

Comprendre et maîtriser le métabolisme urbain et l'empreinte environnementale des villes

Chaque ville possède un jeu d'empreintes dont la dimension, la forme, la localisation, la profondeur changent dans le temps mais qui reflète fidèlement son métabolisme et, partant, les modes de vie des citoyens, les structures socio-économiques, politiques et techniques non seulement urbaines, mais aussi nationales et internationales.

par Sabine BARLES*

Les sociétés et singulièrement les villes constituent d'importantes consommatrices de matières et d'énergie, que ce soit directement sur leur territoire ou indirectement par les matières, biens et services qu'elles importent ou exportent. Le métabolisme urbain désigne ainsi l'ensemble des processus par lesquels les villes mobilisent, consomment et transforment ces ressources naturelles. Il a des conséquences amont et aval en termes de prélèvements d'énergie et de matières premières et de rejets de matières de rebut (vers l'atmosphère, l'eau et les sols, sous forme liquide, solide, gazeuse), avec de multiples impacts pour les écosystèmes et plus généralement la biosphère, si bien que cette première notion peut être complétée par une autre, qui rend compte des effets locaux, différés et ou globaux des agglomérations : celle d'empreinte environnementale.

La notion d'empreinte environnementale se veut plus générale que celle, bien connue, d'empreinte écologique [1]. Cette dernière désigne en effet la surface bioproductive qui serait nécessaire au maintien durable d'une société humaine donnée compte tenu de son niveau et de ses modes de vie, mais ne rend pas compte de l'ensemble des interactions entre les sociétés et la biosphère en ceci qu'elle privilégie une approche énergétique (biomasse et combustibles fossiles) ; elle fait par ailleurs l'objet d'un certain nombre de critiques [2]. Afin de dépasser limites, critiques et polémiques, la notion d'empreinte environnementale vise à décliner les impacts du métabolisme – urbain dans le cadre de cet article – sur la biosphère, le terme d'empreinte étant employé pour signifier à la fois la dimension spatiale de ces impacts (en trois dimensions) et leur plus ou moins grande intensité. On pourra ainsi définir une empreinte aquatique, alimentaire, énergétique (1), etc.

Les enjeux attachés au métabolisme urbain et aux empreintes environnementales qui en résultent sont aujourd'hui considérables. La tendance lourde qui

caractérise les processus d'urbanisation est en effet une augmentation de la consommation des ressources associée à celle des émissions [3], ce qui est l'une des traductions de la non-durabilité des sociétés urbaines – d'autres étant le caractère non-renouvelable de certaines ressources consommées, d'une part, et l'impossibilité de renouveler celles qui le sont au rythme de leur consommation, d'autre part. Ceci témoigne de la relative inefficacité non seulement des politiques développées depuis une quarantaine d'années afin de limiter les impacts urbains, marquées par leur caractère sectoriel – dans la ville et au-delà –, mais aussi des techniques de bout de tuyau (*end-of-pipe*) qui y sont généralement associées. L'étude du métabolisme urbain et des empreintes environnementales vise à dépasser ces cloisonnements en examinant le fonctionnement du système urbain dans son ensemble avant d'en observer les singularités et en ne négligeant pas ce qui se passe au-delà des frontières de la ville. Elle constitue l'une des bases de l'écologie territoriale (*social ecology* en langue anglaise) [4].

Le métabolisme urbain : vue d'ensemble

Une vision synthétique du métabolisme urbain et de la matérialité des sociétés peut être obtenue par la réalisation d'un bilan de matières brutes. Reposant classiquement sur le principe de conservation de la masse, il consiste à quantifier les flux de matières entrant dans un système donné, les flux sortants, puis par soustraction l'addition au stock interne. Cette comptabilité, qui mesure l'ensemble des flux matériels, se distingue donc de la comptabilité économique classique qui ne les considère que s'ils sont associés à des flux monétaires (production, importation, exportation).

La figure 1 présente un tel bilan pour la région Île-de-France (11,3 millions d'habitants, 12 000 km²) pour l'année 2003 (2) [5]. Elle montre que la région est très

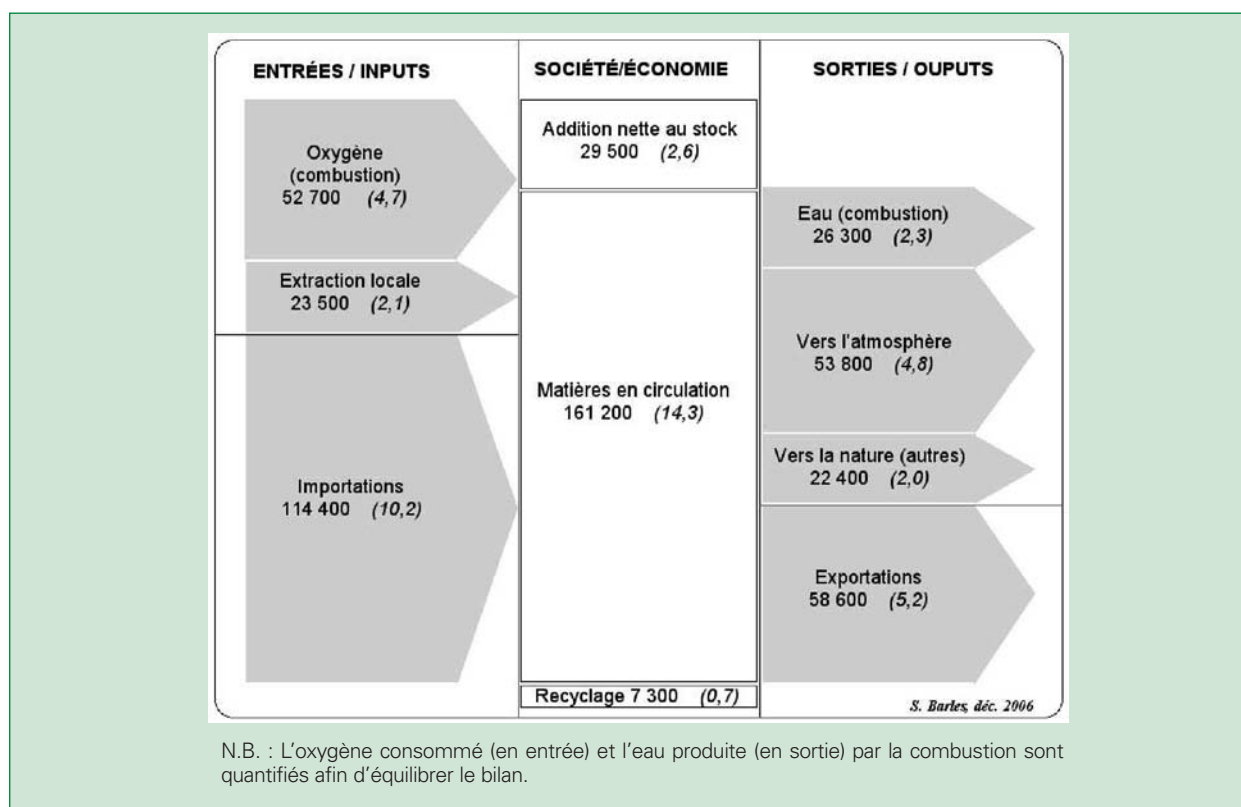


Figure 1. Bilan de matières brutes, Île-de-France, 2003, kt et, entre parenthèses t/hab [5].

fortement dépendante de l'extérieur pour son approvisionnement : l'extraction locale contribue pour moins de 20 % aux entrées de matière (hors oxygène de combustion), bien que seuls 25 % du territoire soient urbanisés. Par ailleurs, les rejets vers la nature représentent plus de la moitié des flux sortants, ils dépassent donc les flux économiques représentés par les exportations. Ceci traduit la faible performance écologique de cette région, comme sa faible durabilité qui est confirmée par la croissance du stock de matière qu'elle contient (3), ce malgré une accroissance limitée de la population. Plus d'infrastructures, plus de superstructures, plus de biens possédés font des espaces urbanisés des réservoirs de matières de toutes sortes. Ils concentrent donc les risques potentiels qui y sont associés mais constituent aussi des gisements peu exploités de matières premières secondaires. Le cas du plomb est à ce titre exemplaire [6] : Paris est la première mine de plomb française ; la dissipation incontrôlée de ce métal dans l'environnement présente des risques pour la santé publique comme pour les écosystèmes ; simultanément sa concentration en rend la récupération possible.

Un tel bilan illustre aussi le caractère essentiellement linéaire de la circulation des matières : les activités urbaines entraînent le prélèvement de grandes quantités de ressources, localement ou ailleurs, ressources qui une fois transformées et consommées sont restituées à la biosphère sous une forme différente, souvent dommageable aux milieux, à la santé

publique ou plus généralement contribuant au changement global. Parallèlement, le recyclage demeure limité à 0,7 t/hab. En d'autres termes, il évite l'entrée de 0,7 t/hab dans la société francilienne, soit moins de 10 % des entrées totales de matières : le bilan conduit à relativiser les efforts consentis par les collectivités en termes de valorisation des déchets ménagers et assimilés qui ne représentent en fait que 20 % de l'ensemble des déchets produits dans la région. Développer les filières de recyclage en élargissant la cible aux déchets industriels banals (dont les taux de recyclage sont déjà élevés), du bâtiment et des travaux publics (voir § suivant) constitue certainement un enjeu pour la dématérialisation des sociétés. C'est l'une des conclusions de l'analyse du métabolisme urbain du canton de Genève, réalisée dans le cadre de son Agenda 21 afin de contribuer à l'élaboration de ses politiques de développement durable [7]. Cependant, le bilan montre qu'une telle solution ne saurait suffire à réduire significativement la pression sur les ressources : l'essentiel des rejets vers la nature est constitué d'émissions atmosphériques, dont une bonne partie est très peu susceptible d'être recyclée ou valorisée – en définitive, la plupart des matières qui entrent en ville est réduite en fumée. La dématérialisation passe donc aussi par une réduction de la consommation et par une réflexion approfondie sur les modes de vie qui ne peut se cantonner à l'incitation des citoyens au tri sélectif.

Les matériaux de construction : aussi une question d'urbanisme

Les flux de matériaux de construction illustrent on ne peut mieux ces constats (voir aussi [8]). Toujours en 2003 et en Île-de-France, les entrées s'élèvent à 3,2 t/hab dont 1,5 t/hab est extraite localement (principalement du département de la Seine-et-Marne), le reste étant importé de régions voisines ; la consommation nette (4) atteint 2,6 t/hab [9] (à titre de comparaison elle s'élève à 3,2 t/hab en 2000 à Genève [7]). La croissance spatiale de l'agglomération – celle-là même qui consomme ces matériaux – entraîne un éloignement des gisements accessibles, qui ont par ailleurs tendance à se tarir dans la région. S'ajoutent ainsi aux impacts environnementaux des carrières et autres sites d'extraction où qu'ils soient situés ceux de leur transport sur des distances toujours plus importantes – une composante de l'empreinte environnementale des villes dont fait partie le semis des sites d'extraction de minéraux de construction.

En 2003, 1,5 t/hab ont été mises en décharge en Île-de-France et 0,2 t/hab recyclées. Là encore, on note la faiblesse de ce dernier chiffre et le potentiel représenté par cette filière – qui est d'ailleurs en cours de développement. Cependant, recycler est encore une fois insuffisant : même à supposer que 50 % de ce qui est mis en décharge soit valorisé, la consommation nette de matières premières neuves approcherait encore les 2 t/hab et ne pourrait être couverte par le gisement local (lui-même en voie d'extinction). Il est donc important de jouer sur la demande elle-même, d'autant plus qu'elle est tendanciellement à la hausse : elle a augmenté de plus de 30 % dans l'Europe des 15 entre 1970 et 2001 [10] ; à l'échelle nationale l'objectif de 500 000 logements neufs par an (contre 300 000 à 400 000 par an entre 2000 et 2006) peut contribuer à son augmentation si aucune réflexion n'est engagée sur leur localisation.

Une première piste serait de concevoir des bâtiments moins consommateurs de matières – ce qui

entre parfois en contradiction avec les exigences de performance thermique et montre la nécessité d'un couplage entre bilan énergétique et bilan de matières. Mais les villes ne sont pas faites que de maisons et leur développement s'accompagne de la réalisation d'infrastructures qui elles aussi nécessitent des matériaux. Dans le cas de l'Île-de-France, les disparités qui existent entre les différentes parties de la région en témoignent : à Paris et en petite couronne, la consommation annuelle nette de matériaux de construction est d'environ 0,5 t/hab, tandis qu'en grande couronne elle atteint presque 5 t/hab, dix fois plus. Une estimation grossière montre qu'en 2003 elle s'élève à 80 t par habitant nouveau à Paris et en petite couronne et à 600 t par habitant nouveau en grande couronne [9]. Celle-ci ne peut certes pas être réduite à sa seule fonction périurbaine, mais ces résultats n'en illustrent pas moins le lien qui existe entre processus d'urbanisation, formes urbaines et consommation de matériaux de construction – qui est donc aussi une question d'urbanisme, question ne se réduisant pas à la localisation et à l'encadrement des sites d'extraction.

L'eau : la délocalisation de la consommation

Les interactions entre villes d'une part et ressource en eau et milieux aquatiques d'autre part ont longtemps été envisagées des seuls points de vue de la satisfaction de la demande urbaine (où trouver l'eau quantitativement et qualitativement nécessaire ?) et de ses conséquences (épuisement de et concurrence pour la ressource *versus* santé publique et confort), et des rejets dans le milieu récepteur (voir le paragraphe suivant, qui n'épuise pas la question), l'eau de pluie étant généralement considérée comme une gêne voire un risque et non comme une ressource à l'échelle urbaine. Des politiques et techniques mises en œuvre dans ces perspectives résulte une première forme de l'empreinte des villes sur l'eau : des réseaux hydrographiques considérablement modifiés dans leur structure et leur fonctionnement hydraulique (canalisation, créa-

Consommation	Yemen	France	États-Unis	Moyenne mondiale
domestique (interne)	14	105	217	57
De produits agricoles				
interne	381	814	1192	907
externe	214	517	267	160
De produits industriels				
interne	2	257	609	79
externe	8	182	197	40
Total	619	1 875	2 483	1 243
Total (Gm³/an)	10,70	110,19	696,01	7 452

Tableau 1. Empreinte aquatique, m³/hab/an, 1997-2001 [11].

tion de barrages réservoirs ou écrêteurs de crue, enterrement de cours d'eau, etc.), de même que les bassins versants remodelés en fonction d'impératifs urbains (disparition des thalwegs, imperméabilisation, modification des écoulements, transferts inter-bassins), des milieux profondément transformés pour les raisons qui précèdent comme du fait des rejets urbains. L'empreinte de Paris s'étend ainsi à plus de 200 km à l'amont de son bassin si l'on considère les barrages-réservoirs implantés sur la Seine, la Cure, l'Aube, l'Yonne, la Blaise (soit une capacité de stockage de 800.10^6 m^3 et une surface cumulée d'environ 100 km^2), et plus loin encore à l'aval si l'on prend en compte son impact qualitatif (tableau 1).

lement, une ressource de proximité, comme en témoigne le tableau 1, qui permet de comparer l'empreinte aquatique par habitant de la France à la plus faible (Yemen) et à la plus élevée (Etats-Unis), ainsi qu'à la moyenne mondiale [11].

Jusqu'à présent, cette empreinte aquatique (*water footprint*) n'a pas été établie aux échelles infranationales (dont urbaines) [12]. Cependant, si l'on considère que la consommation mondiale d'eau se répartit en 10 % pour les usages domestiques, 20 % pour les usages industriels et 70 % pour les usages agricoles [13], sachant que 50 % de la population est urbanisée, c'est au moins 60 % de la consommation mondiale qui est imputable directement ou indirectement aux villes,



© Hamilton/REA

Des marguerites peuvent contribuer à l'assainissement urbain (Nanterre, station de traitement des eaux usées).

Mais l'empreinte des villes sur l'eau s'étend bien au-delà : les produits consommés en ville n'y sont pas tous élaborés, et leur production met souvent en jeu de grandes quantités d'eau. Les villes sont donc à l'origine de prélèvements et de consommation à l'extérieur de leurs limites. Ces flux indirects d'eau (souvent qualifiés de virtuels (5)) sont d'autant plus importants et lointains que la mondialisation économique gagne. L'augmentation des prélèvements d'eau s'accompagne ainsi d'une délocalisation d'une partie de sa consommation, au même titre qu'il y a délocalisation de certaines entreprises : l'eau n'est plus, ou n'est plus seu-

et très probablement beaucoup plus, la consommation des urbains étant généralement supérieure à celle des ruraux. La prise en compte des impacts qualitatifs de ces consommations montrerait que les enjeux liés à l'eau indirecte sont plus considérables encore, certaines régions épuisant quantitativement et qualitativement leur ressource au profit d'autres, et au détriment de la solidarité intra-générationnelle. Le *dewatering* (l'équivalent français n'existe pas) des sociétés [14] est donc aussi important que leur décarbonisation. Il passe par une meilleure maîtrise des consommations urbaines, mais il est loin de se limiter à elle, car il faut

aussi prendre en considération l'ensemble des produits consommés par les citoyens, notamment alimentaires.

Les nutriments : Du rural et urbain, de l'urbain au rural

L'empreinte aquatique est en effet en grande partie agricole. Or, la production agricole est tirée par la demande urbaine : il existe ainsi une empreinte alimentaire (*food-print* [15]) des villes, représentée par les surfaces nécessaires à leur approvisionnement. Jusqu'au début du XIX^e siècle dans le cas parisien, cette empreinte s'est étendue au gré de la croissance de la population urbaine (mais à un rythme moindre) : elle couvre ainsi 70 000 km² en 1800 (ce qui correspond *grosso modo* à la surface du bassin de la Seine). Son emprise a par la suite diminué, de façon spectaculaire au XX^e siècle, et ce malgré la poursuite de la croissance urbaine et l'augmentation (jusqu'à une date récente) de la consommation de viande, si bien qu'elle ne s'étend plus aujourd'hui que sur environ 15 000 km² pour l'ensemble de l'agglomération [15]. D'une façon générale, le recours massif aux engrais minéraux (par l'utilisation de l'azote de l'air, des phosphates fossiles et de la potasse) et l'industrialisation de l'agriculture ont entraîné une diminution de l'empreinte alimentaire des villes des pays développés. L'autre fait marquant est que l'empreinte alimentaire s'est déplacée, éloignée et fractionnée, rendant la notion d'hinterland plus ou moins caduque dans le contexte de la mondialisation, le transport à longue distance des produits alimentaires contribuant au changement climatique et autres impacts environnementaux des transports. En outre, la diminution de l'empreinte alimentaire s'est généralement faite au détriment de la qualité de l'eau (nitrates, phosphates, ammonium en excès issus des engrais et des déjections animales, auxquels s'ajoutent les produits phytosanitaires), elle entraîne donc une augmentation de l'empreinte aquatique dans sa dimension qualitative [12].

L'impact aval des villes sur la circulation des éléments biogènes est généralement représenté par les flux d'eaux usées émis par les agglomérations, éventuellement traités avant rejet dans le milieu aquatique. Quel que soit le mode traitement, les grandes agglomérations ont toujours des impacts sur le milieu récepteur : excès de matières organiques entraînant un déficit en oxygène, excès de nutriments (nitrates, phosphates) favorisant l'eutrophisation pour ne citer qu'eux. L'impact urbain s'étend souvent sur plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de kilomètres et touche jusqu'au milieu marin [16] [17]. L'augmentation des performances d'épuration entraîne celle des boues produites qui nécessitent à leur tour un traitement – archétype de l'enchaînement de solutions de bout de tuyau. D'une façon générale, les acteurs de la filière mettent l'accent

sur le potentiel de valorisation de ces boues, par méthanisation et/ou épandage agricole.

Une prise en compte de l'ensemble du cycle des éléments biogènes montre les limites de ces raisonnements. À Toronto par exemple, c'étaient à peine 4,7 % de l'azote d'origine alimentaire qui étaient valorisés en 2001, malgré l'existence de filières ad hoc, et 2,3 % en 2004 après le déclin de certaines d'entre elles [18]. À titre de comparaison, le taux de recyclage de l'azote d'origine alimentaire atteignait 24 % à Paris en 1869 et 40 % en 1913 [19]. En cette période pré-révolutionnaire du point de vue des engrais, les villes étaient considérées comme des gisements de matières fertilisantes et les politiques d'assainissement liquide et solide visaient à améliorer tant la salubrité urbaine que la productivité agricole [20].

Aujourd'hui la question se poserait donc en ces termes : comment conserver une empreinte alimentaire réduite – de façon à pouvoir nourrir l'ensemble des populations – tout en limitant l'empreinte aquatique directe et indirecte, qualitative et quantitative des villes de même que leur empreinte écologique et leurs autres impacts indirects ? La récupération des nutriments urbains constitue certainement un élément de réponse ; le rapprochement des lieux de production et des lieux de consommation lorsque cela est possible en est un autre : cela signifie qu'il est aussi nécessaire de rapprocher politique agricole et politique urbaine et d'inscrire la problématique de l'ouverture des cycles biogéochimiques dans celle de l'aménagement du territoire.

Conclusion

Chaque ville possède un jeu d'empreintes (que nous n'avons que partiellement examiné) dont la dimension, la forme, la localisation, la profondeur changent dans le temps mais qui reflète fidèlement son métabolisme et, partant, les modes de vie des citoyens, les structures socio-économiques, politiques et techniques non seulement urbaines, mais aussi nationales et internationales.

Métabolisme urbain et empreintes environnementales sont encore mal connus : les méthodes qui permettraient de les déterminer sont en cours d'élaboration, les études de cas sont rares, l'utilisation de leurs résultats l'est plus encore. Les enjeux sont pourtant fondamentaux et dépassent la simple comptabilisation de tonnes, d'hectares, de mètres cubes qui n'est en définitive que la base d'une réflexion d'ensemble sur la matérialité des sociétés à l'anthropocène [21].

Bibliographie

[1] (W.) REES & (M.) WACKERNAGEL, Our Ecological Footprint : Reducing Human Impact on the Earth, Gabriola Island (Canada), New Society Publishers, 1996. Voir aussi le Global Footprint Network : <http://www.footprintnetwork.org/>.

- [2] (F. P.) PIGUET, (I.) BLANC, (T.) CORBIERE-NICOLLIER & (S.) ERKMAN, L'empreinte écologique : un indicateur ambigu, *Futuribles* 334, oct. 2007, 5-24.
- [3] (C.) KENNEDY, (J.) CUDDIHY & (J.) ENGEL-YAN, The changing metabolism of cities, *Journal of Industrial Ecology* 11(2), 2007, 43-59.
- [4] (S.) BARLES, Écologie urbaine, écologie industrielle, écologie territoriale : État des lieux et perspectives, à paraître en 2009. Version provisoire disponible sur la toile, [réf. du 13 juin 2008], format PDF, <http://latts.cnrs.fr/site/tele/rep1/SBecologieTerr2juill07.pdf>.
- [5] (S.) BARLES, Mesurer la performance écologique des villes et des territoires : 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), janv. 2007, disponible sur la toile, [réf. du 29 août 2007], format PDF, http://www.univ-mlv.fr/~www-ltmu/enligne_rapport_page.htm.
- [6] (L.) LESTEL, Le cycle du plomb, 14e Journées Scientifiques de l'Environnement, Créteil, 2003, disponible sur la toile, [réf. du 13 juin 2008], format PDF, <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00199344/fr/>.
- [7] (S.) ERKMAN, Écologie industrielle à Genève, premiers résultats et perspectives, Genève, République et Canton de Genève, 2005, disponible sur la toile, [réf. du 14 juin 2008], format PDF, http://www.icast.org/fichiers/Ecosite/EI_Metabolisme_GE.pdf.
- [8] (I.) DOUGLAS & (N.) LAWSON, Material flows due to mining and urbanization, in : R. U. Ayres, L. W. Ayres (eds.), *Handbook of Industrial Ecology*, Cheltenham, Edward Elgar, 2002, 351-364.
- [9] (S.) BARLES, A Material Flow Analysis of Paris and its Region, in : *Renewables in a Changing Climate-Innovation in the Built Environment*, Proc. of the International Conference CISBAT, Lausanne, 4-5 Sept. 2007, 579-584, disponible sur la toile, format PDF, [réf. du 27 oct. 2007], <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00174820/fr/>.
- [10] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, Annual domestic consumption of construction minerals, EU15 1970-2001, disponible sur la toile, [réf. du 13 juin 2008], <http://dataservice.eea.europa.eu/atlas/viewdata/viewpub.asp?id=1568>.
- [11] (A. K.) CHAPAGAIN & (A. Y.) HOEKSTRA, Water Footprints of Nations, Value of Water Research Report Series, vol. 16, Delft, the Netherlands, UNESCO-IHE, 2004, 2 vol.
- [12] (P.) CHATZIMPIROS & (S.) BARLES : L'empreinte aquatique des villes : méthodologie et premières applications à l'Île-de-France, in : Programme PIREN-Seine, rapport d'activité 2007. Paris : UMR CNRS 7619 Sisyphe, févr. 2008, disponible sur la toile, [réf. du 9 avr. 2008], format PDF, <http://www.sisyphe.jussieu.fr/internet/piren/>.
- [13] Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World, United Nations Department for Policy Coordination and Sustainable Development, 1997.
- [14] (M. T.) ROCK, The dewatering of economic growth : what accounts for the declining water-use intensity of income ? *Journal of Industrial Ecology* 4(1), 2000, 57-73.
- [15] (G.) BILLEN, (S.) BARLES, (J.) GARNIER, (J.) ROUILLARD & (P.) BENOIT, The food-print of Paris : Long term reconstruction of the nitrogen flows imported into the city from its rural hinterland, *Regional Environmental Change*.
- [16] (G.) BILLEN, (J.) GARNIER, (C.) DELIGNE & (C.) BILLEN, Estimates of early-industrial inputs of nutrients to river systems : implication for coastal eutrophication, *The Science of the Total Environment* 243-244, 1999, 43-52.
- [17] (C.) HUMBORG, (C.-M.) MÖRTH, (M.) SUNDBOM & (F.) WULFF, Riverine transport of biogenic elements to the Baltic Sea. Past and possible future perspectives, *Hydrology and Earth System Sciences* 11, 2007, 1593-1607.
- [18] (J.) FORKES, Nitrogen balance for the urban food metabolism of Toronto (Canada), *Resources, Conservation and Recycling* 52, 2007, 74-94.
- [19] (S.) BARLES, Feeding the City : Food Consumption and Circulation of Nitrogen, Paris, 1801-1914, *The Science of the Total Environment* 375, 2007, 48-58.
- [20] (S.) BARLES, L'invention des déchets urbains, France, 1790-1970, Seyssel, Champ Vallon, 2005.
- [21] (P. J.) CRUTZEN : Geology of mankind, *Nature* 415, 3 janv. 2002, 23.

Notes

* Professeur des Universités, Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines, UMR CNRS 7136 AUS, Institut Français d'Urbanisme, Université de Paris 8, sabine.barles@univ-paris8.fr

(1) Nous ne traiterons pas cette dimension, abordée par ailleurs dans ce numéro.

(2) Bilan réalisé selon la méthode du service européen de la statistique adaptée aux échelles régionales et urbaines. L'eau en est exclue (exceptée eau produite par la combustion). Voir [5]

(3) Cet indicateur étant déduit par soustraction des autres, il cumule leurs erreurs et doit être considéré avec prudence.

(4) Consommation nette = extraction locale+importations-exportations.

(5) Le choix de ce terme n'est pas très heureux, ces volumes existant bel et bien ; l'adjectif « indirect » serait beaucoup plus satisfaisant [12].