettent d'identifier au moins deux cibles pour la dématérialisation : la maîtrise de l'urbanisation en tant que consommatrice de matériaux de construction d'une part, et le recyclage des déchets du bâtiment et des travaux publics (ou d'autres déchets susceptibles de trouver un débouché dans la construction) d'autre part, ce d'autant plus que la région connaît une pénurie de matériaux de construction (Acerbi C., Nascimento I., 2005). L'extraction locale s'y élève en effet à 1,5 t/hab de minéraux pour

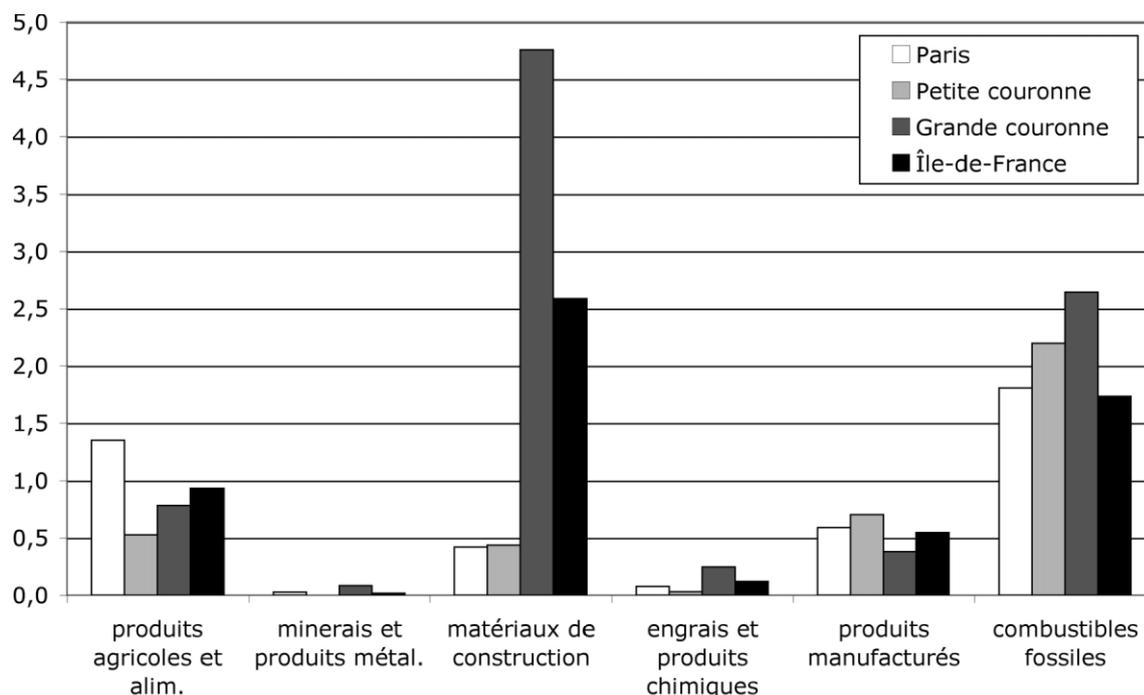
3. Il s'agit bien des combustibles fossiles consommés dans les secteurs d'étude (quelle qu'en soit l'utilisation) et non de la consommation énergétique totale (et ou finale) : l'électricité qui y est importée n'est pas prise en compte (quelle que soit son origine), puisque les flux indirects ne sont pas quantifiés et que le courant électrique ne représente pas un flux matériel.

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

	Paris (2 166 000 hab.)		PPC (6 321 000 hab.)		IdF (11 259 000 hab.)	
	kt	t/hab	kt	t/hab	kt	t/hab
Entrées						
Extraction locale						
Combustibles	0	0,0	0	0,0	540	0,0
Minéraux	0	0,0	0	0,0	16 994	1,5
Biomasse	0	0,0	30	0,0	6 013	0,5
Oxygène	6 561	3,0	24 011	3,8	52 653	4,7
Total Extraction locale	6 561	3,0	24 041	3,8	76 200	6,8
Importations						
Combustibles	3 914	1,8	13 048	2,1	26 095	2,3
Autres	15 242	7,0	56 453	8,9	88 350	7,8
Total Importations	19 156	8,8	69 500	11,0	114 445	10,2
TOTAL entrées (DMI)	25 717	11,9	93 541	14,8	190 645	16,9
Entrées sauf oxygène	19 156	8,8	69 530	11,0	137 992	12,3
Sorties						
Vers la nature						
Air : émissions	6 714	3,1	24 469	3,9	53 839	4,8
Air : eau	3 281	1,5	12 006	1,9	26 327	2,3
Décharge	0	0,0	2 498	0,4	20 013	1,8
Vers l'eau	0	0,0	8	0,0	42	0,0
Flux dissipatifs	150	0,1	436	0,1	2 398	0,2
Total Sorties vers la nature (DPO)	10 145	4,7	39 416	6,2	102 618	9,1
Exportations						
Rejets exportés	4 096	1,9	9 610	1,5	69	0,0
Autres	8 378	3,9	40 406	6,4	58 502	5,2
Total Exportations	12 474	5,8	50 017	7,9	58 571	5,2
TOTAL Sorties (DMO)	22 619	10,4	89 433	14,1	161 189	14,3
Sorties sauf oxygène	19 338	8,9	77 427	12,2	134 862	12,0
Recyclage						
Interne	0	0,0	4 211	0,7	7 320	0,7
Externe	1 854	0,9	444	0,1	0	0,0
Total Recyclage	1 854	0,9	4 656	0,7	7 320	0,7
Addition nette au stock (NAS)	3099	1,4	4 109	0,7	29 457	2,6
Consommation nette	10 778	5,0	29 094	4,6	79 490	7,1

Déchets solides ultimes, Île-de-France, 2003k, kg/hab.

	Paris	Petite couronne	Grande couronne	Île-de-France
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



Consommation nette, Paris, petite couronne, grande couronne, Ile-de-France, 2003, t/hab.

NB : pour Paris, la petite couronne et la grande couronne les importations et exportations par voie ferrée sont exclues.

construction (en grande couronne), à comparer à la consommation régionale de 2,6 t/hab. Les déchets banals ultimes (i. e. non valorisés actuellement) du bâtiment et des travaux publics quant à eux représentent 1,5 t/hab : on jette en moyenne autant que l'on extrait.

La consommation nette de produits alimentaires est plus élevée à Paris que partout ailleurs : près de 1,4 t/hab contre 0,5 t/hab en petite couronne et 0,8 t/hab en grande couronne. Paris, importante zone d'emplois – 1 600 800 au recensement de 1999 (INSEE, s. d.) –, de même que ville touristique, engendre un besoin alimentaire qui ne se réduit pas à celui de ses seuls habitants, et comprend une partie de celui des habitants des petite et grande couronnes (actifs résidant en petite ou grande couronne et travaillant à Paris par exemple) et de ses visiteurs occasionnels. Indépendamment du fait que ce résultat montre que les bilans de matières reflètent fidèlement le fonctionnement de l'agglomération⁴, il permet d'émettre une hypothèse en matière de gestion des déchets : si la capitale consomme beaucoup d'aliments, elle doit en jeter beaucoup aussi. Paris constitue ainsi un gisement de matières organiques, dont on pourrait facilement envisager la valorisation agricole (option non retenue aujourd'hui). En d'autres termes, c'est dans les villes centres des grandes agglomérations que la valorisation agricole devrait prendre naissance, contrairement à ce qui est couramment admis au motif de la faiblesse des enjeux agricoles locaux – ce qui pose la question de la gestion des flux à l'échelle régionale.

Une autre désagrégation est possible, celle des déchets produits. L'accent mis de façon récurrente sur les déchets ménagers est dérisoire compte tenu de leur part limitée dans le total. Il faudrait au moins englober déchets ménagers et assimilés et déchets industriels banals pour obtenir des résultats significatifs dans le prolongement des politiques engagées depuis 1992⁵, tout en omettant pas la question déjà évoquée des déchets du bâtiment et des travaux publics.

Pour une approche régionale de la gestion urbaine

L'approche abordée ici constitue une invitation à considérer différemment les interactions entre les sociétés et la nature dans leur dimension matérielle. Elle montre l'importance d'une démarche qui prendrait en compte la circulation des matières dans son ensemble et non, comme c'est souvent le cas, du point de vue des seules ressources ou des

4. 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 dans les centres commerciaux périphériques.

5. La loi sur les déchets du 13 juillet 1992 (loi 92-346) stipulait qu'en 2002 seuls devaient être mis en décharge les déchets n'étant pas susceptibles de valorisation dans les conditions techniques et économiques du moment.

seuls rejets – donc par l'une de ses extrémités –, d'une seule matière (pétrole) ou d'un seul excreta (déchets ménagers). Un tel projet nécessite non seulement le développement d'outils d'analyse tels que les bilans de matières brutes ou élémentaires, d'indicateurs synthétiques mais désagrégeables tels que ceux que nous avons évoqués ici, mais aussi une réflexion approfondie sur ce que pourrait être la gouver-

nance des flux (Bringezu S. *et al.*, 1998) : par qui, à quelles échelles, selon quelles modalités ?

La nécessité d'échanger des matières au sein de la société plutôt que d'émettre des rejets vers la nature semble faire de l'échelle régionale la plus pertinente, sans négliger l'intérêt d'approches multiscales pour une meilleure gestion des flux de matières.

Références bibliographiques

Acerbi C., Nascimento I., (2004), *L'environnement en Île-de-France. Mémento 2003*, Paris, IAURIF.

Ayres R. U., Ayres L. W., eds., (2002), *A Handbook of Industrial Ecology*, Cheltenham, Edward Elgar.

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). www.univ-mlv.fr/~www-ltmu/

Barles S., (2002), « Le métabolisme urbain et la question écologique », *Annales de la recherche urbaine*, n° 92, pp. 143-150.

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.

Bringezu S., Fischer-Kowalski M., Kleijn R., Palm V., eds., (1998), *Analysis for Action : Support for Policy towards Sustainability by Material Flow Accounting*, Wuppertal, Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy.

Brunner P.-H., Rechberger H., (2004), *Practical Handbook of Material Flow Analysis*, Boca Raton, Lewis Publishers.

Erkman S., (2004), *Vers une écologie industrielle*, 2^e éd. enrichie et mise à jour [1^{ère} éd. 1998], Paris, éd. Charles Léopold Mayer & la librairie FPH.

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.

Grégoire P., (2007), « Du national au local : comment analyser la dématérialisation ? », communication au séminaire *Métabolisme urbain, bilans de matière, bilans énergétiques : Quelles échelles d'analyse et d'action ?*, organisé par le GIS Socio-Économie de l'Habitat, La Défense, 2 mai 2007.

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, (s. d.), « Les zones d'emploi en Île-de-France », disponible sur la toile, format html, [réf. du 31 oct. 2006], 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, disponible sur la toile, format word, www.bygg.ntnu.no/indecoll/formidling/seminarer/4th_ntva/kleijn_paper.doc.

Matthews E., ed., (2000), *The Weight of Nations. Material Outflows from Industrial Economies*, Washington, World Resources Institute.

Welsz H., ed., (2005), *Development of material use in the EU-15 : 1970-2001. Material composition, cross-country comparison, and material flow indicators*, rapport pour le compte d'Eurostat, Vienne, IFF-Department of Social Ecology.

Yuan Z., Bi J., Moriguchi Y., (2006), « The Circular Economy: A New Development Strategy in China », *Journal of Industrial Ecology*, vol. 10, n° 1-2, pp. 4-8.

Biographie

SABINE BARLES est professeure à l'Institut Français d'Urbanisme (Université de Paris 8) et chercheuse au Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines, département de l'UMR CNRS 7136 Architecture, Urbanisme, Sociétés. Ses travaux portent notamment sur l'écologie industrielle et territoriale et l'histoire des techniques et de l'environnement urbain. Elle a en particulier publié *L'invention des déchets urbains* (Champ Vallon, Seyssel, 2005).

sabine.barles@univ-paris8.fr