

2.2. L'ANALYSE DES FLUX DE MATIÈRES

Ce document contient les transcriptions textuelles des vidéos proposées dans la partie « L'analyse des flux de matières » de la semaine 2 du MOOC « Économie circulaire et innovation ». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs.

Le métabolisme des territoires : enjeux et notions clés

Sabine Barles

Professeure d'urbanisme-aménagement, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Lorsque nous parlons de métabolisme territorial, nous voulons mettre l'accent sur la dimension matérielle du fonctionnement des sociétés humaines. Le fonctionnement des sociétés en effet nécessite des prélèvements de ressources mais s'accompagne aussi de rejets importants de matières dans la biosphère. Le métabolisme territorial regroupe l'ensemble de ces flux d'énergie et de matières qui sont donc associés au fonctionnement des sociétés et qui les caractérise.

Le terme de métabolisme est emprunté à la biologie mais il ne signifie pas que nous considérons que les sociétés sont des organismes, nous prenons juste acte du fait que matière et énergie jouent un rôle très important dans leur fonctionnement.

Nous utilisons l'adjectif « territorial » pour insister sur le fait qu'il est important de considérer le fonctionnement, situer les sociétés dans leur milieu. Les flux d'énergie et de matières et singulièrement les flux de matières sont porteurs d'un très grand nombre d'enjeux et nous

pouvons dire que l'essentiel des problèmes environnementaux actuels qu'on les considère dans leur dimension écologique ou dans leur dimension, dans leurs répercussions sociales sont associés à des flux de matières sur lesquels nous allons nous concentrer maintenant.

Nous pouvons citer par exemple le changement climatique qui est lié à des émissions de gaz à effet de serre donc des flux de matière, l'eutrophisation des cours d'eau à une toute autre échelle qui est due à des excès de nitrates et de phosphates dans les eaux qui engendrent la prolifération des algues, ces nitrates et ces phosphates sont aussi des flux de matières qui sont généralement issus du fonctionnement des sociétés humaines. Nous pourrions citer la pollution atmosphérique, la pollution des sols mais aussi l'épuisement des ressources.

Nous pouvons donc dire que le métabolisme actuel des sociétés peut être qualifié de linéaire, c'est-à-dire que nos sociétés reposent sur des prélèvements continus et des rejets tout aussi continus de matière, de et vers la biosphère. Ce métabolisme linéaire s'oppose au métabolisme circulaire qui caractérise beaucoup d'écosystèmes, c'est-à-dire des systèmes qui prélèvent peu de matière, peu de ressources au sein de la biosphère et qui en rejettent aussi relativement peu et fonctionnent grâce à des ressources renouvelables.

Bien entendu, il n'est pas question de dire que nous ne devrions pas consommer de matière, nous avons besoin de matière ne serait-ce que pour nous nourrir, le flux alimentaire est essentiel pour nous comme il est essentiel pour tous les êtres vivants mais il y a bien entendu un enjeu très important à mieux comprendre ce métabolisme territorial, voire à le transformer afin de rendre le fonctionnement des sociétés humaines plus compatible avec celui de la biosphère.

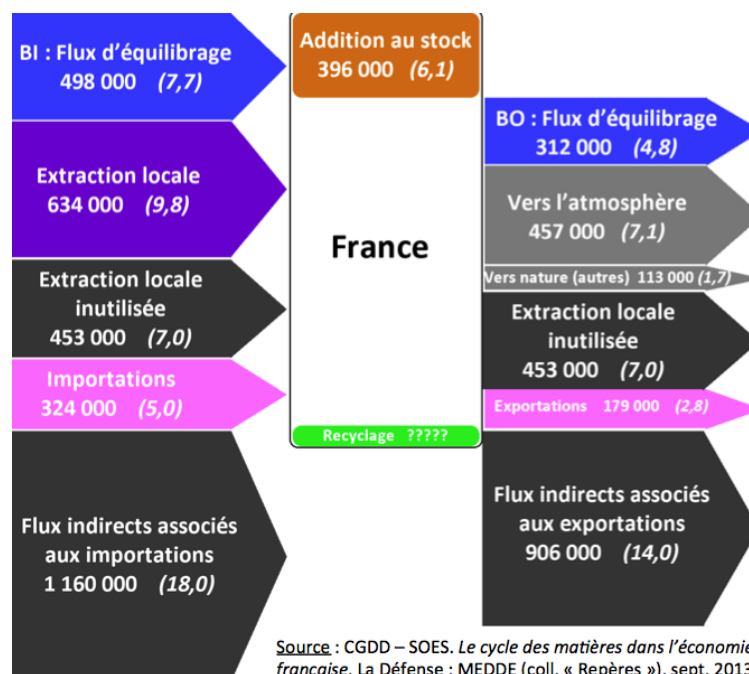
Les enjeux en termes d'action sont souvent désignés sous les termes de découplage ou de dématérialisation. Le découplage signifie une moindre consommation de matière pour une unité de production ou pour produire unité de richesse. La dématérialisation va plus loin et met en avant le fait qu'il faut de manière absolue consommer moins de matière et bien entendu des ressources renouvelables si nous voulons, comme je l'indiquais précédemment, rendre le fonctionnement des sociétés compatible avec celui de la biosphère.

L'analyse des flux de matières à l'échelle de la France

Sabine Barles

Professeure d'urbanisme-aménagement, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

L'analyse des flux de matière constitue l'un des outils principaux de compréhension et de description du métabolisme territorial. Elle repose sur la loi de Lavoisier ou loi de conservation de la masse : rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme. Elle consiste à peser au sens strict du terme le fonctionnement d'un système, d'un territoire quel qu'il soit.



Source : CGDD – SOES. *Le cycle des matières dans l'économie française*. La Défense : MEDDE (coll. « Repères »), sept. 2013.

La figure qui vous est présentée ici représente le bilan de matière, c'est une autre expression que l'on peut employer à la place d'analyse des flux de matière, réalisé pour la France au cours de l'année 2010. Elle est donc exprimée en milliers de tonnes et entre parenthèses en tonnes par habitant. Lorsque l'on procède à ce bilan de matière, on doit d'abord définir le système étudié donc ici la France qui est limitée par ses frontières, les frontières du pays mais le système étudié comporte uniquement la population, ses activités, ses artefacts et ne comprend pas les ressources qui sont fournies par le territoire lui-même qui sont considérées comme des entrées dans le système. Donc nous avons défini un système et ce que nous allons faire est relativement simple, nous allons regarder tout ce qui rentre, puis nous regarderons tout ce qui sort. Tout ce qui rentre est indiqué sur la gauche, tout ce qui sort est indiqué sur la droite.

Alors, dans un premier temps nous allons laisser de côté les deux premiers flux, les flux qui apparaissent en bleu sur la figure que l'on appelle flux d'équilibrage et regarder donc les flux

entrants. L'extraction intérieure utilisée désigne l'ensemble des ressources prélevées au sein du territoire national, ce sont des récoltes, du blé par exemple, c'est du bois qui va être extrait des forêts, ce sont des matériaux de construction, ce sont des minerais, éventuellement des combustibles fossiles en petites quantités dans le cas d'un pays comme la France. Ceci nous donne cette extraction intérieure utilisée que vous voyez donc à gauche sur le graphique.

Mais nous voyons immédiatement une autre flèche qui apparaît en noir ici, l'extraction intérieure inutilisée. En effet, il existe des prélèvements de matières qui sont opérés au sein du territoire national mais ces matières ne rentrent pas dans le système économique et sont presque immédiatement restituées à la biosphère non sans dommages environnementaux d'où l'intérêt de les comptabiliser. Ces matières ce sont par exemple les boues de dragage, ce sont les terres excavées lors des travaux publics et donc ces matières représentent des flux importants puisque nous voyons que l'ordre de grandeurs est identique à celui des prélèvements de ressources utilisées.

A ces matières qui sont donc fournies par le territoire d'étude sont ajoutées des importations de matières premières, de produits finis ou semi-finis qui apparaissent ici en rose et qui sont quantitativement un petit peu moins importantes pour la France que les matières prélevées et utilisées localement.

Nous allons maintenant nous reporter sur la droite du graphique afin d'observer les sorties du système. Je commence cette fois-ci par le bas avec les exportations qui sont un petit peu moins importantes que les importations, nous retrouvons l'extraction intérieure inutilisée dont nous avons vu qu'elle, finalement, été restituée quasiment immédiatement au milieu mais ce que nous devons surtout observer ce sont ces deux flèches grises qui correspondent à ce que nous appelons les rejets vers la nature. Ces rejets vers la nature sont essentiellement constitués de rejets vers l'atmosphère et parmi eux il s'agit essentiellement de gaz à effet de serre et de dioxyde de carbone quantitativement mais ce sont aussi des rejets vers l'eau, des rejets vers les sols, c'est-à-dire tout ce qui est mis en décharge par notre société. Nous voyons que ces flux vers la nature sont plus importants que les exportations, sont plus importants que les importations et sont à peu près identiques à l'extraction intérieure utilisée. Cela nous montre l'importance de cette comptabilité matérielle en lieu et place d'une comptabilité monétaire qui fait peu cas de ce type de flux comme elle fait peu cas de l'extraction intérieure inutilisée.

Nous allons maintenant équilibrer le bilan. Si nous voulons appliquer la loi de Lavoisier, rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme, nous devons prendre en compte des flux de matières qui n'ont pas été comptabilisés pour l'instant. En effet, la respiration des hommes et des animaux nécessite, consomme de l'oxygène mais va aussi entraîner le rejet de dioxyde de carbone et d'eau, ceci doit être comptabilisé afin d'équilibrer le bilan. La combustion va consommer de l'oxygène, produire du dioxyde de carbone qui, lui, est compris dans les rejets vers l'atmosphère mais produit aussi de l'eau qui doit être introduite dans le bilan, la production d'engrais consomme de l'azote prélevé dans l'air. Ces différents flux sont contenus dans les flux d'équilibrage entrants et les flux d'équilibrage sortants.

Ceci permet d'équilibrer le bilan et par soustraction de définir l'addition aux stocks que vous voyez en marron au sein du système, cette addition aux stocks est très importante d'autant plus que j'attire votre attention sur l'effet cumulatif de l'addition, cette addition aux stocks elle représente quoi ? Elle représente l'accumulation de matière dans la société c'est-à-dire des bâtiments, des infrastructures et des biens de consommation qui vont encore une fois s'accumuler et augmenter le stock mais qui seront aussi les déchets de demain.

Deux autres choses peuvent être dites sur ce bilan, la première concerne le recyclage que vous voyez apparaître en bas et en vert au sein du système, nous sommes au sein du système parce que nous considérons que le recyclage ne prélève ni ne rejette en tout cas en première approche mais ce que nous observons c'est que ce recyclage représente très peu de chose par rapport à l'ensemble des flux de matières qui sont mises en jeu par le fonctionnement d'un pays comme la France.

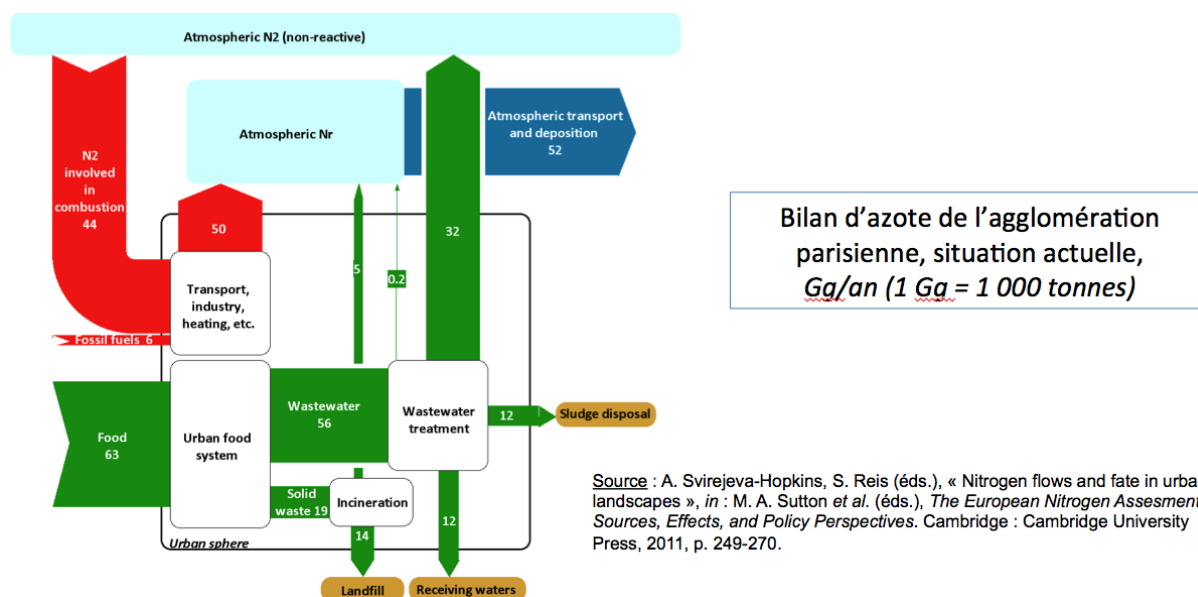
Enfin, dernier élément extrêmement important ce sont les flux indirects associés aux importations et aux exportations. Lorsque nous importons un produit fini ou semi-fini dans un pays ou dans un territoire donné, en fait nous importons une quantité de matière, nous importons un objet qui a nécessité une consommation matérielle plus importante que les matières qu'il contient dans un autre pays ou au sein d'un autre territoire, c'est ce que l'on appelle les flux indirects associés aux importations et c'est ce qui montre que finalement le territoire que nous étudions a aussi des répercussions au sein d'autres territoires auxquels il est finalement lié par ces flux indirects.

Le cycle de l'azote à Paris

Sabine Barles

Professeure d'urbanisme-aménagement, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

L'analyse des flux de substances nous permet de mieux comprendre la nature de l'ouverture des cycles biogéochimiques et les enjeux qui y sont attachés. Nous allons illustrer ceci à travers le bilan d'azote de l'agglomération parisienne qui s'affiche à présent. Ce bilan d'azote concerne la période actuelle et est exprimé en gigagrammes par an.



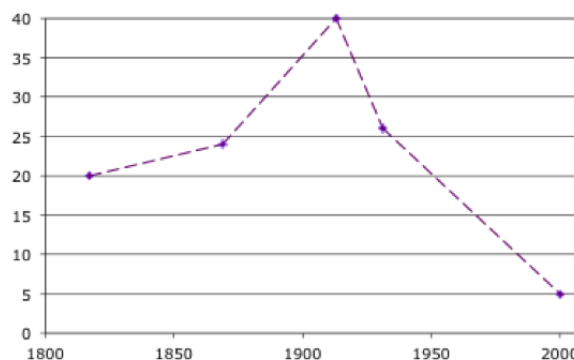
Alors, nous observons ici que l'azote urbain, si je puis dire, a deux grandes origines, d'une part le secteur de la combustion dans les transports, l'industrie, le chauffage, d'autre part le système alimentaire urbain. Alors, si nous prenons la première origine, combustion et bien ce que nous pouvons constater c'est que le processus de combustion provoque des réactions chimiques qui vont tout simplement transformer l'azote non réactif de l'air en azote réactif atmosphérique qui sera en particulier composé d'oxyde d'azote qui vont donc contribuer à la pollution atmosphérique.

Deuxième poste important et finalement plus complexe de circulation de l'azote dans les villes, le système alimentaire. Nous voyons que ce système alimentaire met en jeu une quantité d'azote qui est plus importante que celle qui est mise en jeu par la combustion, quantité qui va donc représenter les aliments que nous et éventuellement nos animaux ingérons dans la ville. Mais ce que nous pouvons constater d'abord c'est qu'une partie de ces aliments ne va pas être rentrée dans le métabolisme humain et animal puisque elle va être constituée de déchets, ceci est à relier à la question du gaspillage alimentaire qui est un enjeu très important dans les villes aujourd'hui et qui donc concerne aussi l'azote. L'autre partie de l'azote entrant sous forme d'aliments dans les villes va être contenue dans les eaux usées tout simplement parce que le métabolisme humain et animal rejette l'essentiel de l'azote qui a été

ingéré donc l'azote se retrouve tout simplement dans les égouts puis dans les stations d'épuration lorsqu'elles existent, elles existent heureusement dans l'agglomération parisienne.

Nous voyons que le traitement des eaux usées remplit relativement bien son rôle puisqu'il transforme de l'azote réactif contenu dans les eaux usées en azote non réactif qui va être restitué à l'atmosphère. Cependant, nous pouvons observer qu'il y a trois postes de rejet d'azote dans les milieux aquatiques et terrestres sous forme de boue d'épuration, de rejet d'eaux usées traitées dans le milieu aquatique et sous la forme de mise en décharge après incinération. Il y a là des enjeux extrêmement importants en termes de recyclage de l'azote parce que si l'on pouvait éviter ces rejets, par exemple en fabriquant des engrais et bien on pourrait limiter l'expression des neuf plaies de l'azote qui sont si dommageables à la biosphère.

D'ailleurs, le recyclage de l'azote d'origine alimentaire et d'ailleurs de l'azote urbain en général a constitué, par le passé, un enjeu extrêmement important dans les villes et notamment à Paris. Nous pouvons voir sur cette nouvelle diapositive sur la gauche, une courbe qui nous montre l'augmentation tout à fait formidable du taux de recyclage de cet azote au cours du XIXe siècle avec un pic à 40 % ce qui est tout à fait considérable si nous comparons au taux de recyclage actuel qui est de l'ordre de 5 %. En effet, au XIXe siècle récupérer l'azote urbain était considéré comme essentiel à la production alimentaire car les engrais manquaient et la population augmentait donc l'augmentation des rendements constituait un enjeu tout à fait fondamental.



**Taux de recyclage agricole de l'azote
d'origine alimentaire, Paris,
1817-2000 (%)**

Source : « Feeding the City : Food Consumption and Circulation of Nitrogen, Paris, 1801-1914 », *The Science of the Total Environment* (375), 2007, p. 48-58.

Nous pouvons voir sur la droite d'ailleurs la composition d'un engrais urbain très à la mode au XIXe siècle appelé le stercorat donc un compost dont nous voyons qu'il est composé de matières fécales, d'urine, d'argile pulvérisée, de crottin de cheval, de charbon, de balayures de rue, de tourbe, d'eau pulvérisée, de chaux éteinte, tout l'essentiel de ces matières étant récupérées en ville donc nous voyons ce qu'est un engrais urbain, ce qui peut nous donner quelque espoir quant au recyclage actuel de l'azote urbain.

§ 452. N° 1. *Compost, dit stercorat.*

Matières fécales.	30	kilog.
Urines.	30	
Argile pulvérisée.	2	
Fiente de cheval.	9	
Charbon pulvérisé.	10	
Balayures des rues.. . . .	8	
Tourbe.	4	
Os pulvérisés.	4	
Chaux éteinte.	3	
	<hr/>	
	100	

**Le stercorat, un engrais urbain du
XIXe siècle**

Source : E. Landrin, H. Landrin, *Nouveau manuel complet de la fabrication et de l'application des engrais animaux, végétaux et minéraux et des engrais chimiques*, nouv. éd. augm. par A. Larbalétrier, Paris, 1888, p. 258.