

Du Monde à la ville : la matérialité du territoire.

L'essentiel est invisible pour les yeux
Antoine de Saint Exupéry

Encore un petit chocolat ?
Monty Python – Le sens de la vie.

Table des matières

1. Introduction.....	3
2. Le monde et ses flux de matières.....	4
a) La comptabilité des flux de matières	4
b) Principaux flux	6
c) L’empreinte territoriale et le temps long.....	9
3. Le territoire et son métabolisme.....	12
a) Métabolisme territorial et écologie territoriale.....	12
b) Le visible et l’invisible	14
c) Histoire et système du territoire à travers son métabolisme.	15
4. Les réseaux et leurs enjeux.	19
a) Les réseaux matériels	19
b) Urbanisation et syndrome d’épuisement.....	20
c) La volonté du couple électricité – numérique de gérer les flux.....	20
5. Matérialité et fonctions.....	23
a) Les fonctions.....	23
b) Le temps	24
c) La taille	25
6. Perspectives.....	26
a) Entropie	26
b) Résilience.....	28
c) Valorisation.....	28

Résumé

L'extraction de matières premières poursuit sa progression. Elle atteint désormais 70 milliards de tonnes par an au niveau mondial et de nombreuses ressources, principalement des métaux pourraient rapidement venir à manquer.¹

La comptabilité des flux de matières aide à quantifier ce phénomène d'extraction massive en l'analysant par domaines : biomasse, combustibles fossiles, matériaux métalliques et non métalliques. La géographie de ces flux a beaucoup évolué depuis le tournant du siècle avec l'émergence de la Chine comme usine du monde. Le recul historique permet de mettre en relief la somme des risques présents sur ces flux mondiaux qui font désormais partie du quotidien alors qu'ils ne constituaient auparavant que « l'écume » de l'économie.

Ces flux massifs arrivent dans des territoires structurés autour des villes. Le concept de métabolisme territorial permet de percevoir comment ces flux sont utilisés, transformés et rejetés, dans une optique d'écologie territoriale encore en devenir. Nombre de ces flux, malgré leur masse et leur importance, sont devenus invisibles. Ils changent pourtant la physionomie du territoire. Des civilisations, comme Rome, ont déjà vécu des flux massivement dirigés vers un centre surdimensionné. Ces villes se sont régulièrement effondrées et en Occident, la montée en puissance de centres urbains a été progressive depuis l'époque romaine. Ces centres s'appuyaient sur un territoire leur fournissant les ressources primaires. La situation a radicalement changé : ville et campagne sont de plus en plus dépendants des flux externes, y compris pour les besoins essentiels.

C'est dans ce contexte qu'intervient la révolution numérique qui, au niveau des réseaux, peut s'analyser comme une prise de pouvoir du réseau numérique, allié à l'électrique, pour mettre sous leur coupe les réseaux traditionnels chargés de ces flux matériels. Ces réseaux sont en effet épuisés dans leur course au développement des flux. Les smart grids, services de mobilité, internet physique,... font partie de ces concepts en action pour renouveler la gestion de ces flux sans que l'on puisse encore mesurer leur impact possible.

Matières et réseaux : la ville les ordonne, les régit pour assumer ses fonctions. Peut-elle cependant régenter tout cela durablement en laissant des paramètres comme le temps et la taille s'évader vers des niveaux insoutenables ?

Pour conclure, les perspectives tournent autour de trois thèmes de réflexion liés à ces flux drainant les territoires. La notion d'entropie permet d'appréhender ce qui est physiquement à l'œuvre et de constater l'emballement entropique signalé par les chiffres. Le thème de la résilience devient alors majeur mais il est confronté à une réalité virtuelle mais très prégnante : il s'agit de la valorisation monétaire qui fausse la donne.

¹ Sur ce dernier point non détaillé dans ce document, voir les travaux du groupement et notamment Philippe Bihoux et Jacques Millery sur les métaux et sur le Low-Tech.

1. Introduction

Il faut cultiver notre jardin, conclut Voltaire dans Candide. Et l'ingénieur humaniste de rêver d'un territoire où la matière se transforme harmonieusement et où les réseaux intelligents viennent rythmer l'activité comme la cloche de l'ancien temps. Mais la réalité d'aujourd'hui n'est plus celle de Candide : notre jardin, notre ville, notre territoire sont confrontés à des flux autrement plus massifs et des réseaux bien plus conquérants.

Ce document propose un petit tour d'horizon dans le monde de la matière et des réseaux. Notre monde quotidien. En effet, un territoire est traversé de flux de produits et d'énergie, avec en son sein des zones plus denses et dotées de fonctions particulières, ce que l'on résumera sous le concept de « ville ». L'objectif est ici de cerner le profil matériel du territoire et de la ville en partant du contexte mondial et en resserrant ensuite l'analyse sur le métabolisme territorial et la ville. Au niveau mondial, une nouvelle géographie des flux a de fait émergé au tournant du siècle avec de nouvelles sources et de nouveaux acteurs majeurs, en particulier la Chine à la fois productrice, transformatrice et consommatrice. Un territoire donné est de plus en plus dépendant de ces grands flux, auparavant plus réduits et orientés vers les villes.

Nous avons pris l'habitude (fort étrange si on y réfléchit quelque peu) de tout traduire en termes monétaires. Ce document s'en abstient volontairement car la réalité physique est celle de tonnes de matériaux ou de gaz, d'hectares de terre, de m³ d'eau, extraits, travaillés ou émis. Avec en leur sein, certains plus nocifs ou plus rares que d'autres.

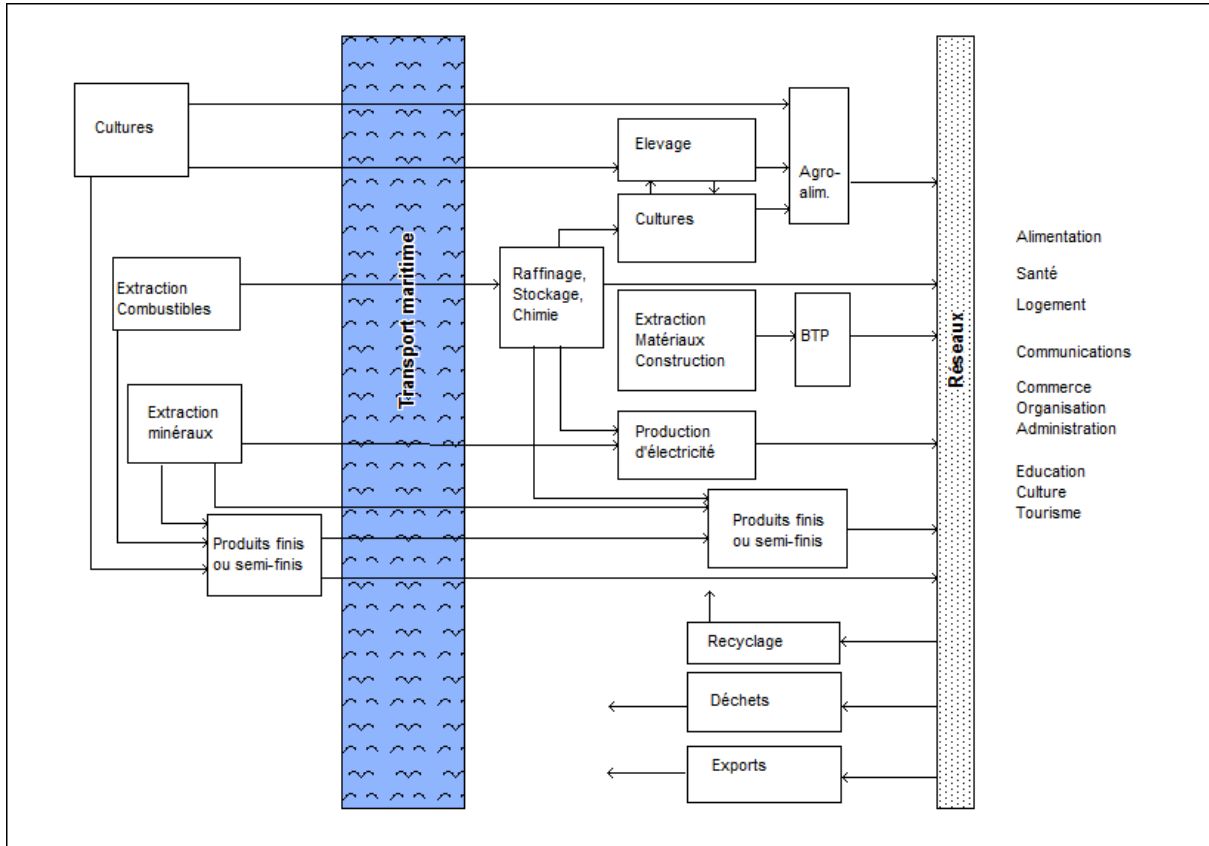
Le concept de métabolisme territorial tâche de quantifier ces flux au niveau local. Il permet de mettre en lumière le processus de transformation à l'œuvre dans le territoire avec ses ressources propres mais aussi, et majoritairement en général, les ressources importées. La mise en lumière est nécessaire car nombre de flux ne se voient pas. Ils recomposent pourtant le paysage territorial.

Les réseaux sont eux aussi en évolution rapide. Après avoir réussi à suivre le train de la croissance matérielle et à la gérer, ils se retrouvent confrontés à leurs limites face auxquelles la gestion numérique propose de nouvelles solutions qui s'apparentent fortement à une prise de pouvoir. Les anciens conglomérats spécialisés se confrontent à l'hégémonie numérique en une bataille encore incertaine.

Un mouvement aussi rapide et aussi consommateur de ressources que l'a été la transformation subie par les territoires peut-il évoluer vers un équilibre stable et durable quand les ressources sont éloignées et les savoir-faire concentrés ?

2. Le monde et ses flux de matières

Le graphique suivant propose une approche simplifiée des grands domaines impactés par notre activité humaine, examinée sous l'angle des matières utilisées. En dehors des matériaux de construction, ces matières sont souvent majoritairement d'origine externe.



Cette problématique de l'éloignement des ressources touche tous les Etats mais elle concerne particulièrement l'Europe.

Le citoyen, comme l'habitant rural, génère en effet des cultures lointaines (coton pour l'habillement, soja pour la viande, café, cacao,...), brûle des combustibles extraits au Proche Orient ou en Russie, utilise dans ses appareils du quotidien des métaux rares sortis de mines d'Afrique ou d'Amérique du Sud, importe nombre d'appareils fabriqués en Chine,... Et suivant le territoire, il fait appel ou non à des ressources locales.

La comptabilité des flux de matières essaye de mettre des chiffres derrière cette réalité très prégnante.

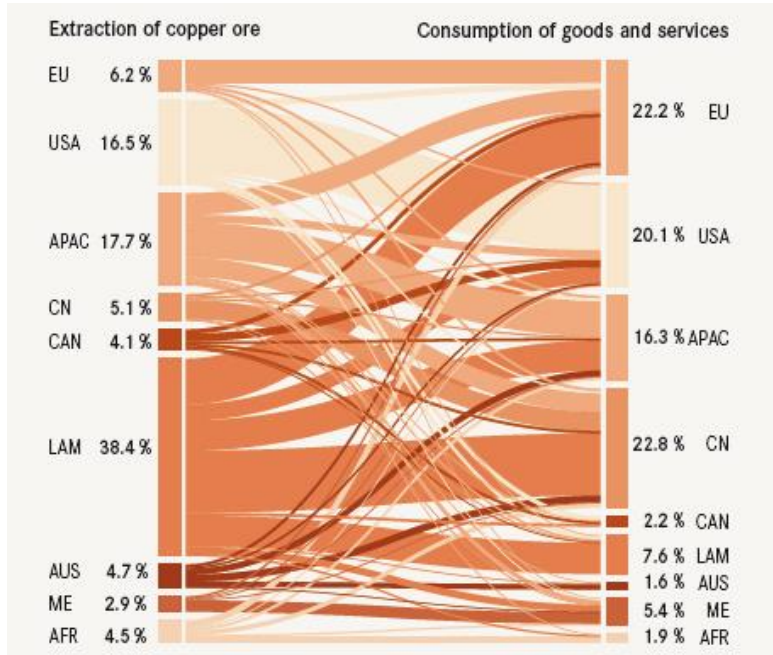
a) La comptabilité des flux de matières

La comptabilité de flux de matières existe principalement à l'échelle des Etats. Les statistiques douanières et du commerce international en constituent une base. Elles sont complétées par les flux monétaires entre Etats et secteurs économiques mixés avec les données d'analyse du cycle de vie (ACV) qui indiquent les flux moyens de matières utilisés connus et tracés à l'échelle mondiale.

Ainsi nous pouvons obtenir des tableaux entrées-sorties (TES) analogues à ceux utilisés dans les comptabilités nationales. Evidemment, la fiabilité des données sera dépendante de multiples facteurs, à commencer par la fiabilité des données étatiques. Le système ne se limite pas aux matières mais peut aussi estimer aussi les émissions dans l'atmosphère, les surfaces utilisées, les emplois concernés,...

Dans l'union Européenne, c'est Eurostat qui se charge de collecter et agréger les données.

Des bases (souvent financées par l'UE) comme Exiobase, Eora ou Wiod se sont constituées pour appréhender le niveau mondial. Elles dessinent des flux au niveau de la planète, comme le fait par exemple cette analyse basée sur Exiobase :



Lecture : le cuivre provient à 38,4 % d'Amérique Latine. La part la plus importante va à la Chine, qui consomme 22,8 % de la production mondiale. Les Etats-Unis sont en partie auto-suffisants, ce qui n'est le cas ni de l'Europe ni de la Chine.²

Cette comptabilité se base sur 4 types principaux de matières :

- Les matériaux non métalliques qui représentent en général le tonnage le plus conséquent car ce sont eux qui servent à la construction.
- Les matériaux métalliques et produits à base de métal.
- Les combustibles fossiles.
- La biomasse qui comprend les produits agricoles mais aussi le bois

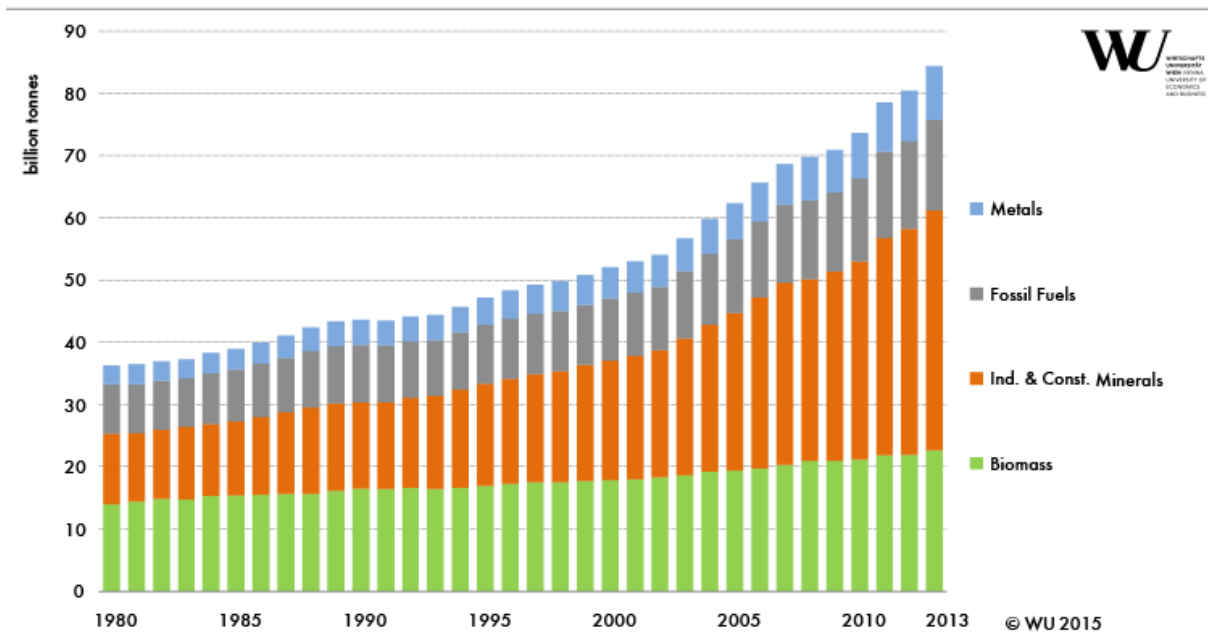
« La quantité de matières premières extraites de la planète Terre est passée de **22** milliards de tonnes en 1970 à **70** milliards de tonnes en 2010. (...) Si le monde continue à fournir des logements, la mobilité, de la nourriture, de l'énergie et de l'eau au même rythme qu'actuellement, les neuf milliards d'habitants de la planète Terre auront besoin de **180** milliards de tonnes de matières premières chaque année à l'horizon 2050 afin de pouvoir satisfaire la demande. Cela équivaut à trois fois la quantité de ressources actuelles, ce qui pourrait entraîner l'acidification et l'eutrophisation des sols et des nappes d'eau du monde, augmenter l'érosion des sols et générer davantage de déchets et de pollution. » (extrait du rapport 2016 du Panel international pour la gestion durable des ressources (IRP) hébergé par le Programme des Nations Unies pour l'environnement)³

Dans la logique de la comptabilité de flux de matières, l'analyse se base sur les quatre types classiques de matières. La progression chronologique de l'extraction de matières premières est transcrite dans le graphique suivant établi par le Wuppertal Institute sur le site www.materialflows.net⁴ qui est le site de référence pour bien comprendre ces enjeux planétaires :

² <http://www.exiobase.eu/index.php/publications/creea-booklet>

³ <http://www.resourcepanel.org/>

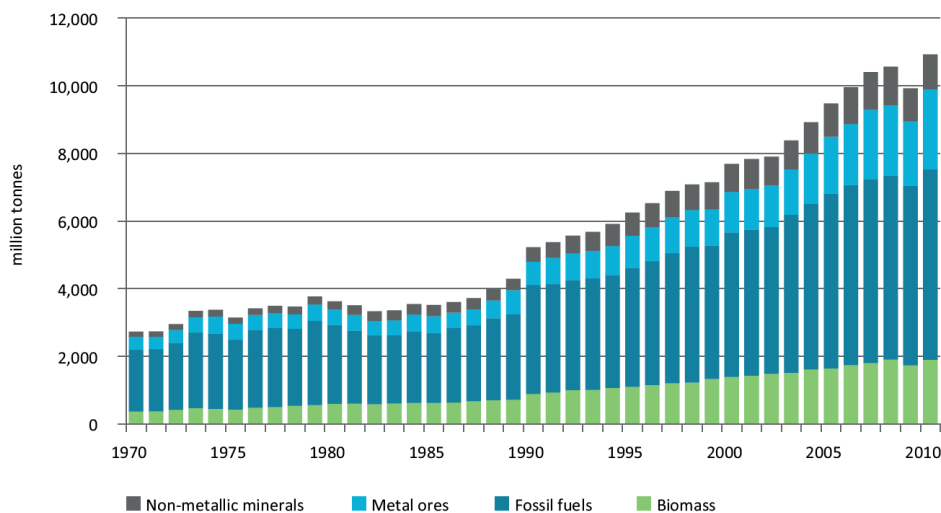
⁴ www.materialflows.net avec possibilité de visualisation dynamique des évolutions.



La principale actrice de ce mouvement de hausse de l'extraction est la Chine qui est passée de 2,9 milliards de tonnes en 1980 à 28,9 en 2013 ! La Chine pèse donc environ le tiers de l'extraction mondiale. Son « décollage » a eu lieu au tournant du siècle. La courbure de la hausse après l'an 2000 est de son fait. Elle extrait sur les quatre catégories de matériaux, y compris sur les combustibles fossiles. En effet, si elle est faible en pétrole, elle est dotée de charbon et de gaz.

b) Principaux flux

L'extraction reste cependant majoritairement en local, surtout pour les matériaux de construction et la biomasse. L'export dépasse les 10 milliards de tonnes comme l'indique le graphique suivant issu du rapport du Panel :



Les graphiques indiquent que l'export a grandi encore plus vite que l'extraction et qu'il est surtout lié à l'export des combustibles fossiles et des minerais métalliques pour lesquels il constitue 40 % de l'extraction.

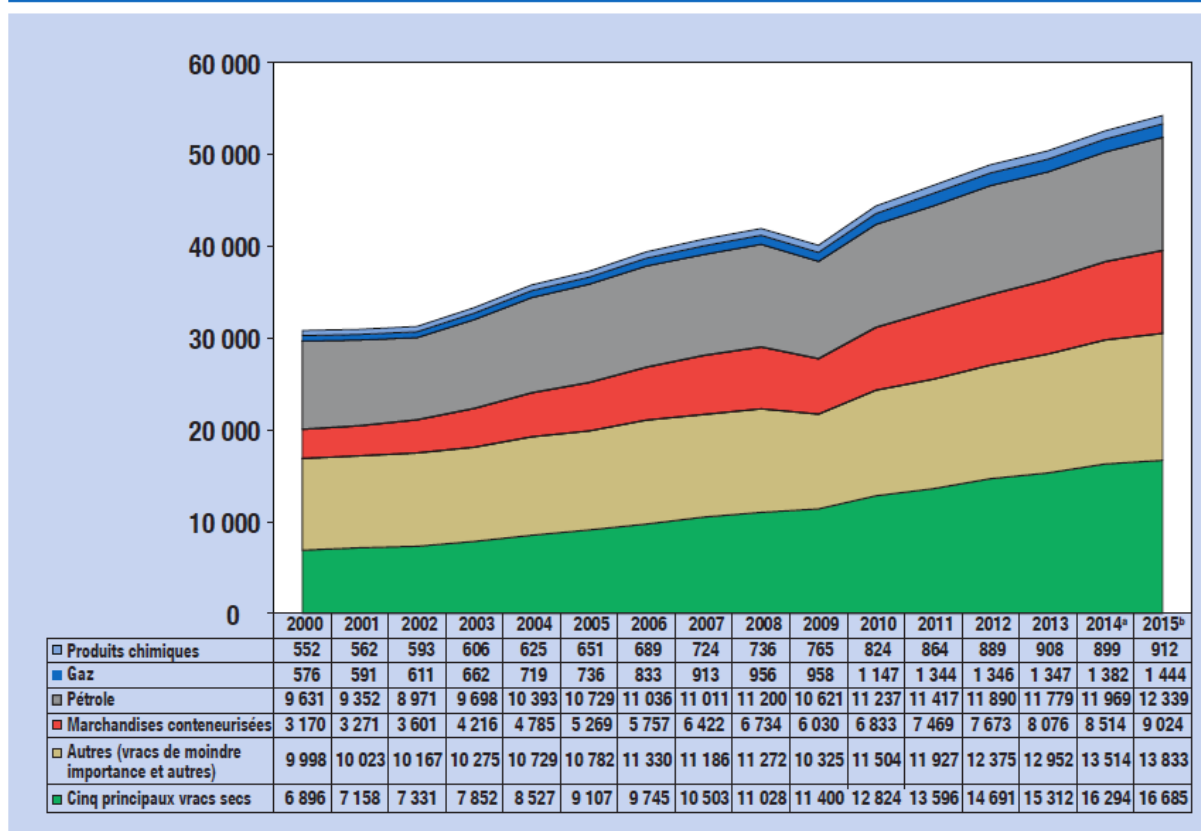
Les minéraux non métalliques restent encore principalement en local mais la biomasse amorce un mouvement d'internationalisation, centré sur un nombre limité de produits (soja, huile de palme,...)

au-delà du blé qui était déjà un habitué des échanges. Le café, le cacao ou d'autres produits des pays chauds sont importants en termes monétaires mais ne représentent pas des volumes majeurs, ces volumes étant notre angle d'analyse.

Il est utile de faire un focus sur le transport maritime car le volume transporté par cette voie en 2014 a été de 9,84 milliards de tonnes, soit les 4/5 environ de la totalité du commerce mondial de marchandises. Les combustibles fossiles représentent 42 % en volume, le minerai de fer 13 %.

Une mesure plus précise est celle des tonnes-milles qui intègrent le kilométrage parcouru. Le graphique suivant⁵ illustre l'évolution de ces tonnes-milles par types de matières suivant la catégorisation classique du transport maritime⁶.

Graphique 1.5 Trafic maritime mondial en tonnes-milles par type de fret, 2000-2015 (En milliards de tonnes-milles)



Source : Graphique établi par le secrétariat de la CNUCED à partir de données de Clarksons Research (2015b).

^a Estimations.

^b Prévisions.

Les marchandises conteneurisées et les vracons secs ont porté la hausse continue (sauf 2009) des tonnes-milles parcourues. La Chine est principalement à l'origine de cette hausse de trafic, au travers des marchandises exportées, du minerai de fer et du charbon importés. Cependant, la part du pétrole a crû elle aussi, non tant du fait des volumes qui baissent ponctuellement (limitation des importations américaines) mais surtout du fait des distances parcourues qui s'étendent (y compris pour les Etats-Unis). Les plus grands ports mondiaux sont désormais sur la côte est de l'Asie.⁷

⁵ http://unctad.org/fr/PublicationsLibrary/rmt2015_fr.pdf CNUCED étude sur les transports maritimes - 2015

⁶ Les cinq principaux vracons secs sont le minerai de fer, le charbon, les céréales, la bauxite-alumine, le phosphate naturel

⁷ Pour un suivi en réel des navires, voir le site <http://www.marinetraffic.com> où l'on peut visualiser aussi une carte des densités annuelles.

Depuis l'an 2000 et l'émergence de la Chine, les flux majeurs ont beaucoup évolué. Comparons les cinq premiers flux entre grands secteurs en 2000 et 2015 :

Secteur Import 2000	Secteur Export 2000	Type	Fux en millions de tonnes
Asie de l'Est (hors Chine)	Moyen-Orient, Afrique nord	Combustibles fossiles	427
Europe	Moyen-Orient, Afrique nord	Combustibles fossiles	420
Europe	Asie du nord (Russie)	Combustibles fossiles	251
Asie de l'Est (hors Chine)	Océanie (Australie)	Combustibles fossiles	144
Amérique du Nord	Moyen-Orient, Afrique nord	Combustibles fossiles	141

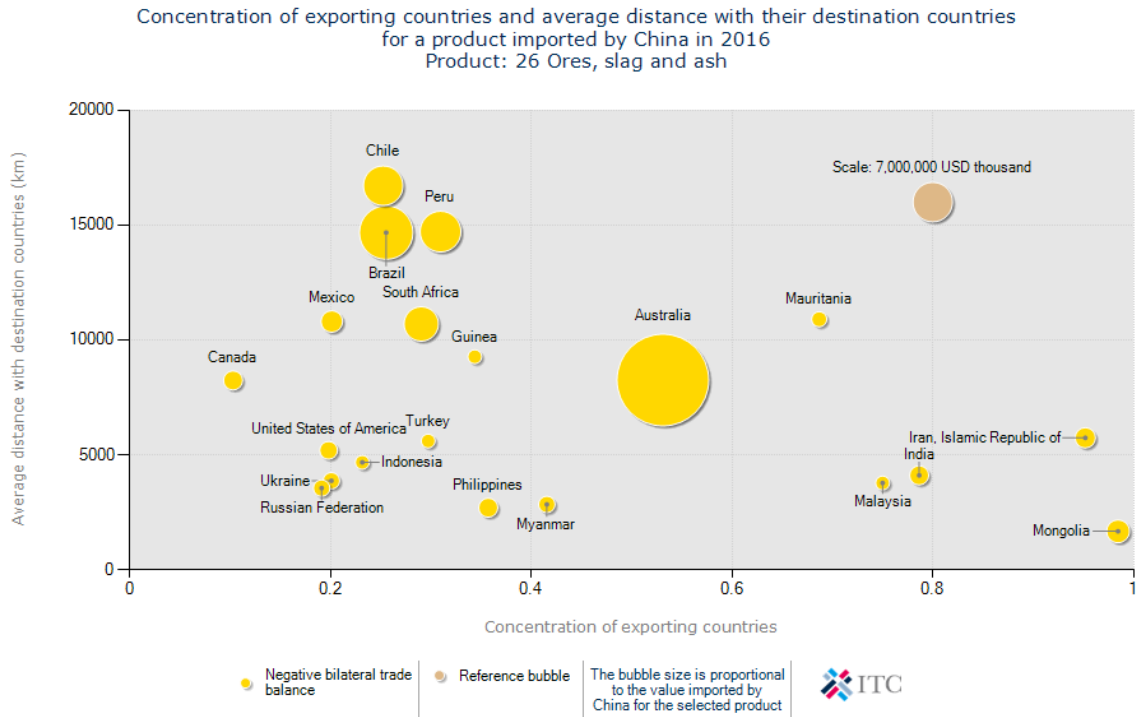
Secteur Import 2015	Secteur Export 2015	Type	Fux en millions de tonnes
Chine	Océanie (Australie)	Métaux et minerais	663
Europe	Asie du nord (Russie)	Combustibles fossiles	470
Asie de l'Est (hors Chine)	Moyen-Orient, Afrique nord	Combustibles fossiles	420
Europe	Moyen-Orient, Afrique nord	Combustibles fossiles	265
Asie de l'Est (hors Chine)	Océanie (Australie)	Combustibles fossiles	249

Source :

Les flux de combustibles fossiles restent importants, avec une dépendance accrue de l'Europe vis-à-vis de la Russie, mais la relation Chine-Australie sur les métaux et minéraux est devenue le premier flux mondial en volume, passant de 36 millions de tonnes en 2000 à 663 millions de tonnes en 2015 ! Il explique en bonne partie la hausse des vrac secs sur cette période.

Le graphique suivant issu du Centre du Commerce International (ITC) indique en ordonnée la distance moyenne des pays exportateurs vers la Chine pour les minerais. On y perçoit le poids (ici monétaire) de l'Australie et de l'Amérique du sud.⁸

⁸ <http://www.trademap.org/tradestat/Index.aspx>



Les métaux sont souvent localisés : le cuivre vient notamment du Chili, le nickel des Philippines et d’Australie, le cobalt du Congo, le zinc d’Australie et du Pérou, l’étain de Birmanie, le titane d’Afrique du sud, le Molybdène du Chili, l’argent du Mexique... Mais des flux massifs ont émergé et l’Europe est en seconde division sur ces flux primaires. Pour caricaturer, elle est devenue dépendante de produits transformés en Chine à partir de métaux extraits en Chine, Australie et Amérique du sud et grâce à des combustibles de Chine, Moyen-Orient, Russie et Australie

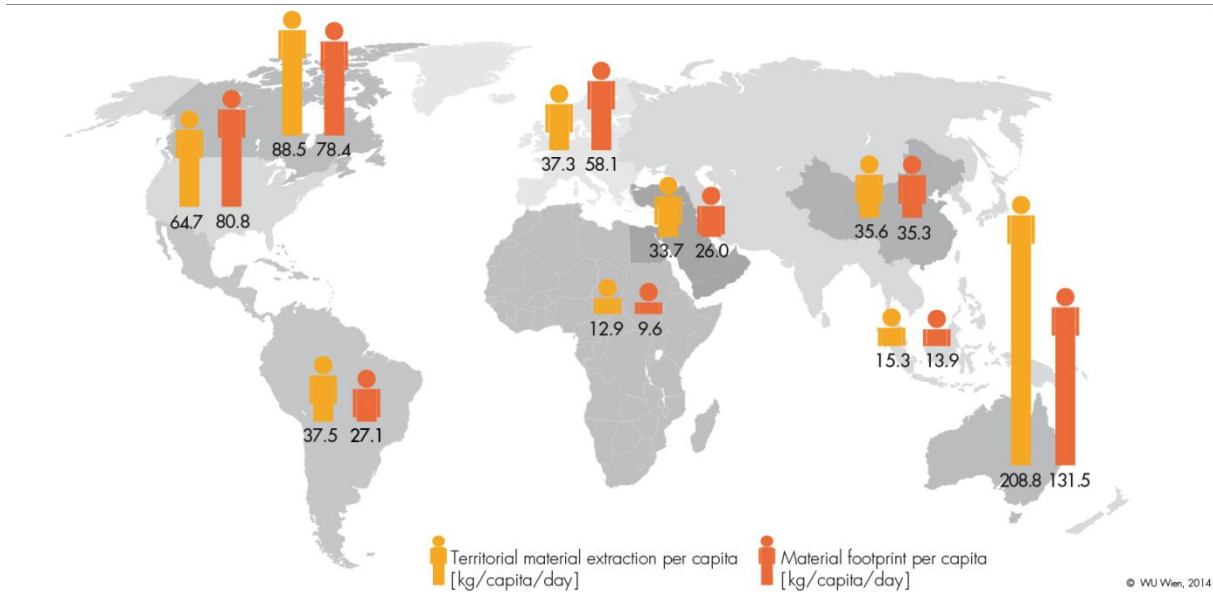
c) L’empreinte territoriale et le temps long

L’empreinte écologique a été popularisée par la notion de date à laquelle l’homme aurait épuisé son quota annuel de ressources terrestres. En 2017, elle a été calculée au 2 août.⁹

Au niveau statistique, dans la comptabilité des flux de matières, l’empreinte territoriale correspond à la consommation effective du territoire en allant chercher tout ce que cela induit en amont en ressources primaires.

Le graphique suivant extrait du site materialflows.net permet de comparer extraction et empreinte, ramené à l’habitant. Deux zones seulement extraient moins qu’elles ne consomment : l’Europe et les Etats-Unis. Il faudrait cependant pouvoir faire l’analyse sur chaque domaine car le poids des matériaux locaux de construction fausse l’analyse, particulièrement pour l’Europe qui est très largement déficitaire sur les métaux et les combustibles fossiles malgré un mode de vie plus léger que les Etats-Unis ou l’Australie.

⁹ Voir <https://www.footprintnetwork.org/our-work/ecological-footprint/> pour une analyse plus détaillée du concept.



En définitive, hormis les céréales, du bois et quelques restes de combustibles fossiles en Mer du Nord et en Norvège, l'Europe en particulier est désormais largement dépendante du reste du monde. Ayant un espace restreint, elle se contraint au niveau de la construction et des déplacements, d'où une empreinte mesurée au regard de l'Amérique du Nord ou de l'Australie, mais la dépendance, en dehors de l'agriculture, porte sur tous les aspects.

Le charbon a pourtant été la source de l'expansion britannique aux XVIII^e et XIX^e siècles, avec l'Empire. Le charbon a compensé le manque d'espace du Royaume-Uni, espace fourni par l'Empire pour les cultures, particulièrement le coton. Il a fourni l'énergie nécessaire à ce développement industriel et colonial.

Puis le pétrole a supplanté le charbon du fait de ses atouts pratiques. Mais il était peu présent en Europe, au contraire des Etats-Unis, de la Russie et du Moyen-Orient. Progressivement, les minéraux aussi sont venus à manquer sur le sol européen. Première dans la course historique au développement, l'Europe se retrouve riche mais nue.

Si l'on se recentre sur l'aspect historique, le temps long raconte d'abord l'histoire d'une humanité autarcique qui vit des ressources de son sol mais a appris très tôt à commercer pour s'alimenter en denrées précieuses : le sel, des fourrures et des métaux, puis des objets luxueux et des épices. Des puissances déjà capitalistiques se créent grâce à l'échange : Venise au Moyen-Age puis Amsterdam à la Renaissance deviennent des centres majeurs de ce fait. Londres prendra leur place en gérant un Etat structuré en ce sens.

La conquête de l'Amérique vient troubler le jeu en injectant de l'argent et de l'or dans le système européen. Mais comme l'indique David Graeber dans « Dette », l'argent ne restait pas en Europe, il allait beaucoup en Chine pour être échangé contre des produits chinois (porcelaine,...), la Chine ayant à cette époque un fort besoin de créer de l'argent liquide. Les routes maritimes au XVIII^e siècle ne se limitaient pas au commerce triangulaire. L'Asie était aussi un lieu important du commerce. Cependant, tout ceci restait encore marginal en termes de masse. Les marchandises importées avaient un fort goût de luxe : café, chocolat, indigo, coton, bois et métaux précieux,...

La révolution industrielle et énergétique a permis d'accélérer le mouvement, commençant à rendre populaires certaines consommations, à commencer par le coton dans le textile. Les énormes capacités du transport maritime ont fini par inverser complètement la tendance : hormis certains produits en construction et nourriture, les produits à bas prix présents dans les pays développés viennent d'ailleurs.

Les types de matière en transit correspondent désormais à des utilisations diversifiées avec des risques et contraintes elles aussi diverses : économiques, écologiques, géopolitiques,...

Type	Utilisations principales	Variables majeures	Risques et contraintes.
Biomasse Constituée principalement des produits agricoles et du bois	Alimentation humaine et animale. Meubles et construction bois. Chauffage bois, ressource énergétique.	Démographie. Alimentation carnée.	Stérilisation des sols. Changement climatique. Dépendance aux engrais et à certaines productions. Déforestation.
Minéraux non métalliques Sables, graviers, pierres,...	Construction	Urbanisation. Tertiarisation.	Gestion des déchets. Recyclage. Limitation des ressources
Combustibles fossiles Charbon, gaz, pétrole,...	Transport. Chauffage. Pétrochimie, engrais. Industrie, transformation	Mobilité. Usage de ressources, densité des ressources.	Epuisement des ressources. Changement climatique.
Métaux Fer, cuivre, zinc, cobalt, plomb, métaux rares...	Construction, Automobile, Mécanique. Electronique.	Utilisation des métaux dans la High Tech. Mobilité électrique et autonome. Ecoconception	Epuisement des ressources. Recyclage.

Un autre risque est commun à tous : il s'agit de la valorisation monétaire. Car ces matières représentent un actif qui peut se retrouver soumis à des anticipations financières en cas de crise. Le prix des matières premières s'affole alors et se déconnecte de leur valeur fondamentale ainsi que de leur importance locale. Les émeutes de la faim de 2007-2008 en ont été une triste représentation.

3. Le territoire et son métabolisme

Les flux mondiaux ont beaucoup grandi en volume, inondant les territoires. Mais que se passe-t-il au niveau de ces territoires pour la gestion, voir la di-gestion, de ces matières ? Et qu'est-ce que cela nous raconte ?

a) Métabolisme territorial et écologie territoriale

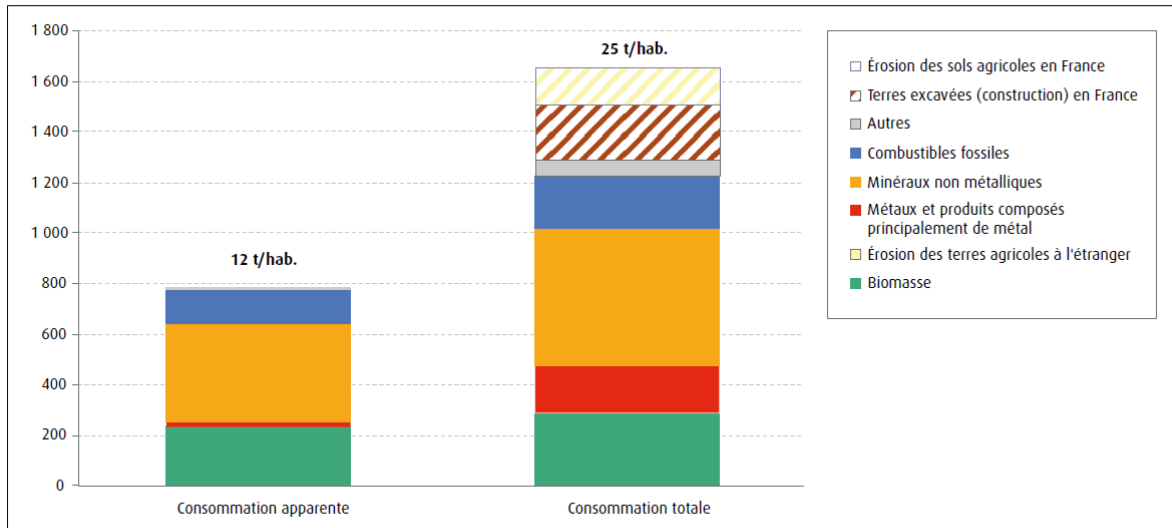
Le métabolisme territorial se base sur la comptabilité des flux de matières qui est une démarche descendante et tâche de la compléter par une démarche ascendante en partant des éléments constatés au niveau du territoire.

En fait, seule la conjonction des différentes méthodes permet d'entrer dans une véritable démarche d'écologie territoriale, dont le métabolisme territorial constitue une première étape.

Si l'on se place au niveau national d'abord, la consommation estimée de matières par habitant est de 12 tonnes par an en apparence et de 25 tonnes au total en 2013¹⁰ :

Consommations apparente et totale de matières en France en 2013

En millions de tonnes



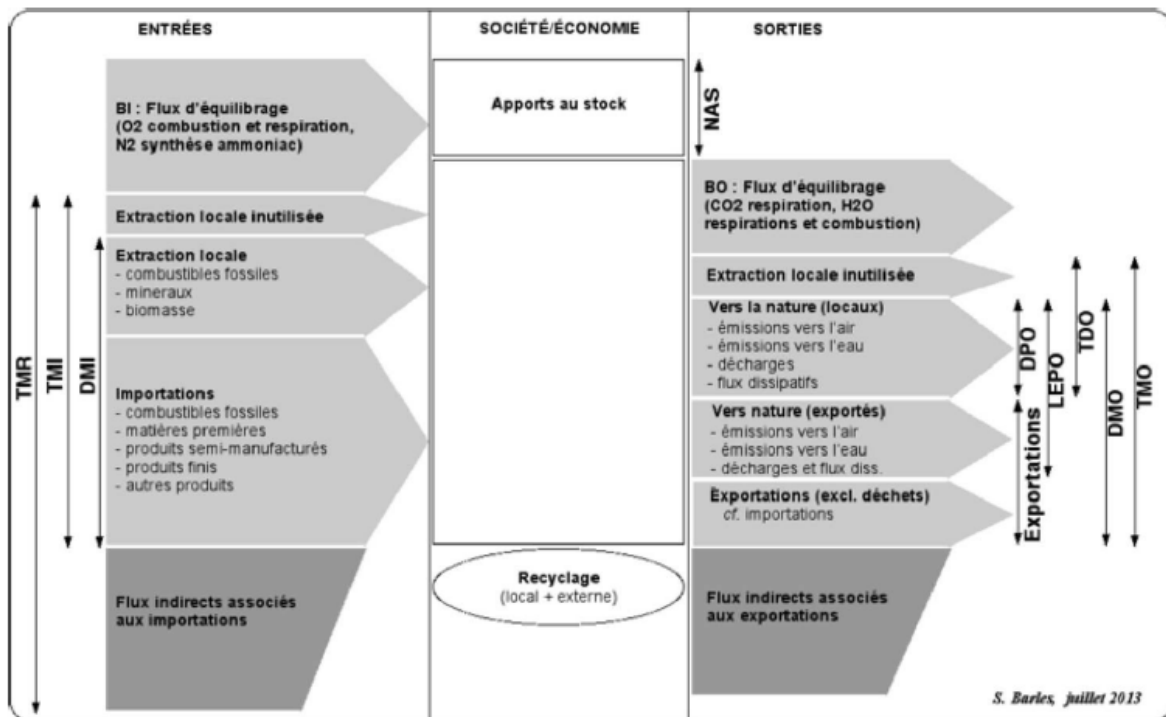
Sources : Agreste/SSP ; Istat (institut national de statistiques italien) ; Unicem ; SOeS, 2015 ; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH.
Traitements : SOeS

Dans ce graphique, il faut percevoir que la quasi-totalité des combustibles fossiles et des métaux sont importés, tandis que les minéraux non métalliques sont peu importés et que la biomasse a une balance d'échange excédentaire. L'importation représente 5,2 tonnes par habitant et l'exportation 2,9 tonnes par habitant, soit un déficit de 2,3 tonnes par habitant et par an majoritairement dû aux combustibles fossiles et aux métaux.

Passons maintenant au niveau local dont le principe métabolique est défini par le schéma suivant issu principalement des travaux de Sabine Barles :

¹⁰ Commissariat Général au Développement Durable : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publications/p/2542/1097/matieres-mobilisees-leconomie-francaise-baisse-stabilisee.html>

Figure 1. Principe et principaux indicateurs du bilan de matières brutes aux échelles infranationales



NB : L'eau prélevée et consommée n'est pas mentionnée dans ce bilan.

Ce graphique¹¹ indique l'équilibre entre les flux d'entrée, la consommation interne (avec le stockage et le recyclage), et les flux de sortie. Les flux indirects ressortent mieux dans la comptabilité des flux de matières au niveau mondial, mais l'intérêt de l'observation locale reste pourtant important car une différence entre territoires est très perceptible lorsque l'on observe les flux apparents.

Comparons l'Île de France et Paris (et la petite couronne en l'occurrence) avec des territoires de la région Midi-Pyrénées suivant cette grille.

Un territoire très contraint comme Paris va générer de prime abord peu de consommation de produits de construction et de produits alimentaires par habitant. Toute construction nécessite d'en remplacer une ancienne et les aliments arrivent principalement sous forme consommable. La consommation ramenée à l'habitant sera donc faible sur ces aspects. Son métabolisme sera plus explicite au niveau des combustibles fossiles et des produits finis.

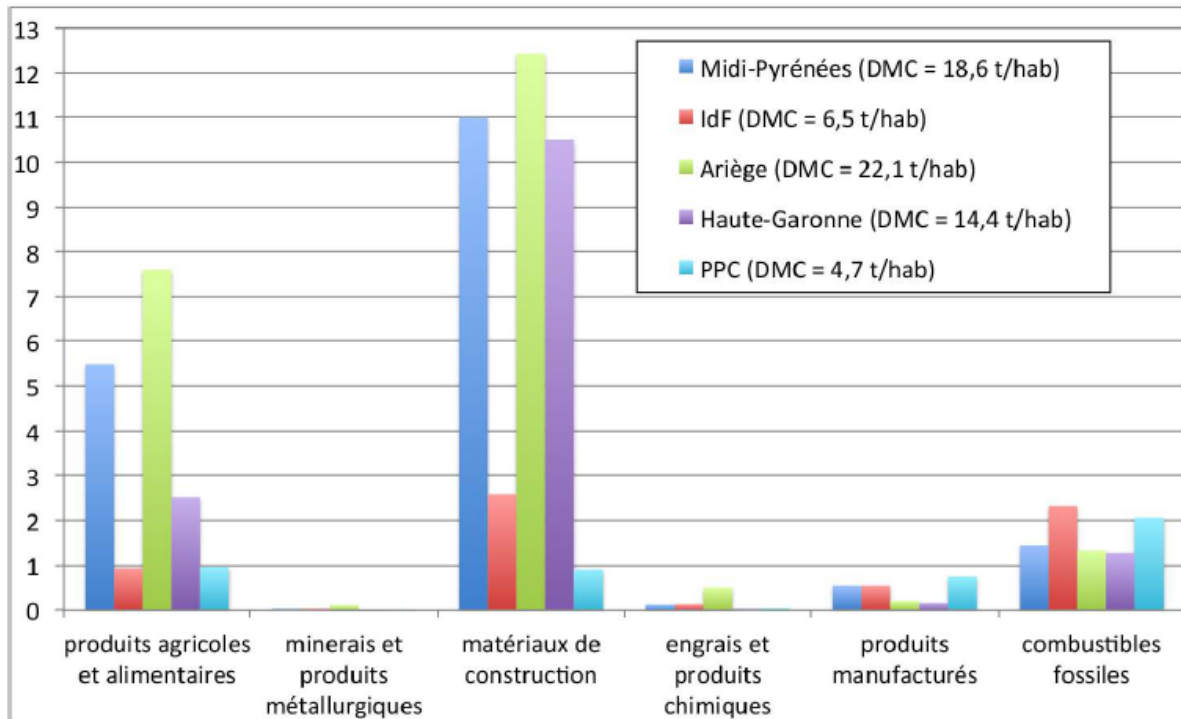
Au contraire, la région Midi-Pyrénées et a fortiori un département rural comme l'Ariège vont consommer beaucoup plus de matériaux de construction et de produits agricoles et alimentaires. Ce seront cependant des produits en majorité extraits localement alors que Paris importe absolument tout, excepté l'oxygène.

Le manque de place oblige Paris et la petite couronne à gérer de façon plus fine les matériaux de construction et leur transport, la Seine constituant pour cela un axe vital. Par contre, les villes de province sont en général plus autonomes dans leur approvisionnement et intègrent dans leurs territoires des filières agricoles et alimentaires.

¹¹ Ce graphique et le suivant sont extraits de « L'écologie territoriale et les enjeux de la dématérialisation des sociétés : l'apport de l'analyse des flux de matières » de Sabine Barles.

<https://developpementdurable.revues.org/10090>

Figure 4. Consommation nette, Midi-Pyrénées, 2006 ; Île-de-France, 2003 ; Ariège, 2006, Haute-Garonne, 2006 ; Paris et petite couronne (PPC), 2003 ; a) t/hab ; b) t/ha ; c) kt.



Il est surprenant de constater une relation inverse, au niveau français tout du moins, entre revenu et consommation de matières : la densité s'accompagne de richesse mais aussi de contrainte en termes de consommation de matières. Le paradoxe n'est cependant pas complet : la richesse de la ville se déverse ailleurs, les parisiens achètent des résidences secondaires, voyagent ailleurs,... et alimentent in fine aussi une consommation délocalisée de matières.

b) Le visible et l'invisible

Commençons par l'invisible : il s'agit en premier lieu des combustibles qui ne se voient plus. L'essence qui sort de la pompe est juste sentie. D'où vient le pétrole extrait ayant servi à la produire ? Mystère. Aucune provenance n'est indiquée.

Grâce à quoi volent les avions ? Se rend-on compte de la masse prodigieuse de carburant présente dans l'aéronef qui nous expédie vers de lointaines destinations ?

L'électricité est le miracle quotidien. Mais à l'instant même, quelle énergie produit l'électricité fournie ? Mystère encore.

Quel consommateur de plats industriels peut vraiment tracer tous les produits ayant servi à la composition et leur cycle de vie depuis la culture et l'extraction ?

Les vêtements que l'on porte viennent de très loin. Dans quelles conditions sont-ils produits ? Il faut tout un documentaire pour le savoir.

Auparavant, les abattoirs étaient dans la ville. L'objectif était que tout un chacun puisse constater dans quelles conditions les bêtes étaient abattues. Il y avait ainsi une auto-régulation.

Désormais, le contrôle technocratique a perfectionné les analyses, formé des inspecteurs et les abattoirs ont été expédiés dans des endroits lointains à l'abri des regards. Cependant, le mouvement est allé si loin que des associations viennent voler des images pour savoir exactement ce qui s'y passe.

Bref, l'invisible est devenu une règle majeure de marketing. Imagine-t-on seulement des réservoirs transparents, des vidéos d'abattoirs dans les supermarchés, des photos d'usines chinoises dans les magasins d'habillement ?

Par contre, les constructions, les automobiles, la décoration,... bref les produits finaux se voient et sont faits pour ça. Le visible doit se limiter à ce qui est fini.

Mais le visible va au-delà. Il y a aussi ce qui se voit mais ne se décrypte pas. Ainsi, comment les commerces ont-ils pu passer en une poignée de décennies de commerces au volume limité en centre-ville aux immenses zones commerciales périphériques, dont les magasins s'étalent tout en regorgeant de produits ? Le simple remplacement de la verticalité des anciens « grands magasins » par l'horizontalité motorisée des commerces périphériques n'explique pas tout, loin de là. Le paramètre du volume et du poids des marchandises vendues est lui aussi important. D'une marchandise rare et précieuse, nous sommes passés à une marchandise abondante, vendue en masse, avec de larges conséquences :

- Hausse de la consommation intérieure des matériaux de construction pour ces commerces de périphérie et pour les hangars de stockage intermédiaire (appelés pôles logistiques...).
- Hausse de la consommation en matières premières dans les pays produisant les produits importés avec des emplois à bas coûts.
- Hausse du volume de transport de tous ces produits.

Le visible non perçu se conjugue avec l'invisible d'une production délocalisée pour former l'apparence d'une consommation propre et saine.

c) Histoire et système du territoire à travers son métabolisme.

Rome est un exemple emblématique et bien connu de territoire ayant structuré tout un monde à son profit et ayant ensuite vécu un effondrement.

L'Empire Romain a vécu dans une logique de développement constant : les conquêtes amenaient des esclaves et de nouvelles forces. Progressivement les territoires, périphériques puis de plus en plus lointains, se structuraient sous une forme romaine (une cité entourée de grandes villas avec des esclaves) étudiée pour ramener in fine une bonne partie des impôts et matières dans la capitale qui a grossi jusqu'à atteindre le million d'habitants, chiffre énorme pour l'époque. Ce système basé sur un développement constant a cependant été confronté aux limites : par diverses innovations (réorganisations successives, citoyenneté élargie,...) il a réussi à repousser l'échéance. Mais celle-ci est arrivée quand même. L'effondrement de Rome est vu comme une catastrophe. Il a cependant été progressif et a aussi pu être vécu comme une libération. En Europe, l'esclavage ne lui a pas ou peu survécu¹². Un millénaire plus tard, si les européens sont allés chercher des esclaves en Afrique, c'est aussi par impossibilité culturelle d'en avoir chez soi.

En s'effondrant, Rome est redevenue une ville moyenne d'environ dix mille habitants, plutôt insalubre du fait de la gestion incertaine des déchets et des morts en fin d'Empire. D'un métabolisme hypertrophié et pollueur, elle est revenue à un métabolisme de bas niveau mais pollué.

¹² Il faut sans doute à ce propos séparer esclaves urbains, qui pouvaient avoir quelques espoirs, des esclaves ruraux appartenant aux grands domaines (les villas). Le servage, qui a succédé à cet esclavage rural, n'atteignait pas la même sévérité, malgré sa rudesse.

En France, nos territoires ont eux aussi vécu des variations de leur métabolisme liées au phénomène urbain. Après le resserrement du Haut Moyen-Age où les villes se sont réduites à un rôle simple de centre d'un territoire largement indépendant et autarcique, le phénomène urbain a repris de l'ampleur au XII et XIII^e siècles marqués par un climat plus doux et une croissance portée par différents facteurs. Ce temps des cathédrales reste un marqueur de notre paysage urbain actuel.

Le développement a ensuite été plus secoué par des crises (la peste, les guerres de religion) et la montée en puissance des Etats avec des guerres elles aussi en évolution¹³. Les villes se développent sur le même rythme incertain.

Jusque très tard, elles restent cependant basées sur un hinterland relativement autonome. Londres est sans doute la première à acquérir une relative dépendance, y compris alimentaire, à l'étranger, basée sur la force du Royaume-Uni et de sa marine pour assurer son approvisionnement.

Paris en comparaison reste au XIX^e siècle en lien fort avec son hinterland.

Une étude explore cet aspect et analyse l'évolution des sources d'alimentation de Paris depuis la fin du XVIII^e siècle.¹⁴ Ces sources d'alimentation semblent rester proches et plutôt stables dans l'histoire. La moyenne pondérée de la distance bondit en ce début de XXI^e siècle mais les céréales restent quand même en majorité dans le bassin parisien et la viande vient encore beaucoup de Normandie ou de Bretagne. Seuls les fruits et légumes ont un spectre plus large.

Année	Nombre estimé d'habitants	Céréales	Viande	Fruits et légumes	Distance estimée d'approvisionnement (moyenne pondérée) de l'agglomération parisienne
1786	700 000	110 km	255 km	87 km	
1896	3 340 000	177 km	325 km	100 km	
2006	10 197 000	492 km	660 km	790 km	

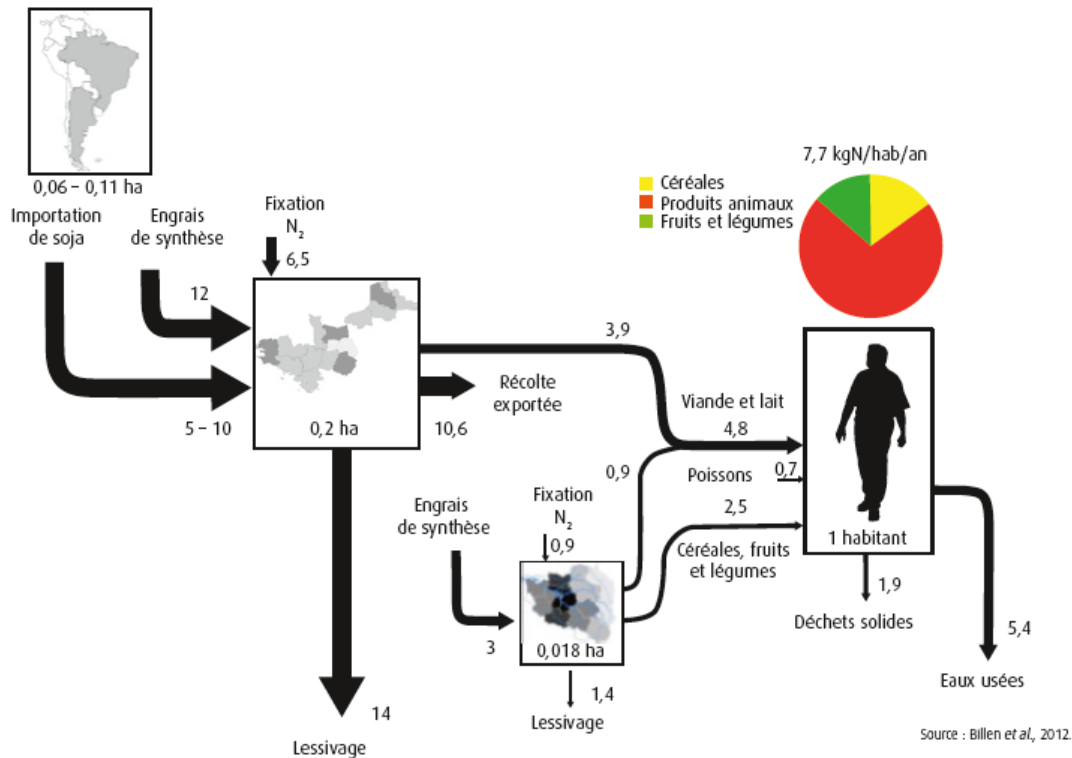
Ces éléments seraient rassurants mais l'étude indique aussi qu'il existe deux passagers clandestins dans cette force du territoire : l'élevage est devenu dépendant du soja d'Amérique du sud et la culture en général des engrais de synthèse.

L'empreinte azote du francilien résume bien ce problème :

¹³ Le nombre d'hommes en présence dans les batailles, fort réduit au Moyen-Age, reprend ensuite une courbe ascendante jusqu'aux sommets napoléoniens qui ne seront dépassés qu'au XX^e siècle

¹⁴ <https://link.springer.com/article/10.1007/s10113-008-0051-y> Billen - Barles 2011

Figure 4.4 : l'empreinte azote d'un Francilien



Cette émancipation précoce des villes n'a d'abord pas joué pour les territoires plus ruraux. L'étude historique de métabolisme menée sur un village de la vallée d'Aoste indique bien le caractère encore largement autarcique de ce territoire jusqu'aux années 60. Puis l'économie locale s'est structurée autour du fromage (en appellation d'origine) et du tourisme. Une plus grande richesse est désormais au rendez-vous mais pour sa consommation quotidienne, le territoire est dépendant de l'extérieur, tout comme une ville. Le rural a acquis ce faisant une particularité urbaine, la dépendance. Il a aussi perdu dans le même temps un réseau local

C'est la situation de la quasi-totalité des territoires français, voire européens, désormais. La ville, de ce point de vue, n'a plus comme spécificité que d'avoir commencé le mouvement plus tôt. Cela explique aussi une tendance à s'écarter de la ville quand il n'y a pas de nécessité d'y habiter. La population se répartit entre urbains et ruraux de cœur. Celle des ruraux est majoritaire mais comme elle se retrouve contrariée dans ses choix par la localisation des emplois et les offres urbaines (culture, consommation, déplacements,...), elle constitue la base de la périurbanisation qui est un intermédiaire.

La ville en elle-même, en tant que centre de territoire, se distingue donc par son emploi et ses offres qui lui permettent d'attirer au quotidien (ou de façon plus sporadique) de la population sans que celle-ci n'y habite forcément. La richesse monétaire est créée en son sein mais elle n'y reste pas forcément. Les flux matériels y sont limités par l'espace disponible. Ce sont cependant les habitants ou les employés urbains qui vont être à la source de flux matériels qui irrigueront des territoires bien plus vastes.

Les territoires denses et riches économiquement ont deux caractéristiques :

- Leur autonomie est minimale (réduite à quasiment zéro dans le cas de Paris).
- Par contre l'intensité matérielle est aussi plus faible : il y a une saturation matérielle qui limite cette intensité.

Exprimé autrement, la densité ne limite pas la richesse (elle est même corrélée à elle) et se satisfait de la dépendance mais elle limite l'intensité matérielle. Elle n'est pas contrairement à ce qu'on pourrait croire un endroit de consommation matérielle maximale, si ce n'est dans les produits luxueux. Elle s'identifie plutôt dans un rôle de redistribution et de centre de commandement des flux matériels, notamment au travers des réseaux.

Le besoin de résilience ne concerne donc plus seulement la ville mais bien tout le territoire. En cas de crise, par son rôle stratégique, la ville est celle qui se trouve le mieux à même de ramener les ressources nécessaires à elle. Même pour l'alimentation, elle est la coordinatrice de territoires spécialisés (céréales, vignobles, élevage,..) qui ne se sont plus indépendants par eux-mêmes. Le concept important devient celui de filière (agricole, industrielle, commerciale, numérique, touristique,...) dont il faut être une pièce maîtresse pour constituer un nœud du jeu international. La ville totale n'est plus la ville indépendante mais celle qui maîtrise le maximum de filières.

4. Les réseaux et leurs enjeux.

Les réseaux matériels se sont structurés selon une logique propre à chacun d'eux. Mais ils atteignent des limites qu'aimerait exploiter le numérique pour prendre le pouvoir sur eux.

a) Les réseaux matériels

Les réseaux matériels, dans le sens où leur action première est le transport de personnes ou d'objets, ont grandi avec les combustibles fossiles. Chaque type de réseau a développé son propre modèle économique et ses propres technologies avec relativement peu de perméabilité entre réseaux.

Le réseau routier est le premier réseau concerné. Il s'agit encore de la colonne vertébrale de l'équipement territorial, tant pour le transport de personnes que pour le transport de marchandises. Il est hiérarchisé : les autoroutes assurent près du tiers de la circulation malgré leur faible kilométrage. Son modèle économique est le plus complexe : en France il intègre grandement la participation publique, la sphère publique percevant en retour plusieurs contributions, la principale étant cependant la TICPE (taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques). Mais cette imbrication provoque une confusion sur l'impact économique : suivant les analyses, l'automobile est soit une vache à lait, soit en dette vis-à-vis de l'ensemble.

Le réseau aérien est lui spécifique : il se base sur les aéroports (aérodromes pour les plus petits) et bénéficie d'une alimentation dédiée en kérosène pour les plus grands aéroports. L'espace aérien est soumis à un contrôle très précis.

Le réseau ferré était au départ basé sur le charbon avec ses points d'approvisionnement en charbon et en eau tout au long du réseau. Il est désormais dans les pays occidentaux majoritairement électrique.

Le réseau de gaz est un cas particulier, structuré à l'image du réseau électrique. Le réseau national se complète dans chaque commune équipée d'un réseau urbain de distribution.

Le transport constitue de loin la première utilisation du pétrole, mais avec une évolution contrastée. Les transports individuels ont atteint un maximum en 2003 à plus de 25 millions de Tep et décroissent lentement depuis lors. Les transports routiers de marchandises ont fait de même en 2007 à plus de 16 millions et ont baissé ensuite avec la crise de 2008. Le transport aérien a quand lui repris sa phase ascendante en étant proche de 7 millions de Tep après le trou d'air de 2009. Les autres types de transport (maritime, fluvial, ferré, transports urbains et interurbains) ne représentent en tout que 4 millions de Tep.

<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publications/p/references/comptes-transports-2015.html>

Pour alimenter l'ensemble, le pétrole passe dans des raffineries puis des cuves de stockage avant d'être distribué aux stations-service. Le système est souple dans son organisation mais les raffineries peuvent être bloquées amenant à une asphyxie progressive de l'ensemble.

b) Urbanisation et syndrome d'épuisement.

Le XXème siècle a été le siècle de l'urbanisation et de la tertiarisation. Dans le cas européen, l'urbanisation s'est doublée d'une deuxième phase de périurbanisation qui a continué le mouvement d'extension des réseaux.

Les villes ne sont pas plus denses qu'auparavant en termes d'habitant par surface : Paris intra-muros a baissé en densité. Elles sont par contre plus étendues et, dans le cœur des villes, plus denses en termes d'infrastructures : chaque habitant en moyenne occupe plus d'espace de logement (même à Paris) et de bureaux, consomme plus et se déplace plus. Les flux matériels ont donc explosé. Cela se retrouve à la fois dans les flux mondiaux (cf chapitre 2) mais aussi dans le métabolisme local (cf chapitre 3). Ces flux génèrent des pollutions et des encombrements.

Face à cette situation, les réseaux basés sur les combustibles fossiles sont parvenus à un point de développement particulier : ils doivent se développer mais leur poursuite se confronte de plus en plus systématiquement à des obstacles de deux ordres : écologiques (contraintes réglementaires ou résistances locales face à l'artificialisation des sols et aux ruptures écologiques,..) et résidentiels (syndrome NIMBY « not in my backyard », pas dans mon jardin). Cette tendance dans les pays occidentaux rend les projets longs et incertains. On ressent l'approche d'un plafond : les rendements décroissants des projets (autoroutes, aéroports, pipelines,...) ne contrebalancent plus les conséquences négatives, les projets les plus rentables ayant été réalisés. Ce sont cependant ces réseaux qui continuent à assurer la circulation de toutes les matières répertoriées au précédent chapitre.

Un blocage se fait jour analogue à un syndrome d'épuisement : les réseaux ne seraient plus capables de se transformer sous une approche classique. Les multiples résistances, particulièrement dans les démocraties, ne leur permettent plus qu'une marge de manœuvre limitée. Pour poursuivre le mouvement, il faut donc renouveler les concepts et le discours : c'est ce à quoi s'attelle le numérique en prenant appui sur l'électricité.

c) La volonté du couple électricité – numérique de gérer les flux

Le réseau électrique se retrouve donc, en plus de sa fonction traditionnelle d'alimentation ponctuelle des résidences et des activités, en lien avec d'autres réseaux que sont les réseaux ferrés (urbains ou interurbains) et les communications numériques pour lesquels l'alimentation électrique est vitale. Tout cela constitue un vaste ensemble complexe qui tend à s'harmoniser à l'échelle mondiale et qui imprime une pulsation commune.

Les infrastructures matérielles des réseaux classiques souffrent de la masse dantesque de ce qu'ils ont à transporter et de la saturation. Cette gestion délicate se confronte à une sous-optimisation latente de ces systèmes, dont l'objectif premier était la desserte du territoire sans recherche particulière d'économie d'énergie.

Les réseaux numériques annoncent plusieurs réponses à cela, dont les smart grids, l'internet physique et le MaaS (Mobility as a Service).

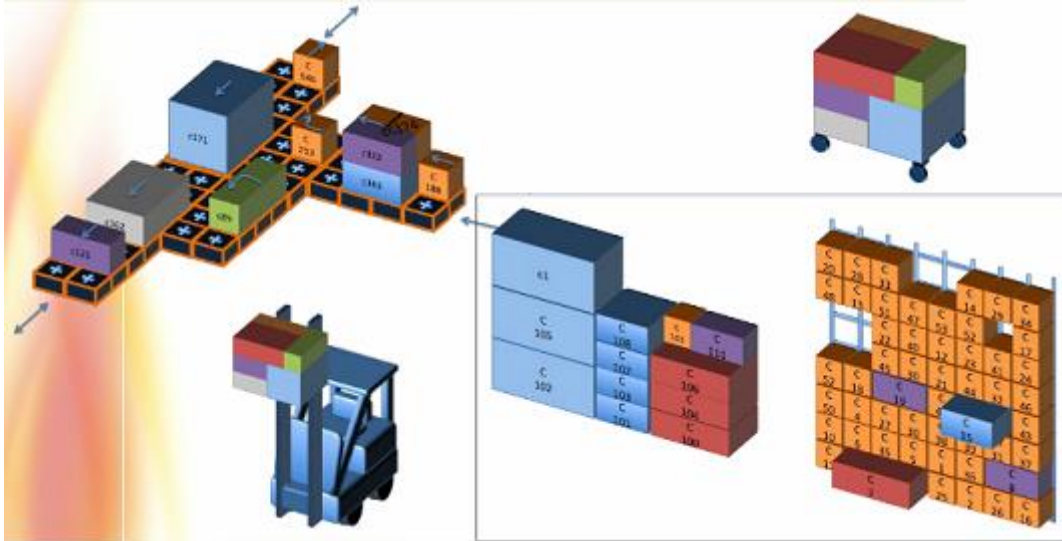
Pour pallier au problème de la trop grande centralisation du système électrique, le paradigme qui monte est celui des smart grids, les « réseaux intelligents » qui viennent piloter des consommations et

des productions localisées d'électricité. Les énergies renouvelables, même les plus petites, sont censées y trouver leur compte.

Mais le numérique ne s'occupe pas seulement de son « allié » électrique, il lorgne aussi sur les réseaux traditionnels pour les réorganiser à son avantage.

De façon paradoxale, le premier secteur ayant subi cette gestion numérisée est le transport aérien, qui était pourtant déjà relativement optimisé. Mais son modèle très intégré était idéal pour tester de nouvelles voies de tarification (yield management) et de gestion (low-cost).

Le projet d'internet physique s'attaque à la mauvaise organisation globale existant au niveau du transport de marchandises qui a prospéré grâce au bas coût du pétrole et à un mauvais report des coûts réels du système. Il s'agit en l'occurrence de gérer ces marchandises comme les paquets (au sens informatique du terme) sont gérés dans le réseau internet. Des containers de différentes tailles, imbriquables les uns dans les autres, seraient ainsi tracés tout le long de leur transport.



En ligne de mire de la réorganisation, et morceau de choix s'il en est, la voiture individuelle est un symbole emblématique de la gabegie énergétique : un engin de plus d'une tonne utilisé par une moyenne de 1,4 individus et qui sert à la grande majorité des déplacements. Quelle que soit la performance des moteurs, la rationalité n'est pas au rendez-vous.

La proposition numérique est ici d'évoluer vers le TaaS (Transportation as a Service) ou MaaS (Mobility as a Service) où il n'existe plus de propriété individuelle des moyens lourds de déplacement mais une variété de moyens de déplacement (transport collectif, véhicules partagés, taxis, modes doux,...). Cependant la complexité du modèle économique, la force symbolique et l'auto-organisation qui accompagnent l'automobile annoncent une grande bataille. La voiture autonome fait partie de ce jeu, dont le covoiturage et services actuels de type taxi ou Uber ne seraient que des étapes. Il faudra ici compter avec les grands acteurs d'Internet (dont Google et Uber) et avec l'industrie automobile, acteur très structuré qui aimerait bien utiliser la révolution numérique à son profit.

Lease car + road user charges

Unlimited use of public transport for the whole family in their home town or city

Commuter transport service up to a total of 2,500 km

6,500 minutes talk time, ultra high-speed Internet connection

Taxi sharing for the whole family, taxi arrives in 15 minutes

PACKAGE PRICE
1200 €/month

Pour autant, loin d'être virtuelle, la réalité des communications numériques est celle d'une consommation importante d'énergie, non pas tant dans le transport des données que dans les serveurs qui gèrent et transmettent les données.

Dépassant le pétrole et le fer qu'ils utilisent encore, ces réseaux cultivent donc l'électricité, la silice et les métaux rares, tout en pariant sur la répartition des sources d'énergie et le pilotage intelligent du système pour réduire sa consommation. Ils ne sont pour autant pas à l'abri de problèmes systémiques ou de ressources.

Sources

Manifeste pour l'internet physique :
http://physicalinternetinitiative.org/Manifeste%20pour%20l'Internet%20Physique_FR_Version%201.11.1%202012-11-28.pdf
<https://stratechery.com/2016/google-uber-and-the-evolution-of-transportation-as-a-service/>
https://fr.wikipedia.org/wiki/Smart_grid

5. Matérialité et fonctions

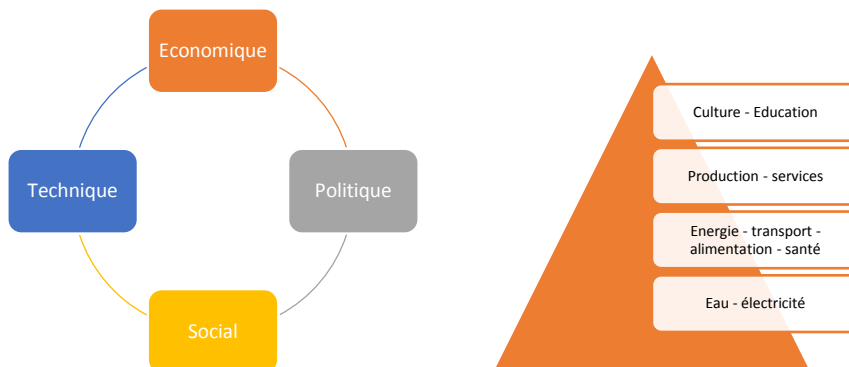
Dans une perspective de matérialité du territoire qui porte la ville, quelles sont les fonctions de celle-ci les plus exposées, celles dont on pourrait craindre un effondrement relatif ou prononcé avec un besoin de résilience à la clé ?

S'agit-il des fonctions les plus nécessaires et/ou des fonctions plus élaborées, notamment celles de commandement ?

Dans une lecture de type thermodynamique, la ville est un espace qui essaye de fabriquer de l'ordre à l'intérieur en générant du désordre à l'extérieur. Quelles peuvent être des mesures de ce désordre généré à l'extérieur ? Les quantités de matière utilisées constituent sans doute une mesure de ce désordre. Mais ce n'est pas la seule. Le temps est aussi une mesure, plus difficile à cerner, mais potentiellement majeure. La taille en est une autre, les effets n'étant pas les mêmes pour des mégapoles que pour des villes de taille plus réduite. Le tout est au service de fonctions dont l'impact dépasse souvent le territoire.

a) Les fonctions

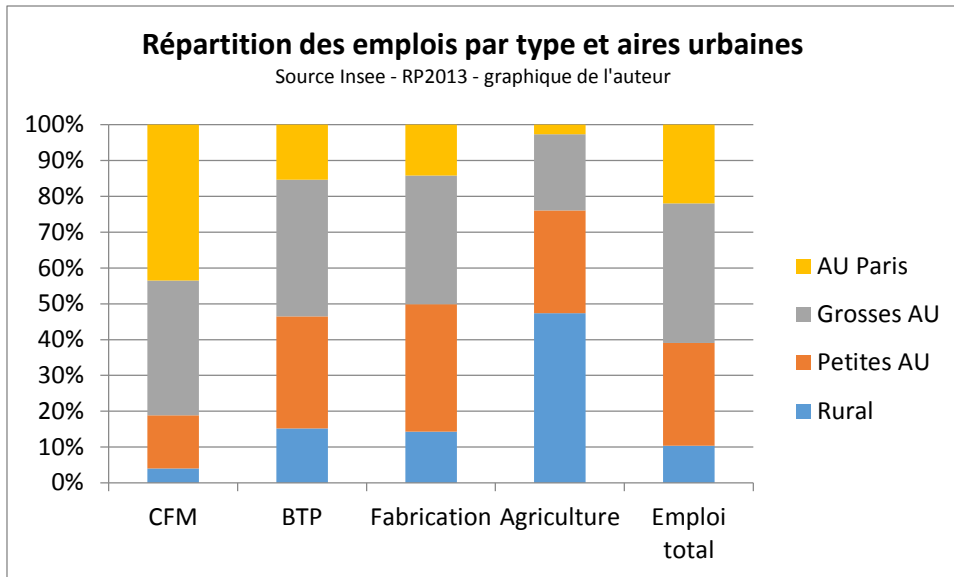
Comment définir d'abord ces fonctions ? Il est possible de regarder la ville sous un angle thématique (économique, social, politique, technique) ou alors de l'aborder sous un angle plus pragmatique : l'eau, l'électricité, l'énergie, l'alimentation, les transports, la production, les services,...



Ces analyses se répondent entre elles.

L'angle pragmatique engendre un classement assez rapide des fonctions, l'eau et l'électricité constituant la base, la culture et l'éducation un autre extrême.

L'angle thématique est moins évident, car les thèmes semblent étroitement reliés. Il est cependant manifeste que les métropoles ont une densité bien plus importante d'emplois de direction et d'organisation. Le graphique suivant illustre la répartition des emplois suivant la taille des aires urbaines (AU). 43,5 % des cadres des fonctions métropolitaines (définition Insee) sont dans l'aire urbaine de Paris, alors que seulement 22 % de l'emploi total y est présent.



Cette « spécialisation » sur la stratégie et l’organisationnel au détriment du « réel » (industrie, agriculture,...) apparaît comme un atout dans un contexte de ressources accessibles et d’expansion.

Cependant, qu’en est-il dans un contexte de blocage des ressources ou de crise ? Dans une analyse de type « effondrement », Dmitri Orlov¹⁵ a proposé cinq stades imbriqués mais progressifs : 1. financier, 2. commercial, 3. politique, 4. social et 5. culturel. A chaque étape de l’effondrement, il s’agit d’une perte de confiance : 1. dans l’argent, 2. dans le marché, 3. dans le gouvernement, 4. dans les autres et pour finir 5. dans l’humain.

Une métropole a effectivement des fonctions financières, commerciales, administratives, sociales et culturelles. In fine, les différentes fonctions, comme c’est évidemment le cas pour la monnaie, seraient d’abord basées sur la confiance en différents instruments humains et en l’humain lui-même. Une crise peut être analysée sous cet angle, le parti pris de l’auteur étant que les instruments souffrent avant l’humain lui-même, ce qui porte à discussion. En quoi influencerait alors la matérialité dans ce contexte ? Est-elle l’événement déclencheur (déficit de production de matières essentielles,...) ou renforce-t-elle l’effet d’une crise survenue par ailleurs ?

b) Le temps

Si l’on essaye d’élaborer pour le territoire une pyramide du type de celle de Maslow, la notion de temporalité est une donnée importante. En ce sens, l’eau et l’électricité sont immédiatement nécessaires. Le territoire ne peut vivre sans ces deux éléments au-delà de quelques jours. Puis viennent l’énergie, le transport, l’alimentation, la santé qui laissent un peu plus de temps, mais guère. Nous abordons ensuite les secteurs productifs et de services (commerce, intermédiaires,...) qui acceptent un temps de latence plus long, quand la culture et l’éducation se forment elles sur le temps long.

Le temps n’est pas toujours le même non plus si l’on parle de social, de politique, de technique ou d’économie. C’est d’ailleurs la différence de temporalité qui vient créer des tensions entre domaines. L’économie vit désormais à un rythme mondial avec de soudaines accélérations. Elle tend à vouloir donner un tempo commun mais désordonné aux autres domaines qui sont plus organisés pour des phénomènes cycliques (élections, temps de développement et cycles de vie des produits, générations,...).

¹⁵ <https://www.les-crises.fr/les-cinq-stades-de-l-effondrement/>

Le temps est une donnée entropique importante dans le sens où l'instantanéité réclamée par nos contemporains, particulièrement dans les villes, est facteur de consommations importantes : livraison dans la journée, voire dans l'heure, de denrées non urgentes, week-end en avion à l'autre bout du continent,... Les métropoles apparaissent fières de cette vitesse, de cette urgence permanente malgré le mouvement « Slow City ». En cas de crise, le temps se distord et redevient une donnée entropique visible de tous.

c) La taille

D'un côté, une population uniformément répartie sur le territoire ne constitue pas souvent un optimum car les échanges posent problème. Ce type de répartition correspond à un territoire à ressources rares mais relativement complètes où chaque famille ou clan exploite une portion du territoire. L'échange ne se fait que de façon sporadique. S'il tend à se développer, un bourg puis une ville se crée (cf les travaux d'anthropologie d'Yves Benoit sur le sujet).

A l'autre extrême, une métropole ne constitue pas non plus de prime abord un optimum. Elle possède pourtant plusieurs atouts a priori :

- La forte densité contraint l'espace et limite les quantités de matière employées, particulièrement pour la construction. De nombreux cadres préfèrent se limiter en espace mais vivre au plus près de l'espace de décision. Cela explique entre autres le paradoxe que les flux par habitant se réduisent alors que le revenu augmente. C'est tout simplement qu'un appartement parisien vaut plus cher en investissement qu'une belle et grande villa en province, mais emploie bien moins de matériaux pour sa construction (rénovation en général) et son entretien.
- Des économies d'échelle sont effectuées dans les livraisons et les réseaux. Un kilomètre de réseau, de quelque nature qu'il soit, dessert plus d'habitants ou d'activités qu'ailleurs.

Par contre, la métropole souffre de la génération de problèmes complexes ou démesurés :

- la consommation externe engendrée car le métropolitain consomme beaucoup de produits finis élaborés à l'extérieur et a une forte tendance aussi à voyager.
- le niveau de pollution nécessitant là aussi de rejeter cette pollution à l'extérieur
- la densité des réseaux générant des effets systémiques, la difficulté de gestion des transports et les bouchons en étant un exemple classique
- ,... sans parler des aspects sociaux où richesse et pauvreté se côtoient ou s'excluent suivant les cas. On ressent que l'ordre (au sens entropique toujours) est difficile à maintenir dans de telles structures et qu'il ne se fait qu'au prix d'un désordre externe important.

Mais alors où se situe l'optimum de taille dans cette optique entropique ?

Et si les habitants des mégapoles ont une certaine notion de la précarité de leur situation, les habitants de territoires moins denses ont-ils conscience de la dépendance qui s'est installée au sein de leurs territoires ?

6. Perspectives

La notion de territoire ou de ville durable est énigmatique. D'abord, quoi de plus solide qu'un territoire ? In fine, seule la géologie le transforme fondamentalement. Mais si l'on observe la vie d'un territoire ou d'une ville, elle change constamment. Rien de moins durable. Le cas de Rome a été abordé, passant d'un million d'habitants à une dizaine de milliers. Encore plus étonnante, Angkor, qui aurait compté jusque 750 000 habitants à son apogée, est redevenue jungle. La ville brillante n'aura été qu'une parenthèse au regard de l'histoire. Tout ce qui est construit sous nos yeux peut devenir ruine et même deviendra ruine sur le temps long car seul l'organique a une véritable capacité de se renouveler en se modifiant. S'il ne se renouvelle pas, le territoire devient désert. Or c'est justement cette acception du mot durable que l'on voudrait juxtaposer à territoire.

a) Entropie

Le langage semble avoir cette particularité actuellement d'insister sur ce qui nous échappe. Les mots à la mode renvoient à des manques, des déficits. « Durable » en est un. A quoi bon rechercher un territoire durable ou même soutenable ? C'est sans doute justement qu'il ne peut pas l'être. Etienne Klein distingue l'idée de progrès qui tend vers un monde meilleur au prix de sacrifices du concept de l'innovation qui tend à lutter contre le caractère corrompateur du temps. Il indique que nous sommes dans une période d'innovation : on ne cherche pas tant à gagner mais plutôt à ne pas perdre face aux limites et aux catastrophes annoncées. L'angoisse du recul nous taraude comme celle d'un homme heureux qui ne peut plus qu'être plus malheureux. La logique implacable des chiffres est connue et peut-être même intégrée mais la perspective du malheur sans contrepartie nous angoisse profondément et nous empêche de décaler notre regard. En termes physiques, c'est la victoire inéluctable de l'entropie que l'on entrevoit. Le progrès réclamait des marges physiques de manœuvre. L'innovation gère la limitation et l'entropie.

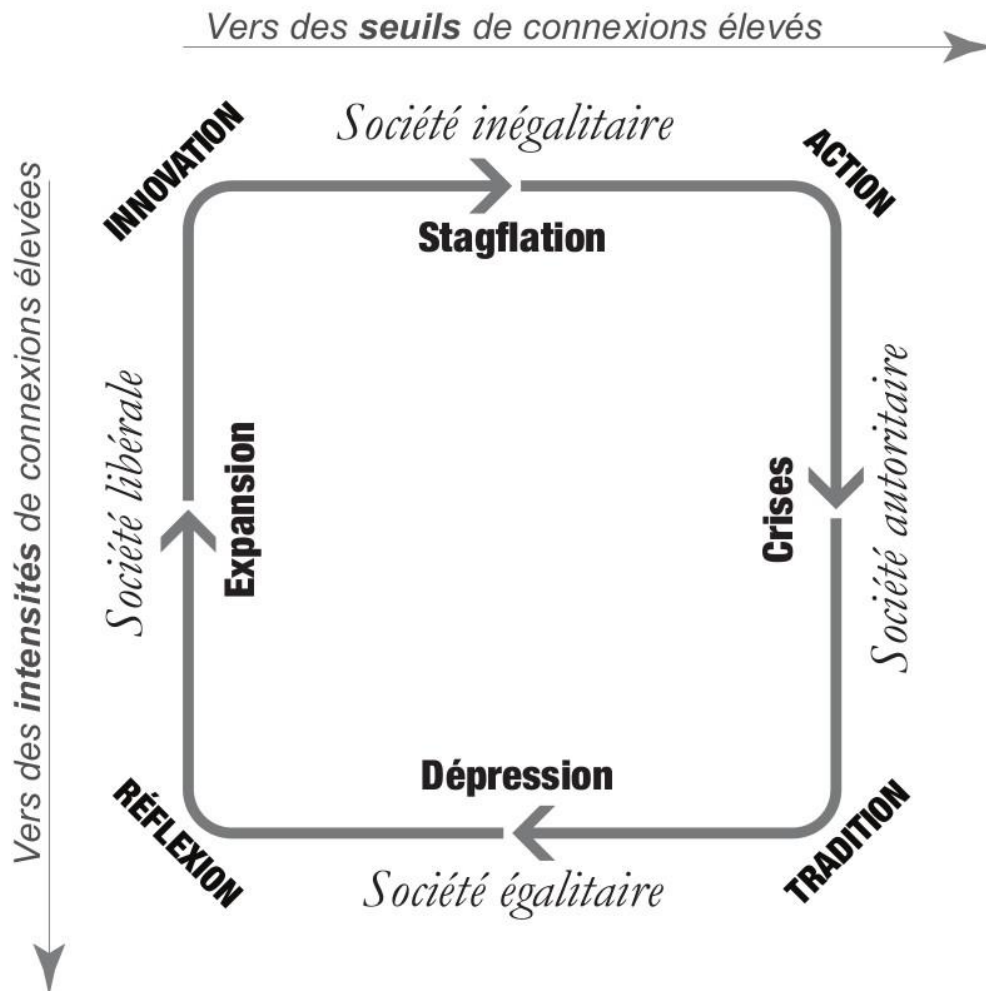
La hausse vertigineuse de la consommation de matières revêt bien un aspect entropique, au sens où l'avait déjà perçu Nicholas Georgescu-Roegen dans « La décroissance ». Il y indiquait que « dans tout système clos, la matière utilisable se dégrade irrévocablement en matière non-utilisable ». Le problème matériel est in fine plus prégnant que le problème énergétique qui bénéficie du flux solaire. Le territoire, et particulièrement en son sein la ville dense, est le réceptacle de cette question matérielle qui commence dans les mines et les puits, se poursuit en transport et transformation et se finit au sein des villes en déchets à recycler. Avec l'injonction de durer.

Jared Diamond dans « Effondrement » liste les problèmes auxquelles sont (ou ont été) confrontées les sociétés vis-à-vis de leur environnement. Nombre sont anciens et ont provoqué des effondrements locaux décrits dans le livre (Ile de Pâques, Vikings du Groenland, les Mayas...). Mais de nouveaux problèmes apparaissent sous la forme de plafonds (énergie, photosynthèse, eau douce) ou d'altérations globales (produits chimiques, biodiversité) rendant aussi les anciens risques beaucoup plus opérants. Il insiste aussi sur la particularité moderne : il n'y a plus vraiment d'effondrement local. Tout problème local se diffuse désormais à l'échelle internationale, se résolvant grâce à lui ou le contaminant au contraire. Le risque est bien devenu global.

François Roddier¹⁶, quant à lui, décrit le système économique sous un angle thermodynamique et le compare aux réseaux neuronaux. Selon lui, des cycles viennent réguler le système suivant s'il consomme trop d'énergie ou pas assez pour sa taille. L'information qui circule est importante. En ce moment, elle a un seuil de connexion élevé (l'Homme augmenté et connecté...) mais une intensité

¹⁶ <http://www.francois-roddier.fr/>

faible. C'est le début de la phase de crise. Il représente ce cycle par le graphe suivant. La crise peut se transformer en effondrement s'il y a réduction démographique et/ou scission géographique. Ce schéma peut par exemple s'appliquer à l'Empire romain : stagflation sous le Haut Empire avec esclavage important, crise sous le Bas Empire avec effondrement final, dépression au début du Moyen-Age sous un angle plus local et égalitaire.



L'entropie apparaît en tout cas avoir franchi un niveau décisif et toute la question, tant au niveau mondial qu'au niveau local, est de savoir comment prendre en compte ce saut qualitatif qui commanderait d'ajuster nos valeurs et l'éthique. La notion d'empreinte écologique déjà citée n'est en fait qu'une démonstration de cette accélération entropique, pilotée par le local mais avec un effet mondial.

Ville et territoire même combat sur le sujet. La ville dense avait déjà l'habitude d'une irrigation matérielle. Mais le moindre morceau de territoire est désormais irrigué par un flux matériel et informationnel mondial, rendant la distinction entre ville et campagne délicate, si ce n'est dans la capacité à mobiliser les réseaux et à se positionner au centre de ceux-ci. Quel est le contrat tacite qui régit les relations d'une ville à son territoire élargi dans ce contexte ? La ville est-elle ce qui attire

économiquement les flux avant de les redistribuer matériellement sur le territoire ? Est-elle une simple survivance historique ? Qui doit se confronter au contexte entropique : la ville en tant que creuset de décideurs ? Le territoire en tant que principal consommateur in fine ?

b) Résilience

En résumé, la ville est le sommet d'un territoire désormais mondialisé au moment où le monde est confronté à ses limites. En analogie organique, elle pourrait se concevoir comme le cerveau brillant d'un corps obèse dépendant de multiples aides. Comme le cerveau, elle sait s'approprier les ressources nécessaires sans être pour autant la partie qui consomme le plus. Mais l'obésité globale reste le problème majeur si les ressources viennent à manquer. Dans les camps de concentration, les arrivants trop gros mourraient en premier, avant les plus maigres, car structurellement ils ne pouvaient pas s'adapter à la baisse de régime.

« En géographie et en aménagement, la notion de résilience désigne la capacité des villes à limiter les effets des catastrophes et à retrouver rapidement un fonctionnement normal » (Wikipedia). Dans le contexte entropique, quelle est la façon de viser une bonne résilience ?

Lors des attentats de 2015 à Paris, la résilience s'est appuyée sur les réseaux afin de surmonter l'effet. Il était important de ne pas se sentir isolé internationalement. Dans différents domaines, nombreux sont ceux qui insistent sur cet aspect des réseaux pour augmenter la résilience. La résilience viendrait de la capacité à mobiliser les ressources extérieures.

Cependant, dans un contexte de forte entropie, cet extérieur est-il si fiable ? Ce raisonnement tient-il bien compte de cette notion d'entropie ? La phase dépressive, signalée par François Rodier (cf supra), est-elle compatible avec de grandes agglomérations ?

Si l'on reste dans l'analogie corporelle, la ville ne devrait-elle pas animer un territoire léger et souple, capable de s'adapter à de nombreuses conditions ? Sortir de la logique uniformisante des filières pour retrouver un métabolisme local plus complet ? Tout en restant connectée, gérer des réseaux capables d'autonomie ?

Sans doute, la voie se situe-t-elle entre les deux, entre connexion et autonomie. Tout excès de l'un ou l'autre est dommageable, mais avec une temporalité différente (à court terme il vaut mieux être connecté et à moyen terme autonome).

c) Valorisation

La monnaie joue un rôle ambigu dans ce grand théâtre d'opérations. N'ayant plus vraiment de limitation depuis la sortie du dollar du système de Bretton-Woods, elle constitue un rouage économique essentiel de l'entropie matérielle. Le découplage entre richesse et matériel est bien avancé. L'instrument monétaire joue pour lui-même et n'apparaît plus guère en capacité de vouloir gérer les problèmes d'entropie et de flux matériel. Il se contente de les représenter en chiffres abstraits : ce sont des milliards d'euros ou de dollars qui dansent sous nos yeux comme si la capacité humaine se limitait à eux.

La monnaie se révèle à l'image de la ville : elle a été conçue pour faire de la néguentropie, pour remettre localement de l'ordre au sein d'un monde soumis à la thermodynamique. La ville comme la monnaie ont dépassé leur rôle, négligeant de constater que l'entropie générée à l'extérieur venait menacer le système dans son ensemble. Le territoire a suivi la ville dans cette logique, il s'est ordonné,

connecté. La réalité matérielle le rattrapera, lui comme la ville, tout autant qu'elle a rattrapé Rome ou Angkor. C'est une certitude physique. La seule question est : quand ?

Sources principales

Atlas mondial des matières premières

Bernadette Mérenne-Schoumaker, Editions Autrement 2015

www.materialflows.net

Site permettant de visualiser en graphes ou cartes les flux de matières premières au niveau étatique et mondial.

Commissariat général au développement durable

<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/s/gestion-utilisation-ressources.html>

Portail sur la gestion des ressources, la comptabilité des flux de matières aux niveaux international, national et local.

<https://metabolismofcities.org/>

Site recensant des documents et études sur le métabolisme urbain.

Union européenne

Sur Eurostat (eurostat.eu) sont disponibles des données de comptabilité de flux de matières.

Par ailleurs, l'UE a financé la constitution de plusieurs bases de données sur la question, dont Exiobase (<http://www.exiobase.eu/>) avec une publication dotée de nombreux graphiques, Eora (<http://www.worldmrio.com/>), Wiod (<http://www.wiod.org/home>)

Anthropologues, historiens, : David Graeber, Jared Diamond, Paul Veyne, Lewis Mumford,...

Soutien et conseils

Le groupement centralien « Ingénieur et développement durable », avec notamment Marc Darras, Jacques Millery, Christian Platevoedt,...

Sabine Barles, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Jean-Pierre Maugendre, délégué au développement durable – Suez Environnement.