

Florent Guillard

Promoteur : Simon Blanckaert

Urbanisme Symbiotique : Entre écologie biologique et écologie urbaine

Approche (éco)systémique des réseaux de symbiose urbaine



FACULTÉ D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME – UMONS

Urbanisme Symbiotique : Entre écologie biologique et écologie urbaine

Approche (éco)systémique des réseaux de symbiose urbaine

Nom et Prénom : GUILLARD Florent

Année académique : 2020-2021

Promoteurs : BLANCKAERT Simon
(Paysagiste DPLG – Doctorant, chargé d'enseignement et de recherche à la FA+U)

Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme d'architecte.

Page signalétique

Titre de l'ouvrage :

Urbanisme Symbiotique : Entre écologie biologique et écologie urbaine

Approche (éco)systémique des réseaux de symbiose urbaine

Nom et prénom de l'auteur : **GUILLARD Florent**

Rendu le 04 janvier 2021

Notation du texte écrit :

Remarques :

Remercîments

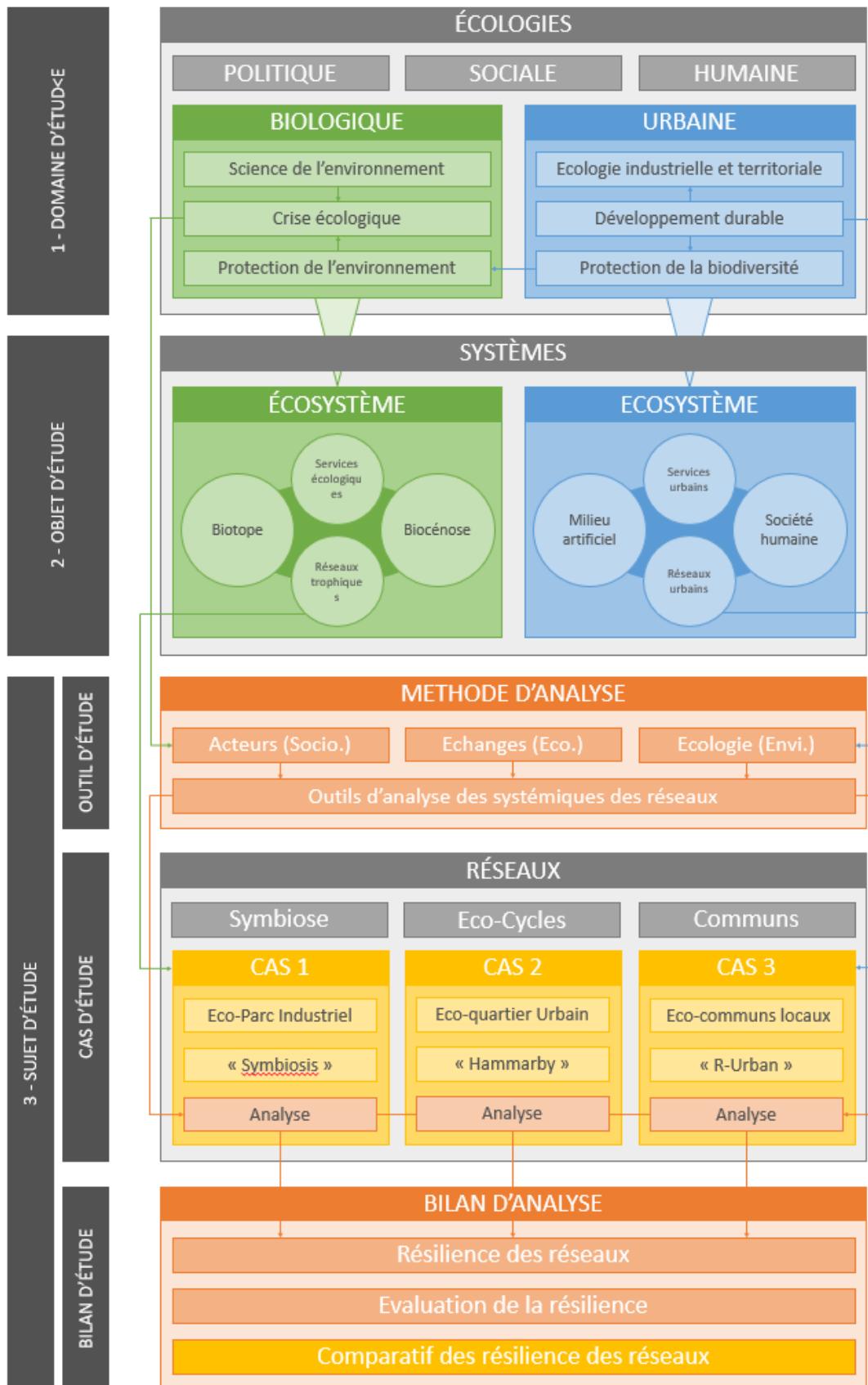
Je tiens à remercier avant tout Monsieur Blanckaert Simon, paysagiste et doctorant chargé de cours à la Faculté d'Architecture et d'Urbanisme de l'UMons, promoteur de ce travail. Merci pour le temps et l'intérêt portez pour ce sujet, vous avez su trouver les conseils adéquats pour m'aiguiller dans se travail, et ce malgré la distance et la situation si compliquée de cette année.

J'aimerais aussi remercier l'ensemble des membres de l'UMons et plus particulièrement de la faculté d'architecture et d'urbanisme pour ces cinq années riches en apprentissages et nouvelles connaissances.

Je souhaiterais aussi remercier toutes les personnes qui m'ont aidé et conseillé dans la rédaction de ce mémoire, je pense notamment à Tinhinane Hessani et surtout Anaïs Mane-Mendy qui m'ont été d'un grand soutien.

Enfin, j'aimerais remercier ma famille, pour m'avoir offert la chance de poursuivre ces études qui me tenaient tant à cœur, et malgré le besoin de quitter mon pays natal, la Bretagne. Et plus particulièrement merci à mère qui a pris le temps de relire ce travail.

Méthodologie



SOMMAIRE

Page titre	p.03
Page signalétique	p.05
Remercîments	p.07
Méthodologie	p.09
SOMMAIRE	p.11
INTRODUCTION	p.15
CHAPITRE 1 : DOMAINE D'ÉTUDE (ÉCOLOGIES)	p.17
1. NOTION D'ÉCOLOGIE	p.17
1.1. Un enjeu environnemental et urbain	p.17
1.1.1. Chiffre clés	p.17
1.1.2. Artificialisation des sols	p.18
1.1.3. Fragmentation écologique	p.19
1.1.4. Ilot de chaleur urbain	p.20
1.2. Différentes notions	p.21
1.2.1. Ecologie politique	p.21
1.2.2. Ecologie sociale	p.22
1.2.3. Ecologie humaine	p.23
2. ÉCOLOGIE BIOLOGIQUE	p.24
2.1. Ecologie scientifique	p.24
2.1.1. Définition et notions	p.24
2.1.2. Niveaux d'organisations	p.25
2.1.3. Subdivisions	p.26
2.2. Crise écologique	p.27
2.2.1. Destruction des habitats	p.27
2.2.2. Surexploitation de la biodiversité	p.28
2.2.3. Pollutions	p.29
2.2.4. Changements climatiques	p.31
2.2.5. Extinction de l'Holocène	p.33
2.3. Protection de l'environnement	p.33
2.3.1. Coalitions gouvernementales	p.33
2.3.2. Indicateurs environnementaux	p.35
2.3.3. Dette écologique	p.38
2.3.4. Limites planétaires	p.39
3. ÉCOLOGIE URBAINE	p.42
3.1. Origine et principes	p.42
3.1.1. Définition et notions	p.42
3.1.2. Ecole de Chicago	p.43

3.1.3. Ecole de Bruxelles	p.44
3.1.4. Principes actuels	p.45
3.1.5. Urbanisme durable	p.46
3.2. Enjeux et notions connexes	p.48
3.2.1. Développement durable	p.48
3.2.2. Ecologie industrielle	p.49
3.2.3. Ecologie territoriale	p.51
3.2.4. Bioéconomie	p.53
3.3. Impacts environnementaux	p.54
3.3.1. Coefficient de biotope	p.54
3.3.2. Indicateurs de biodiversité urbaine	p.55
3.3.3. Organisations internationales	p.57
3.3.4. Objectifs du développement durable	p.59

CHAPITRE 2 : OBJET D'ÉTUDE (SYSTÈMES)

p.61

1. SYSTÈME NATUREL	p.61
1.1. Ecosystème naturel	p.61
1.1.1. Définition et notions	p.61
1.1.2. Echelle du vivant et unités écologiques	p.62
1.1.3. Succession écologique et climax	p.62
1.1.4. Facteurs écosystémiques	p.63
1.1.5. Services écosystémiques	p.64
1.2. Biotope	p.65
1.2.1. Environnement	p.65
1.2.2. Cycles biogéochimiques	p.66
1.2.3. Système climatique	p.67
1.2.4. Habitat naturel	p.69
1.3. Biocénose	p.70
1.3.1. Espèce, population et communauté	p.70
1.3.2. Biodiversité et classification des organismes	p.71
1.3.3. Structure spatiale	p.73
1.3.4. Interactions écologiques	p.74
1.4. Réseau trophique	p.76
1.4.1. Biomasse et énergie	p.76
1.4.2. Chaîne alimentaire	p.77
1.4.3. Pyramide et niveaux trophiques	p.77
1.4.4. Relations de contrôle	p.79
1.4.5. Système du réseau	p.79
2. SYSTÈME URBAIN	p.82
2.1. Ecosystème artificiel	p.82
2.1.1. Définition et notions	p.82
2.1.2. Ville soutenable	p.84

2.1.3. Ville résiliente	p.85
2.1.4. Permaculture	p.88
2.1.5. Services écosystémiques urbains	p.89
2.2. Milieu urbain	
2.2.1. Territoire artificiel	p.91
2.2.2. Renouvellement urbain	p.93
2.2.3. Métabolisme urbain	p.95
2.2.4. Economie circulaire	p.97
2.3. Communauté urbaine	
2.3.1. Société humaine	p.98
2.3.2. Biodiversité urbaine	p.100
2.4. Réseau urbain	
2.4.1. Réseau social et de gouvernance	p.101
2.4.2. Réseaux et trames écologiques	p.103

CHAPITRE 3 : SUJET D'ÉTUDE (RÉSEAUX)

p.105

1. METHODOLOGIE D'ANALYSE	
1.1. Démarche	
1.1.1. Objectif de l'analyse	p.105
1.1.2. Processus de l'analyse	p.105
1.2. Mise en œuvre	
1.2.1. Choix des études de cas	p.106
1.2.2. Systémique des réseaux	p.107
2. ANALYSE DES RÉSEAUX	
2.1. Eco-parc « Symbiosis » de Kalundborg	
2.1.1. La synergie industrielle	p.108
2.1.2. Contexte et historique	p.109
2.1.3. Principe et fonctionnement	p.110
2.1.4. Atouts et faiblesses	p.111
2.1.5. Analyse systémique	
a. Réseau d'acteurs	p.112
b. Réseau d'échanges	
c. Réseau écologique	
2.2. Eco-quartier « Hammarby » de Stockholm	
2.2.1. Le modèle « éco-cycle »	p.117
2.2.2. Contexte et historique	p.118
2.2.3. Principe et fonctionnement	p.119
2.2.4. Atouts et faiblesses	p.121
2.2.5. Analyse systémique	
a. Réseau d'acteurs	p.122
b. Réseau d'échanges	
c. Réseau écologique	

2.3. Eco-communs « R-Urban » de Colombes	p.127
2.3.1. Les communs urbains	p.127
2.3.2. Contexte et concept	p.128
a. Réseau d'unités	
b. Unité « AgroCité »	
c. Unité « RecycLab »	
d. Unité « EcoHab »	
2.3.3. Principe et fonctionnement	p.133
2.3.4. Atouts et faiblesses	p.135
2.3.5. Analyse systémique	p.137
a. Réseau d'acteurs	
b. Réseau d'échanges	
c. Réseau écologique	
3. BILAN D'ANALYSE	p.141
3.1. Résilience des réseaux	p.141
3.2. Evaluation de la résilience	p.141
3.3. Comparaison des réseaux	p.142
<u>CONCLUSION</u>	p.144
Bibliographie	p.146
Iconographie	p.165
Sources des annexes	p.174
<u>ANNEXES</u>	p.178

INTRODUCTION

Ce travail s'est fixé comme objectif de répondre à la question : **La symbiose des réseaux permet-elle de rendre les écosystèmes urbains plus résilient ?**

Les rapports scientifiques alarmant les décideurs, les politiciens et la population sur l'ampleur grandissante de la crise écologique atteignent aujourd'hui un nombre impressionnant, preuve de l'urgence qui nous fait face. Quand tous les voyants sont au rouge, il est indispensable de trouver des solutions concrètes pour enrayer les problèmes induit de l'humain et ses activités. Si tout n'est pas encore joué, la marge de manœuvre se réduit jour après jour et il devient essentiel de prendre conscience de la situations et d'initier des pratiques porteuses d'espoir, afin d'insuffler un changement suffisant pour que la Terre qui nous a vu grandir, puissent nous voir vieillir, nous et les générations qui nous suivront.

Sachant que la population mondiale avoisinera les 10 milliards en 2050 et que plus des $\frac{3}{4}$ d'entre eux vivront en ville, le rôle de l'architecte et de l'urbaniste est indissociable du mouvement de transition écologique déjà initié. La responsabilité des aménageurs du territoire est incontestable, notamment dû aux nombreux problèmes engendrés par le phénomène d'artificialisation des sols. Il est de notre devoir, en temps que dessinateur du paysage de changer de paradigme afin d'offrir une vision du milieu urbain plus en harmonie avec son environnement.

Depuis toujours ville et nature ont toujours été dissociés, en commençant au sein même des milieux anthroposés, par la différentiation de rural et d'urbain. Pourtant, chacun de ces territoires partage la même planète, les mêmes conditions de vie... Et encore bien d'autres similitudes. Si la notion d'écosystème à longtemps été réservé à la biologie et l'écologie, décrivant les milieux naturels et leurs interactions, il est pourtant tout aussi applicable aux milieux urbains. Le champs lexical de l'architecture utile d'ailleurs de plus en plus de termes décrivant habituellement les écosystèmes naturels, à commencé par la notion de résilience.

Ce mémoire se divisera donc en trois parties. Une première mettant en place le domaine d'étude du travail, celui de l'écologie. Il en définira ses applications à l'échelle globale, et ses appositions au domaine de l'urbanisme. Une seconde partie mettra en lumière les différents aspects des écosystèmes, qu'ils soient naturels ou artificiels. Enfin une troisième partie mettra en application les notions ainsi étudiées sur trois projets bâtisseurs de nouvelles utopies. Mettant en place des réseaux systémiques, calquant leurs interactions sur le fonctionnement de ceux des écosystèmes, ils offre une nouvelle vision du territoire urbain, plus connecté à son environnement.

L'analyse de ses projets d'un point de vue (éco)systémiques permettra de même en évidence les bénéfices de l'application des principes naturels à la composition urbaine ; et ce sur le plan environnementale, mais aussi sur le plan économique et social, comme l'exige le développement durable, moteur d'une conception résiliente, à la fois pour l'homme, ses activités et son environnement.

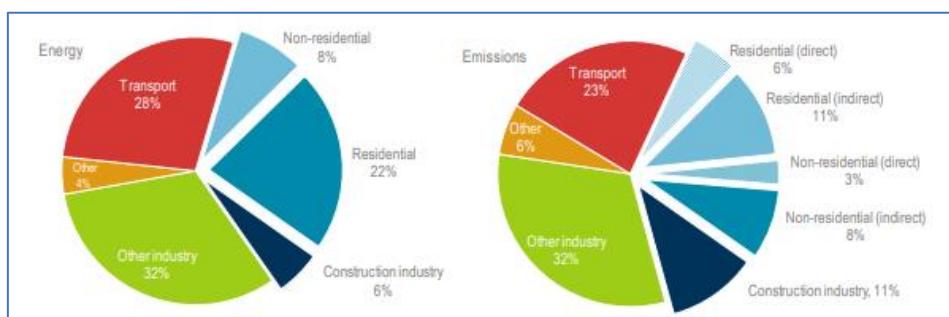
CHAPITRE 1 : DOMAINE D'ÉTUDE (ÉCOLOGIES)

1. NOTION D'ÉCOLOGIE

1.1 Un enjeu environnemental

1.1.1 Chiffres clés

Pour débuter ce travail, j'aimerais énoncer quelques chiffres sur le changement climatique. Le nombre d'espèce menacé d'extinction s'élève à plus d'1 million ; 50% des récifs coralliens ont disparu aux cours des 150 dernières années ; les émissions de gaz à effet de serre ont doublé depuis 1980¹ ; 15 milliards d'arbres sont perdus dans le monde chaque année ; 46% de la couverture forestière et 82% de la biomasse de mammifères sauvages ont disparu depuis la préhistoire ; 75% des écosystèmes terrestres et 40% des écosystèmes marins ont été dégradés²... Les conséquences pour l'humain sont toutes aussi alarmantes : 8,8 millions de personnes meurent chaque année à cause de la pollution de l'air³ ; 100 à 300 millions de personnes habitant en zones côtières sont considérées en milieu à risque accru⁴ ; plus de 250 millions de personnes deviendront des réfugiés climatiques d'ici 2050⁵. En cette période de crise sanitaire du Coronavirus, l'ONU[®] (Organisation des Nations Unies) a publié un rapport démontrant un lien direct entre les activités humaines et notre gestion de la biodiversité avec les risques épidémiologiques ; ils annoncent d'ailleurs que « des pandémies plus fréquentes, plus mortelles et plus coûteuses sont à prévoir »⁶.



¹ Ipbes. (2019) « Rapport de la Plénière de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques sur les travaux de sa septième session.».

² Ipbes. (2019) « Biodiversité changer ! Agir ! Les conclusions de la première évaluation intergouvernementale ».

³ ESC. (2020) « Perte d'espérance de vie due à la pollution atmosphérique par rapport à d'autres facteurs de risque : une perspective mondiale ».

⁴ Ibid. Source 1

⁵ ONU info. (en 2008) « Climat : 250 millions de nouveaux déplacés d'ici à 2050, selon HCR »

⁶ Ipbes. (s.d.) « Échapper à « l'ère des pandémies » : Les experts mettent en garde contre de pires crises à venir ; Options proposées pour réduire les risques.

39% des émissions de CO₂⁷. Si le béton était un pays, il représenterait le troisième plus gros pollueur mondial, le ciment produisant à lui seul 8% des émissions de CO₂ à l'échelle mondiale⁸.

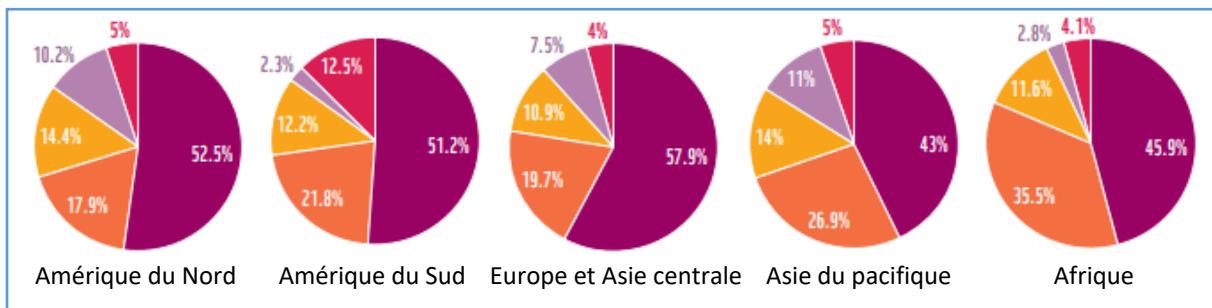


Figure 2 : Part des causes de la perte de biodiversité à travers le monde.

En effet, en fonction des régions du monde, le changement d'affectation des sols est responsable entre 43 et 58% de la perte de biodiversité. Comme défini par le WWF⁹, il se traduit par « la modification de l'environnement [...]. Les changements d'utilisation courants sont causés par l'agriculture non durable, l'exploitation forestière, le transport, le développement résidentiel ou commercial, la production d'énergie et l'exploitation minière »⁹.

1.1.2 Artificialisation des sols

Le développement résidentiel ou commercial, aussi appelé extension urbaine (ou étalement urbain), a donc de nombreux effets néfastes sur l'environnement ; en premier lieu on retrouve évidemment l'artificialisation des sols. En plus de la perte de biodiversité, ce phénomène a des conséquences sur le réchauffement climatique, la perte de productivité agricole, les risques d'inondations, ou encore l'amplification des fractures territoriales. Plus de 20 000 hectares sont artificialisés chaque année en France, ce qui se traduit par une augmentation quatre fois supérieure à celle de la population. En constante augmentation [annexe 1 : Surface imperméabilisées en métropole de 1981 à 2030], ce processus se défini par la transformation de sols naturels ou agricoles par des sols artificiels et donc (plus ou moins) imperméables, généralement pour des aménagements urbains ou de transports¹⁰.

⁷ Global Alliance for Buildings and Construction. (2018) : *Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*.

⁸ Up magazine (2019, 16 mai) « Emission de gaz à effet de serre : laisse béton »

⁹ WWF (en 2020) « Living Planet report 2020 », *Bending the curve of biodiversity loss*

¹⁰ Ministère de la transition écologique (consulté le 9 Novembre), *Artificialisation des sols*.

<https://www.ecologie.gouv.fr/artificialisation-des-sols>

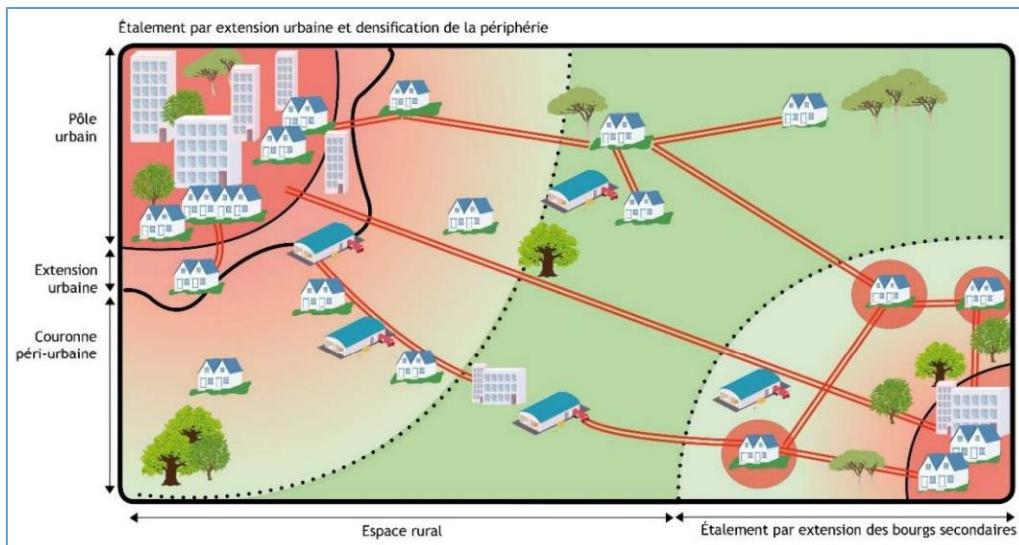


Figure 3 : Schéma de l'étalement urbain.

Depuis 2018, la France a mis en place l'objectif « Zéro artificialisation nette » qui vise à limiter le phénomène par la valorisation de l'intensification urbaine ou par compensation en renaturalisant l'équivalent des superficies consommées, et ce d'ici 2030. Cependant, cet objectif est loin d'être atteint. En effet, le rapport de Cerema¹¹ (Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement) sur la période 2009-2018, montre une hausse de l'artificialisation depuis 2016, principalement due au logement, et ne prévoit une réussite de l'objectif fixé que pour 2070¹². Et pourtant le besoin de logements n'est pas une excuse valable quand on sait que¹³ :

- 70 % de l'artificialisation se situe dans des zones sans tension sur le marché du logement.
- 40 % de l'artificialisation a lieu là où la vacance de logements augmente fortement.
- 20 % de l'artificialisation prend place dans des communes dont la population décroît.

1.1.3 Fragmentation écologique

L'étalement urbain conduit de plus à la fragmentation écologique, aussi appelée morcellement des écosystèmes. Cette notion désigne « tout phénomène artificiel de morcellement de l'espace susceptible d'empêcher une ou plusieurs espèces vivantes de se déplacer ou de se disperser comme elles le pourraient en l'absence de facteurs de fragmentation ». Cette modification des habitats n'implique pas seulement leur déstructuration mais aussi leur destruction, ce qui a de nombreuses conséquences¹³ :

¹¹ Cerema. « L'artificialisation et ses déterminants d'après les fichiers fonciers, période 2009-2018 » (en 2020)

¹² Commissariat général au développement durable. « Objectif zéro artificialisation nette, élément de diagnostic » (en 2018)

¹³ Frédérique GERBEAUD MAULIN. « La fragmentation des milieux naturels (en 2018).

- Remplace les milieux naturels par des milieux artificiels.
- Modifie la structure des habitats en affectant la connectivité écologique.
- Conduit à l'isolement écologique des milieux altérés par les activités humaines.
- Amène à l'insularisation des espèces et l'augmentation des risques d'extinction.

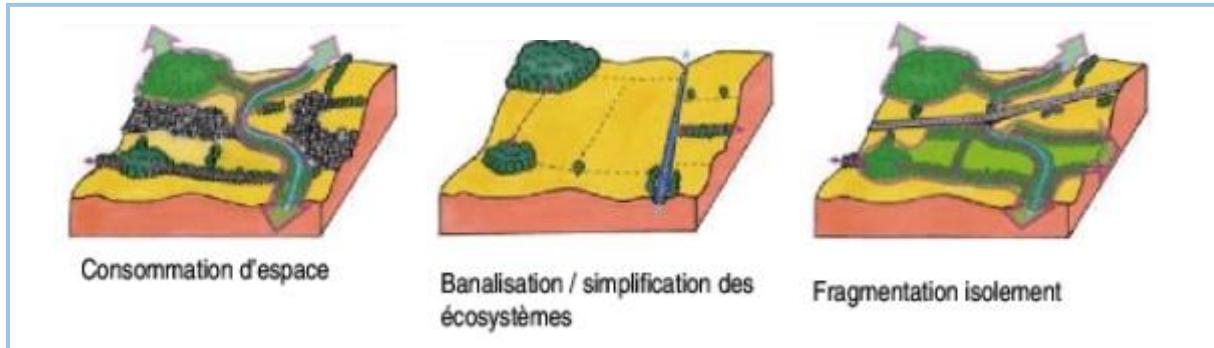


Figure 4 : Schéma de la fragmentation écologique

Afin de résoudre ce problème il est important de développer le phénomène inverse, c'est-à-dire la connectivité écologique. Elle désigne la connexion fonctionnelle, nécessaire au fonctionnement et à la résilience, qui relie différents milieux naturels entre eux. Ainsi la connectivité augmente quand la fragmentation diminue, et inversement. Pour arriver à ce renversement, il est important de mettre en place des corridors écologiques, soit des structures spatiales et naturelles reliant différents habitats fragmentés¹⁴.

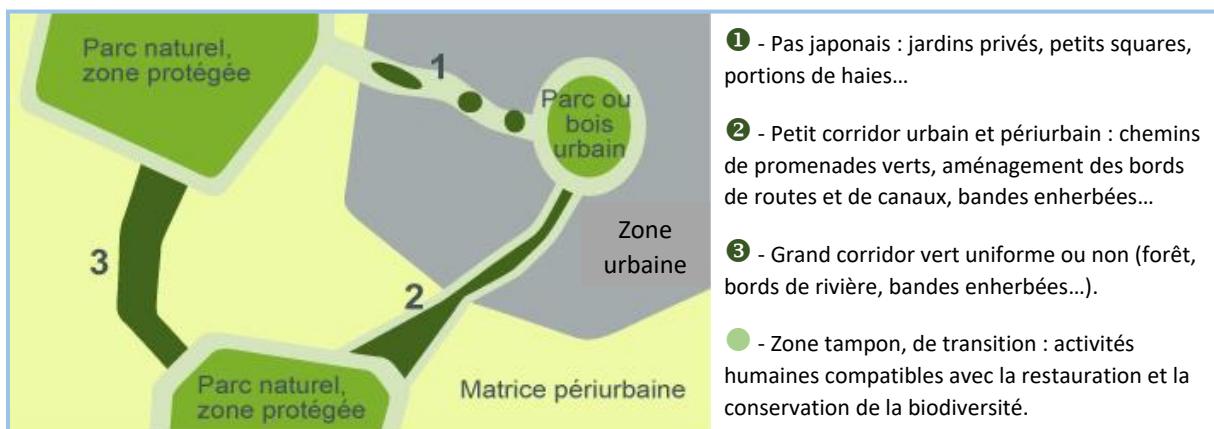


Figure 5 : Schéma du principe de corridors écologiques.

1.1.4 Ilot de chaleur urbain

L'extension urbaine et plus généralement l'urbanisation sont aussi à l'origine du principe d'**ilot de chaleur urbain**. Ce terme décrit le phénomène d'élévation de température inhérent au milieu urbain, en comparaison aux zones rurales ou naturelles. Ces microclimats artificiels sont principalement causés par les activités humaines, mais aussi par l'urbanisation et la modification des surfaces (matériaux plus sombres et absorbant la

¹⁴ NORPAC (consulté le 10 Novembre). « Dix principes et concepts essentiels en écologie ». <http://www.biodiversite-positive.fr/notion-de-connectivite-de-fragmentation/>

chaleur, manque de végétation et de point d'eau, morphologie de la ville...). L'élévation des températures se note principalement en surface durant la journée, mais aussi dans l'atmosphère, et plus particulièrement la nuit, quand les éléments urbains dégagent la chaleur emmagasinée dans la journée¹⁵.

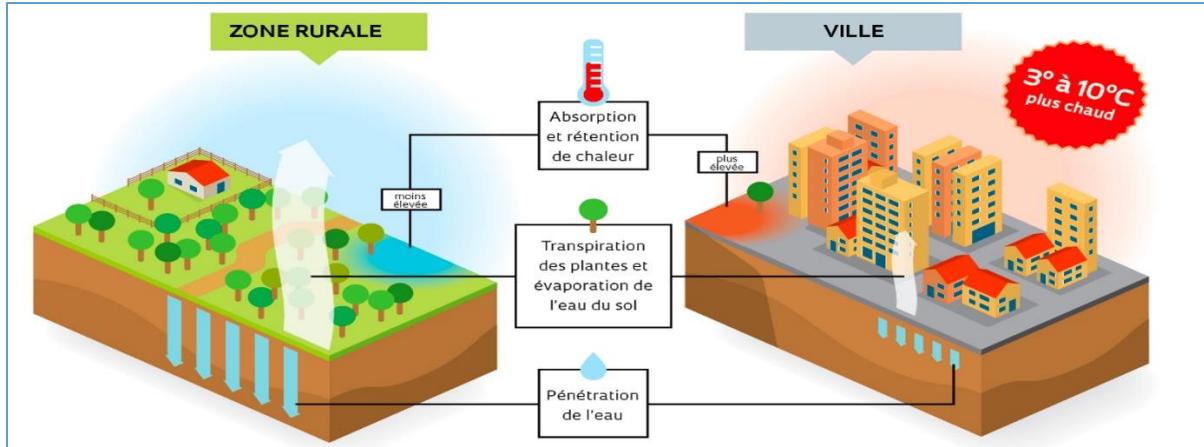


Figure 6 : Schéma du principe d'îlots de chaleur urbain.

L'augmentation de la population en ville et le réchauffement climatique vont inévitablement amener à aggraver ce phénomène. Les îlots de chaleur ont des conséquences néfastes sur les écosystèmes et le maintien de la biodiversité en ville entraîne aussi des effets sur la santé et le bien-être des habitants, sur la consommation énergétique des milieux urbains ou sur la résilience des infrastructures¹⁶.

Afin de contrer ce processus des solutions existent mais ne sont pas génériques, elles doivent obligatoirement s'adapter au contexte et au climat présent¹⁷ :

- Mieux penser l'aération des bâtiments, notamment par la bio-climatisation.
- Utiliser des matériaux moins capteurs de chaleur avec une meilleur albédo.
- Mettre plus de végétation et de zones humides pour contrer les températures.
- Optimiser l'organisation spatiale afin de désenclaver les flux de chaleurs.
- Repenser les activités humaines et notamment les modes de déplacement pour limiter la pollution en ville.

1.2 Différentes notions

1.2.1 Écologie politique

L'écologie est un terme pluridisciplinaire utilisée dans de nombreuses disciplines ; le plus souvent employé est celui d'écologie politique, un courant de pensée qui a émergé

¹⁵ Futura planète (consulté le 10 Novembre). « Ilot de chaleur urbain ». <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-ilot-chaleur-urbain-5473/>

¹⁶ Cerema (consulté le 10 Novembre). « Îlots de chaleur : Agir dans les territoires pour adapter les villes au changement climatique ». <https://www.cerema.fr/fr/actualites/ilots-chaleur-agir-territoires-adapter-villes-au-changement>

¹⁷ Institut d'aménagement et d'urbanisme (IAU). « Les îlots de chaleur urbains » (en 2010)

dans les années 70. Il met à l'honneur les enjeux écologiques et cherche à repenser le modèle socio-économique actuel pour être plus en phase avec notre environnement¹⁸.

Pas toujours pris au sérieux, les mouvements écologiques ne se résument pas des hippies amoureux de la nature ; ses courants sont aussi divers que variés, allant de l'écologisme profond (voir radical) à l'écologie sociale. L'écologie politique insiste sur la prise de conscience de notre environnement, des relations qui nous lient à lui, et de notre appartenance aux écosystèmes naturels. Il montre l'importance de sauvegarder notre habitat afin de pouvoir préserver nos conditions de vie ; et rappelle notre responsabilité dans les changements climatiques et les conséquences sur la biodiversité, dû à nos activités et notre gestion du vivant. Mettant l'accent sur la responsabilité collective plutôt que l'éthique individuelle, ce parti confronte les dérives du capitalisme et de l'industrie polluante avec les devoirs des politiques envers les générations futures¹⁹. C'est ce que défini la devise écologiste « autonomie, solidarité, responsabilité »²⁰.

Si aujourd'hui il n'existe plus de "climatosceptique" dans le monde scientifique, ce n'est pas toujours le cas dans la sphère politique. Le choix de nommer Scott Pruitt²¹ à l'APE[®] (Agence de Protection de l'Environnement) ou des allocutions sur le réchauffement climatique tel que « un canular entretenu par la Chine pour affaiblir l'économie américaine »²² fait de Donald Trump²³ le parfait exemple. Le parti Europe Ecologie Les Verts[®] a beau faire de plus en plus de partisans en Europe, notamment chez les jeunes (qui sont logiquement les plus touchés), il peine encore à crédibiliser son importance politique et l'urgence climatique. Aujourd'hui plus en vogue, comme le montrent les dernières élections communales en France, les résultats (autant dans les scores que dans les actions) ne sont pas toujours ceux escomptés, et poussent ses activistes à se tourner vers des mouvements plus radicaux tel qu'Extinction-Rébellion[®] (qui prône la désobéissance civile)²⁴.

1.2.2 Écologie sociale

Dans le domaine des sciences sociales et comportementales, l'écologie est un domaine qui (à l'image de l'écologie scientifique) étudie les relations entre les humains et leur environnement²⁵.

¹⁸ Wikipédia (consulté le 30 octobre). « Ecologie politique », https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cologie_politique

¹⁹ Jean Zin. « Ecologie et Politique », *Qu'est-ce l'écologie-politique ?* (en 2010) p.41 à p.49

²⁰ A. Lipietz, *Qu'est-ce que l'écologie politique ?* La Découverte, Paris, (en 1999), p. 40

²¹ Edward Scott Pruitt (1968) est un politicien américain du parti républicain, procureur général de l'Oklahoma depuis 2011 et administrateur de l'Agence de Protection de l'Environnement entre 2017 et 2018.

²² Stéphane LAUER, « Trump nomme un climatosceptique à l'agence de l'environnement » dans *Le Monde* (en 2016)

²³ Donald John Trump (1946) est homme d'affaires, animateur de télévision et politicien américain connu pour avoir été le 45^{ème} président des États-Unis entre 2017 et 2021.

²⁴ L'opinion, « Avec extinction rébellion, EELV joue au grand frère » (en 2019).

²⁵ Wikipédia (consulté le 30 octobre). « Ecologie sociale, domaine universitaire », [https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cologie_sociale_\(domaine_universitaire\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cologie_sociale_(domaine_universitaire))

Le terme est développé dans les années 60 par Murray Bookchin²⁶, qui présente les problèmes écologiques comme la résultante de problèmes sociaux, notamment les inégalités, les discriminations, et toutes autres formes de hiérarchie. Fondamentalement opposé au système capitaliste, il cherche à développer une société mettant l'accent sur le développement humain et les enjeux environnementaux. Pour lui, les problèmes de surexplorations, et plus généralement des interactions entre humains et nature sont principalement causés par les problèmes des relations entre humains eux-mêmes ; la volonté de dominer la nature résulte de la volonté de dominer l'autre. Cette vision humaniste exprime le besoin de résoudre les conflits sociaux, ce qui découlera naturellement (par un changement de la vision de notre société et de la place de l'Homme sur Terre) à la résolution des problèmes écologiques²⁷. Bookchin ne se contente pas de poser un problème, il s'est essayé à proposer un modèle basé sur la morale, la coopération, et la décentralisation : le communalisme. Une société imaginée comme une confédération de communes dirigée par ses citoyens sous la forme d'une démocratie directe²⁸.

Si cette théorie est aujourd'hui vieille de plus de 50ans, la similitude avec des mouvements actuels tel que le circuit court, la transition écologique, la décroissance, etc. est flagrante ; à chaque fois les aspirations sont communes, tournées vers la résilience et le durable (sociétale et/ou environnementale)²⁹.

1.2.3 Écologie humaine

D'un point de vue plus anthropocentrique, à la croisée de la biologie, de la sociologie et de la géographie, on retrouve l'écologie humaine. Cette discipline a pour objectif d'étudier l'humain, ses relations, ses activités, ses cultures et son environnement au sein de la biosphère³⁰.

Associée à l'histoire de l'humanité, cette démarche vise à percevoir l'humain à travers différentes époques et différents milieux. On différencie principalement trois écosystèmes anthropiques qui sont : l'écosystème urbain, l'écosystème rural et l'écosystème terrestre (éco-paysages). Elle s'attarde à étudier les relations humaines à l'intérieur et avec ses différents écosystèmes ; ainsi que ses activités et les conséquences qu'elles ont sur le plan naturaliste et sociétale. L'écologie humaine prend comme sujet principale l'homéostasie des différents biotopes de l'espèce humaine, afin de définir un cadre scientifique, autant sur les facteurs physiques, économiques, culturels, sociaux ou environnementaux. De la même manière que les biologistes étudient les écosystèmes naturels, ici, on cherche à comprendre les limites, les facteurs et les conditions de vie de l'espèce humaine dans son habitat.

²⁶ Murray Bookchin (1921-2006) est un militant, écrivain, sociologue et écologue américain connu pour être un penseur marquant de la "nouvelle gauche" et le fondateur de l'écologie sociale.

²⁷ Murray Bookchin. *Qu'est-ce que l'écologie sociale ?* (Lyon : Atelier de création libertaire, 2012)

²⁸ Antoine Lagneau. *Ecologie sociale et transition, entretien avec Vincent Gerber* (N°75 ? EN 2013° p.77 à p.85.

²⁹ Ibidem.

³⁰ Wikipédia (consulté le 30 octobre). « Ecologie humaine»

2. ÉCOLOGIE BIOLOGIQUE

2.1 Écologie scientifique

2.1.1 Définitions et notions

Principalement perçu comme un enjeu politique, un écogiste semble être un militant, votant pour les verts et rejoignant *Greta Thunberg*³¹ lors des marches pour le climat... Mais ce n'est pas que ça ! A la base, un écogiste, maintenant plus couramment appelé écologue (pour éviter toute confusion) est un scientifique, un chercheur en science environnementale, et plus particulièrement en écologie.

Mais alors, qu'est-ce que réellement l'écologie ? Issus du grec « oîkos », demeure, et « lógos », science, le terme se défini étymologiquement comme la science de l'habitat. Il est défini en 1866 par *Ernst Haeckel*³² dans son ouvrage *Morphologie générale des organismes*. Influencé par la théorie de l'évolution de *Charles Darwin*³³, il décrit le terme comme « la science qui étudie les rapports entre les organismes et le milieu où ils vivent ». Faisant partie intégrante de la science de l'environnement, il est important de préciser l'échelle d'étude de cette discipline afin de la différencier des autres sciences de la biologie³⁴. Quand la cytologie s'intéresse au vivant à l'échelle des cellules, et l'histologie ou l'anatomie à l'échelle des organismes ; l'écologie étudie la nature à l'échelle de l'écosystème : allant de l'individu à la biosphère. Ainsi, elle se différencie en cinq branches principales : l'écologie des individus (ou autécologie), l'écologie des populations (ou démécologie), et l'écologie des communautés (ou synécologie), l'écologie des paysages et l'écologie globale. Quand on sait que les êtres vivants, leurs milieux et les interactions qu'ils ont, forment un écosystème ; on peut donc aujourd'hui définir l'écologie comme la science qui étudie les écosystèmes³⁵.

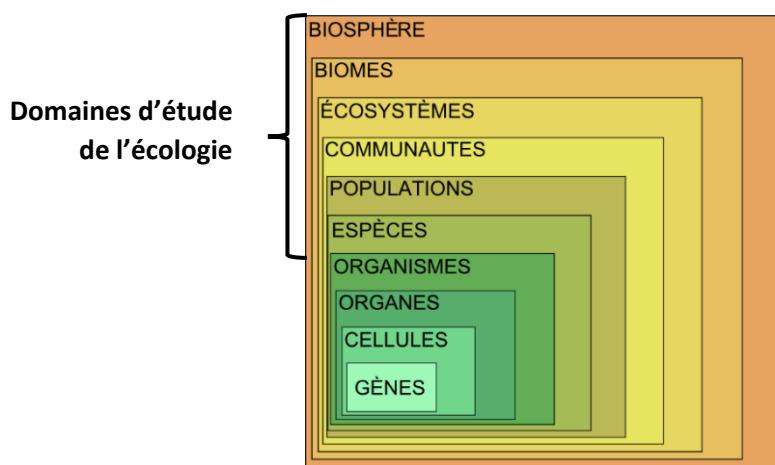


Figure 7 : Echelles d'application de l'écologie

³¹ Greta Tintin Eleonora Ernman Thunberg (2003) est une militante écogiste suédoise connue pour être à l'origine du mouvement *Fridays for Future* (copié en France et en Belgique par *Youth for Climate*).

³² Ernst Heinrich Philipp August Haeckel (1834-1919) est un philosophe, zoologiste et biologiste Allemand connu pour ses recherches en biologie moderne, notamment sur sa théorie des origines de l'être humain.

³³ Charles Robert Darwin (1809-1882) est un écrivain, géologue, éthologue, et botaniste britannique connu pour sa théorie de l'évolution et sa théorie sur la sélection naturelle.

³⁴ [http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/écologie/](http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/ecologie/)

³⁵ Wikipédia (consulté le 30 octobre). « Ecologie ».

2.1.2 Niveaux d'organisations (différentes échelles)

L'écologie est une science complexe qui cherche à comprendre le fonctionnement des écosystèmes, autrement dits des individus au sein de leurs milieux qui représentent un système naturel, soit un « ensemble d'éléments interactifs ». Cette science est donc systémique, allant jusqu'à l'étude du plus grand système connu sur Terre : la biosphère. Ainsi la complexité de ce dernier rend l'étude de cette discipline particulièrement compliquée et oblige les écologues à pratiquer l'échantillonnage ou la représentation afin de mener à bien leurs travaux³⁶. Dans cette mesure, et comme vue précédemment, l'écologie se divise en plusieurs niveaux d'organisation qui se différencient par leur échelle d'analyse :

- Ecologie des organismes (autécologie) : qui étudie les individus dans leurs milieux indépendamment les uns des autres. Elle vise à comprendre les mécanismes et fonctionnements d'un organisme par rapport à son habitat et les facteurs écologiques de ce biotope³⁷.
- Ecologie des populations (démécologie) : qui étudie les populations dans leurs milieux indépendamment des autres espèces. Elle vise à expliquer les variations d'abondance et de composition, ainsi que les caractéristiques (génétiques, comportementales, culturelles...) de celle-ci³⁸.
- Ecologie des communautés (synécologie) : qui étudie les rapports entre différentes espèces avec leurs milieux, et le fonctionnement du biotope dans lequel ils forment une communauté. Elle vise à mettre en évidence les fonctionnements, la structure, les équilibres et les limites d'un écosystème formés par leurs interactions.³⁹
- Ecologie des paysages : qui étudie les biocénoses dans leurs biotopes, autrement dit les écosystèmes, ainsi que les relations de ces derniers entre eux. Elle vise à percevoir les processus écologiques, les variations spatiales, et les causes de l'hétérogénéité des différents paysages ; et ce à plusieurs échelles⁴⁰.
- Ecologie globale : qui étudie la relation qu'entretient le vivant entre les différents individus au sein de leur environnement à l'échelle mondiale. Elle vise à déterminer les interactions entre tous les écosystèmes de la Terre (terrestres, marins, atmosphériques...). Elle permet de comprendre les relations à grandes échelles et à une utilité capitale dans la recherche sur le comportement de notre planète et les futurs changements climatiques⁴¹.

³⁶ Ibid. source 12

³⁷ EncycloEcolo, (consulté le 31 octobre). « Autécologie »

³⁸ Aquaportal (consulté le 31 octobre). « Démécologie »

³⁹ Aquaportal (consulté le 31 octobre). « Synécologie »

⁴⁰ Doc-développement durable, *Ecologie du paysage*

⁴¹ Aquaportal (consulté le 31 octobre). « écologie globale »

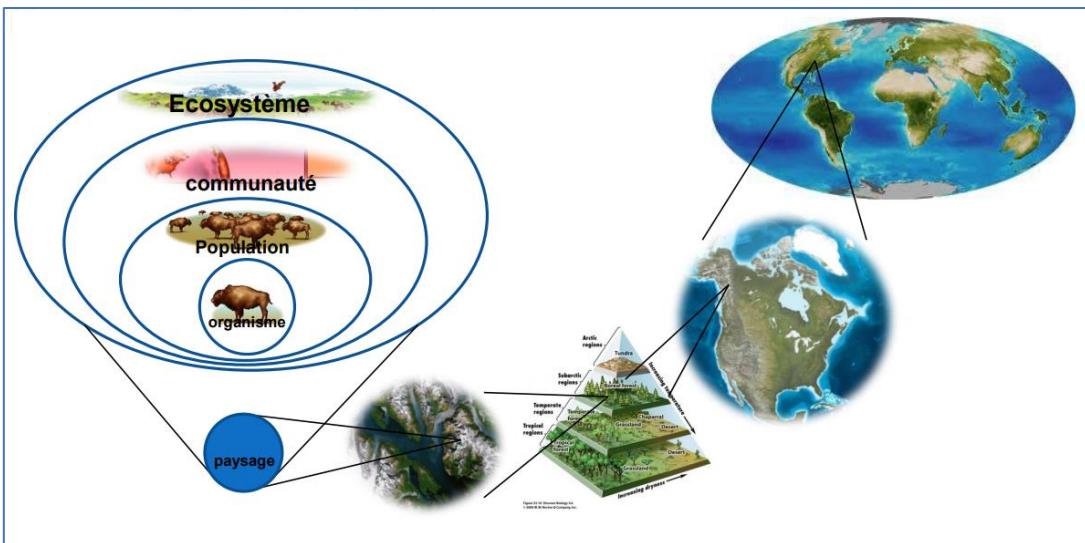


Figure 8 : Schéma de la notion de paysage en écologie.

2.1.3 Subdivisions (différentes approches)

L'écologie touche à de nombreux domaines tel que la biologie, la botanique, la zoologie, la chimie, la physique, la géographie, la géologie, la pédologie, la climatologie, l'histoire, les mathématiques, la génétique, la physiologie, l'éthologie, la taxonomie, la toxicologie ; mais aussi la technique, l'agriculture, l'architecture, l'urbanisme, la politique, l'économie, la médecine, les sciences sociales et comportementales et j'en passe. Ainsi, étant une discipline particulièrement vaste et diversifiée, avec le temps, des spécialisations dans son étude ont vu le jour. On dénombre principalement les subdivisions suivantes :

- L'écologie évolutive (éco-évolution) : qui étudie les individus sous l'angle de leur histoire évolutive, elle décrit spécifiquement la variabilité dans le temps des systèmes naturels selon des processus biodémographiques⁴². Issu de la théorie de la dynamique des populations et du processus de sélection naturel de Charles Darwin⁴³, l'écologie évolutive s'intéresse à capacité d'évolution et la faculté d'adaptation des individus à travers les contingences historiques⁴⁴.
- L'écologie fonctionnelle : qui étudie les rôles et fonctions des différents individus au sein de leur écosystème, elle détermine les causes ultimes et proximales de son fonctionnement et les règles de ses différentes interactions. Introduite par David Tilman⁴⁵, l'écologie fonctionnelle analyse « la dynamique de la biodiversité »⁴⁶ en classant, par approche calculatoire, les organismes en groupes fonctionnels afin de déterminer les flux de matière et d'énergie d'un réseau trophique⁴⁷.

⁴² Wikipédia (consulté le 31 octobre), « Ecologie évolutive ».

⁴³ Thierry Lodé, Manifeste pour une écologie évolutive : Darwin et après ?, Odile Jacob, 2014, 183 p.

⁴⁴ Thierry BOULINIER, *Fonctionnement et évolution des systèmes écologiques* (s.d.) l'écologie évolutive et l'évolution.

⁴⁵ George David Tilman (1949) est un écologue américain, professeur à l'université du Minnesota et de Santa Barbara (Californie), et directeur de la réserve scientifique de « Cedar Creek Ecosystem ».

⁴⁶ *L'écologie fonctionnelle pour comprendre la dynamique de la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes* (en 2014, 21 janvier), Sandra LAVOREL.

⁴⁷ Ibid. source 13

- L'écologie comportementale (écoéthologie) : qui étudie le comportement des espèces et ses conséquences sur leur évolution et leur fonctionnement dans leur écosystème⁴⁸. Introduite par John Krebs⁴⁹ et Nicholas Davies⁵⁰, elle traite de quelle manière les comportements de survie et de reproduction d'un individu dépendent de son environnement et de ses interactions avec les autres organismes de ce milieu. Cette discipline permet de décrire le « comportement optimal » d'une espèce en fonction des circonstances écologiques qui détermine son mode de vie⁵¹.
- L'écologie physiologique (écophysiologie) : qui étudie le fonctionnement d'un organisme en réponses aux contraintes et aux facteurs écologiques de son milieu. Notion introduite par les recherches de Ernst Stahl⁵², elle permet aujourd'hui de définir le « bilan énergétique » d'un individu ainsi que sa capacité d'adaptation à son environnement physico-chimique au cours de son cycle de vie⁵³.
- L'écologie toxicologique (écotoxicologie) : qui étudie les effets et les conséquences de polluants toxiques sur l'environnement et les perturbations engendrées sur les différents écosystèmes de la biosphère. Fondée par René Truhaut⁵⁴, elle cherche à connaitre le danger d'une substance et sa probabilité d'exposition d'un milieu à celle-ci⁵⁵. Ainsi, elle permet d'évaluer les circonstances selon lesquelles les toxines sont introduites et circulent dans la nature (ou les êtres vivants) ; dans un but de prévention, de prévision, de surveillance et lutte contre ses dernières⁵⁶.

2.2 Crise écologique

2.2.1 Destruction des habitats

La perte de la biodiversité est principalement causée par la détérioration des habitats. Cette problématique est notamment dû à l'artificialisation des sols et la transformation des milieux naturels et zone de culture. En effet, la moitié de l'expansion agricole se fait au détriment des milieux forestier⁵⁷. On compte plus de 16 millions d'hectares perdu par an dans les années 90 et plus de 13 millions par an au cours des années 2000. En 2010, seul 12% de la superficie des forêts servait au maintien de la biodiversité, contre 54% pour la production de bois et autres usages pour l'humain⁵⁸. En moins d'un

⁴⁸ Etienne Danchin (en 2005), *Ecologie comportementale*.

⁴⁹ John Richard Krebs (1945) est un zoologiste anglais, président de la « British Science Association » entre 2012 et 2013, connu pour ses recherches en écologie comportementale.

⁵⁰ Nicholas Barry Davies (1952) est un naturaliste et zoologiste britannique, professeur à l'Université de Cambridge, connu pour ses recherches en écologie comportementale.

⁵¹ Wikipédia (consulté le 31 octobre). « Ecologie comportementale ».

⁵² Georg Ernst Stahl (1659-1734) est un médecin et chimiste allemand, professeur à l'université de Halle en 1693, connu pour sa théorie sur l'animisme qui en a fait un précurseur du vitalisme médical.

⁵³ Ibid. Source 12

⁵⁴ René Truhaut (1909-1994) est un toxicologue français, connu pour avoir développé l'écotoxicologie et le principe de « dose journalière admissible » en médecine.

⁵⁵ Wikipédia (consulté le 2 Novembre), « Ecotoxicologie ».

⁵⁶ François RAMADE (consulté le 2 novembre) ÉCOTOXICOLOGIE, Encyclopædia Universalis

⁵⁷ Ibid. source 1

⁵⁸ Etude FAO : Forêt, (en 2010). *Evaluation des ressources forestières mondiales 2010*. <http://www.fao.org/3/i1757f/i1757f.pdf>

siècle, 80% des forêts primaires ont été abattues, et les forêts dites secondaires comportent à minima cinq fois moins d'espèces végétales⁵⁹.

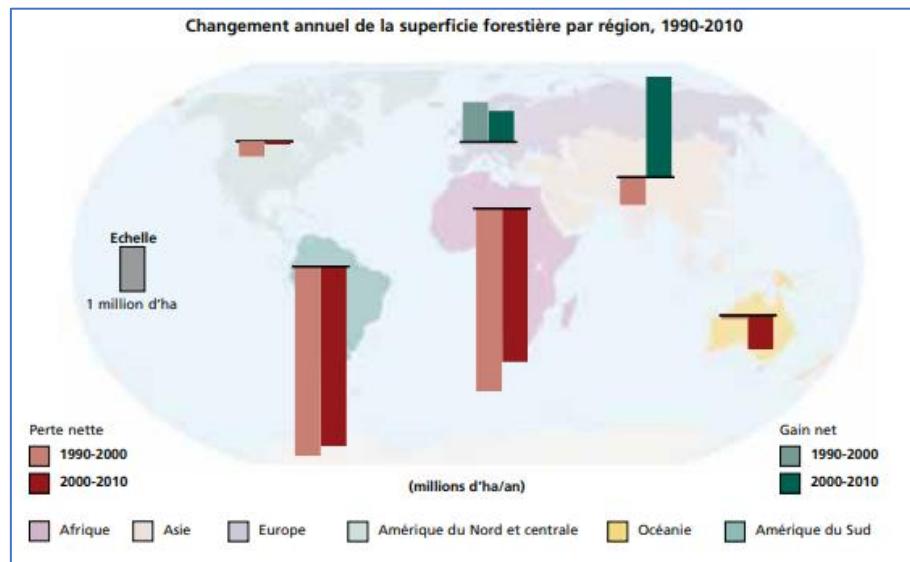


Figure 9 : Changement annuel de la superficie forestière

En ce qui concerne l'artificialisation, on constate que les zones urbaines mondiales ont plus que doublées depuis 1992⁶⁰. En 2015, la France a encore artificialisée plus de 5,4% de son territoire alors que les conséquences sont déjà bien connues. Cette pratique crée des problèmes majeurs tel que l'imperméabilisation des sols (avec l'augmentation des risques d'inondations), augmente le réchauffement climatique, menace la biodiversité, et même affecte la qualité de vie des habitants par phénomène d'étalement urbain⁶¹. A cela s'ajoute des complications tel que la fragmentation des habitats qui, par perte de diversité génétiques et par isolement des populations, agrave d'autant plus l'altération de la biodiversité⁶². Un problème qui n'est pas près de s'estomper quand on sait que plus de 25 millions de kilomètres de routes goudronnées sont prévues d'ici 2050⁶³.

2.2.2 Surexploitation de la biodiversité

Bien qu'ils soient en décroissance rapide, les écosystèmes naturels (et même semi-naturels) jouent un rôle majeur dans le fonctionnement de la biosphère et sur le maintien de la biodiversité. C'est le cas notamment des écosystèmes marins, forestiers ou même les agroécosystèmes qui sont particulièrement riches en ressources naturelles ; et donc

⁵⁹ GEO. « Les forêts primaires, des écosystèmes en voie d'extinction » (en 2017)

⁶⁰ Ibid. source 1

⁶¹ INSEE, (en 2020). *Indicateurs de richesse nationale*.

⁶² SFE, de Anne.T (consulté le 2 Novembre) « R6 : La fragmentation des habitats, J.Thompson et O. Ronce».

<https://www.sfecologie.org/regard/regards-6-thompson-ronce/>

⁶³ Ibid. source 1

particulièrement exploités et dégradés⁶⁴ [annexe 2 : Intervention de l'Homme sur les écosystèmes].

En ce qui concerne les milieux aquatiques, les conséquences des activités humaines y sont particulièrement alarmantes. Nous avons déjà énoncé plus tôt l'état actuel des récifs coraliens, mais les prédictions futures ne sont pas plus rassurantes. 1/3 des récifs actuels sont menacés ; et pourtant ils représentent plus de 25% de la vie marine pour moins de 0,25% de l'environnement marin⁶⁵. Le futur projet de Carmichael en Australie (l'une des plus grandes mines de charbon au monde) prévoit la production d'1 tonne de charbon par seconde, afin d'être ensuite exportée vers l'Inde. Sans compter la rupture politique avec les accords de la COP21, les tonnes de Co2 produites par la production, le transport et l'exploitation de cette ressource, ni même la déforestation massive et les risques d'extinctions des espèces présentes ; le charbon sera acheminé par bateaux en passant quotidiennement juste au-dessus de la Grande Barrière de Corail (patrimoine mondiale à l'UNESCO⁶⁶), soit le plus grand récif corallien au monde⁶⁷. En ce qui concerne les animaux, le bilan n'est pas plus réjouissant, 39% des mammifères marins sont en voie d'extinction et 33% de la pêche mondiale (en 2011) est considérée comme surexploitée ou illicite. Quand on sait que 50% des écosystèmes d'eau douce et 40% des écosystèmes marins sont considérés comme dégradés alors que 60% des émissions humaines de carbone sont captées par les milieux naturels, on comprend bien que les conséquences de nos activités peuvent être dramatiques⁶⁸.

Sur le continent c'est encore pire, la biodiversité fond à vue d'œil : 1 espèce (végétale ou animal) disparaît en moyenne toutes les 20 minutes. 23% des terres ont connu une perte de productivité suite à la dégradation des sols alors que 33% de la surface terrestre mondiale est destinée à la culture ou l'élevage. On sait que la production de bois brut a augmenté de 45% depuis 1970, et on estime qu'entre 10 et 15% de cette production est d'origine illégale⁶⁹. Quand on sait que 80% de la biomasse des insectes a déjà disparu en Europe et que 75% des cultures vivrières mondiales dépendent de la pollinisation par les animaux, il est difficile à croire que la France vient de réintroduire l'utilisation de néonicotinoïdes (insecticides touchants entre autres les abeilles) pour les cultures de betteraves touchées par la jaunisse (sachant que la production bio n'est pas touchée par cette maladie) pourtant interdite depuis 2016⁷⁰.

2.2.3 Pollutions

⁶⁴ Ibid. Source 12

⁶⁵ WWF, (consulté le 2 Novembre) « Coraux, joyaux des océans »

⁶⁶ Sur le front des océans – Hugo Clément 10-11

⁶⁷ Ibid. source 2

⁶⁸ Ibid. source 1

⁶⁹ Basta radicalement indépendant, (consulté le 2 Novembre) « Retour des insecticides « tueurs d'abeilles » : le gouvernement a ouvert une boîte de pandore » <https://www.bastamag.net/Insecticides-tueurs-abeilles-neonicotinoïdes-pesticides-derogation-denormandie-pompili-lobby-fnsea-betterave-biodiversité>

La pollution est l'altération d'un milieu naturel, généralement humaine, par la mise en circulation de substances toxiques qui altèrent le bon fonctionnement et l'équilibre de cet écosystème⁷⁰. Elle a des effets néfastes sur la biosphère en entraînant le réchauffement climatique, l'érosion de la biodiversité, la migration et l'extinction d'espèces, ainsi que l'apparition de nouvelles maladies. L'OMS[®] (Organisation Mondiale de la Santé) estime que plus de 7 millions de personnes sont mortes prématurément dû à la pollution de l'air, un chiffre qui ne devrait pas diminuer de sitôt quand on sait que 9 personnes sur 10 respirent un air pollué⁷¹. Cette introduction est d'autant plus dramatique selon la dangerosité du polluant qui se caractérise par sa persistance, sa toxicité, sa concentration et sa possibilité de traitement ; d'autant plus que le fonctionnement des écosystèmes accroît la diffusion de celui-ci, notamment par la bioaccumulation, le transport atmosphérique ou les réseaux trophiques⁷².

Les sources de pollution sont nombreuses et diverses, en France elles se divisent principalement en 7 activités : le transport, le résidentiel, le tertiaire, l'industrie, l'agriculture, les activités domestiques, la production d'énergie et les déchets⁷³.

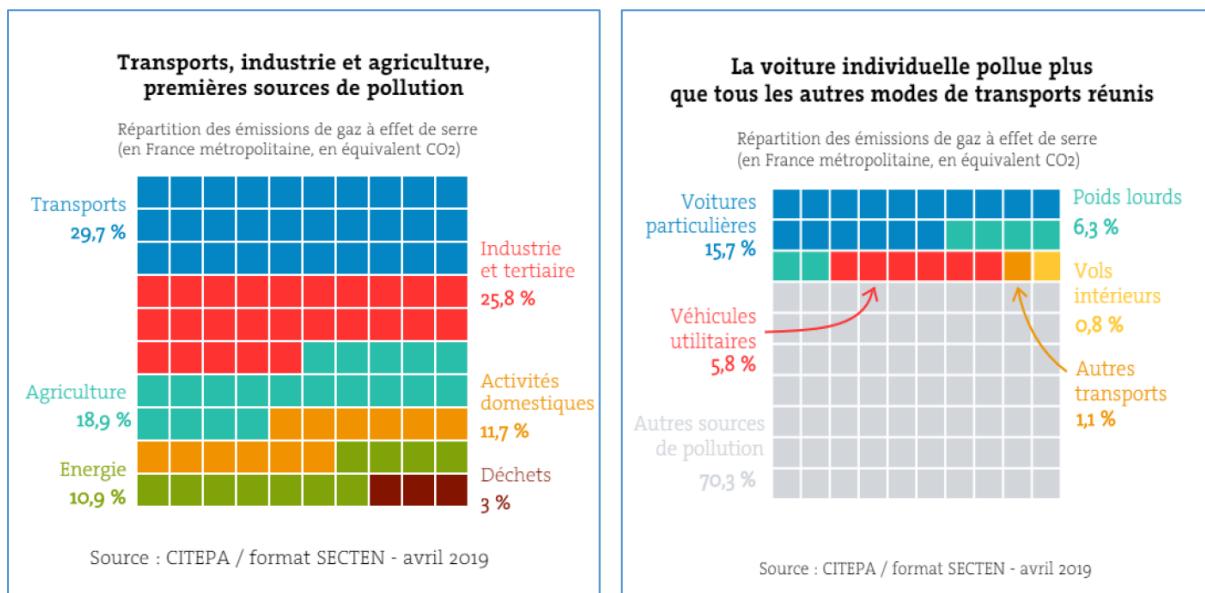


Figure 10 : Répartition des émissions de gaz à effet de serre par secteur d'activités.

Si les émissions de gaz à effet de serre sont les polluants les plus couramment cités, ce ne sont malheureusement pas les seuls [annexe 3 : tableau des principaux types de pollution]. En ce qui concerne les pollutions anthropiques, elles sont classées en plusieurs catégories en fonction de leur nature et des milieux affectés :

- Pollution physique : qui comprend les radiations, les pollutions thermiques et les pollutions sonores.

⁷⁰ François RAMADE (en Juin 2020). POLLUTION, Encyclopædia Universalis

⁷¹ Organisation mondiale de la Santé, (consulté le 2 Novembre) « Neuf personnes sur 10 respirent un air pollué dans le monde » <https://www.who.int/fr/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

⁷² Wikipédia (consulté le 2 Novembre), « Pollution ». https://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution#Impacts_sur_les_esp%C3%A8ces_animales

⁷³ CITEPA, (en Juin 2020). Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques Bilan des émissions en France de 1990 à 2018

- Pollution chimique : qui comprend les dérivés gazeux du carbone, les hydrocarbures, les dérivés du soufre, les dérivés de l'azote, les métaux toxiques, les fluorures, les aérosols, les détersifs, les pesticides, les matières organiques et les polluants nauséabonds .
- Pollution biologique : qui comprend les bactéries et virus, les OGM (Organismes Génétiquement Modifiés), et les espèces invasives.
- Nuisances esthétiques : tels que les dégradations de l'espace rural et urbain, ou l'implantation d'industries en milieu naturel.

2.2.4 Changements climatiques

Depuis le début du XX^{ème} siècle, un phénomène d'augmentation des températures moyennes planétaires s'accélère et pourrait mener à des répercussions dramatiques sur le bon fonctionnement de la biosphère⁷⁴. Ce réchauffement climatique, principalement causé par des émissions de gaz à effet de serre, agit principalement sur le climat causant montées des eaux, fontes des glaces, acidifications des océans, dégradations de la qualité de l'air, aridifications des sols, modifications des organismes, disparitions des habitats, extinctions des espèces, augmentations des événements météorologiques extrêmes... Qui eux même influent sur la hausse de températures, créant un cercle vicieux, pouvant mener à une dégradation exponentielle de l'écosystème de la planète⁷⁵.

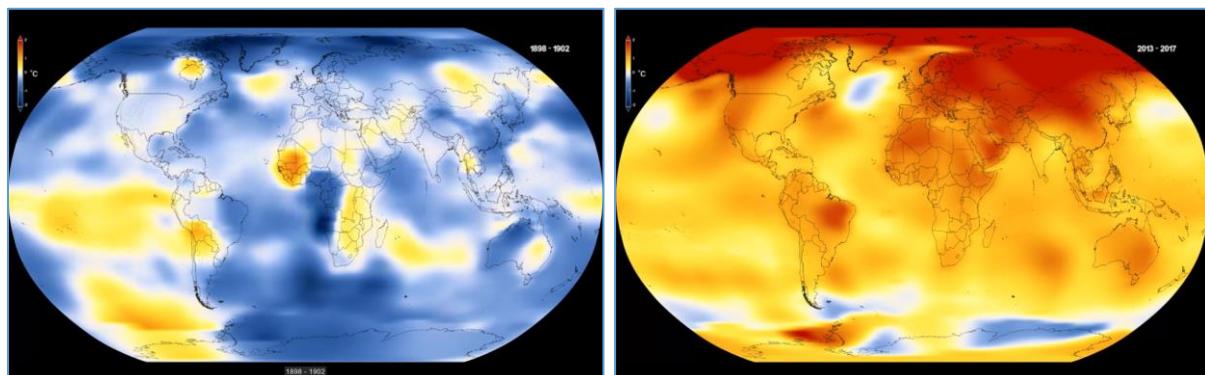


Figure 11 : Evolution du réchauffement climatique entre 1900 et 2015.

Si certains pouvaient encore essayer de le nier, on sait aujourd'hui que cette catastrophe est clairement imputable à l'homme et ses activités : « L'influence de l'homme sur le système climatique est clairement établie, et ce, sur la base des données concernant l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, le forçage radiatif positif, le réchauffement observé et la compréhension du système climatique. »⁷⁶. Formé par l'ONU en 1988, le GIEC[®] (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat – IPCC en Anglais) travaille actuellement sur un sixième rapport d'évaluation sur

⁷⁴ Robert KANDEL, (consulté le 5 Novembre) CHANGEMENT CLIMATIQUE, Encyclopædia Universalis

⁷⁵ Wikipédia (consulté le 5 Novembre), « Réchauffement climatique ».

https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9chauffement_climatique#Changements_d'aires_de_r%C3%A9partition

⁷⁶ GIEC, (en 2013). *Changements climatiques 2013, les éléments scientifiques.*

l'évolution du climat, dans le but de fournir aux décideurs « des évaluations détaillées de l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques sur les changements climatiques, leurs causes, leurs répercussions potentielles et les stratégies de parade. »⁷⁷. Le premier rapport publié en 1990 faisait déjà mention de “l'urgence climatique”, le deuxième, en 1996, mettant la limite à +2°C d'ici 2100 par rapport à l'époque préindustrielle. Le cinquième, datant de 2013, annonce une élévation de la température allant de 1,1 à 6,4°C d'ici la fin du siècle, sachant que nous sommes déjà à +0,85°C⁷⁸.

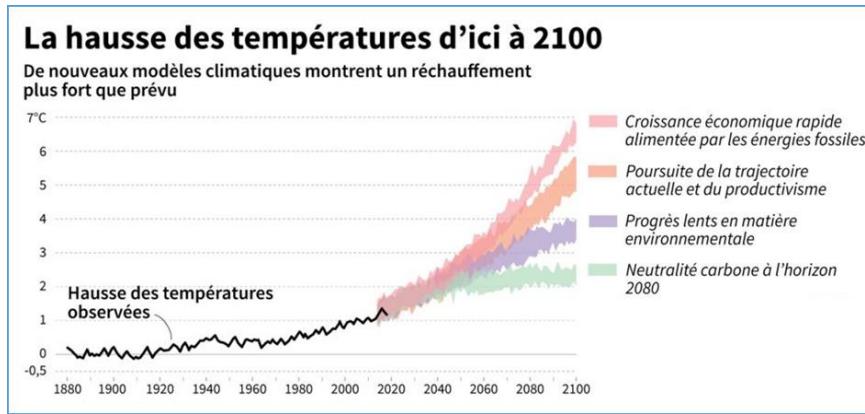


Figure 12 : Evolution prévisionnelle de la Hausse des températures d'ici 2100.

Selon une étude de la revue « Nature Climate Change », la probabilité de ne pas dépasser cette limite ne serait que de 5%⁷⁹ ; le climatologue Hervé Le Treut⁸⁰ affirme que : « Au-delà de + 2 °C, on commencera à sortir du système de climat actuel et, à + 4 °C, on entre dans un modèle inconnu. À + 3 °C, l'évolution du climat ne sera pas linéaire, il y aura des effets locaux et brutaux »⁸¹. En effet, les changements de températures et les conséquences qui s'en suivent ne seront pas également répartis sur Terre, entraînant très probablement des conflits planétaires, la hausse des inégalités économiques et sociales, la fragilisation des populations vulnérables, un accroissement de la faim dans le monde, et de très fortes migrations⁸². Et aussi injuste que ce soit, les causes non plus, les 10% les plus riches de la population émettent 52% du CO₂⁸³ et seulement 100 entreprises sont responsables de 70% des émissions de gaz à effet de serre⁸⁴ [annexe 4 : Part des émissions cumulée entre 1990 et 2015 par différents groupes de revenus mondiaux].

⁷⁷ IPCC (consulté le 5 Novembre), <https://www.ipcc.ch/languages-2/francais/publications/>

⁷⁸ Ibidem

⁷⁹ Le Monde, (en 2017). « Seulement 5 % de chances de limiter le réchauffement climatique à 2 °C »

⁸⁰ Hervé Le Treut (1956) est un climatologue français, membre de l'Académie des sciences, directeur de l'Institut Pierre-Simon-Laplace, connu pour ses simulations numériques du climat.

⁸¹ Futura planète (consulté le 5 Novembre). « Pourquoi limiter le réchauffement climatique à 2 °C et pas plus ? ».

<https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/rechauffement-climatique-limiter-rechauffement-climatique-2-c-pas-plus-930/>

⁸² Clément Fournier. « Pourquoi le Changement Climatique est aussi un Problème Social ? » dans Youmatter (en 2015)

⁸³ OXFAM, (en 2020) (consulté le 5 Novembre). « Combattre les inégalités des émissions de co2 ».(en 2020)

<https://www.oxfamfrance.org/wp-content/uploads/2020/09/Resume-Rapport-Oxfam-Combattre-Inegalites-Emissions-CO2.pdf>

⁸⁴ CDP (en 2017). *The Carbon Majors Database*.

2.2.5 Extinction de l'Holocène

Comme vus par les chiffres précédents, les hommes sont loin d'être les seules victimes de cette crise planétaire. Selon l'UINC⁸⁵ (Union Internationale pour la Conservation de la Nature), 41% des amphibiens, 14% des oiseaux, 26% des mammifères et 70% des végétaux sont menacés d'extinction ; et « la France figure parmi les 10 pays hébergeant le plus grand nombre d'espèces menacées »⁸⁵.

Cette (sixième) extinction massive, aussi appelée Extinction de l'Holocène, est encore en cours ; elle est d'ailleurs en train de s'accélérer depuis les années 1950. Selon Frédéric Saltré⁸⁶ et Corey Bradshaw⁸⁷ : « le taux actuel d'extinction est 10 à 10 000 fois supérieur au taux moyen naturel »⁸⁸. D'après Gerardo Ceballos⁸⁹, Paul Ehrlich⁹⁰, et Rodolfo Dirzo⁹¹, près de la moitié des animaux qui ont cohabité avec l'humain auraient aujourd'hui disparu, soit plusieurs milliards d'individus.

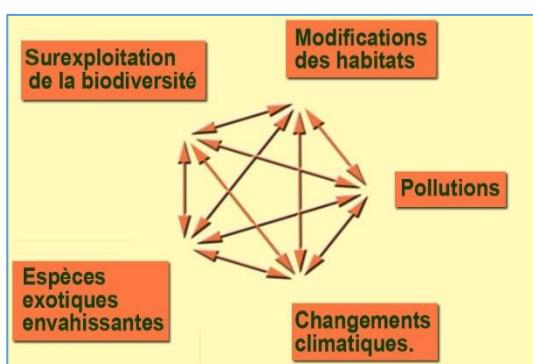


Figure 13 : Cause de l'extinction de l'Holocène.

Selon l'ONU⁹², cette importante disparation est dû à plusieurs facteurs qui s'additionnent et s'aggravent les uns les autres⁹² :

- La destruction des habitats
- La surexploitation de la biodiversité
- Les pollutions
- Les espèces exotiques envahissantes
- Les changements climatiques

2.3 Protection de l'environnement

2.3.1 Coalitions gouvernementales

Les premières inquiétudes sur l'environnement et l'avenir de la planète font émerger les « Sommet de la Terre » ou CNUEH (Conférence des Nations Unies sur l'Environnement Humain) : des rencontres décennales réunissant les dirigeants mondiaux

⁸⁵ UICN Comité Français, (consulté le 5 Novembre). « La liste rouge mondiale des espèces menacées ». <https://uicn.fr/liste-rouge-mondiale/>

⁸⁶ Frédéric Saltré est un écologue français, coordinateur au laboratoire d'écologie mondiale, chercheur à l'université de l'Oregon en 2011, professeur à l'université d'Adélaïde de 2013 à 2017, puis à l'université Flinders depuis 2017, connu pour ses recherches sur le changement climatique.

⁸⁷ Corey J. A. Bradshaw est un écologue australien, directeur du laboratoire d'écologie mondiale, chercheur et principale de l'université Charles Darwin de 2004 à 2008, professeur à l'université d'Adélaïde de 2008 à 2015, puis à l'université Flinders depuis 2017, connu pour ses recherches sur le changement climatique.

⁸⁸ Marcus Dupont-Besnard. « Vivons-nous vraiment la sixième extinction de masse ? » dans Numerama, (en 2019).

⁸⁹ Gerardo Jorge Ceballos González (1958) est un biologiste et écologue mexicain, professeur à l'université d'Arizona entre 1984 et 1987, puis à l'université nationale autonome du Mexique depuis 1990.

⁹⁰ Paul Ralph Ehrlich (1932) est un biologiste et entomologiste américain, professeur à l'université Stanford et président du centre Stanford pour la biologie de la conservation.

⁹¹ Rodolfo Dirzo est un écologue mexicain, professeur à l'institut de biologie Los Tuxtla à Veracruz, puis à l'université nationale autonome du Mexique et enfin à l'université de Stanford depuis 2005.

⁹² Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (en 2010) 3e édition des Perspectives mondiales de la diversité biologique [archive]. Montréal, p.94.

dans le but, surtout symbolique, d'encourager une gestion globale du développement durable. La première a lieu à Stockholm en 1972 et débouche sur la création du PNUE[®] (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), qui lui-même donnera naissance avec l'OMM[®] (Organisation Météorologique Mondiale) au GIEC[®] en 1988. Le second à Nairobi en 1982 fut un échec complet, en pleine guerre froide le président Américain n'y a même pas participé. En revanche, le sommet de 1992 à Rio de Janeiro marque un réel succès, avec la présence de plus 1500 ONG, il a permis la ratification du programme « Action 21 » sur les objectifs du développement durable et des « conventions de Rio » qui mènera au COP (Conférences des Parties). S'en ai suivi du sommet de Johannesburg en 2002 et du Sommet Rio+20 en 2012⁹³.

Les COP ou CNUCC (Conférences des Nations unies sur les changements climatiques), dont les pays signataires se rencontrent annuellement, ont débuté en 1995 à Berlin. Parmi les 25 conférences déjà effectuées (la COP26 étant reportée en raison de la pandémie mondiale du Covid-19), 3 d'entre elles ont mené à des accords importants⁹⁴. En 1997, la COP3 de Kyoto qui a permis la mise en place du « protocole de Kyoto » en 2005 qui visait à réduire d'au moins 5% d'ici 2012 les émissions de gaz à effet de serre⁹⁵. La COP15 en 2009 qui visait à aboutir à « l'accord de Copenhague » mais qui n'a pas été adoptée ; aboutira néanmoins à la création de « fonds verts pour le climat » même si très peu mis en place⁹⁶. Et enfin la COP21 en 2015 qui déboucha sur « l'accord de Paris », rentré en vigueur en 2016, il remplace enfin le protocole de Kyoto⁹⁷. Cependant il fait suite à de nombreuses critiques, déjà suite au retrait des plus grandes ONG depuis la COP19 manifestant contre l'opacité des discussions, ensuite par le retrait des Etats-Unis en 2017, mais surtout dénonçant un accord peu contraignant et un manque total de crédibilité des objectifs⁹⁸. Visant à limiter la hausse des températures à 1,5°C, le PNUE[®] a calculé que « Même si tous les engagements inconditionnels pris dans le cadre de l'Accord de Paris sont respectés, les températures devraient augmenter à hauteur de 3,2°C, ce qui entraînera des impacts climatiques encore plus étendus et destructeurs. [...] Pour atteindre ces réductions, le niveau d'ambition indiqué dans les CDN [contributions nationales] doit être multiplié au moins par cinq pour atteindre l'objectif de 1,5°C et par trois pour atteindre celui des 2°C»⁹⁹.

⁹³ Energy performance and sustainability, (consulté le 5 Novembre). « Sommet de la terre : comment l'environnement devint une priorité ». <https://www.orygeen.eu/docs-actus/glossaire/sommet-de-la-terre/>

⁹⁴ United nations climate change, (consulté le 5 Novembre). « Conférence des parties (COP) ». <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>

⁹⁵ Nation Unies, (en 1998). *Protocole de Kyoto à la convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques.* <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpfrench.pdf>

⁹⁶ Nation Unies, (en 2009). *Convention cadre sur les changements climatiques.* <https://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/fre/11a01f.pdf>

⁹⁷ Nation Unies, (en 2015). *Accord de Paris.* https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/french_paris_agreement.pdf

⁹⁸ Wikipédia (consulté le 5 Novembre), « Accord de Paris sur le climat ». https://fr.wikipedia.org/wiki/Accord_de_Paris_sur_le_climat

⁹⁹ United nations climate change, (consulté le 5 Novembre). « Il faut réduire les émissions mondiales de 7,6 % par an au cours de la prochaine décennie pour atteindre l'objectif de 1,5°C fixé à Paris - Rapport du PNUE».

<https://unfccc.int/fr/news/il-faut-reduire-les-emissions-mondiales-de-76-par-an-au-cours-de-la-prochaine-decennie-pour>

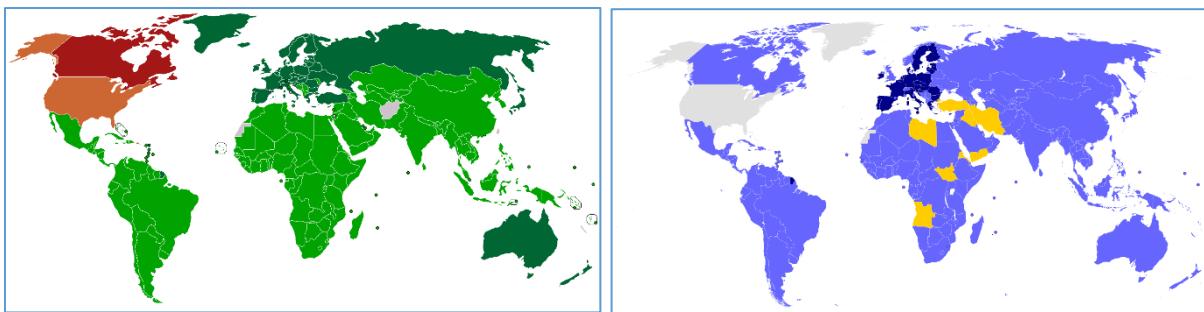


Figure 14/15 : Cartes des pays ayant ratifiés les accords de Kyoto/ de Paris.

2.3.2 Indicateurs environnementaux

Si les besoins en termes de protection de l'environnement sont devenus primordiaux, l'enjeux actuel s'établie aussi sur la notion de gestion. Les ressources naturelles et services écosystémiques, autrefois perçus comme stables et inépuisables, sont aujourd'hui considérés comme un patrimoine qui doit être préservé pour pouvoir se renouveler. Le « Patrimoine Naturel », considéré comme le bien de tous, doit être géré de manière à perdurer pour les générations futures ; et c'est en ce sens qu'il devient indispensable de mesurer notre impact sur la planète. L'écologie, qui apporte un cadre théorique à l'inventaire de ses ressources et aux conditions de leur renouvellement, cherche aussi à établir des outils d'évaluation sur l'incidence de l'homme sur l'environnement et l'état actuel de sa biodiversité¹⁰⁰. Dans ce but, plusieurs indicateurs ont vu le jour, dont quatre ont acquis une importance particulière en terme de biodiversité :

- L'index « liste rouge » : Développé par l'IUCN[®] (Union Internationale pour la Conservation de la Nature), fait l'inventaire de l'état de conservation global des espèces et évalue leurs risques d'extinction. Sur les 120 372 espèces étudiées, 32 441 sont classées menacées¹⁰¹.
- L'indice STOC (Suivi Temporel des Oiseaux Communs) : Issu du programme « Vigie-Nature » coordonné par le MNHN[®] (Muséum national d'histoire naturelle), est un indicateur de l'évolution annuelle des effectifs de différentes espèces d'oiseaux communs. Sur ces 30 dernières années, leur abondance a diminué dans leur ensemble de 15%, et plus particulièrement dans les milieux agricoles¹⁰².
- L'indice trophique Marin : Elaboré par le Centre Canadien des pêches[®] via le projet « Sea Around Us », estime le niveau trophique moyen des poissons, et par conséquent l'impact de la pêche mondiale sur les écosystèmes marins. Les résultats montrent un amenuisement des chaînes trophiques, soit une détérioration importante du fonctionnement de ces écosystèmes¹⁰³.
- L'IPV (Indice Planète Vivante) : Régi par le WWF[®] (Fonds mondial pour la nature) et le ZSL[®] (Société Zoologique de Londres), suit l'abondance des populations

¹⁰⁰ Ibid. source 12

¹⁰¹ Ibid. source 75

¹⁰² Vigie Nature (consulté le 5 Novembre), « Suivi Temporel des Oiseaux Communs (STOC) ».

<http://www.vigienature.fr/fr/observatoires/suivi-temporel-oiseaux-communs-stoc/resultats-3413>

¹⁰³ Sea around us (consulté le 6 Novembre), « Marine Trophic Index ». <http://www.searounds.org/data/#/marine-trophic-index>

d'animaux vertébrés sauvages, soit leurs tendances démographiques mondiales depuis 1970. Il montre une baisse moyenne de 68% des populations surveillées de mammifères, d'oiseaux, d'amphibiens, de reptiles et de poissons¹⁰⁴.

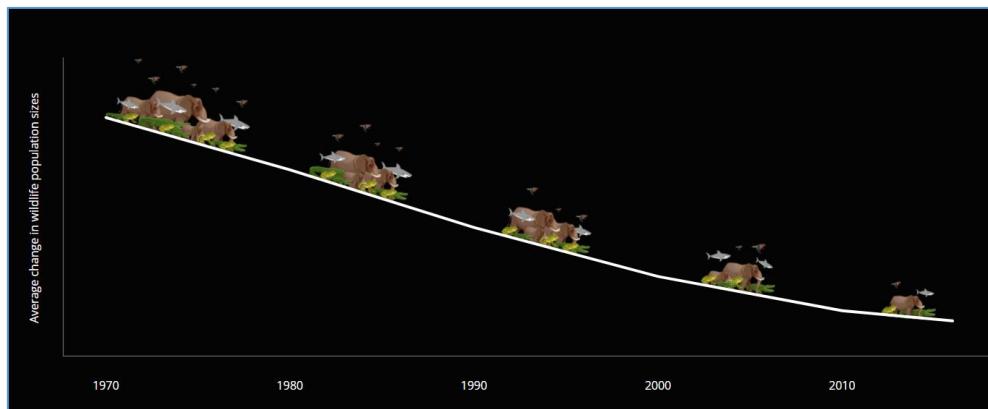


Figure 16 : Evolution de l'abondance des populations d'animaux vertébrés.

Concernant les activités humaines, certains indicateurs permettent quant à eux d'évaluer les relations entre les sociétés et leurs écosystèmes, autrement dit la pression anthropique exercée sur la nature. Dans ce domaine, trois outils sont spécifiquement utilisés :

- L'empreinte Carbone : qui mesure les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique, elle se base sur les facteurs d'émission des intrants (notamment les sources d'énergies utilisées) liés à une activité, un usage ou un produit employé. Exprimée en gramme d'équivalent carbone par kilowattheure (gCO₂eq/kWh), on parle « d'empreinte directe » si elle est évaluée par les seules émissions dues à l'énergie exploitée par le consommateur final ; et « d'empreinte ACV » (Analyse du Cycle de Vie) si on tient aussi compte des émissions dues à l'approvisionnement et la transformation amont (ex : production) et aval (ex : recyclage)¹⁰⁵. Ce calcul permet surtout de compenser ses émissions de CO₂ ; depuis 2016 un décret oblige les acteurs économiques français à publier leur empreinte carbone et leur stratégie d'investissement¹⁰⁶.

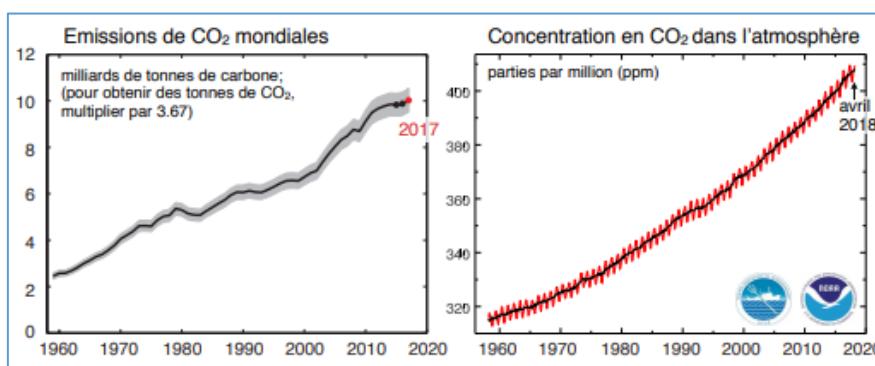


Figure 17 : Evolution des émissions mondiales de CO₂.

¹⁰⁴ Ibid. source 9.

¹⁰⁵ Wikipédia (consulté le 6 Novembre), « Empreinte carbone ». https://fr.wikipedia.org/wiki/Empreinte_carbone#cite_note-BilanGES-2

¹⁰⁶ Joël Cossardeaux. « L'empreinte carbone devient une information obligatoire » dans Les échos (en 2015)

- L'empreinte écologique : qui comptabilise l'impact de l'homme sur les ressources naturelles et les services écosystémiques. Plus complète que l'empreinte carbone, elle mesure les surfaces bio-productives nécessaires à la production des biens et services consommés et les déchets produits par un individu, une population ou une activité. Exprimée en hectares globaux (hag), elle exprime le facteur limitant de l'exploitation de la biosphère en fonction de la capacité de régénération de la Terre¹⁰⁷.

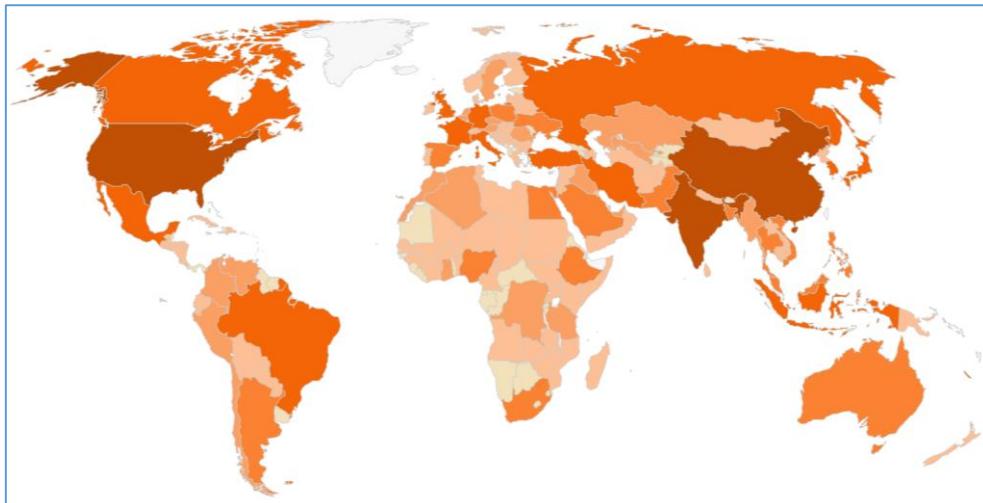


Figure 18 : Carte de l'empreinte écologique par pays.

- La biocapacité : qui désigne la capacité d'une « zone biologiquement productive » à générer et renouveler en continue des ressources, mais aussi à absorber les déchets de l'homme dû à leur consommation. Exprimée en hectares globaux (hag), elle s'associe à l'empreinte écologique afin de déterminer si cette région est exploitée de manière durable ou non¹⁰⁸.

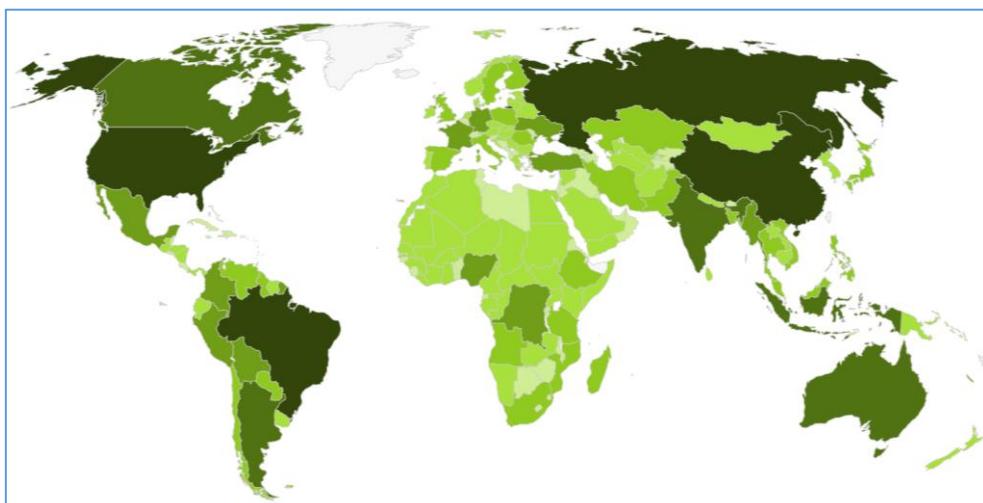


Figure 19 : Carte de la biocapacité des pays.

¹⁰⁷ WWF, (consulté le 6 Novembre) « L'empreinte écologique est un outil développé par le Global Footprint Network qui permet de mesurer la pression qu'exerce l'homme sur la nature.»

https://wwf.panda.org/fr/wwf_action_themes/modes_de_vie_durable/empreinte_ecologique/

¹⁰⁸ GreenFacts (consulté le 6 Novembre), « Biocapacité ». <https://www.greenfacts.org/fr/glossaire/abc/biocapacite.htm>

Ainsi, si l'empreinte écologique (demande) d'une zone est supérieure à sa biocapacité (offre), alors cette zone est considérée en « déficit écologique » ; à l'inverse elle est alors caractérisée en « excédent écologique ». Quand un territoire est en déficit écologique, soit il devient obligé d'importer l'excédent consommé, soit il détruit ses ressources de manières irrémédiables¹⁰⁹.

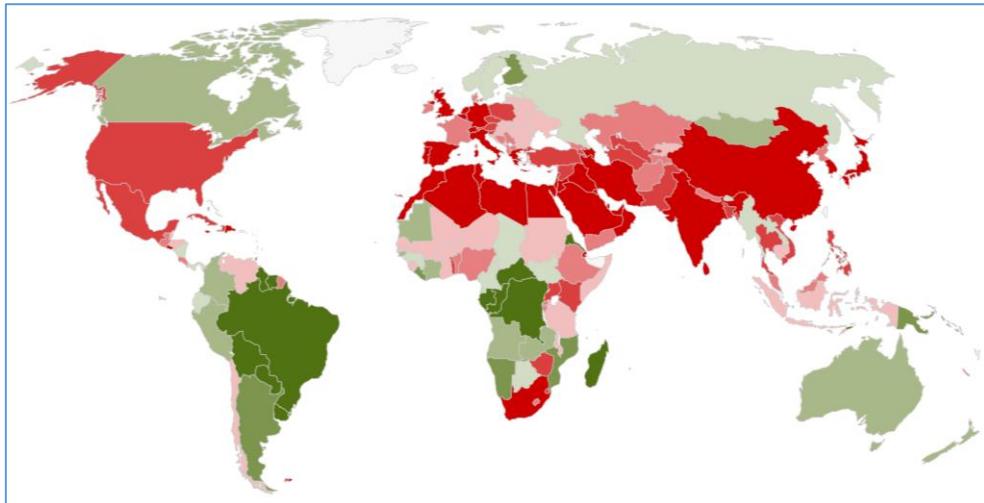


Figure 20 : Carte des déficits/ excédents écologiques par pays.

2.3.3 Dette écologique

A l'échelle mondiale, le déficit écologique ne peut être compensé, ainsi l'excédent consommé se traduit par un surpassement planétaire qui est daté chaque année, aussi appelé jour du dépassement. Ce jour est évalué au 29 juillet en 2019, contre le 29 décembre en 1970 (à noter que cette année la date a exceptionnellement reculée jusqu'au 22 aout dû à la crise du Covid-19)¹¹⁰. Le jour du dépassement représente donc la date à partir de laquelle nous vivons à crédit, soit que nous avons consommé l'entièreté des ressources que la planète est capable de renouveler.

Si la crise sanitaire du Coronavirus a évidemment eu des répercussions dramatiques à travers le monde entier, elle a aussi eu des conséquences positives sur l'environnement. Nos sociétés vivant au ralenti, notamment par les différentes restrictions et confinements imposés dans de nombreux pays, l'empreinte écologique a spectaculairement baissé de 9,3%. Cependant ce recul reste encore insuffisant, si notre mode de vie pouvait encore sembler durable en 1970, nous avons tout de même consommé près d'1,6 planète (voir 1,75 pour les années 2018-2019)¹¹¹ De plus, ce jour de dépassement n'est pas le même dans chaque pays, ce jour représente la moyenne des excédents et des déficits écologiques de

¹⁰⁹ Global Footprint Network (consulté le 6 Novembre), « Empreinte écologique de la consommation (EFC) ». <https://www.greenfacts.org/fr/glossaire/abc/biocapacite.htm>

¹¹⁰ Earth overshoot day (consulté le 6 Novembre), « Jours passés de dépassement de la Terre ». <https://www.overshootday.org/newsroom/past-earth-overshoot-days/>

¹¹¹ Céline DELUZARCHE, « Jour du dépassement : un recul exceptionnel de trois semaines » dans Futura Planète (en 2020)

chaque pays, certains comme le Luxembourg obtiennent une date alarmante située au 16 février en 2020¹¹² [annexe 5 : Jour du dépassement par pays en 2019].

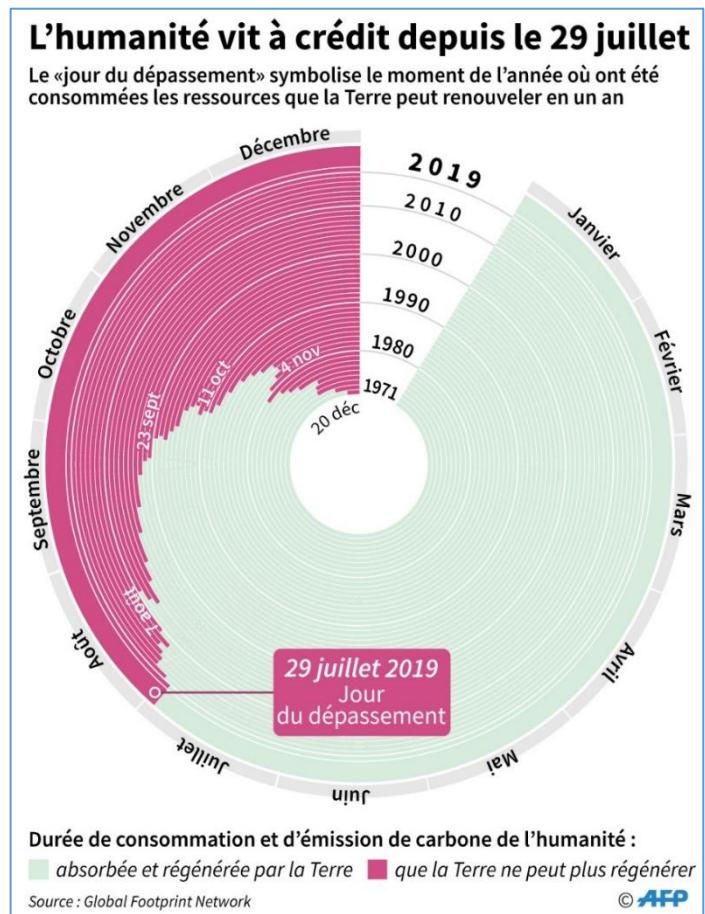


Figure 21 : Evolution du jour de dépassement par an.

Cette notion de crédit place les pays en déficit dans un modèle qu'on appelle dette écologique (sans rapport monétaire). En France le jour fatidique est déjà estimé au 7 mai pour 2021, sans oublier que cet indicateur ne prend pas en compte la perte de biodiversité, la pollution de l'eau, etc¹¹³. Ainsi, la France a déjà accumulé une dette écologique de plus de 33 ans depuis les années 1960. Si elle avait réussi à réduire son empreinte écologique de manière continue depuis 2008, cette dernière est remontée depuis 2015 (pourtant l'année de l'accord de Paris) avec une augmentation de plus de 5% entre 2015 et 2018. Il faudrait donc 2,9 planètes pour éponger notre dette si tous les humains vivaient comme les français¹¹⁴, et pourtant comme l'a lui-même dit Emmanuel Macron¹¹⁵ : « Il n'y pas de planète B »¹¹⁶.

2.3.4 Limites planétaires

Définissant les seuils à ne pas franchir dans les développements des activités humaines, les limites planétaires sont un ensemble de 10 processus qui assurent la stabilité du fonctionnement de la biosphère. Un dépassement de ses limites conduit à compromettre durablement les conditions favorables d'une vie juste et sûre de

¹¹² Earth overshoot day (consulté le 6 Novembre), « Jours de dépassement de pays ».

<https://www.overshootday.org/newsroom/country-overshoot-days/>

¹¹³ Le Monde (consulté le 6 Novembre), « La France creuse sa « dette écologie » » (en 2018).

https://www.lemonde.fr/planete/article/2018/05/04/la-france-creuse-la-dette-ecologique_5294070_3244.html

¹¹⁴ WWF, (consulté le 7 Novembre) « L'autre déficit de la France» (en 2018) https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2018-05/180504_rapport_jour_du_depassemement_france.pdf

¹¹⁵ Emmanuel Macron (1977) est un banquier et homme politique français, associé-gérant de la banque Rothschild&Cie, ministre de l'économie en 2014, et président de la république française depuis 2017.

¹¹⁶ Ministère de la transition écologique (consulté le 7 Novembre), *Il n'y a pas de plan B parce qu'il n'y a pas de planète B*. <https://www.ecologie.gouv.fr/il-ny-pas-plan-b-parce-quil-ny-pas-planete-b-emmanuel-macron>

l'humanité ; c'est-à-dire à des modifications brutales et imprévisibles de l'écosystème planétaire. Initialement au nombre de 7, on en compte aujourd'hui 9¹¹⁷ :

- 4 étant déjà franchies :
 - Changement climatique : Concentration de CO₂ dans l'atmosphère de 410ppm, pour une limite fixée à un maximum de 350ppm. Forçage radiatif de +2,3 W/m², pour une limite fixée à un maximum de +1 W/m².
 - Érosion de la biodiversité : Taux d'extinction estimé entre 100 et 1 000 espèces par an sur un million, pour une limite fixée à un maximum de 10.
 - Perturbations des cycles biochimiques :
 - De l'Azote : Quantité d'azote réactif anthropique générée au niveau planétaire de 150 Tg N/an, pour une limite fixée à un maximum de 62 Tg N/an.
 - Du Phosphore : Quantité de phosphore déversée dans les océans de 22 Tg P/an, pour une limite fixée à un maximum de 11 Tg P/an.
 - Modifications des usages des sols : Part de surface forestière comparée à la surface de couverture forestière originelle de 62%, pour une limite fixée à un minimum de 75%.
- 3 n'étant pas encore franchies (en 2015) :
 - Acidification des océans : Degré de saturation de l'eau de mer de surface en aragonites de 84%, pour une limite fixée à un minimum de 80%.
 - Perturbations du cycle de l'eau douce : Volume total d'eau douce prélevé dans les eaux de surface et les eaux souterraines de 2 600 km³/an, pour une limite fixée à un maximum de 4 000 km³/an.
 - Appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique : Concentration en ozone dans l'atmosphère de 285 UD, pour une limite fixée à un minimum de 275 UD.
- 2 ne pouvant encore être convenablement quantifiées :
 - Accroissement de la charge atmosphérique en aérosols : Profondeur optique d'aérosols testée à 0,3 OAD (en Asie du Sud), pour une limite estimée à un maximum situé entre 0,25 et 0,5 OAD.
 - Nouvelles pollutions chimiques : aucune variable n'est encore disponible étant donnée la grande quantité des problématiques considérées.

¹¹⁷ GRANDLYON (20019) Limites planétaires Comprendre (et éviter) les menaces environnementales de l'Anthropocène.

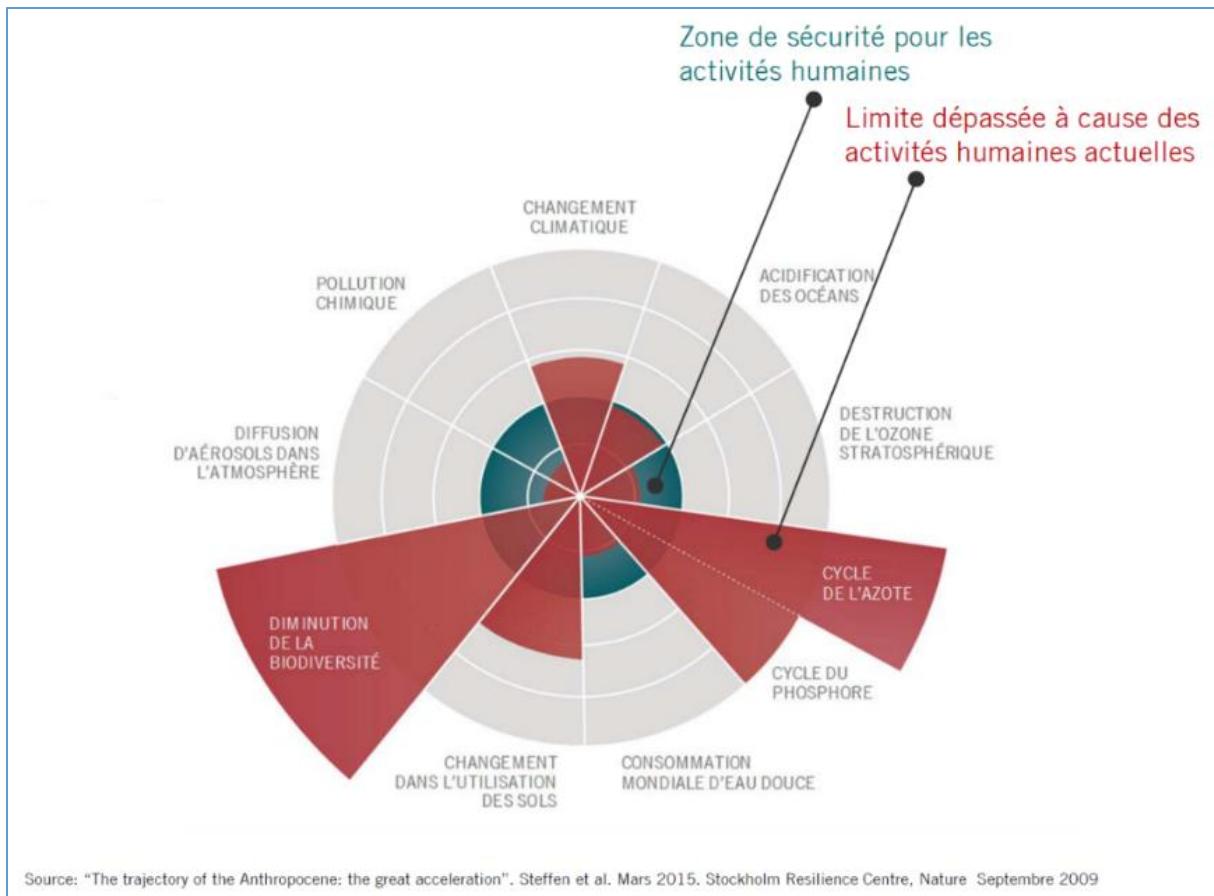


Figure 22 : Schéma du dépassement des limites planétaires.

3. ECOLOGIE URBAINE

3.1 Origine et principes

3.1.1 Définition et notions

L'écologie urbaine fonctionne à la manière de l'écologie biologique, mais au lieu d'étudier les écosystèmes naturels, elle s'intéresse aux écosystèmes urbains, notamment la ville. L'idée est alors d'utiliser les méthodes d'analyse des milieux naturels pour ceux des humains¹¹⁸. Là encore sans exigence d'échelle, cette notion s'attarde aux problématiques environnementales des milieux urbains et périurbains, mais peut aussi s'étendre à l'ensemble des paysages artificiels. En revanche, quand l'écologie biologique avait pour but principale l'analyse et l'étude, l'écologie urbaine envisage une implication plus large en utilisant ses recherches dans le cadre des politiques territoriales. Ici le domaine de recherche sert autant à analyser les écosystèmes urbains qu'à définir de nouvelles planifications urbaines. Liée au développement durable, elle s'engage auprès des collectivités afin de proposer des stratégies de développement plus respectueuse de l'environnement¹¹⁹.

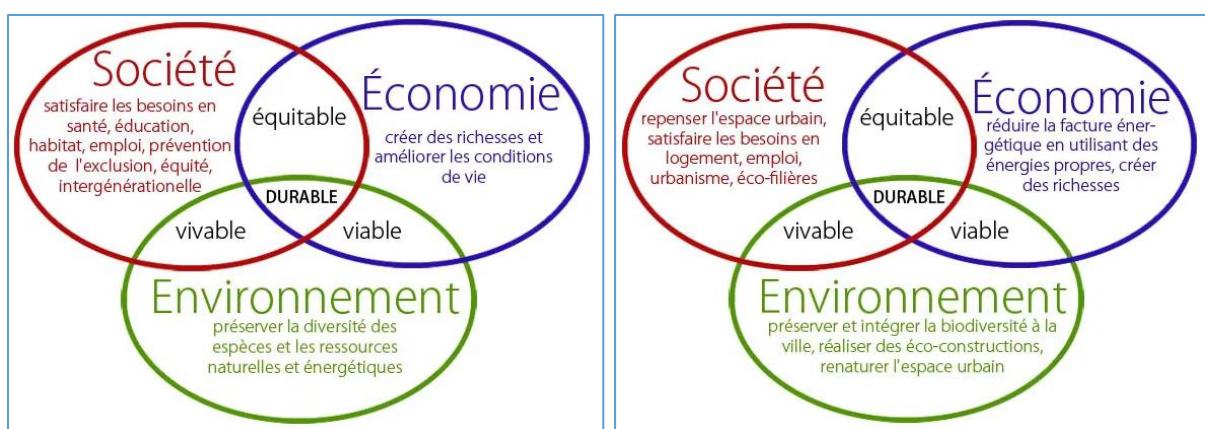


Figure 23 : Schéma du développement durable/ adapté à l'écologie urbaine.

Entre ville et nature, l'écologie urbaine définit les interactions entre l'homme et son bâti avec la biocénose naturelle en milieu urbain. Dans le but de faire cohabiter urbanisation et protection de l'environnement ; pour cela, elle mesure les impacts de l'anthropisation et cherche à en réduire ses nuisances. L'objectif n'est pas de séparer milieu urbain et milieu naturel, mais bien de développer une meilleure mixité des deux, préserver la biodiversité en ville et maintenir « la qualité des ressources naturelles »¹²⁰. Si son cheval de bataille reste principalement la végétalisation, la mission est avant tout de sensibiliser sur la nécessité de sauvegarder les services écosystémiques en milieu urbain. En somme, l'écologie urbaine

¹¹⁸ Dictionnaire environnement (consulté le 30 Octobre), « Ecologie urbaine ». https://www.dictionnaire-environnement.com/ecologie_urbaine_ID880.html

¹¹⁹ Wikipédia (consulté le 30 Octobre), « Ecologie urbaine ». https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cologie_urbaine

¹²⁰ TPE Paris et le développement durable, (s.d.), *Quelle évolution pour engager Paris et ses habitants dans la voie du développement durable ?*

vise à une meilleure harmonie entre tous les êtres vivants et tous les milieux ; ou plus précisément que les territoires urbains s'intègrent mieux à leur environnement naturel¹²¹.

3.1.2 École de Chicago

L'école de Chicago renvoi au département de sociologie de l'Université de Chicago créé en 1892. Aujourd'hui, le terme fait surtout référence au courant de pensée qui a émergé des recherches sociologiques dans cette école au début des années 1900. Principalement menées par Robert Park¹²², Ernest Burgess¹²³ et leurs élèves, leur principal sujet d'étude s'avérait être la ville de Chicago qui connut une croissance exceptionnelle à cette époque. Cette forte mutation a offert de nombreux sujets d'études sociales et politiques, qui s'est par la suite ouvert aux territoires de la plupart des grandes villes américaines. C'est de ces recherches qu'est née l'écologie urbaine, où la ville est alors étudiée à la manière des écosystèmes naturels, comme un « agencement de populations d'origines différentes dans un même milieu et un même système d'activités »¹²⁴.

Introduite par Park dans les années 1920, l'écologie urbaine est alors définie comme « l'étude de la disposition des groupes humains dans l'espace et des lois d'évolution de ces arrangements »¹²⁵. Elle s'appuie des méthodes d'analyse de la biologie mais s'intéresse cette fois aux différents groupes sociaux de la ville, leurs relations et les mutations urbaines qui en suivent. Principalement induite des vagues d'immigration qu'a connu Chicago, l'analogie avec les interactions écologiques ou la dynamique des populations est particulièrement intéressante, pour étudier les comportements humains (reprenant les termes de compétitions, invasion, regroupement, symbiose...)¹²⁶. Cette approche écologique de la ville a fait émerger de grands concepts de réflexion sur les politiques territoriales, la ségrégation, les réseaux de relation, la sociabilisation ; la ville est alors perçue comme une société avec une culture, un état d'esprit, une philosophie et un système d'organisation qui lui est propre¹²⁷.

Cette école, connue pour ses pratiques novatrices basée sur l'étude de terrain, plaçant la ville comme « laboratoire à ciel ouvert », elle est aussi à l'origine de la sociologie quantitative. Utilisant des méthodes d'analyse toutes nouvelles, les données pouvaient être compliquées à rassembler, et la plupart des informations collectées provenaient de témoignages en tous genres : des travailleurs sociaux, d'activistes, des tribunaux, des commissariats, des églises... Ainsi, ces analyses des quartiers populaires et des différents groupes sociaux de la ville amenèrent ces sociologues à s'interroger sur une problématique

¹²¹ Géo confluence, (en 2015), *École de Chicago*.

¹²² Robert Ezra Park (1864-1944) est un journaliste et sociologue américain, professeur à l'université de Harvard, puis à l'université de Tuskegee en Alabama, et enfin à l'université de Chicago à partir de 1914.

¹²³ Ernest Watson Burgess (1886-1966) est un sociologue canadien, membre de l'AAAS, professeur à l'université du Kansas, puis à l'université de Chicago à partir de 1916.

¹²⁴ Ibid. source 121.

¹²⁵ Christian TOPALOV (consulté le 25 novembre) CHICAGO ÉCOLE DE, sociologie, Encyclopædia Universalis

¹²⁶ Ibid. source 115.

¹²⁷ Yves Grafmeyer et Isaac Joseph, *L'École de Chicago. Naissance de l'écologie urbaine*. Lyon. Aubier, (en 1984).

sous-jacente : la « désorganisation sociale » des grandes villes. C'est de cette problématique qu'apparaissent les notions de « contrôle social », « groupe primaire et secondaire », qui fait encore une fois référence au vocabulaire de l'écologie biologique. Si l'écologie urbaine se focalise principalement sur le milieu urbain, elle donna naissance par la suite à l'écologie humaine, qui étudie de manière plus générale mais toujours sous la même méthode, « les modalités de la concurrence et de la coexistence des espèces [humaines] sur des territoires »¹²⁸.

3.1.3. École de Bruxelles

En partant des principes d'applications des méthodes d'analyse de l'écologie sur les villes, Paul Duvigneaud¹²⁹ va encore plus loin dans cette comparaison en introduisant le terme d'écosystème urbain. Ces travaux initialement sur les milieux naturels, se sont au fil du temps tournés vers les milieux urbains, et plus particulièrement sur la ville de Bruxelles ; ce qui leurs a valu le nom d'école de Bruxelles, en référence à l'école de Chicago. En collaboration avec d'autres biologistes et écologues belges, il fait émerger l'idée de voir les villes comme des écosystèmes particuliers et de les étudier comme tels.

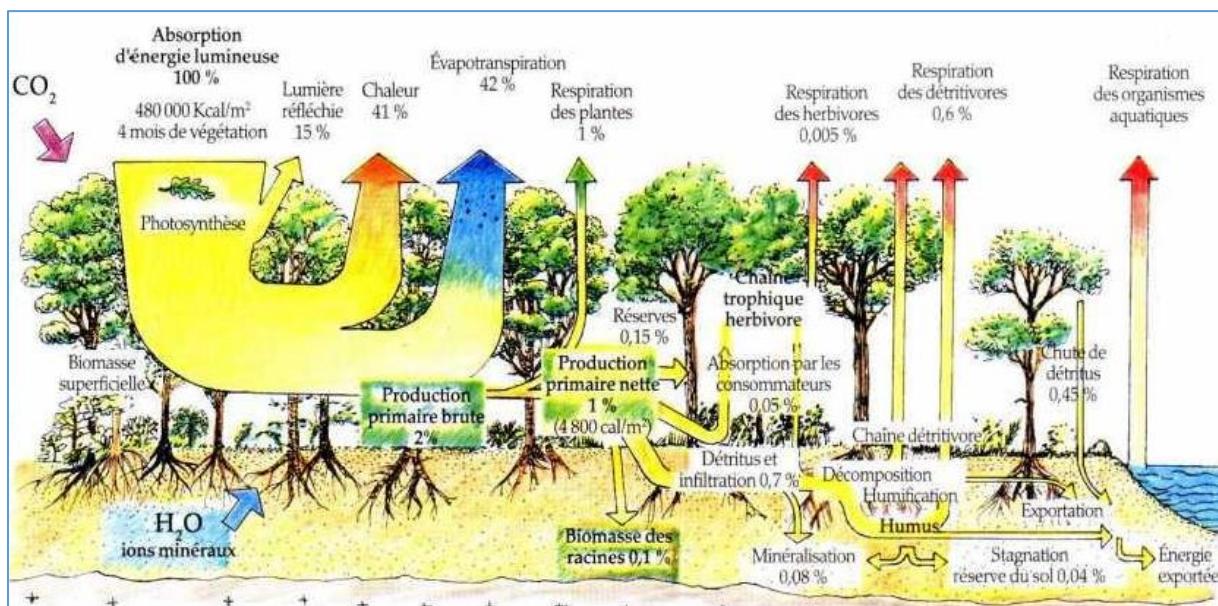


Figure 24 : Schéma du métabolisme des écosystèmes naturels.

Il marque cependant la différence avec les écosystèmes naturels par de nombreuses caractéristiques : la biocénose devient alors « l'anthropocénose », l'énergie dominante n'est plus solaire mais importée (carburants, électricité, etc), le cycle de l'eau est complètement modifié, les sols sont façonnés (artificialisation, engrangement chimiques, etc)... L'écosystème urbain ainsi défini, s'est donc attelé à étudier, au début des années 1970, la ville de Bruxelles selon cette méthode. Dans le but de mieux comprendre le

¹²⁸ Ibid. source 114.

¹²⁹ Paul Duvigneaud (1913-1991) est un botaniste belge, un des fondateurs du PBI, membre du SCOPE, professeur à l'université libre de Bruxelles, puis à l'université de Gembloux et enfin à l'université Paris Diderot.

fonctionnement systémique de la ville et ses différences avec la nature, il divise ses recherches en quatre axes principaux¹³⁰ :

- Bilan énergétique : Etude des productions et transferts énergétiques du milieu urbain, divisé entre énergies naturelles et énergies subsidiaires.
- Cycle de l'eau : Etude de la distribution des eaux, qu'elles proviennent des précipitations, de l'eau potable importée, de l'eau de la Senne ou des eaux usées.
- Biocénose : Etudes des principaux êtres vivants présents en ville avec 1 000 000 habitants (59 000 t.), 100 000 chiens (1 000 t.) et 250.000 chats (750 t.), mais aussi 8 milliards de lombrics (8 000 t) et une majorité de végétaux (750 000 t).
- Métabolisme : Etude des échanges systémiques comprenant la production de la biomasse et des déchets (180 t. de matières organiques) ainsi que les rejets de polluants (6 350 t. de CO₂).

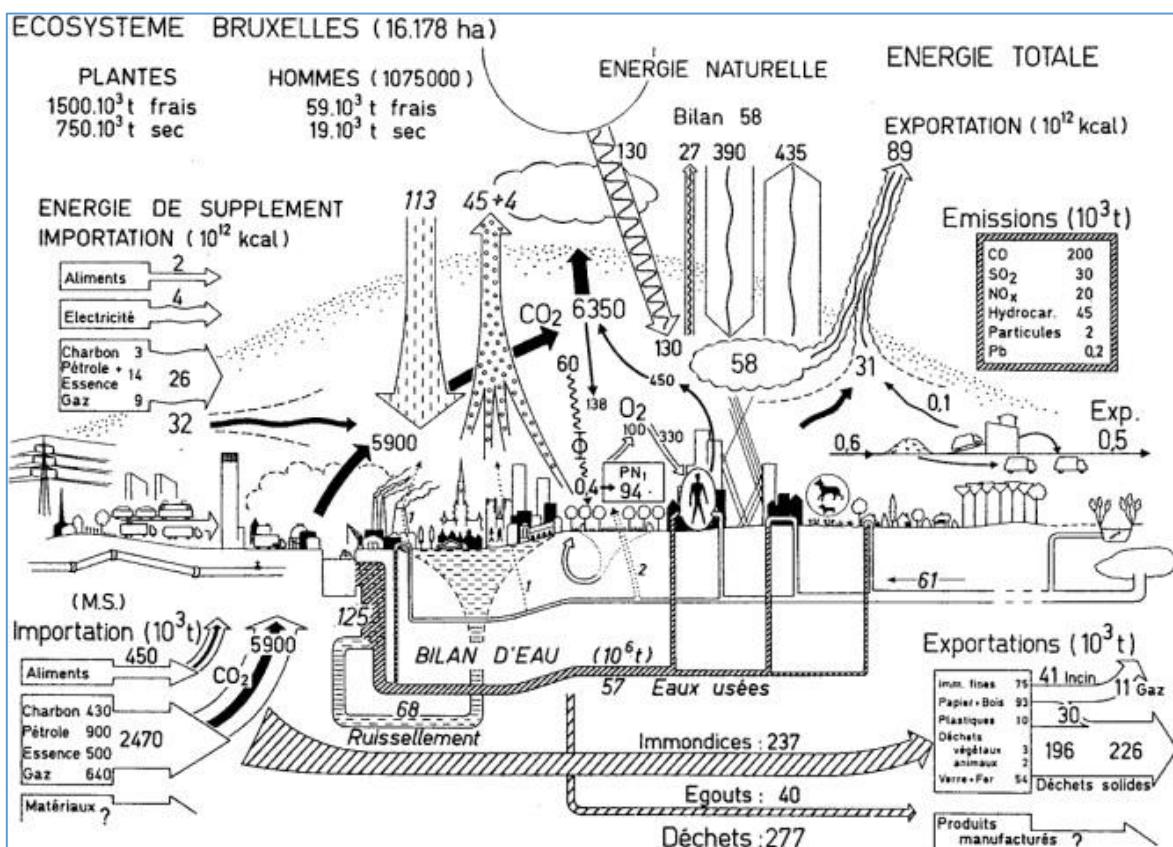


Figure 25 : Schéma du métabolisme des écosystèmes urbains (Bruxelles).

3.1.4. Principes actuels

Aujourd’hui adaptée aux objectifs du développement durable, l’écologie urbaine a développé un cadre bien spécifique. Comme vue dans la comparaison des écosystèmes naturels et urbains, même si le principe reste le même et que les méthodes d’analyse de

¹³⁰ Bethléem Ecosystème, (consulté le 7 Novembre), *Représentations et visions de l'écosystème urbain de la place Bethléem*. <https://bethleemecosysteme.wordpress.com/ecosystemes-urbains/>

l'écologie peuvent s'appliquer peu importe le milieu ; des différences dans le fonctionnement existent. De ce fait, Richard Forman¹³¹ a élaboré en 2016, 90 principes pour l'étude de l'écologie. Aussi élaborés en 2012 par Steward Pickett¹³² et Mary Cadenasso¹³³, ils les ont défini au nombre de 13, compris dans 5 grandes catégories¹³⁴ [annexe 6 : Principaux principes de l'écologie urbaine] :

- Ecosystème :
 - Les villes sont des écosystèmes.
 - Les zones urbaines contiennent un biotope naturel résiduel et émergeant.
 - Les valeurs et perceptions humaines font le lien entre sociale et écologie.
 - Les limites du système urbain sont définies par les recherches scientifiques.
- Hétérogénéité :
 - Les biotopes urbains sont diverses et multidimensionnels.
 - Les processus et services écologiques sont inégalement répartis.
 - La forme urbaine est hétérogène à de nombreuses échelles.
 - La forme urbaine est le reflet des plans et des actions anthropiques.
- Dynamique :
 - Tous les systèmes urbains sont concernés par les flux d'eaux et de déchets.
 - Les conceptions et développements urbains peuvent être traités comme des expériences écologiques.
- Lien :
 - Les comparaisons urbaines reconnaissent la complexité spatiale.
 - Les paysages urbains sont connectés avec les paysages ruraux et sauvages.
- Processus :
 - Les processus urbains reflètent les contextes régionaux, culturels et économiques.

3.1.5 Urbanisme durable

Avec les années, la vision de l'écologie urbaine a beaucoup évolué. Partant de la méthodologie de l'étude de l'écologie appliquée aux milieux urbains, les recherches récentes portent surtout sur la structure écologique des zones urbaines. La « nouvelle » écologie urbaine cherche à développer un urbanisme plus économique en ressources naturelles et plus respectueux de l'environnement. Ainsi la simple comparaison, entre écosystèmes naturels et urbains, a pris en compte le besoin de ne pas réduire la ville à une

¹³¹ Richard Townsend Turner Forman (1935) est un écologue du paysage américain, vice-président de l' Ecological Society of America en 1982, professeur à la Graduate School of Design, puis à l'Université Harvard.

¹³² Steward T.A. Pickett (1950) est un botaniste et écologue des plantes américain, directeur et fondateur de la Baltimore Ecosystem Study de 1997 à 2016, professeur à l'université du Kentucky puis à l'université de l'Illinois.

¹³³ Marie L. Cadenasso est une botaniste et écologue de l'évolution américaine, membre du CLUE, fondatrice de la Baltimore Ecosystem Study, et professeure à l'université de Californie depuis 2006.

¹³⁴ Steward TA Pickett et May L. Cadenasso. « Combien de principes d'écologie urbaine existe-t-il? » *Landscape Ecol* 32, 699–705 (en 2017).

simple « machine thermodynamique »¹³⁵. A l'heure actuelle où les villes ne pensent plus que développement, rentabilité, concurrence, attractivité... L'écologie urbaine vise à élargir ses sens et faire concilier protection de la nature et qualité des espaces urbains, c'est la notion d'urbanisme durable : une empreinte écologique réduite associée à un meilleur cadre de vie pour tous.

C'est dans cet objectif qu'il est important de prendre en compte dans la composition urbaine, non seulement la relation entre ville et nature mais aussi entre ville et société. Comme le dit Jan Gehl¹³⁶, qui milite pour un urbanisme sensoriel à échelle humaine : « les villes nous façonnent autant que nous les façonnons ». En ce sens, on comprend que comme la nature qui a produite d'innombrables modèles d'écosystèmes, il n'existe pas de solution type, de ville modèle ou de conception parfaite ; l'urbanisme durable doit s'adapter aux milieux urbains et naturels présents, aux rapports et usages sociaux de la ville étudiée, ainsi qu'aux acteurs et aux systèmes politiques en place. En effet, la durabilité urbaine ne relève pas simplement de la question de la conception urbaine, mais aussi de la conviction politique qui ne peut pas opposer le cadre de vie des citoyens avec un aménagement écologique. Il est donc indispensable de développer une écologie urbaine capable de concilier qualité de vie et qualité environnementale.

C'est pourquoi, à l'inverse de l'urbanisation fonctionnel qui s'appuyait sur une conception standardisée et générique, l'urbanisme durable doit inévitablement être contextualisé : « la recherche d'une meilleure répartition des charges spatiales et des fonctions urbaines dans la ville multipolaire émergente ; la mise en œuvre d'un système intermodal de déplacements [...] ; le rôle structurant accordé aux espaces publics [...] ; la valorisation de la métrique piétonne et des ambiances végétales, ludiques et récréatives ; la visée d'une qualité urbaine conçue dans la diversité de ses dimensions formelles, fonctionnelles, environnementales et sensorielles comme une réponse au modèle urbain extensif issu de l'urbanisme de secteurs »¹³⁷.

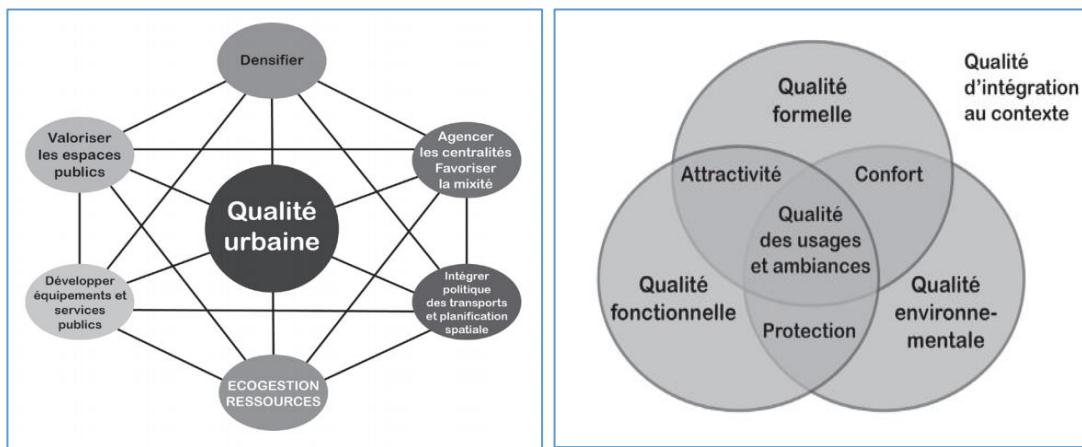


Figure 26 : Schéma des principes de l'Urbanisme durable.

¹³⁵ Antonio DA CUNHA. « Nouvelle écologie urbaine et urbanisme durable. De l'impératif écologique à la qualité urbaine », BSGLg, (en 2015), p.5 à p.25.

¹³⁶ Jan Gehl (1936) est un architecte et urbaniste danois, professeur à l'école d'architecture de l'Académie royale de Copenhague, récompensé d'un « Global Award for Sustainable Architecture ».

¹³⁷ Ibid. source 127

En sommes, l'urbanisme durable se veut être une conception qualitative par une approche écologique, contextuelle, multiscalaire, participative ; mêlant protection environnementale, attractivité urbaine et confort de vie.

3.2 Enjeux et notions connexes

3.2.1 Développement durable

Apparu au début des années 1970, le concept de développement durable se révèle publiquement dans le rapport Halte à la croissance du Club de Rome¹³⁸, puis à l'international dans les rapports des Congrès de l'UICN¹³⁹. La description officielle du terme apparaît quant-à-elle lors de la première commission mondiale sur l'environnement de l'ONU¹³⁹ dans le Rapport Brundtland de 1987¹³⁸. Il y est alors défini comme un développement qui permet de répondre aux besoins du présent sans compromettre la possibilité pour les générations à venir de satisfaire les leurs. La notion de développement durable implique certes des limites. Il ne s'agit pourtant pas de limites absolues mais de celles qu'imposent l'état actuel de nos techniques et de l'organisation sociale ainsi que de la capacité de la biosphère de supporter les effets de l'activité humaine. [...] le développement durable est bien une affaire de volonté politique »¹³⁹.

L'idée du développement durable fait suite à la croissance industrielle du XIX^{ème} siècle, où l'on se rend compte des impacts néfastes du développement économique sur la société, notamment du point de vue social et surtout environnemental. Suite à de nombreuses crises (1907 : crise bancaire américaine de 1907, mouvement social de mai 1968, catastrophe nucléaire de Tchernobyl en 1986, etc.) il devient nécessaire de penser un développement de nos sociétés de manière plus durable. La prise de conscience du réchauffement climatique et de l'importance de la perte de biodiversité au début du XX^{ème} siècle a fait s'imposer la notion de développement durable dans le monde entier ; et avec elle l'importance de l'écologie. De plus, la prise de conscience citoyenne du problème a permis de développer cette notion, qui a rapidement permis la mise en place de politiques de prise en compte de l'environnement ; notamment par le terme de transition écologique et solidaire¹⁴⁰.

¹³⁸ Clément Fournier. « Développement Durable : définition, histoire et enjeux – Qu'est-ce que le développement durable ?» dans Youmarter (en 2020)

¹³⁹ Rapport Brundtland, (s.d.)

¹⁴⁰ Ibid. source 133.

Rapprochant la notion de développement, et celle de durabilité (aujourd’hui assez proche de celle de résilience), le développement durable se base sur une organisation en trois piliers cruciaux (aussi appelé 3P en anglais pour : People, Planet, Profit)¹⁴¹ :

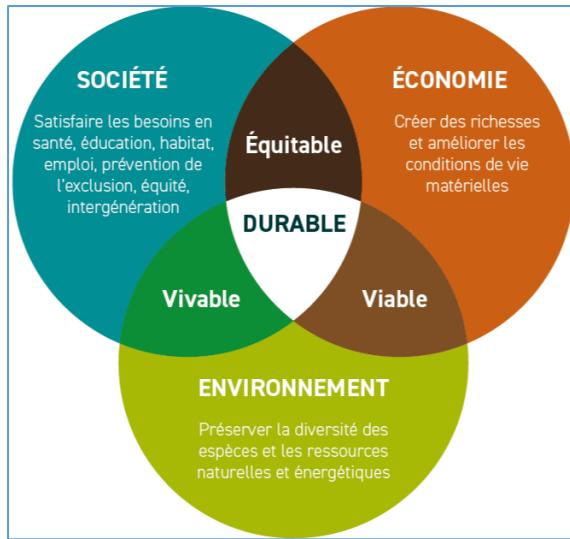


Figure 27 : Schéma du développement durable.

Ces trois enjeux majeurs sont le fondement du développement durable, qui est donc à l’intersection de tous ces objectifs. Afin d’atteindre ces objectifs, le développement durable se base sur 4 principes fondamentaux¹⁴² :

- Solidarité : Pour promouvoir la collaboration entre les pays, les populations, les sociétés et les générations.
- Responsabilité : Pour développer une prise de conscience pour chacun sur ses actions et ainsi mener vers des décisions plus justes.
- Précaution : Pour éviter des prises de décisions qui pourraient être néfastes sur le long terme ; et ainsi éviter de nouvelles crises ou catastrophes.
- Participation : Pour impliquer tous les acteurs au processus de décision et ainsi favoriser la réussite de projets plus durables. (Cette notion apparaît, sous le nom de gouvernance, sur certains schémas comme englobant les trois piliers).

3.2.2 Écologie industrielle

L’écologie industrielle, née d’un article de Robert Frosch¹⁴³ dans la revue Scientific American, est l’application des principes de l’écologie urbaine au milieu industriel avec pour but de limiter l’impact de l’industrie sur l’environnement. L’objectif principal est d’aborder sous une approche syntropique les flux employés et générés par les entreprises d’un même

¹⁴¹ Mtaterre, (consulté le 7 Novembre), *C'est quoi le développement durable ?* <https://www.mtaterre.fr/dossiers/le-developpement-durable/cest-quoi-le-developpement-durable>

¹⁴² Ibidem.

¹⁴³ Robert Alan Frosch (1928) est un scientifique américain, chercheur à l'université de Columbia et d'Harvard, directeur adjoint à l'ARPA, secrétaire adjoint à la Marine, directeur exécutif adjoint du Programme des Nations unies pour l'environnement, administrateur de la NASA, et président de la recherche chez General Motors.

territoire ; instituer le passage d'un processus industriel linéaire vers un système en boucle fermé, sans déchets ni polluants¹⁴⁴.

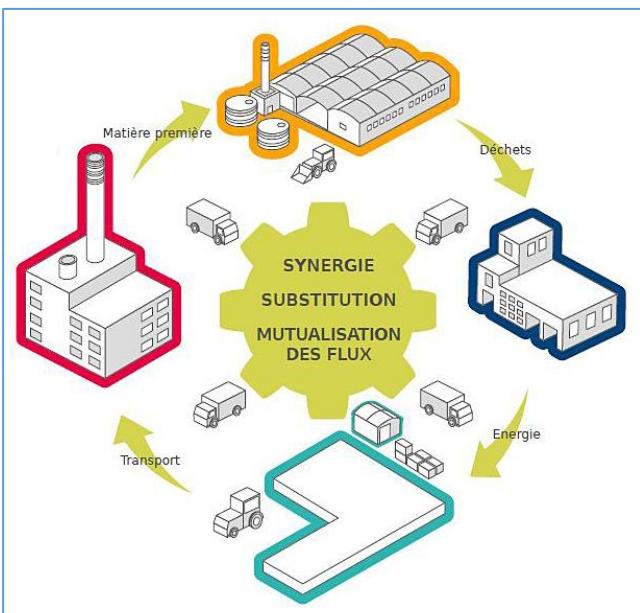


Figure 28 : Schéma de l'économie industrielle

dans un but écologique mais aussi économique. Les bénéfices tirés de ce réseau d'entreprises, aussi appelé éco-parc industriel, permet la mise en place d'un système qui profite à tous, plus collaboratif et plus respectueux de l'environnement¹⁴⁵.

A la manière des écosystèmes naturels, les éco-parcs industriels cherchent à développer une conception durable en interagissant les uns avec les autres et avec leur environnement [annexe 7 : Concept de l'économie industrielle basé sur l'économie biologique]. Cette conception se base sur différents objectifs tels que¹⁴⁶ :

- Boucler les flux de matières et d'énergies
- Dématerrialiser et décarboniser les acticités
- Développer des réseaux éco-industriels
- Planifier et évaluer le cycle de vie des produits
- Promouvoir l'éco-conception et l'éco-efficacité
- Agir sur la responsabilité élargie du producteur

Comme tous systèmes naturels, le succès d'un éco-parc basé sur l'économie industrielle dépend de plusieurs facteurs¹⁴⁷ :

- Diversité : Plus les activités des industries sont différentes, plus elles pourront être complémentaires et ainsi maximiser les échanges et interactions possibles.

¹⁴⁴ Wikipédia (consulté le 30 Octobre), « Ecologie industrielle ». https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cologie_industrielle

¹⁴⁵ République Française, *L'économie industrielle et territoriale* (en 2019).

¹⁴⁶ Ibid. source 144.

¹⁴⁷ Ibid. source 131

En développant des synergies industrielles, les sociétés d'un même secteur peuvent élaborer un réseau cyclique afin d'optimiser et de valoriser leurs flux ; par mutualisation des moyens, associations d'idées ou de personnes, substitution des locaux, partage d'infrastructures et d'équipements, réutilisation ou recyclage des ressources... De manières plus concrètes, les déchets et co-produits d'une entreprise peuvent servir à une autre, l'énergie utilisée par une société peut être produite de la chaleur dégagée de la voisine, les coûts de transport peuvent être partagés en utilisant la même logistique, etc. ; le tout

- Proximité : Plus les sites des industries sont proches, plus les coûts énergétiques et de transports pourront être limités et ainsi diminuer leurs émissions.
- Coopération : Plus les dirigeants des industries sont ouverts aux relations, plus elles pourront développer une symbiose industrielle.

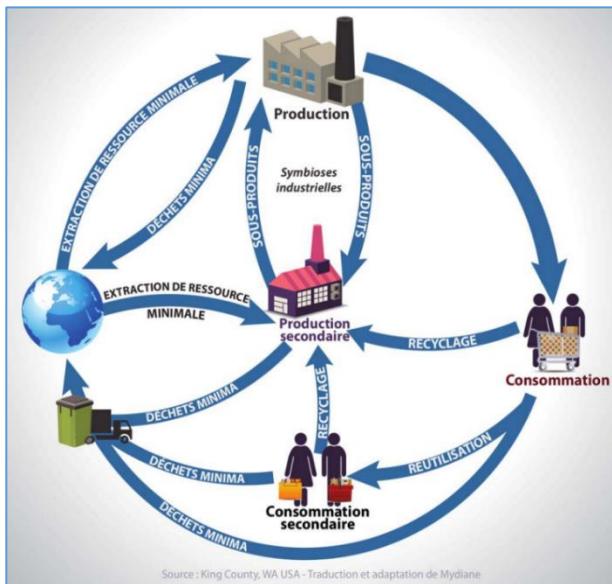


Figure 29 : Schéma des acteurs de l'économie circulaire et de l'écologie industrielle.

L'économie circulaire prend en compte de nombreux paramètres. Si ce système en réseau s'attarde principalement sur les flux inter-entreprises (matières premières, co-produits, transports, énergies, eaux, compétences, émissions, déchets...), il est tout aussi important d'impliquer tous les acteurs du territoire (entreprises, industries, consommateurs, producteurs, laboratoires de recherche...) afin de créer les opportunités de coopération nécessaires à son bon fonctionnement¹⁴⁸ [annexe 8 : Principaux acteurs de l'économie circulaire et de l'écologie industrielle en France].

3.2.3 Écologie territoriale

L'écologie territoriale est une discipline de recherche et d'action, semblable à l'écologie urbaine et l'écologie industrielle. Ces deux notions étant considérées comme trop sectaires, l'écologie territoriale est née, avec la volonté de décrire les interactions entre société et nature, notamment les échanges de flux de matières et d'énergies au sein de tous les systèmes anthropiques, aussi appelés anthropo-systèmes : « Entité structurelle et fonctionnelle des interactions sociétés-milieux »¹⁴⁹. Elle étudie, comme l'écologie urbaine, les territoires humains sous forme d'écosystème, et cherche, comme l'écologie industrielle, à en définir des réseaux de flux plus sobres et plus en harmonie avec leur environnement.

En prenant comme sujet d'étude les métabolismes territoriaux (soit les échanges de flux d'un territoire), l'écologie territoriale prend aussi en compte les processus naturels et sociaux comme étant la base de gouvernances de ses transferts. Sans se réduire à l'étude des villes ou des sites industriels, cette discipline aborde une approche territoriale comme espace localisé et anthropisé, mais aussi comme terrain de jeux des différents acteurs d'une société humaine. Sur cette base, le métabolisme territorial englobe aussi les interactions entre territoire et nature, mais aussi territoire et société. L'écologie rappelle que même si les territoires anthropiques ont été fortement modifiés, ils ne sont pas pour

¹⁴⁸ Commissariat général au développement durable « Références », *Écologie industrielle et territoriale : le guide pour agir dans les territoires*, (en 2014)

¹⁴⁹ Lévéque C., Van Der Leeuw S. dir. Quelles natures voulons-nous ? Pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement, Elsevier, Paris.

autant déconnectés des territoires naturels mais biens compris à l'intérieur de ces derniers. Ainsi, si l'objectif est de définir des anthropo-systèmes plus écologiques, il est primordial de prendre en compte leurs principes qui sont donc régis autant par les systèmes naturels, que par les systèmes sociaux¹⁵⁰.

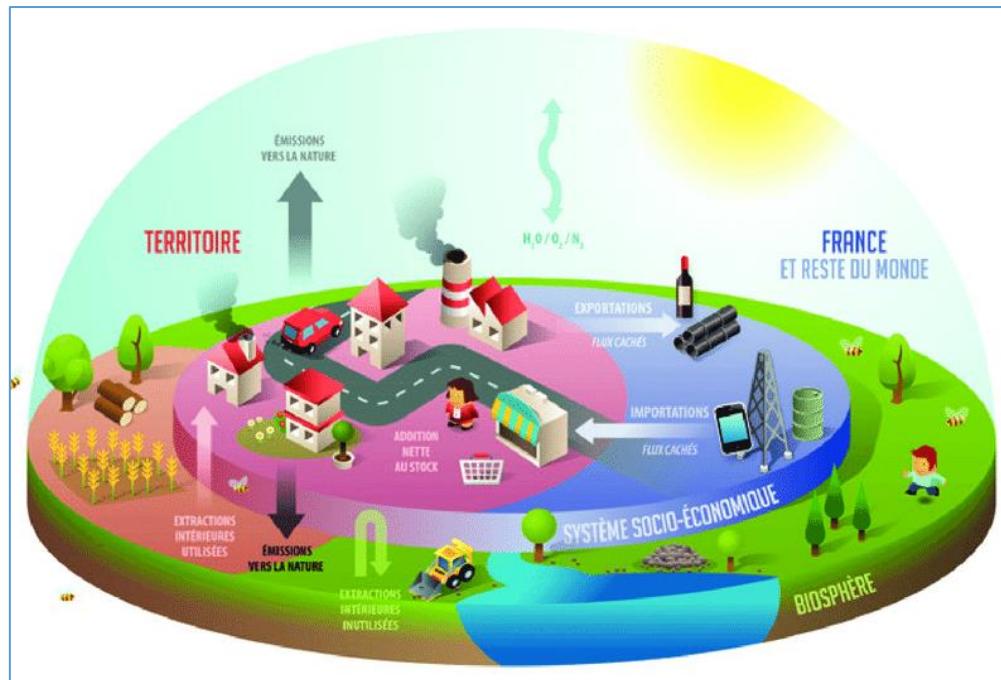


Figure 30 : Schéma de l'écologie territoriale.

En somme, l'écologie territoriale se veut être un réseau de gestion et de transitions des flux, dans un objectif environnemental, en reliant deux sujets de recherches [annexe 9 : Schéma d'organisation d'une plate-forme de gestion des flux basé sur les principes de l'écologie territoriale] :

- Les dynamiques d'acteurs : Qui élaborent un espace de dialogue, d'action et de coopération entre les différents acteurs d'un territoire (institutions d'état, collectivités locales, entreprises, scientifiques, citoyens...) et les règles de gouvernances politiques et socio-économiques.
- Les ressources territoriales : Qui définissent l'organisation et l'utilisation des flux par analyse métabolique, afin de rendre ce système de consommation et de production des ressources plus cyclique.

Cette réflexion innovante sur les modes de coordination de ces deux principes permet de tirer de ces études des actions concrètes sur le territoire basé sur trois enjeux¹⁵¹ :

- La proximité : Soit le rapprochement physique ou organisationnel qui permet l'élaboration d'une meilleure coopération autour d'objectifs communs.
- La capacité : Soit l'autonomie et la capacité des acteurs concernant les enjeux environnementaux sur la maîtrise d'un équilibre entre besoins et ressources.

¹⁵⁰ Sabine Barles, Nicolas Buclet, Gilles Billen. *L'écologie territoriale : du métabolisme des sociétés à la gouvernance des flux d'énergie et de matières.*

¹⁵¹ Ibid. source 137.

- La volonté : Soit la mise en place de processus décisionnels collaboratifs et participatifs concernant les stratégies de développement territoriale.

De manière plus globale, l'écologie territoriale est un outil qui permet d'engendrer mesures concrètes sur un territoires en se basant sur les principes de l'anthropo-systèmes, soit un écosystème répondant à des besoins à la fois environnementaux que socio-économiques. Ces mesures pluridisciplinaires et multiscalaires, répondent à des objectifs précis qui s'influencent les uns les autres¹⁵² [annexe 10 : Schéma circulaire des objectifs intrinsèques de l'écologie territoriale] :

- Responsabiliser les acteurs économiques et politiques.
- Valoriser les matières, les déchets et les ressources naturelles.
- Valoriser l'énergie sur le territoire, notamment par cogénération.
- Valoriser l'énergie pour l'agriculture, notamment par coopération.
- Préserver la biodiversité et les milieux naturels, endiguer la pollution.

3.2.4 Bioéconomie

Initiée par T.I. Baranoff dans les années 1920, la bioéconomie a été développée dans les années 1970 par Nicholas Georgescu-Roegen¹⁵³ dans ses travaux sur la décroissance, mettant en évidence les interdépendances entre nature et économie. Aussi surnommée économie de la photosynthèse, elle cherche à mettre en place une économie décarbonée en se basant non plus sur les énergies fossiles mais sur les énergies renouvelables, et plus particulièrement la biomasse terrestre¹⁵⁴.

La bioéconomie se définit donc comme « l'ensemble des activités économiques reposant directement sur un usage modéré des ressources biologiques ». En considérant ces ressources comme des réserves d'énergies et de matières biosourcés, elles offrent une porte de sortie au système polluant actuel et offre une réponse plus durable aux enjeux du réchauffement climatique. Si elle est aujourd'hui principalement l'objet de nouvelles stratégies d'agriculture, elle représente surtout un principe de développement (agro)écosystémique qui consiste à apprivoiser un usage des ressources naturelles plus sobre et durable sur une organisation circulaire. Favorisant la diversité biologique des ressources et des milieux, ainsi qu'un biomimétisme des processus de productions naturelles, la bioéconomie s'adapte aussi bien à l'agroécologie qu'aux autres secteurs économiques de production¹⁵⁵. Le concept même de cette discipline consiste à valoriser la biomasse écologique afin de gérer plus raisonnablement nos besoins alimentaires,

¹⁵² Séché environnement, (consulté le 10 Novembre). *Nos actions de respect du vivant l'écologie territoriale*.

<http://www.secherse.com/2015/nos-actions-de-respect-du-vivant/lecolege-territoriale/>

¹⁵³ Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994) est un mathématicien et économiste américain, professeur à l'université de Bucarest, puis à l'Université de Nashville et enfin à Strasbourg.

¹⁵⁴ Solenvie (consulté le 10 Novembre) *Mensuel de l'académie d'agriculture de France*, n°37 (en Octobre 2018)

<https://www.solenvie.com/mensuel-de-lacademie-dagriculture-de-france-n-37-octobre-2018/>

¹⁵⁵ Victor Bérubé, Mathieu Lorenzo, Guillaume Raimbault, Jean-Philippe Choisir, Gael Plumecocq. (en 2019). Bioéconomie : Définition. Dictionnaire d'Agroécologie.

énergétiques, matériels, industriels, urbains etc. [annexe 11 : Chaîne de production bioécologique des biomasses]. Si elle est loin d'être novatrice, elle reste une solution vers une économie verte, à l'opposé d'une économie basée sur les hydrocarbures¹⁵⁶.



Figure 31 : Schéma de la bioéconomie.

3.3 Impacts environnementaux

3.3.1 Coefficient de biotope

Une manière d'évaluer et de limiter les impacts environnementaux et l'urbanisation passe par le CBS (Coefficient de Biotope par Surface). Ce coefficient désigne la proportion (le pourcentage) de surface éco-aménageable dans une surface totale d'une parcelle aménagée, voire d'un quartier, ou d'un territoire. Une surface dite éco-aménageable fait référence à une étendue plus ou moins favorable à la biodiversité, soit à la création d'un biotope naturel. Le CBS sert donc à évaluer la capacité d'une parcelle à assurer des conditions propices à l'amélioration du microclimat, à la perméabilité du sol, au maintien des services écosystémiques, à la formation de continuités écologiques, à la création de milieux accueillant pour la biocénose, etc.¹⁵⁷ Attention à ne pas confondre espaces végétalisés et espaces éco-aménageables, le premier renvoyant à la biocénose, quand le

¹⁵⁶ Ibid. source 142.

¹⁵⁷ Cahier technique écosystèmes dans les territoires, « Fiche outil / méthode », *Le coefficient de biotope par surface (CBS)*, n°11 (s.d.)

second fait référence au biotope. Cette confusion est d'autant plus plausible sachant que la manière de classification des différents types de surface, qui permet le calcul du coefficient de valeur écologique, prend aussi en compte la végétalisation du milieu.

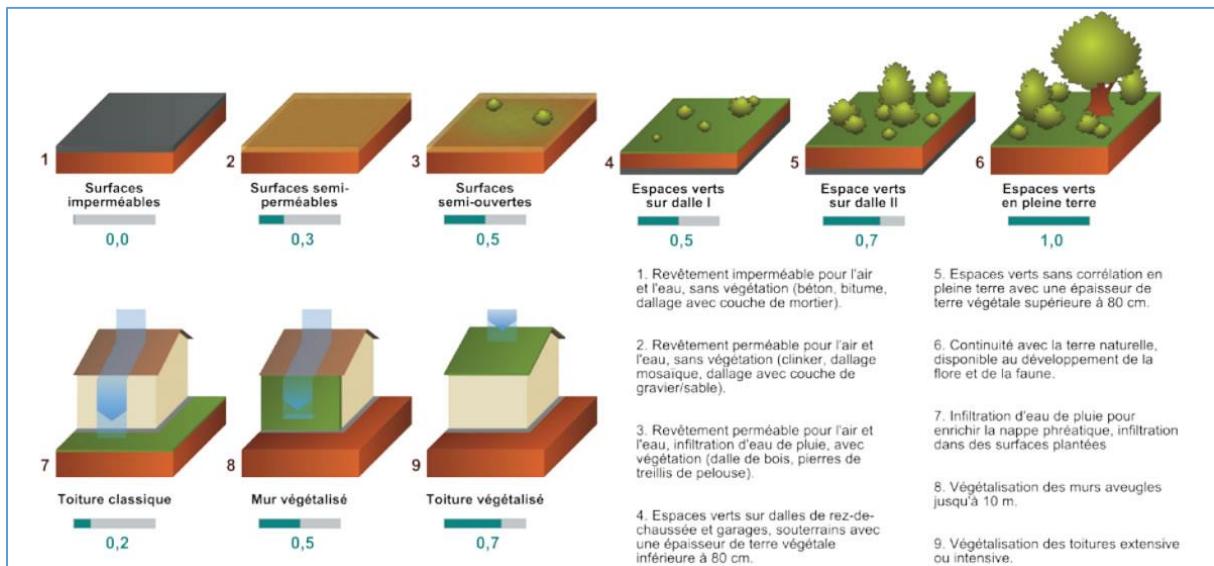


Figure 32 : Coefficient de biotope.

Développé à Berlin depuis 1998, le CBS s'est par la suite implanté dans de nombreuses grandes villes à travers leurs réglementations d'urbanisme. De plus en plus populaire, il est reconnu en France depuis 2014 avec la loi ALUR qui insiste à l'utiliser dans les SCOT (Schémas de Cohérence Territoriale) et les PLU (Plan Locaux d'Urbanisme). Imposer un résultat minimal du CBS dans les outils ou documents d'urbanisme permet de s'assurer de la qualité environnementale d'un projet et d'obliger à la prise en compte de la préservation de la biodiversité en ville¹⁵⁸. De plus, la prise en compte des surfaces bâties, comme la végétalisation des murs, des toitures, des balcons, des palissades, etc. permet d'accroître la superficie naturelle sans pousser à l'extension urbaine. Cependant ces solutions doivent être utilisées intelligemment afin d'éviter tout piège écologique.

3.3.2 Indicateurs de biodiversité urbaine

La biodiversité est une notion si vaste et si complexe qu'il est impossible de la résumer à une seule mesure. Si cette évaluation s'est longtemps résumée à celle du nombre d'espèces, elle prend aujourd'hui beaucoup plus de paramètres en compte. Et même s'il est encore difficile de la comprendre dans tout son ensemble, les analyses actuelles restent plus poussées et offrent une vision plus réaliste de la situation. L'objectif des indicateurs de biodiversité est d'apporter une représentation juste de son état, de percevoir les pressions qu'elle subit, d'évaluer la pertinence des réponses apportées et d'aider à promouvoir des actions de protection plus sensées¹⁵⁹.

¹⁵⁸ Club PLUi, « Trame verte et bleue et PLUi Outils et mise en œuvre », *Le Coefficient de Biotope par Surface (CBS)*, Fiche n°8 (en 2015).

¹⁵⁹ Wikipédia (consulté le 8 Novembre), « Indicateur de biodiversité ».

Les indicateurs sont donc des outils de mesure, qui offrent un dispositif de suivi pour l'observation des évolutions accomplies et une méthode d'analyse des objectifs à mettre en place¹⁶⁰. Selon l'EEA[©] (Agence Européenne pour l'Environnement) : « un indicateur est une mesure, généralement quantitative, qui peut être utilisée pour illustrer et faire connaître de façon simple des phénomènes complexes, y compris des tendances et des progrès dans le temps »¹⁶¹.

De nombreux jeux d'indicateurs ont vu le jour, suivant différentes échelles d'élaboration et d'utilisation, et apportant chacun une vision plus ou moins précise et complexe du territoire étudié. L'indice de Singapour (CBI pour City Biodiversity Index en anglais), présenté au Conférence mondiale sur la biodiversité de Nagoya, est le jeu d'indicateurs le plus utilisé dans le monde, étant reconnu par l'ONU[©]. On notera aussi d'autres index intéressants comme, les indicateurs de la CDB (Convention sur la Diversité Biologique) qui ont par la suite été redéveloppés par le BIP (Partenariat sur les Indicateurs de la Biodiversité) ; les indicateurs de l'EEA[©] avec son programme SEBI (Rationaliser les Indicateurs Européens de la Biodiversité) ; les indicateurs proposés par l'ONB[©] (Observatoire national de la biodiversité) ; ou encore les indicateurs de suivi et d'évaluation des SRCE (Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique)¹⁶² [annexe 12 : Listes des principaux jeux d'indicateurs de biodiversité].

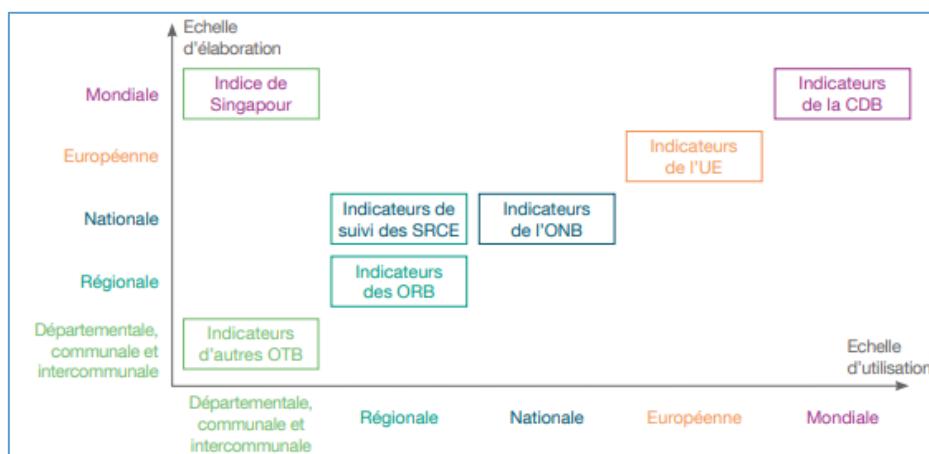


Figure 33 : Schéma des différents indicateurs de biodiversité.

En vue de simplifier toutes les notions abordées par ces différents jeux d'indicateurs, L'UICN a réalisé une sélection de 25 thématiques (en précisant à quels indicateurs se référer)¹⁶³ :

- Pressions pesant sur la biodiversité du territoire :
 - Artificialisation du territoire (ONB+CDB)

¹⁶⁰ NatureParif (2013) Promouvoir la biodiversité en ville.

¹⁶¹ EEA Technical report (en 2005), *EEA core set of indicators, Guide*.

¹⁶² UICN Comité Français, « Indicateurs de biodiversité pour les collectivités territoriales », *Cadre de réflexion et d'analyse pour les territoires* (en 2014)

¹⁶³ Ibidem.

- Exploitation des ressources naturelles (ONB+BIP+CDB)
 - Pollution des masses d'eaux (ONB+BIP+CDB)
 - Caractérisation des espèces exotiques envahissantes (CBI+ONB+BIP+CDB)
- Etat de la biodiversité sur le territoire :
 - Diversité des habitats et des écosystèmes (CBI+ONB+CDB)
 - Etat de conservation et fonctionnalité des habitats et des écosystèmes (ONB+BIP)
 - Connectivité des habitats et des écosystèmes (CBI+ONB+BIP)
 - Diversité des espèces sauvages (CBI+ONB+CDB)
 - Etat de conservation des espèces sauvages (ONB+BIP+CDB)
 - Diversité génétique des espèces domestiques et cultivées (CDB+BIP)
- Impacts de l'évolution de la biodiversité pour les acteurs du territoire :
 - Approvisionnement en matières premières (CDB+BIP)
 - Régulation du climat (CBI+CDB+BIP)
 - Régulation des risques naturels (CBI)
 - Loisirs et tourismes (CBI+CDB+BIP)
- Réponses apportées pour préserver la biodiversité du territoire :
 - Plans, politiques, programmes et stratégies existants en faveur de la biodiversité (CBI)
 - Implication des décideurs et moyens alloués à la préservation de la biodiversité (CBI+ONB+CDB)
 - Gouvernance, processus de concertation et partenariats mis en place (CBI)
 - Acquisition et mise à disposition des connaissances (ONB+CDB)
 - Sensibilisation du grand public (CBI+ONB+CDB)
 - Education du jeune public (CBI)
 - Création et gestion d'aires protégées (CBI+ONB+BIP+CDB)
 - Préservation de la biodiversité ordinaire et restauration des continuités écologiques (CBI)
 - Protection des espèces menacées (CBI+ONB+CDB)
 - Prise en compte et contribution à la préservation de la biodiversité par les acteurs socio-économiques (ONB+CDB)
 - Prise en compte et intégration dans les politiques publiques sectorielles et Intersectorielles (CBI+ONB+CDB)

3.3.3 Organisations internationales

Pour promouvoir un développement plus durable et un urbanisme plus écologique à travers le monde, de nombreuses organisations ont vu le jour afin d'établir un cadre de mise en œuvre territorial. Les coalitions gouvernementales déjà énoncées (voir partie 2.3.1) ont permis de révéler l'ampleur et l'urgence de la crise écologique, et ont d'ailleurs permis la création des objectifs globaux à mettre en place. Mais ici le principe est d'apporter une aide et un cadre des bonnes pratiques de manière plus concrète et plus locale. L'objectif

est donc d'élaborer des stratégies de conception et développement contextualisées sur un territoire donné afin d'élaborer un processus de transition environnementale.

Parmi ces organisations on compte notamment à l'ICLEI[®] (Conseil International pour les Initiatives Ecologiques Locales) qui est une association internationale fondée en 1990 par le programme environnemental de l'ONU[®]. Charger de bâtir et d'accompagner des projets urbains de développement durable, elle agit à l'échelle des institutions locales et régionales sur les intentions politiques afin de permettre un « changement systémique pour la durabilité urbaine ». L'ICLEI[®] aborde donc une approche systémique des environnements urbains tout en considérant la taille de l'impact de ces milieux sur la nature. C'est pourquoi il base sa conception de solutions intégrées par 5 voies conjointes¹⁶⁴ :

- Développement à faibles émissions : Afin de freiner le réchauffement climatique, tout en permettant de nouvelles opportunités des systèmes financiers, humains et naturels.
- Développement basé sur la nature : Afin de protéger et améliorer la biodiversité des écosystèmes urbains, et ainsi échafauder une nouvelle vision de nos communautés basée sur l'économie locale, le bien-être et le lien social.
- Développement circulaire : Afin de développer de nouveaux modèles de production et de consommation collaboratifs, basés sur des ressources renouvelables, recyclables et partageables.
- Développement résilient : Afin d'anticiper, prévenir, absorber et se remettre des changements rapides, qu'ils soient environnementaux, sociaux, économiques, technologiques ou démographiques.
- Développement équitable et humain : Afin de construire des communautés urbaines plus justes, vivables et inclusives, tout en cherchant à éradiquer la pauvreté.

A notera aussi URBIO[®] (BIOdiversité URbaine et design), un réseau mondial destiné à la recherche scientifique sur la biodiversité urbaine. Il est créé suite à la Déclaration « villes et biodiversité » de Curitiba en 2007, qui fait suite à la 8^{ème} CDB (Convention sur la diversité biologique) de l'ONU[®]. Avec un rôle d'observatoire sur la biodiversité urbaine, il participe à la collecte de données pour l'évaluation des villes suivant l'index de Singapour. Mais le réseau apporte surtout un appui stratégique aux élus locaux et aux techniciens afin de développer, sur le terrain, les ambitions de l'accord qui l'a fait naître¹⁶⁵. URBIO[®] s'est donc investi comme mission d'accompagner les territoires volontaires pour une meilleure « intégration de la biodiversité dans le processus de planification et de conception urbaine ». Attaché à la collaboration et l'éducation, URBIO est aussi le siège de nombreuses conférences et ateliers scientifiques ; mais aussi de nombreuses recherches sur les thèmes de la biodiversité urbaine, des services écosystémiques ou de la conception prospective

¹⁶⁴ ICLEI Local Governments for sustainability (consulté le 10 Novembre), *Le développement urbain durable est la clé d'un monde plus durable*. https://www.iclei.org/en/our_approach.html

¹⁶⁵ Wikipédia (consulté le 10 Novembre), « URBIO ». https://fr.wikipedia.org/wiki/URBIO#cite_ref-2

des milieux urbains¹⁶⁶. Les différents travaux de ce réseau se divisent en plusieurs axes principaux¹⁶⁷ :

- Améliorer les connaissances sur la biodiversité urbaine :
 - Cartographie des espaces naturels en ville .
 - Etude des interactions entre biodiversité et urbain.
 - Etude de l'influence de l'urbanisation sur la nature.
- Créer de nouveaux réseaux de collaborations entre chercheurs et acteurs du territoire.

D'autres organisations existent comme le C40[©] (Cities Climate Leadership Group) qui rassemble plus de 90 maires de grandes villes afin de partager ensemble sur des solutions politiques pour réduire leurs émissions et résoudre les problèmes métropolitains (trafic routier, passoires thermiques, gestion des déchets...) ¹⁶⁸. On peut aussi noter Region4[©] qui s'inscrit comme une plateforme politique d'adaptation aux changements climatiques à l'échelle des régions¹⁶⁹ ; ou encore IRSTV[©] (Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville) du CNRS[©] (Centre National de la Recherche Scientifique) qui cherche à élaborer des stratégies d'adaptations urbaines aux effets de la crise écologique¹⁷⁰. Mais on peut aussi lister de nombreuses initiatives de recherches étudiantes comme le « réseau LAB » de l'université de Montréal, le « Résilience Centre » de l'université de Stockholm ou l'unité « BAGAP » de l'ESA (Ecole Supérieure d'Agricultures) d'Angers, d'Agrocampus Ouest et de l'INRAE (Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement) de Rennes ; et pleins d'autres.

3.3.4 Objectifs du développement durable

Cependant un développement plus durable ne se résout pas uniquement sur le plan environnemental, mais aussi sur le plan social et économique. C'est pourquoi, dans la continuité des 8 OMD (Objectifs du Millénaire pour le Développement) qui ont pris fin en 2015, les 193 pays membres de l'ONU[©] ont adoptés les 17 ODD (Objectifs de Développement Durable) ; qui rassemblent 169 cibles à atteindre d'ici 2030. Regroupés en cinq domaines : peuple, prospérité, planète, paix, partenariats ; ils donnent « la marche à suivre pour parvenir à un avenir meilleur et plus durable pour tous »¹⁷¹ [annexe 13 : Les 17 objectifs du développement durable].

Les progrès accomplis sont suivis par les utilisations de 244 indicateurs, permettant d'attribuer un score global (pourcentage de réalisation) en fonction de leurs

¹⁶⁶ URBIO (consulté le 10 novembre), « International network urban biodiversity and design».

<https://www.urbionetwork.com/>

¹⁶⁷ Marianne HÉDONT, Plante & Cité (2017) Biodiversité des airs urbaines.

¹⁶⁸ C40 Cities (consulté le 10 novembre) <https://www.c40.org/about>

¹⁶⁹ Régions 4 (consulté le 10 novembre) <https://www.regions4.org/our-work/what-we-do/>

¹⁷⁰ L'Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville (consulté le 10 novembre) <https://irstv.ec-nantes.fr/>

¹⁷¹ Nation Unies (consulté le 10 novembre) *Objectifs de développement durable*.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/>

accomplissements vers la réalisation des 17 ODD. Si la France se classe 4^{ème} sur 166 avec un score de 81,13, il faut bien avoir conscience que les pays développés sont très fortement avantageés. En effet, le classement des retombées, autrement dit la mesure des effets positifs ou négatifs d'un pays sur la capacité des autres à atteindre ses objectifs, l'a fait chuter au 158^{ème} rang (avec un score de 51,12)¹⁷².

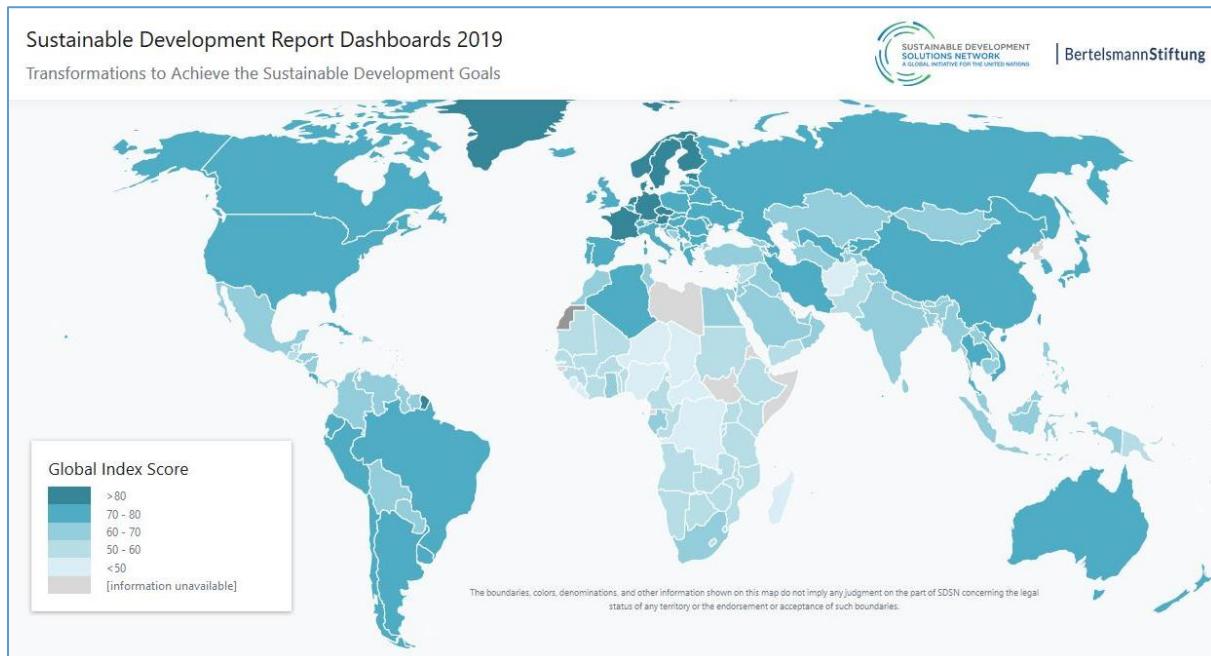


Figure 34 : Carte du score par pays de la réalisation des objectifs du développement durable.

¹⁷² Sustainable development report (consulté le 10 novembre) *Classements, la performance globale des 193 états membres de l'ONU*. <https://dashboards.sdgindex.org/rankings>

CHAPITRE 2 : OBJET D'ÉTUDE (SYSTEMES)

1. RÉSEAU NATUREL

1.1 Ecosystème naturel

1.1.1 Définitions et Notions

Si l'écologie se définit comme la science qui étudie les écosystèmes, il semble important de définir ce dernier. Issu du grec « oîkos », maison, et « sustêma », ensemble, le terme se définit étymologiquement comme le système du milieu. Défini en 1935 par George Tansley¹⁷³, il le décrit comme « un complexe d'organismes et de facteurs physiques ; [...] systèmes formant les unités de base de la nature »¹⁷⁴. Un écosystème est donc un ensemble composé d'une communauté d'êtres vivants, désignés sous le nom de biocénose, et des composantes physiques et chimiques de leur environnement, désignés sous le nom de biotope. La biocénose et le biotope forment un réseau d'échanges d'énergies, de matières, d'interactions et d'informations, appelés réseau trophique, qui permet le développement de la vie par ce qu'on appelle les services écosystémiques¹⁷⁵. Correspondant à des milieux concrets, l'écosystème est avant tout une vision méthodique du vivant par analyse transversale, interdisciplinaire et processuel de ses composantes¹⁷⁶.

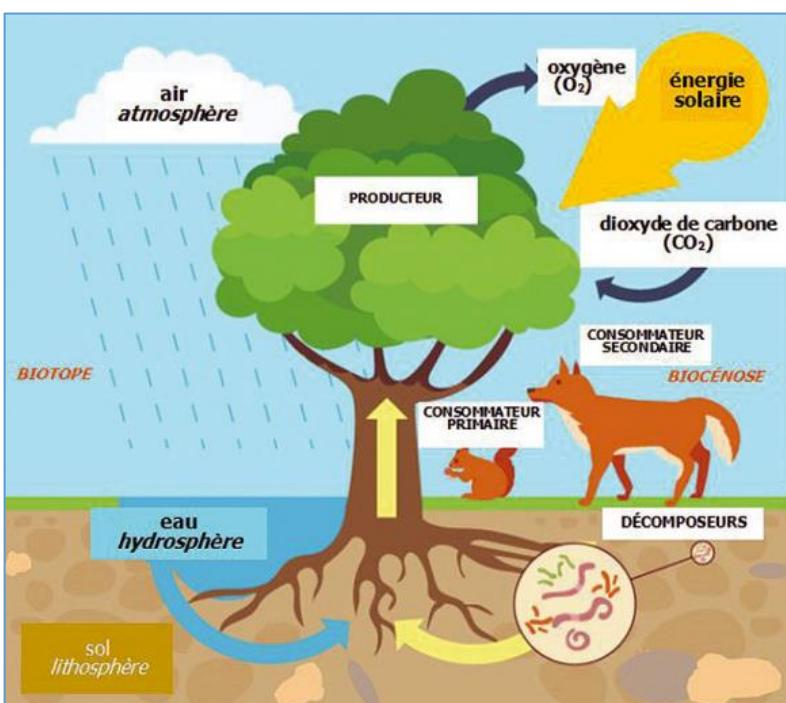


Figure 35 : Schéma d'un écosystème.

Un écosystème peut être considéré comme un sous-ensemble des « systèmes naturels », qui sont des entités complexes régies par un cadre spatio-temporel, dont les éléments interagissent de manière organisée de façon à maintenir l'homéostasie de ce système. Il s'agit donc d'une approche holistique, caractérisée par une structure plus complexe que la simple somme de ces parties¹⁷⁷.

¹⁷³ Arthur George Tansley (1871–1955) est un botaniste britannique, un des fondateurs de la Société britannique d'écologie, et rédacteur en chef du « Journal of Ecology ».

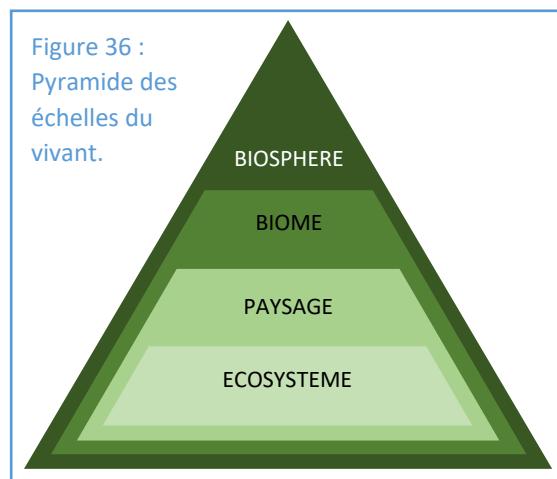
¹⁷⁴ <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/ecosystemes/> 13-11

¹⁷⁵ Wikipédia (consulté le 15 Novembre), « Ecosystème ». <https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cosyst%C3%A8me>

¹⁷⁶ Conférence de Thierry Paquot: écologie de la méthode (en Février 2020)

¹⁷⁷ Wikipédia (consulté le 15 Novembre), « Système naturel ». https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_naturel

1.1.2 Echelle du vivant et unités écologiques



Les différents systèmes naturels peuvent être classifiés selon plusieurs niveaux d'organisation suivant l'échelle du vivant. Débutant au niveau de l'organisme, les systèmes écologiques se partagent les quatre derniers niveaux¹⁷⁸ : les écosystèmes, les paysages, les biomes et enfin la biosphère.

De manière plus concrète, les différents milieux écologiques sont organisés suivant leurs superficies. Cette classification des « unités écologiques » se répartie en 8 échelles distinctes¹⁷⁹ [annexe 14 : Cartes des différentes unités écologiques planétaires] :

- Ecozone (EZO) : Pour une superficie supérieure à 62 500 km².
- Ecoprovince (EPR) : Pour une superficie comprise entre 2 500 et 62 500 km².
- Ecorégion (ERE) : Pour une superficie comprise entre 100 à 2 500 km².
- Ecodistrict (EDI) : Pour une superficie comprise entre 625 à 10 000 ha.
- Ecosysteme (ESC) : Pour une superficie comprise entre 25 à 625 ha.
- Ecosite (ESR) : Pour une superficie comprise entre 1,5 et 25 ha.
- Ecotope (ETO) : Pour une superficie comprise entre 0,25 et 1,5 ha.
- Ecoélément (EEL) : Pour une superficie inférieure à 0,25 ha.

1.1.3 Succession écologique et climax

Un écosystème, malgré les apparences, est bien un système en évolution constante dans le temps et l'espace. Les différentes interactions entre espèces et avec leur milieu modifient inévitablement l'environnement auquel elles appartiennent. Ce processus, appelé succession écologique, est l'évolution graduelle d'un écosystème suivant les différentes perturbations qui lui font face¹⁸⁰.

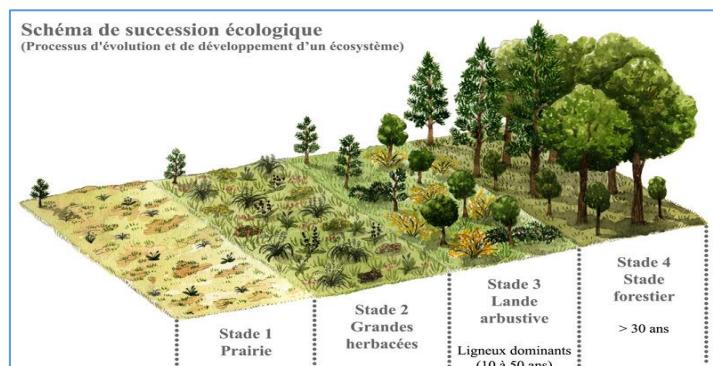


Figure 37 : Schéma de la succession écologique.

¹⁷⁸ Data (consulté le 15 Novembre), « Niveau d'Organisation et d'Intégration du Vivant »

<http://data.abuledu.org/wp/?LOM=5508>

¹⁷⁹ Tadeusz Pawlikowski et Krzysztof Pawlikowski (en 2004), *Valuation of environmental processes by invertebrate groups as bioindicators*. <http://www.home.umk.pl/~pawlik/publ/112-2004.pdf>

¹⁸⁰ Ibid. source 174

Ces successions peuvent être d'origine autogène (ou biotique), donc induites par les espèces présentes ; ou d'origine allogène (ou abiotique), donc provenant de l'extérieur (incendie, changement climatique, etc.). Ainsi perturbée, cette succession peut être caractérisée de progressive quand elle amène à une complexification du système, ou régressive quand elle conduit à une simplification de ce dernier. Pour l'une ou l'autre de ces résultats, on appelle résilience écologique la capacité d'un écosystème à retrouver une structure stable à la suite d'une perturbation ; à l'inverse, on parle de destruction totale de l'écosystème. L'état final de succession, le climax, correspond à l'état le plus stable possible de cet écosystème en fonction des conditions existantes¹⁸¹.

Les différentes étapes de succession sont principalement déterminées par les facteurs biotiques et abiotiques présents dans le stade précédent. En ce qui concerne les facteurs biotiques, les espèces dites colonisatrices, en modifiant leur environnement, peuvent agir de trois manières différentes sur les potentielles suivantes :

- Facilitation : elles facilitent l'installation des espèces suivantes.
- Inhibition : elles compliquent l'installation des espèces suivantes.
- Tolérance : elles n'ont pas d'effet notable sur leur installation.

1.1.4 Facteurs écosystémiques

Les différents éléments d'un écosystème capables d'agir, directement ou indirectement, sur les organismes qui le compose sont appelés facteurs écosystémiques (ou écologiques) ; ils permettent de décrire et analyser un écosystème ou l'environnement d'un individu¹⁸². De manière générale on distingue ses facteurs en deux catégories¹⁸³ :

- Facteurs biotiques : Ensemble des influences de la biocénose, donc générés par les organismes et leurs activités qu'elles soit intraspécifiques (de la même espèce) ou interspécifiques (d'une autre espèce) ; on y inclut aussi les facteurs anthropiques.
- Facteurs abiotiques : Ensemble des influences du biotope, donc générés par les conditions environnementales ou biogéochimiques d'un milieu.

On qualifie de facteurs limitants, les facteurs dont l'absence, la carence, la présence ou l'abondance, entrave ou empêche le développement, voir la survie d'un organisme¹⁸⁴. Selon la « loi du minimum de Liebig », ce sont, parmi les éléments indispensables à la survie d'un individu, ceux qui sont considérés comme déficitaires qui vont conditionner la croissance de celui-ci. De plus, la « loi de tolérance de Shelford » affirme qu'un facteur est qualifié de limitant quand il conditionne les possibilités de développement d'un organisme.

¹⁸¹ Cours de O. MAIRE. (Année universitaire 2010-2011). *Cours : Développement et évolution des écosystèmes*.

¹⁸² Aquaportal (consulté le 15 Novembre). « **facteur écologique** ». <https://www.aquaportal.com/definition-9274-facteur-ecologique.html>

¹⁸³ Aquaportal (consulté le 15 Novembre). « **facteurs biotiques** ». <https://www.aquaportal.com/definition-4846-facteurs-biotiques.html>

¹⁸⁴ Aquaportal (consulté le 15 Novembre). « facteur limitant ». <https://www.aquaportal.com/definition-3841-facteur-limitant.html>

Ainsi, seuls les facteurs entravant la zone de tolérance d'une espèce sont considérés comme limitants ; à l'inverse, ils ont tous un optimum qui correspond à la valeur idéale à son développement. On appelle alors valence écologique la capacité d'un organisme à s'adapter aux variations d'un facteur écologique ; plus sa zone de tolérance sera grande, plus sa valence écologique le sera aussi¹⁸⁵.

1.1.5 Services écosystémiques

L'ensemble des processus, interactions et autres paramètres biologiques des écosystèmes sont appelés fonctions écosystémiques (ou écologiques), ils permettent le bon fonctionnement de ce dernier. Ces fonctions sont à l'origine des services écosystémiques (ou écologiques) dont les hommes tirent gratuitement ses bénéfices¹⁸⁶. Introduit lors de « l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire », la stratégie nationale pour la biodiversité les définit comme « Utilisation par l'homme des fonctions écologiques de certains écosystèmes, à travers des usages et une réglementation qui encadrent cette utilisation. Par souci de simplicité, on dit que les écosystèmes « rendent » ou « produisent » des services. Considéré comme des biens communs, certains sont vitaux pour l'homme mais aussi pour une grande partie des êtres vivants¹⁸⁷.

De manière simplifiée, les écosystèmes induisent des processus biologiques nécessaires à son maintien, ceux-ci sont définis d'un point de vue écocentré comme des fonctions écologiques, elles-mêmes définies d'un point de vue anthropocentré comme des services écologiques. Ces trois notions sont reliées de manières non-bijective ; c'est-à dire qu'elles peuvent provenir d'une ou plusieurs origines et inversement, et peuvent aussi être à l'origine d'un ou plusieurs effets¹⁸⁸.

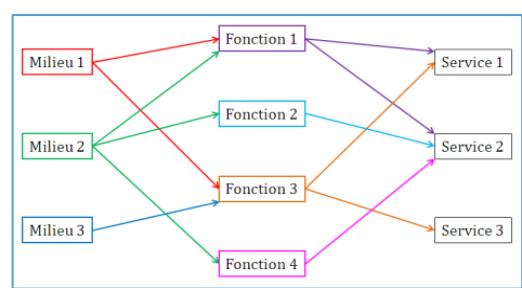


Figure 38 : Liens entre milieu, fonction, et services écosystémique

Les services écosystémiques sont généralement répartis en quatre types¹⁸⁹ :

- Les services de soutiens : Qui assurent le bon fonctionnement de la biosphère ; ils sont nécessaires pour la réalisation des autres types de services.
- Les services d'approvisionnement : Qui sont les produits tangibles assurés par les écosystèmes.

¹⁸⁵ Wikipédia (consulté le 15 Novembre), « Facteur écologique ».

https://fr.wikipedia.org/wiki/Facteur_%C3%A9cologique#Loi_du_minimum_de_Liebig

¹⁸⁶ Julien LHOMME, « Fonctions et services écosystémiques » dans Ecotopia (s.d.)

¹⁸⁷ Wikipédia (consulté le 15 Novembre), « Service écosystémique».

https://fr.wikipedia.org/wiki/Facteur_%C3%A9cologique#Loi_du_minimum_de_Liebig

¹⁸⁸ Eric Blanchart et Stéphane de Tourdonnet. (s.d.). *Lien entre Services Écosystémiques et Fonctions écologiques*

¹⁸⁹ Ibid. source 176

- Les services de régulation : Qui sont les bénéfices intangibles assurés par les écosystèmes.
- Les services (socio)culturels : Qui sont les avantages amènes (ou aménités) assurés par les écosystèmes.



Figure 39 : Schéma des services écosystémiques.

1.2 Biotope

1.2.1 Environnement

Un biotope, du grec ancien, « *bíos* », vie, et « *tópos* », lieu, signifie littéralement lieu de vie. Il est décrit par Roger Braque¹⁹⁰ en 1987 comme le « cadre abiotique, physico-chimique, que la commodité de l'analyse conduit à scinder en climatope (représenté le plus souvent par le climat local) et l'édaphotope (sol évolué ou non, et en situation limite la roche saine ou son altérité) »¹⁹¹. Ce type de milieu est donc défini par des conditions physico-chimiques et des caractéristiques environnementales relativement uniformes, permettant la vie des êtres vivants qui y sont présents.

Un biotope se caractérise donc par les paramètres qui créent la particularité de ce milieu, certaines espèces dépendent d'ailleurs entièrement du maintien de ses conditions de vie très spécifiques, c'est pourquoi il est aussi important de préserver les populations que leur

¹⁹⁰ Roger Braque est un biologiste et géographe français, connu pour son ouvrage : Biogéographie des continents.

¹⁹¹ Didier LAVERGNE (consulté 14 novembre) « BIOTOPE », Encyclopædia Universalis

environnement¹⁹². Cet environnement se définit donc suivant plusieurs caractéristiques tels que¹⁹³ :

- Topographique : Coordonnées graphiques et altimétriques.
- Géographique : Histoire et relief des surfaces terrestres.
- Géologique : Agencement, structure et dynamique des sols.
- Pédologique : Informations physico-bio-chimiques des sols.
- Climatique : Météo et climat, ainsi que ses interactions avec la nature (ex : ombre).
- Hydrographique : Distribution des eaux dans l'espace.
- Hydrologique : Propriétés mécaniques des fluides (mouvements des eaux).

1.2.2 Cycles biogéochimiques

A l'échelle de la Terre, certaines de ses caractéristiques sont régies par des processus de transformations cycliques des éléments, appelés cycles biogéochimiques. Définissant les conditions d'échanges planétaires entre la géosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère ; ces cycles permettent de réguler le bon fonctionnement de la biosphère en assurant la stabilité dans les temps de ses différents écosystèmes¹⁹⁴. Même s'ils sont tous en interaction et indispensable à la vie, l'un de ces cycle les plus important, tout du moins pour la compréhension des échanges énergétiques terrestres, reste celui du carbone. Que ce soit l'air que l'on respire, les molécules nous constituant ou encore la composition des sols, tous contiennent du carbone. On appelle, chaînes carbonées, les liaisons entre différents atomes de carbone qui sont à l'origine de tous les organismes vivants. La majeure partie de la synthétisation de ces chaînes est formée grâce à l'énergie du Soleil, par le processus de la photosynthèse. Ce phénomène physique permet de transformer l'énergie solaire en énergie chimique, stockable sous forme de molécules organiques¹⁹⁵.

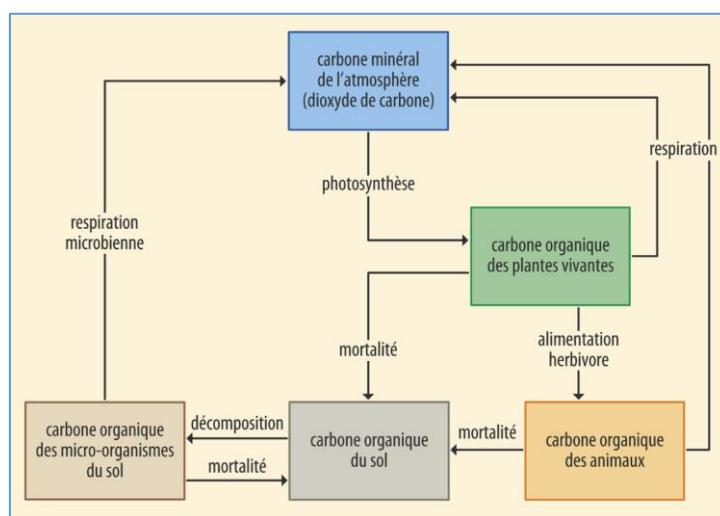


Figure 40 :
Schéma du cycle
du carbone.

¹⁹² Futura planète (consulté le 16 Novembre), « Biotope ». <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/environnement-biotope-106/>

¹⁹³ Wikipédia (consulté le 16 Novembre), « Biotope ». <https://fr.wikipedia.org/wiki/Biotope>

¹⁹⁴ Jean-Claude DUPLESSY (consulté le 14 novembre) « CYCLES BIOGÉOCHIMIQUES », Encyclopædia

¹⁹⁵ Ibid. Source 110

En comptant celui précédemment énoncé, on compte 9 cycles biogéochimiques principaux [annexe 15 : Schémas des principaux cycles biogéochimiques de la biosphère] assurant l'homéostasie des différents biotopes de la biosphère¹⁹⁶ :

- Le cycle du carbone.
- Le cycle de l'eau.
- Le cycle de l'hydrogène.
- Le cycle de l'oxygène.
- Le cycle de l'azote.
- Le cycle du phosphore.
- Le cycle du soufre.
- Le cycle de la roche.
- Les cycles des métaux.

1.2.3 Système climatique

Le climat définit les conditions météorologiques d'une région en une période donnée (minimum 30 ans), il se distingue de la météo par son échelle, cette dernière désigne le temps à court terme sur un espace ponctuel¹⁹⁷. Le climat se caractérise par de nombreuses mesures de données factuelles tels que la température, les précipitations, l'humidité, l'ensoleillement, la pression atmosphérique ou la vitesse du vent. Il peut varier dans le temps par des phénomènes exceptionnels (astronomiques, géologiques, etc.) ou les activités humaines¹⁹⁸.

La climatologie sert notamment à classifier les différentes régions de la planète selon leurs caractéristiques météorologiques particulières¹⁹⁹ [annexe 16 : Carte des différents climats terrestres] :

- Climat polaire : hivers arctiques longs et froids ; étés courts et frais.
- Climat continental : hivers long et froids ; été chaud et pluvieux.
- Climat océanique (tempéré) : faibles contrastes thermiques ; forte pluviosité.
- Climat subtropical :
 - Climat méditerranéen : hivers doux et pluvieux ; étés chauds et secs.
 - Climat Chinois : hivers courts, froids et secs ; étés chauds et pluvieux.
- Climat désertique : températures élevées ; aridité permanente.
- Climat intertropical :
 - Climat tropical : hivers secs et chauds ; étés chauds, arrosés et humides.
 - Climat équatorial : températures élevées ; humidité et pluies abondantes.

¹⁹⁶ Wikipédia (consulté le 16 Novembre), « Cycle biogéochimique ». https://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle_biotique

¹⁹⁷ Futura planète (consulté le 16 Novembre), « Climat ». <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/climatologie-climat-13771/>

¹⁹⁸ Wikipédia (consulté le 16 Novembre), « Climat ». <https://fr.wikipedia.org/wiki/Climat>

¹⁹⁹ Larousse (consulté le 16 Novembre), « Climat : les climats du monde ».

https://www.larousse.fr/encyclop%C3%A9die/divers/climat_les_climats_du_monde/185927

- Climat de mousson : vents saisonniers ; périodes de pluies torrentielles.
 - Climat de montagne : hivers froids ; étés frais et humides.

Le climat est donc sujet à des perturbations, qu'on nomment forçages, c'est ce qui engendre les changements météorologiques²⁰⁰. Ces interactions entre les cinq composantes principales de la Terre (atmosphère, lithosphère, hydrosphère, cryosphère et biosphère) et avec le rayonnement solaire définissent le système climatique. Le Soleil étant la seule source d'énergie naturel de ce système, elle est répartie entre ses différents composants par des échanges d'eau, de chaleur, de mouvement et de composés chimiques. Parmi eux, le plus important est l'effet de serre²⁰¹.

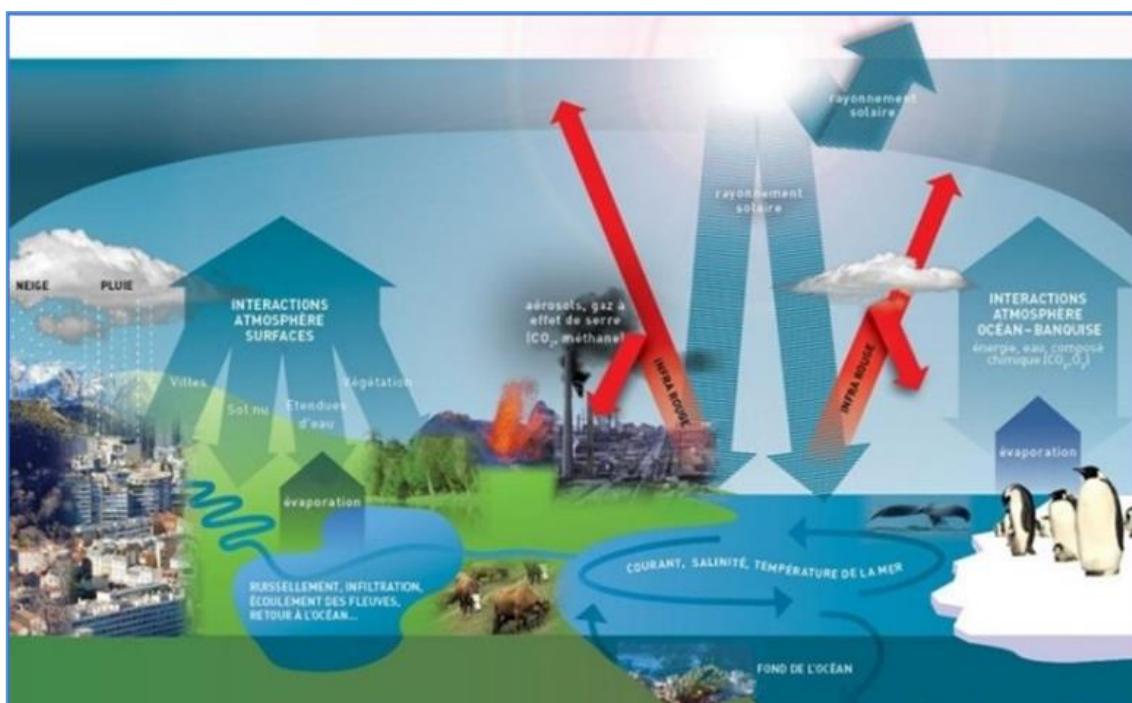


Figure 41 : Schéma du système climatique.

L'effet de serre est un phénomène naturel formant un équilibre entre les radiations absorbées et celles qui sont réfléchies ; c'est ce processus qui influence majoritairement les températures planétaires. Notre atmosphère agit donc, à l'image des vitres d'une serre, comme un isolant afin de retenir une partie de la chaleur du Soleil. Cet équilibre repose sur sa composition, et principalement sa teneur en gaz à effet de serre ; une faible variation de ses éléments chimiques peut conduire à une forte modification des températures à notre surface²⁰². Ainsi, en plus des interactions naturelles de la biosphère, des forçages externes

²⁰⁰ Futura planète (consulté le 16 Novembre), « Le système climatique : interaction et effet de serre ». <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/climatologie-rechauffement-climatique-question-forcages-1117/page/4/>

²⁰¹ Météo France (consulté le 16 Novembre), « Le système climatique ». <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/comprendre-le-climat-mondial/le-systeme-climatique>

²⁰² Ma Cop21 (consulté le 16 Novembre), « Le fonctionnement de notre système climatique » <http://macop21.fr/comprendre-les-changements-climatiques/notre-systeme-climatique/>

peuvent avoir une influence importante sur le système climatique. Ces paramètres peuvent être naturels ou liés aux activités humaines :

- Mécanismes naturels : Comme l'activité volcanique ou les variations d'émissions solaires (variations d'orbites terrestre).
- Mécanismes anthropiques : Comme les émissions de CO₂, les diffusions d'aérosols, l'artificialisation des sols ou les perturbations du cycle de l'eau.

1.2.4 Habitat naturel

Selon la définition du réseau Natura2000, « un habitat naturel ou semi naturel est un milieu qui réunit les conditions physiques et biologiques nécessaires à l'existence d'une espèce (ou d'un groupe d'espèces) animale(s) ou végétale(s) »²⁰³. Un habitat naturel est donc un ensemble territorial formant le milieu de vie d'une population et permettant son épanouissement. Si la langue anglaise ne fait pas la différence entre biotope et habitat, en français l'habitat se différencie par sa singularité à décrire le milieu d'une population quand le biotope décrit celui d'une communauté. Si la différence reste mince, en pratique le terme d'habitat est plus un concept servant à décrire et catégoriser les différents biotopes²⁰⁴ (dans une volonté de clarté, considérons ici les deux termes comme des synonymes).

Plus spécifique, le terme de niche écologique définit le rôle d'une espèce ou d'une population au sein de son écosystème. Selon Joseph Grinnell²⁰⁵, le concept de niche signifie « tout ce qui conditionne l'existence d'une espèce à un endroit donné, ce qui inclut des facteurs abiotiques comme des facteurs biotiques »²⁰⁶. A la différence de l'habitat ou du biotope, le terme est ici centré sur une espèce en particulier et comprend, en plus des facteurs abiotiques du milieu, les espèces avoisinantes et les interactions qu'ils entretiennent²⁰⁷. Ainsi, 2 espèces possédant la même niche écologique ne peuvent vivre durablement dans le même écosystème, notamment si elles dépendent des mêmes ressources.

A l'échelle de l'écologie paysagère, les différents habitats, naturels et semi-naturels, européens sont classifiés selon le catalogue CORINE Biotopes (COordination et Recherche de l'INformation en Environnement) en 7 catégories principales²⁰⁸.

²⁰³ [Habitats Naturels supports de la biodiversité](http://habitats-naturels.info/definition/) (consulté le 16 Novembre) <http://habitats-naturels.info/definition/>

²⁰⁴ Portail Wallonie.be (consulté le 18 Novembre), « Natura 2000 » <http://biodiversite.wallonie.be/fr/biotope-ou-habitat.html?IDD=2212&IDC=833>

²⁰⁵ Joseph Grinnell (1877-1939) est un zoologiste américain, directeur du musée de zoologie de l'université de Californie de 1908 à 1939, considéré comme l'un des premiers spécialistes des communautés écologiques.

²⁰⁶ Wikipédia (consulté le 18 Novembre), « Niche écologique».

https://fr.wikipedia.org/wiki/Niche_%C3%A9cologique#:~:text=La%20niche%20%C3%A9cologique%20est%20un,population%20viable%20de%20cet%20organisme

²⁰⁷ Université Virtuelle Environnement et Développement durable (UVED), (consulté le 18 Novembre), « Définitions des termes habitat, biotope et niche écologique » https://www.supagro.fr/ress-pepites/Opale/ProcessusEcologiques/co/Ha_Definitions.html

²⁰⁸ Miriam BISSARDON et Lucas GUIBAL, (s.d.), : *Types d'habitats français*.

1 - Habitats littoraux et halophile
11. Mers et océans
12. Bras de mer
13. Estuaires et rivières tidales (soumises à marées)
14. Vasières et bancs de sable sans végétations
15. Marais salés, prés salés (schorres), steppes salées et fourrés sur gypse
16. Dunes côtières et plages de sable
17. Plages de galets
18. Côtes rocheuses et falaises maritimes
19. Ilots, bancs rocheux et récifs
2 - Milieux aquatiques non marins
21. Lagunes
22. Eaux douces stagnantes
23. Eaux stagnantes, saumâtres et salées
24. Eaux courantes
3 - Landes, fruticées et prairies
31. Landes et fruticées
32. Fruticées sclérophylles
33. Phryganes
34. Steppes et prairies calcaires sèches
35. Prairies siliceuses sèches
36. Pelouses alpines et subalpines
37. Prairies humides et mégaphorbiaies
38. Prairies mésophiles
4 - Forêts
41. Forêts caducifoliées
42. Forêts de conifères
43. Forêts mixtes
44. Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides
45. Forêts sempervirentes non résineuses
5 - Tourbières et marais
51. Tourbières hautes
52. Tourbières de couverture
53. Végétation de ceinture des bords des eaux
54. Bas-marais, tourbières de transition et sources
6 - Rochers continentaux, éboulis et sables
61. Eboulis
62. Falaises continentales et rochers exposés
63. Neiges et glaces éternelles
64. Dunes sableuses continentales
65. Grottes
66. Communautés des sites volcaniques
8 - Terres agricoles et paysages artificiels
81. Prairies améliorées
82. Cultures
83. Vergers, bosquets et plantations d'arbres
84. Alignements d'arbres, haies, petits bois, bocage, parcs,
85. Parcs urbains et grands jardins
86. Villes, villages et sites industriels
87. Terrains en friche et terrains vagues
88. Mines et passages souterrains
89. Lagunes et réservoirs industriels, canaux

Figure 42 : Glossaire des types d'habitats français (source : Corine biotope)

Datant pour sa version la plus récente de 1996, cette classification est en phase d'être remplacée par le système EUNIS (Système d'Information sur la Nature de l'Union Européenne) qui comprend aussi les habitats artificiels [annexe 17 : Liste complète des niveaux typologiques EUNIS].

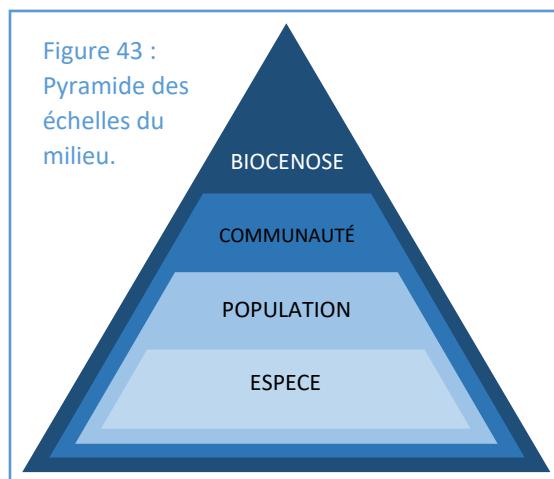
1.3 Biocénose

1.3.1 Espèce, population et communauté

Une biocénose, du grec ancien « *bios* », vie, et « *koinós* », commun, se définit donc comme une communauté de vie. Il a été introduit en 1877 par Karl Möbius²⁰⁹ comme étant « un groupement d'êtres vivants dont la composition, le nombre des espèces et celui des individus reflète certaines conditions moyennes du milieu ; ces êtres sont liés par une dépendance réciproque »²¹⁰. Il s'agit donc de l'ensemble des espèces (faune, flore et fonge) cohabitant dans un même biotope. L'étude de ces groupes peuvent se diviser en plusieurs branches selon les types d'individus²¹¹ :

- La phytocénose : Pour l'étude des communautés d'espèces végétales.
- La zoocénose : Pour l'étude des communautés d'espèces animales.
- La mycocénose : Pour l'étude des communautés de champignons.
- La microcénose : Pour l'étude des communautés de microorganismes.

Les êtres vivants peuvent aussi être étudiés dans leur environnement selon la composition de leur ensemble, aussi appelé taxon²¹² :



- Une espèce : Ensemble d'individus génétiquement semblables et donc capables de se reproduire entre eux ; ils partagent la même niche écologique.
- Une population : Ensemble d'individus d'une même espèce ; ils partagent le même milieu écologique.
- Une communauté : Ensemble d'individus de populations d'espèces différentes en relations ; ils partagent le même écosystème.

1.3.2 Biodiversité et classification des organismes

Une biocénose s'appuie donc sur la biodiversité des espèces en son sein, c'est-à-dire la variété des êtres vivants qui la compose. Si cette diversité est omniprésente dans la nature ce n'est pas pour rien ; en effet, « l'appauvrissement génétique des populations » conduit à des risques réels pour la survie du vivant. Ils sont de trois types différents²¹³ :

- Baisse de l'adaptabilité aux changements environnementaux.
- Développement des disfonctionnements génétiques.
- Diminution des systèmes de défenses immunitaires.

²⁰⁹ Karl August Möbius (1825-1908) est un zoologue et écologue allemand, professeur à l'université de Kiel en 1868, puis à l'université de Berlin jusqu'en 1905.

²¹⁰ Paul DUVIGNEAUD & al. (consulté 16 novembre) « BIOCÉNOSES », Encyclopædia Universalis

²¹¹ Wikipédia (consulté le 18 Novembre), « Biocénose ». <https://fr.wikipedia.org/wiki/Bioc%C3%A9nose>

²¹² Ibid source 14.

²¹³ Robert BARBAULT (consulté 16 novembre) « BIODIVERSITÉ », Encyclopædia Universalis

Afin d'évaluer cette diversité, les écologues ont depuis tout temps chercher à définir des méthodes de classement du vivant. La grande variété d'espèces présente sur Terre est principalement dû à la variabilité génétique qui s'est dessinée à travers le temps.

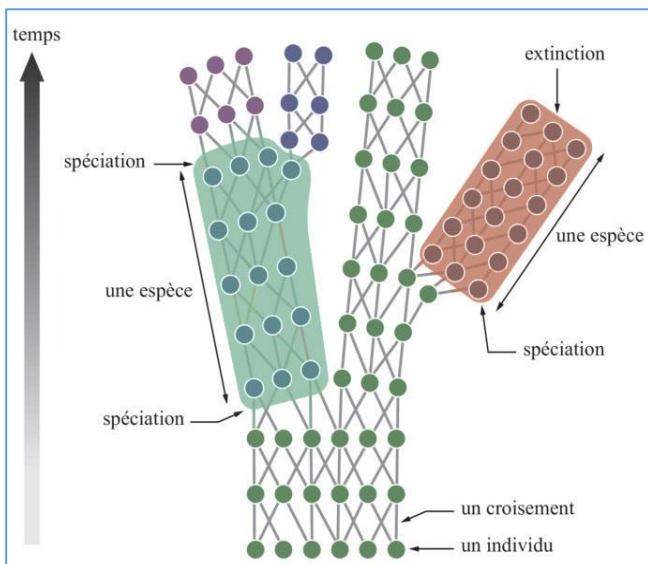
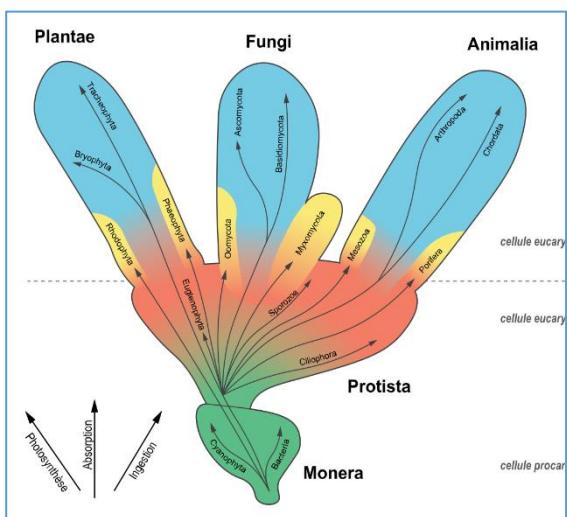


Figure 44 : Principe de création de la diversité génétique.

Développé par la théorie de Darwin sur la sélection naturelle, autrement dit le caractère unique de chaque individu à générer des aptitudes (génétiques, physiques, adaptatives...) qui lui permettront de réagir face aux contraintes environnementales. Engendré par les croisements entre différents organismes, des nouvelles espèces voient le jour (la spéciation), quand d'autres s'éteignent (extinction). Les espèces qui survivent le mieux transmettent leurs gènes à leurs descendants, c'est ce qu'on appelle assez logiquement l'évolution²¹⁴.

L'étude de cette diversité génétique est le domaine de la taxonomie, et plus précisément de la phylogénétique. La classification phylogénétique du vivant décrit les relations de parenté entre tous les êtres vivants²¹⁵, elle est exprimée sous la forme d'un arbre [annexe 18 : Arbre phylogénétique simplifié des groupes d'espèces vivantes].

Basé sur le travail de Darwin, puis de Haeckel, l'arbre que l'on connaît aujourd'hui est



attribué à Carl Woese²¹⁶ qui le divise en trois branches : les Bacteria (bactéries), les Archaea (archées) et les Eucaryotes (animaux, champignons, plantes et protistes)²¹⁷. Ici, on s'intéressera principalement à cette troisième branche qui englobe les trois règnes les plus évolués du vivant²¹⁸ :

- La flore (règne végétal) : Ensemble des espèces végétales propres à un même milieu.

Figure 45 : Arbres des liens génétiques entre faune, fonge et flore.

²¹⁴ JOYARD Jacques (consulté le 18 Novembre), « Qu'est-ce que la biodiversité ? », (en 2020), dans Encyclopédie de l'environnement, <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/quest-ce-que-la-biodiversite/>

²¹⁵ Ibid. source 141

²¹⁶ Carl Richard Woese (1928-2012) est un microbiologiste américain, enseignant au Center for Advanced Study de l'université d'Illinois, connu pour ses travaux sur l'organisation cellulaire et en phylogénie moléculaire.

²¹⁷ Wikipédia (consulté le 18 Novembre), « Arbre phylogénétique».

https://fr.wikipedia.org/wiki/Arbre_phylog%C3%A9n%C3%A9tique

²¹⁸ Wikipédia (consulté le 18 Novembre), « Règne (biologie)». [https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A8gne_\(biologie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A8gne_(biologie))

- La faune (règne animal) : Ensemble des espèces animales propres à un même milieu.
- La fonge (règne mycète) : Ensemble des espèces de champignons propres à un même milieu.

1.3.3 Structure spatiale

Tous ces êtres vivants ont une composition logique au sein de leur environnement. Défini selon leur population et leur manière d'évoluer dans leur milieu ; chaque individu occupe un emplacement défini (mais variable dans le temps pour les animaux mobiles). La disposition de cette biocénose joue un rôle important en définissant leurs interactions et donc leur place au sein du réseau trophique de l'écosystème. Cette répartition dans l'espace se fait sur le plan vertical, mais aussi sur le plan horizontal²¹⁹.

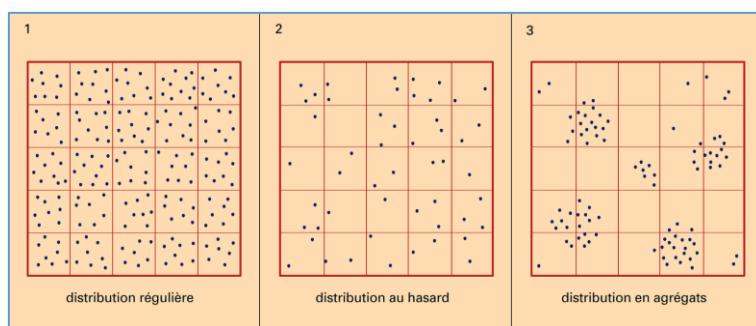


Figure 46 : Répartition spatiales des populations sur le plan horizontal.

Si l'évolution de cette distribution se fait de manière générale de façon progressive, suivant les aléas des petits changements environnementaux ou des rapports entre espèces coexistantes sur le même habitat. Des changements plus brutaux peuvent voir le jour lorsque que leurs conditions de vie sont modifiées d'un coup : comme suite à la chute d'un arbre, d'une éruption volcanique ou plus généralement par l'action de l'homme. En fonction des espèces et du milieu la distribution peut être régulière (également répartie sur le territoire), hasardeuse (sans logique spatiale apparente) ou en agrégats (formation de groupes séparés). Mais elle se caractérise aussi par la densité des espèces, c'est souvent à la lisère entre différents biotopes que l'on retrouve le plus d'interactions entre espèces, et donc une plus forte concentration de populations.

²¹⁹ Ibid. source 138

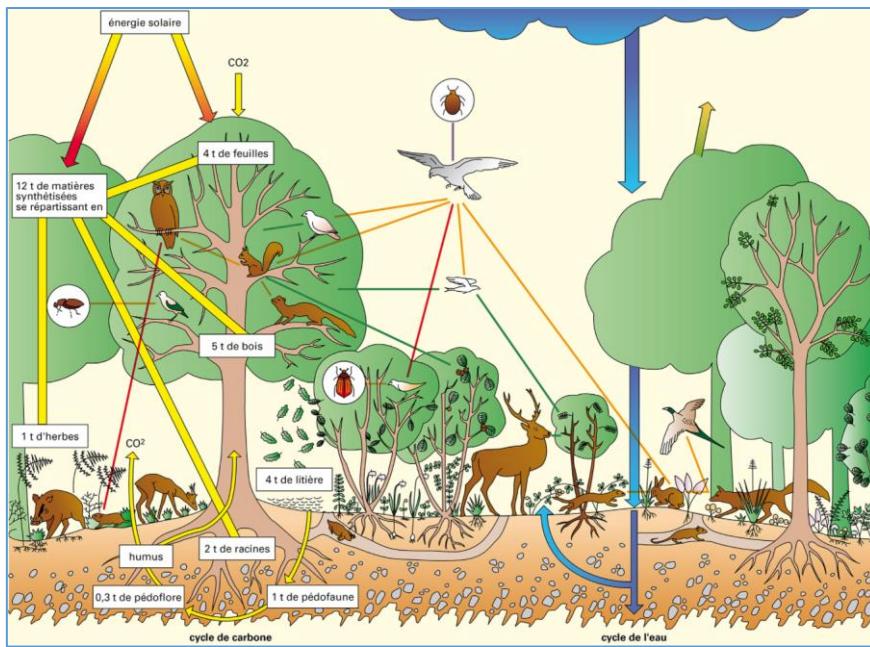


Figure 47 : Répartition spatiale des populations sur le plan vertical.

L'espace étant bien en trois dimensions, cette répartition peut aussi être étudiée selon un axe vertical. Plus marqué que sur le plan horizontal, on peut retrouver des démarcations nettes entre différents niveaux : surface de l'eau, surface du sol, air libre... Cette discontinuité définit des strates qui correspondent à la distribution des différents organismes dans l'espace. De manière simplifiée, on a tendance à dissocier deux strates principales :

- La strate supérieure : Eclairée, elle est habitée par les organismes autotrophes.
- La strate inférieure : Obscure, elle est habitée par les organismes hétérotrophes.

Si cette division reste brutale, elle n'en n'est pas pour autant complètement distincte. En effet, de nombreuses interactions existent entre les différentes strates et certains individus eux-mêmes qui se déplacent d'un milieu à l'autre. Cette séparation permet néanmoins de catégoriser les différentes populations en sous-ensemble, aussi appelée synusie, d'une même biocénose²²⁰.

1.3.4 Interactions écologiques

Caractérisée par les espèces qui la composent et le milieu dans lequel elle évolue, une biocénose est aussi définie par les interactions entre ses individus. D'une grande complexité, ces relations sont aussi diverses que variées. Si chaque individu est en relation plus ou moins forte avec toutes les autres espèces de sa biocénose ; elles peuvent avoir de nombreuses origines tels que l'exploitation d'une même ressource, l'utilisation d'un même habitat, un objectif commun, une relation d'entre-aide, ou même sans intérêt notable²²¹.

²²⁰Ibid. source 138

²²¹ Robert BARBAULT & al (consulté le 16 novembre) « POPULATIONS ANIMALES (DYNAMIQUE DES) », Encyclopædia Universalis

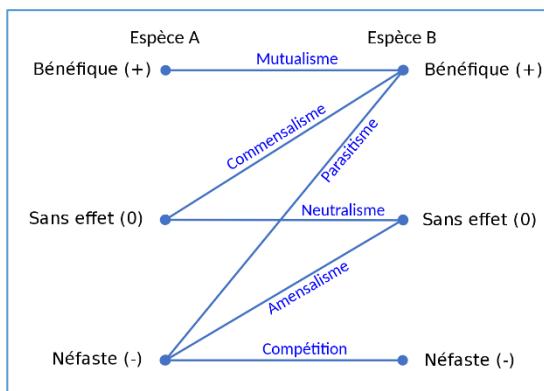


Figure 48 : Schéma des interactions du vivant.

Ces relations, appelées interactions écologiques, sont définies selon plusieurs caractéristiques tels que²²² :

- La durée : Relations instantanées ou durables.
- Le besoin : Relations obligatoires, facultatives, opportunistes ou accidentielles.
- Le résultat : Relations bénéfiques, neutres ou néfastes.

- Symbiose : Interaction naturellement bénéfique ; impliquant le cycle de vie des deux individus.
- Mutualisme : Interaction bénéfique aux deux parties.
- Commensalisme : Interaction bénéfique pour une seule des deux parties.
- Neutralisme : Interaction neutre pour les deux parties.
- Amensalisme : Interaction neutre pour l'une et néfaste pour l'autre.
- Compétition : Interaction néfaste pour les deux parties.
- Parasitisme : Interaction bénéfique pour l'une et néfaste pour l'autre.
- Prédation : Interaction bénéfique pour l'une et mortelle pour l'autre.

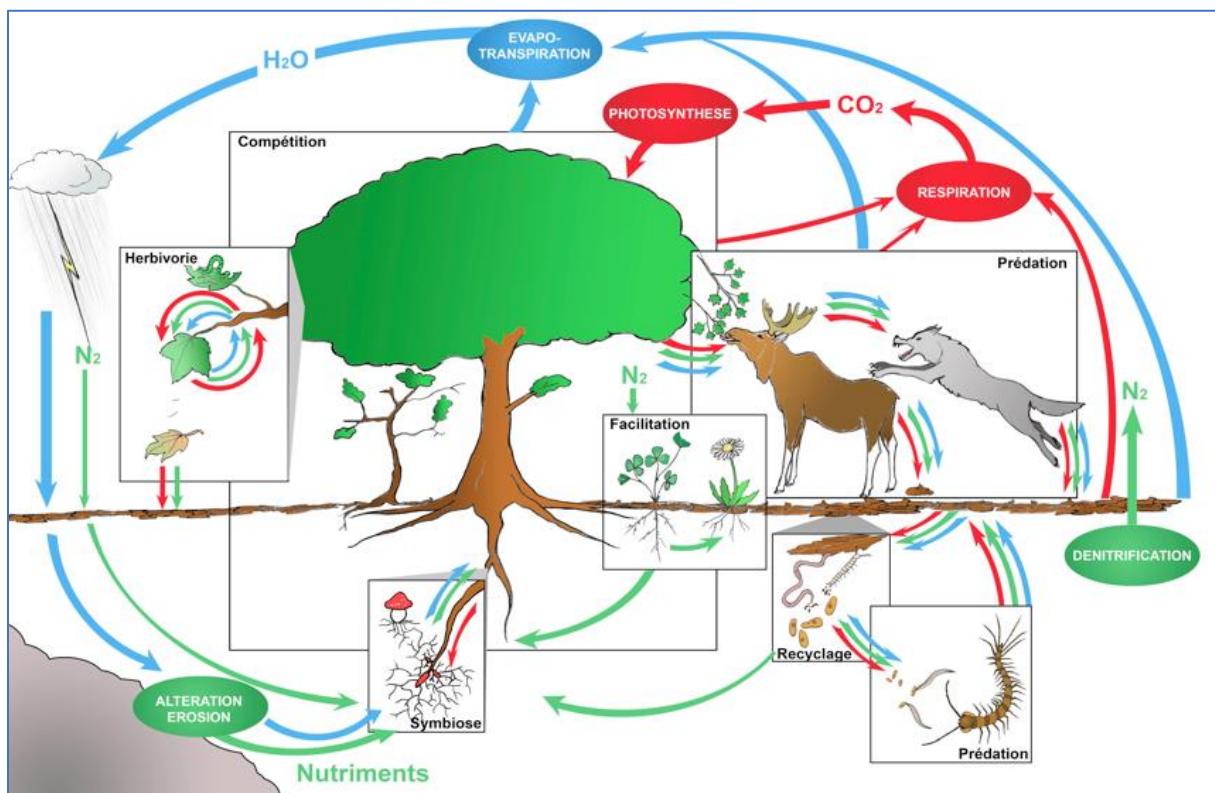


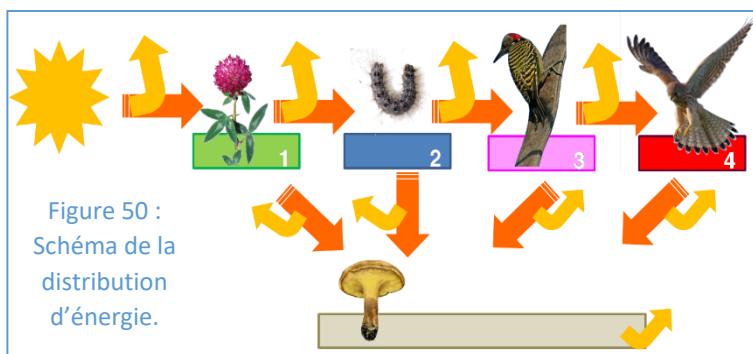
Figure 49 : Exemple simplifiées des différents interactions au sein d'un écosystème.

²²² Wikipédia (consulté le 18 Novembre), « Interaction biologique ». https://fr.wikipedia.org/wiki/Interaction_biologique

1.4 Réseau trophique

1.4.1 Biomasse et énergie

Un réseau trophique est un système d'échange qui définit les interactions entre les différents individus de la biocénose. Souvent défini comme l'ensemble des relations alimentaires ; le terme trophique, du grec ancien « *trophikós* », nourrissant, renvoi à la nutrition des organes vivants. Pourtant ce réseau est en réalité bien plus complexe, comprenant aussi des relations non trophiques et tout un système de partage d'informations ; en somme, tous les échanges de biomasse et d'énergie au sein de l'écosystème²²³.



L'énergie mesure la capacité d'un système à modifier un état ou produire une action avec une force et sur un temps donné ; en biologie, on retrouve ce principe qui s'applique entre les différents organismes. Intégrés aux réseaux trophiques, les échanges énergétiques sont

initialement dû à l'énergie solaire par le principe de photosynthèse. L'énergie ainsi captée est généralement stockée sous forme d'énergie chimique ou biologique (sucres, graisses...), avant d'être redistribuée aux différents niveaux trophiques du réseau²²⁴.

La biomasse désigne la masse totale des organismes vivants d'un milieu donné à un moment donné²²⁵. A l'échelle de la Terre, cette biomasse est composée à 82,54% des plantes, les champignons en représentent 2,20%, quand les animaux ne font que 0,37% de ce volume global²²⁶ (à ne pas confondre avec le nombre d'espèces, qui a des proportions bien différentes).

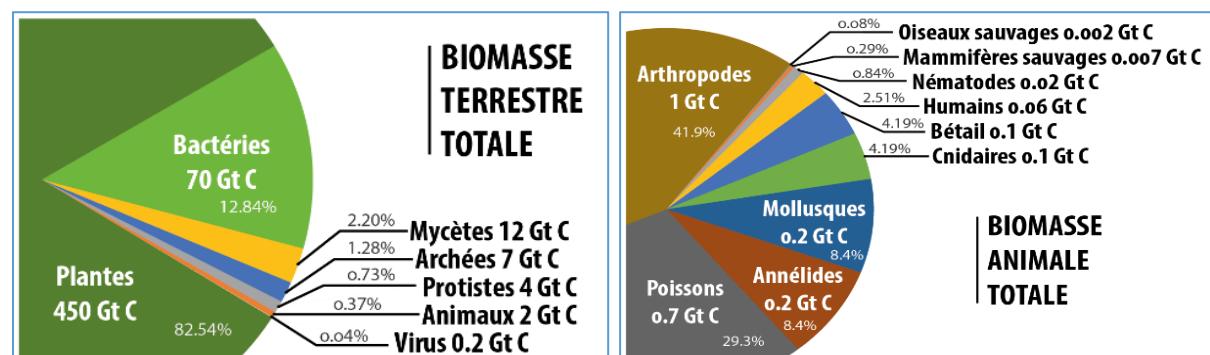


Figure 51 : Proportion de la biomasse totale/animal.

²²³ Dictionnaire environnement (consulté le 19 Novembre), « Réseau trophique ». https://www.dictionnaire-environnement.com/reseau_trophique_ID4954.html

²²⁴ Wikipédia (consulté le 19 Novembre), « Énergie ». <https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie>

²²⁵ Futura planète (consulté le 16 Novembre), « Biomasse ». <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/environnement-biomasse-2038/>

²²⁶ Pascal Combemorel, « La répartition de la biomasse sur Terre » dans Planet vie (en 2018).

1.4.2 Chaîne alimentaire

Une chaîne alimentaire représente l'ensemble des interactions d'origine alimentaire entre différents organismes, soit « l'ensemble des chaînes trophiques qui relient les organismes d'une biocénose »²²⁷. Elle est alors caractérisée par l'organisation et la dynamique des relations alimentaires entre les différentes espèces d'un écosystème²²⁸. Les différents liens entre les différents individus sont si nombreux et si complexes qu'il est presque impossible de la schématiser ; une espèce peut en effet appartenir à plusieurs chaînes trophiques avec un rôle différent à chaque fois.

Afin de parvenir à une définition simplifiée de la réalité, une chaîne alimentaire est généralement réduite à une seule synusie en regroupant les individus par espèces ayant les mêmes exigences trophiques²²⁹.

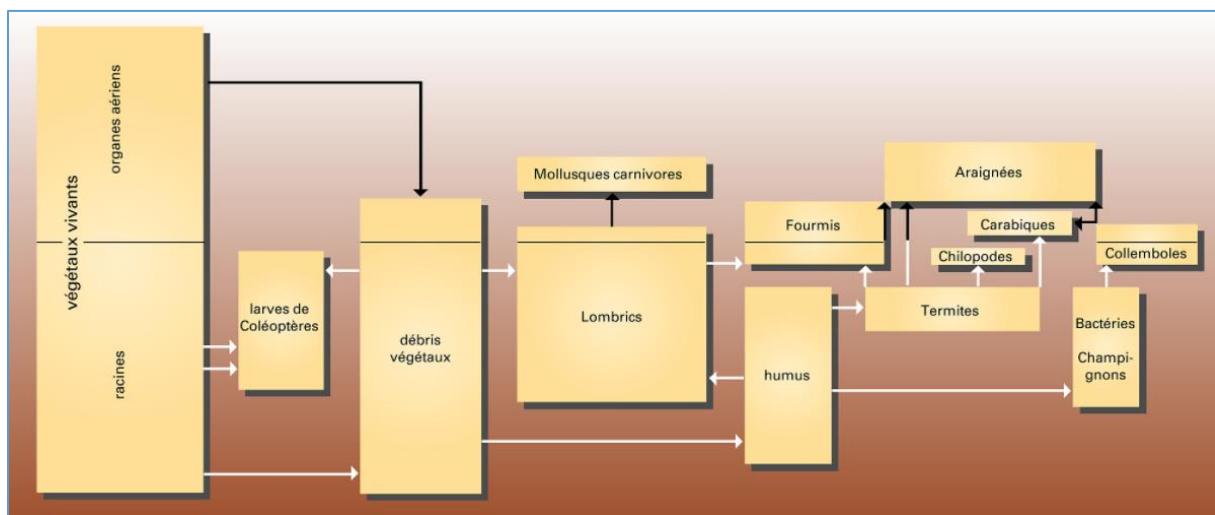


Figure 52 : Schéma d'un réseau trophique.

1.4.3 Pyramide et niveaux trophiques

En ajoutant à cette représentation une définition quantitative de la biomasse des différentes populations, on peut alors schématiser cette structure trophique sous forme d'une pyramide, appelée pyramide écologique (ou trophique). Les individus sont alors regroupés sous de plus grandes catégories, les niveaux trophiques, qui correspondent aux étages de cette pyramide. La surface de chacun de ces étages est alors proportionnelle à la biomasse des individus qui la composent²³⁰.

Les êtres vivants sont alors répartis en deux grandes catégories qui correspondent à la source de leur énergie primaire, autrement dit par leur régime alimentaire :

²²⁷ Ibid. source 223

²²⁸ Ibid. source 110

²²⁹ Ibid. source 138

²³⁰ Ibidem.

- Les autotrophes : Organisme qui génère lui-même sa propre matière organique à partir d'éléments minéraux ; mécanisme le plus généralement élaboré par photosynthèse²³¹.
- Les hétérotrophes : Organisme incapable de générer lui-même ses composants ; il utilise donc des sources de matières organiques exogènes²³².

Cette classification reste cependant une vision simplifiée de la réalité ; les êtres vivants ayant des régimes alimentaires pouvant varier en fonction de la période de l'année, la disponibilité de sa nourriture, son développement, son âge, sa taille, etc... sans compter les animaux omnivores ou cannibales qui ne rentrent pas à proprement parler dans une seule catégorie²³³. Partant de ce postulat, les individus sont alors classés en différents niveaux trophiques, où chaque individu consomme ceux du niveau inférieur, tels que²³⁴ :

- N°1 – Producteurs primaires : Essentiellement composés par les végétaux, ce sont les organismes autotrophes.
- N°2 – Consommateurs primaires : Composés des individus phytophages, ce sont les espèces herbivores.
- N°3 – Consommateurs secondaires : Composés des individus carnivores (d'espèces herbivores), ce sont les prédateurs.
- N°4 – Consommateurs tertiaires : Composés des individus carnivores (d'espèces carnivores), ce sont les super-prédateurs.
- N°5 – Consommateurs quaternaires : Composés des individus carnivores (du haut de la chaîne alimentaire), ce sont les top-prédateurs.
- N°0 – Décomposeurs : Essentiellement composés par les champignons et les bactéries, ce sont les organismes qui se nourrissent des cadavres et des excréments des autres êtres vivants (parfois classés dans les consommateurs primaires).

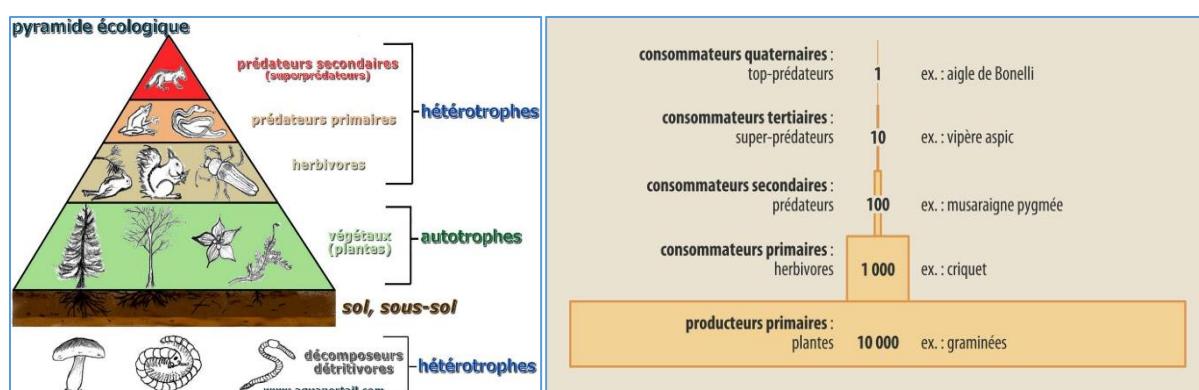


Figure 53 : Pyramides écologiques.

²³¹ Futura planète (consulté le 19 Novembre), « Autotrophe ». <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/environnement-autotrophe-4552/>

²³² Futura planète (consulté le 19 Novembre), « Hétérotrophe ». <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/environnement-heterotrophe-4551/>

²³³ Ibid. source 26

²³⁴ Ibid. source 138

1.4.4 Relations de contrôle

Certains facteurs biotiques ou abiotiques ont une influence, dite de contrôle, sur les interactions entre les différents niveaux tropiques d'une chaîne alimentaire. Ces paramètres ont une incidence directe ou indirecte sur la distribution et l'abondance des organismes, et donc par conséquent sur la structure et le dynamisme de ce réseau. Si ces paramètres sont de diverses natures, ils se classent en deux catégories distinctes²³⁵ :

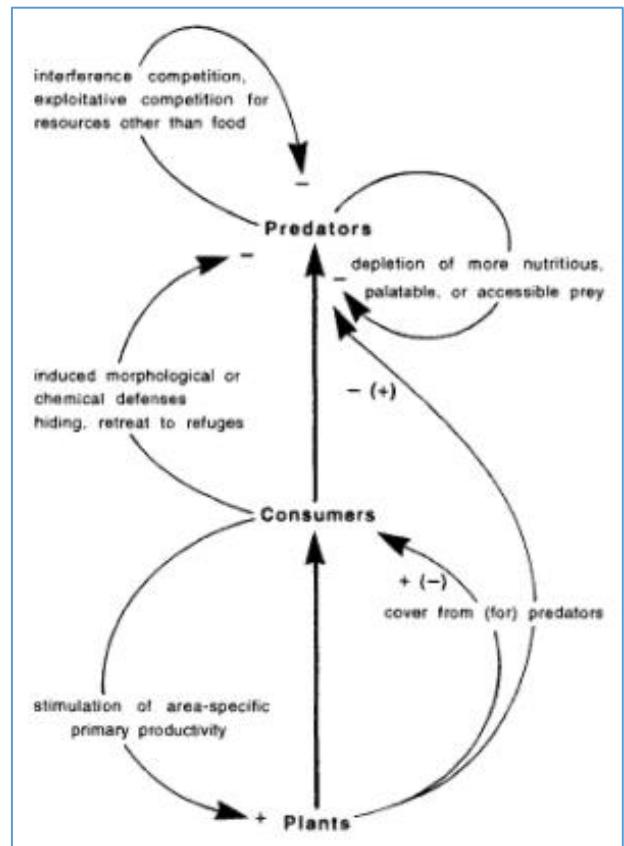


Figure 54 : Schéma de relation de contrôle.

- Contrôle « bottom-up » : Principalement induite par la compétition entre espèces d'un même niveau trophique, d'autres facteurs sont à prendre en compte tels que l'épuisement des ressources ou des proies, les systèmes de défense, les techniques de refuge, etc.
- Contrôle « top-down » : Principalement induite par la prédation, cette théorie estime à l'inverse que la régulation se fait par les espèces dites « clés de voûtes », qui sans elles, mènerait à des conséquences d'extinctions de masse, appelée cascade trophique.

1.4.5 Système du réseau

Pour toutes ces raisons, comprendre la structure des réseaux trophiques n'est pas une tâche aisée. Ainsi, l'écologie trophique s'attarde à définir les relations entre diversité et stabilité, en étudiant d'un point de vue systémique les différents liens (interactions), nœuds (espèces), densité (biomasse) et autres caractéristiques de l'organisation de ce réseau²³⁶. Afin de décrire les propriétés structurantes des différentes interactions qui composent ces systèmes, la complexité de celui-ci est alors définie suivant différentes caractéristiques telles que²³⁷ :

- La connectance (C) : Nombre d'interactions réalisées entre espèces divisé par le nombre d'interactions potentielles.

²³⁵ Mary E. Power « Forces descendantes et ascendantes dans les réseaux trophiques: les plantes ont-elles la primauté » dans Ecologie, Vol. 73, n° 3 (juin 1992) , pp. 733-746

²³⁶ Wikipédia (consulté le 19 Novembre), « Réseau trophique». https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_trophique

²³⁷ Wikipédia (consulté le 19 Novembre), « Interactions multitrophiques et diversité des communautés».

https://fr.wikipedia.org/wiki/Interactions_multitrophiques_et_diversit%C3%A9_des_communaut%C3%A9s

- La diversité des interactions (ID) : Calculé par l'indice de Shannon²³⁸ et la proportion d'interactions χ par rapport à la somme totale des interactions observées.
- La force des interactions (IS) : Moyenne des forces d'interactions par la moyenne arithmétique de toutes les interactions significatives.

Dans un souci de simplification, la complexité d'un système trophique peut être résumé au produit de la diversité spécifique et de la connectance. Partant de là, plusieurs modèles mathématiques ont été étudiés²³⁹ :

- Réseau aléatoire : Système où la connectance des nœuds est définie uniquement de manière aléatoire.
- Réseau « petit monde » : Système avec beaucoup de nœuds faiblement connectés et un petit nombre de nœuds très connectés.
- Réseau en cascade : Système où la connectance est défini uniquement de haut en bas (soit principalement par préation).
- Réseau en emboîtement : Système similaire au précédent mais qui s'appuie sur la taille des proies et la consommation d'énergie nécessaire à leur capture.
- Réseau en hiérarchie imbriquée : Système similaire au précédent mais qui considère l'origine phylogénétique comme facteur dans le choix des proies.
- Réseau de niche : Système où la connectance est définie selon la valeur de leur niche écologique (soit l'abondance des ressources à leur disposition).
- Réseau de « Loeuille et Loreau » : Système similaire au précédent mais qui prend aussi en compte la compétition entre espèces.

Aujourd'hui aucun de ces modèles ne fait consensus dans le monde scientifique ; s'ils offrent une description satisfaisante du coefficient de regroupement²⁴⁰; ils ne prennent pas en compte de nombreux paramètres tels que la dynamique de population ou les phénomènes d'adaptation des espèces.

En dehors de la complexité du système, il est intéressant d'étudier la stabilité de celui-ci, qui offre des informations capitales sur la résilience des populations du réseaux. Si le lien entre complexité et stabilité d'un réseau n'est pas toujours évident, il peut, de manière simplifiée, être exprimé de la manière suivante : La connectance C (soit la densité des liaisons) correspond à l'ensemble des liens trophiques L , divisé par la diversité spécifique S (nombre de nœuds) au carré (qui donne le nombre de liaisons possibles) ; on a donc²⁴¹ : $C = L/S^2$.

²³⁸ L'indice de Shannon est une mesure de l'entropie d'un système ; il donne une idée de la diversité spécifique d'un milieu, soit le nombre d'espèces de ce milieu (richesse spécifique) et de la répartition des individus au sein de ces espèces (équitabilité spécifique).

²³⁹ Ibid. source 164

²⁴⁰ Le coefficient de regroupement est une mesure du regroupement des nœuds dans un réseau ; c'est la probabilité que deux nœuds soient connectés sachant qu'ils ont un voisin commun (vulgairement appelé : les amis de mes amis sont-ils aussi mes amis ?).

²⁴¹ Ibid. source 164

Ainsi, la connectance des espèces devient un enjeu majeur dans la stabilité d'un réseau. On comprend donc que supprimer un nœud (une espèce) avec une forte connectance (en interaction avec beaucoup d'autre) peut mener à l'extinction d'un grand nombre de nœud (autres espèces), selon le principe de réaction en chaîne (cascade trophique). De ce fait, augmenter la connectance d'un système permet une plus grande résilience de celui-ci en

cas de suppression de nœuds (d'espèces) du réseau. En définitive, un réseau très complexe aura donc une meilleure stabilité dans le temps, et une meilleure résilience aux perturbations. Cependant, encore une fois ce schéma reste théorique, en réalité certaines espèces de faible connectance peuvent mener à de lourdes conséquences, ce sont les espèces « clés de voûte »²⁴².

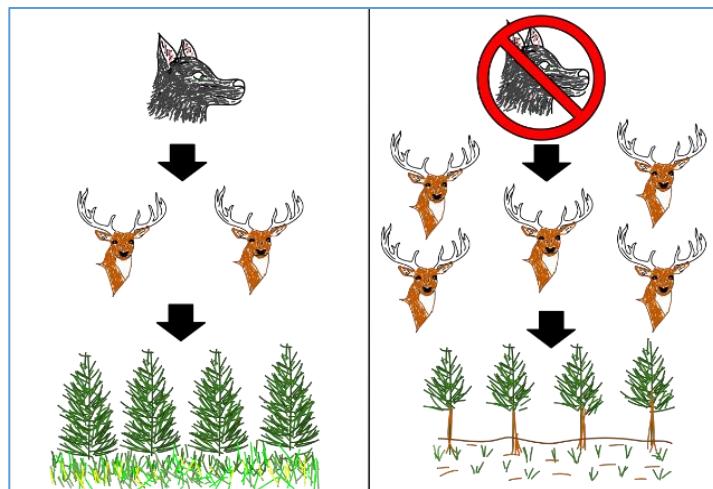


Figure 55 : Principe des espèces clés de voûte.

²⁴² Ibidem.

2. RÉSEAU URBAIN

2.1 Ecosystème urbain

2.1.1 Définitions et Notions

La ville, étant une construction artificielle, ne peut à proprement parlé être considérée comme un écosystème naturel. Cependant, relevant tout de même d'un système de mise en réseau d'un milieu avec sa communauté vivante, elle peut tout à fait être étudiée en temps qu'écosystème ; c'est d'ailleurs le sujet d'étude de l'écologie urbaine. On parle alors d'un écosystème spécifique appelé écosystème urbain. Selon l'IUCN²⁴³, il se définit comme : « l'ensemble des zones où des constructions humaines ont été réalisées et où la surface de ces infrastructures est supérieure à celle des zones naturelles présentes dans le périmètre. Il contient l'ensemble des zones construites, les réseaux (routiers, ferroviaires, ...) mais aussi les espaces verts créés par l'Homme »²⁴³.

Les écosystèmes urbains appartiennent à la catégorie plus générale des écosystèmes artificiels. Définis comme des écosystèmes créés (du moins en partie) par l'homme, ils se distinguent des écosystèmes naturels par l'action humaine qui en a modifié sa systémique naturelle. Sans forcément parler de territoire urbain, une serre, un barrage, un champ ou même un aquarium sont alors considérés comme des écosystèmes artificiels ; c'est alors le cas de tout écosystème naturel modifié par l'homme. Ces écosystèmes sont aussi caractérisés par l'altération de leur autonomie. Un écosystème naturel est défini comme un système fermé : où tous ses composants fonctionnent en cycles, régulés. A l'inverse, les écosystèmes artificiels sont décrits comme ouverts, c'est-à-dire qu'ils comportent des entrants et des sortants avec leur environnement (plus ou moins proche) ; ils dépendent donc de l'extérieur pour perdurer²⁴⁴.

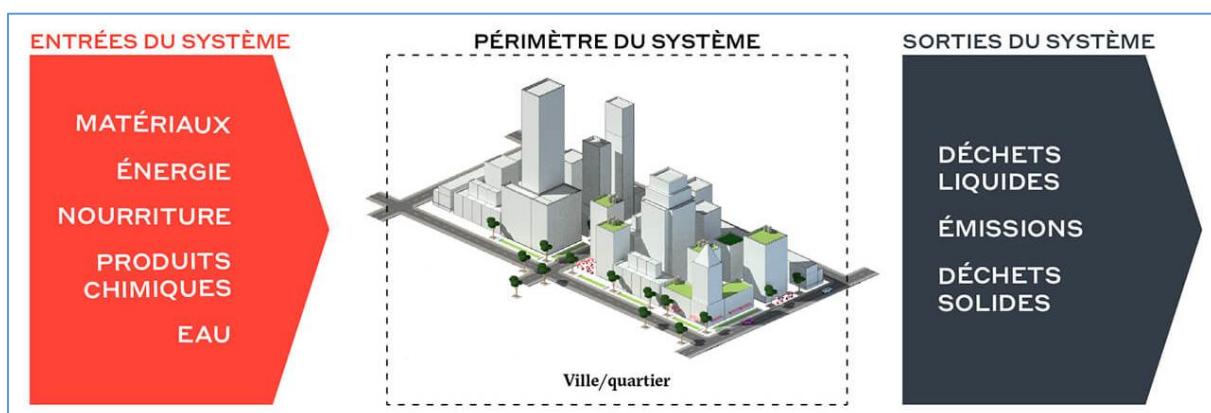


Figure 56 : Schéma d'un écosystème urbain.

Les écosystèmes urbains sont donc les écosystèmes artificiels les plus modifiés, se caractérisant ainsi par une faible biomasse et une faible biodiversité. L'espèce humaine, par son développement, ses activités et ses édifices, y prend une place centrale, perturbant

²⁴³ IUCN Comité Français (en 2013), « Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France », *Les écosystèmes urbain*, Volume 2.3. Paris, France

²⁴⁴ Définition simple (consulté le 19 Novembre), « un écosystème artificiel ». <https://definition-simple.com/un-ecosysteme-artificiel/>

complètement le cycle naturel de ces écosystèmes. Les flux ne sont plus du tout cycliques, engendrant des déficits (énergie, eau, alimentation...) et des excédents (déchets, polluants...) ; cet écosystème est donc « entièrement tributaire de l'extérieur pour toutes ces consommations d'énergie et de matière, et donc à la fois très fragile et fragilisateur de la biosphère dans son ensemble »²⁴⁵.

Si les deux termes semblent contraires, écosystèmes naturels et écosystèmes artificiels ne sont pas pour autant complètement opposés. Les écosystèmes urbains restent des écosystèmes naturels modifiés et sont d'ailleurs toujours en relation direct avec leur environnement. En sociologie on parle d'ailleurs d'*anthropo-systèmes*, définis comme des systèmes combinés entre socio-systèmes (communauté social) et écosystèmes (territoire naturel et/ou artificiel) mettant en évidence les relations entre nature et sociétés²⁴⁶.

C'est d'ailleurs sur ce point précis que travaille aujourd'hui l'écologie urbaine, étudier les villes comme des écosystèmes afin de réconcilier l'urbain avec son environnement naturel. En effet, les villes deviennent un vrai problème écologique : de plus en plus peuplées, avec de plus en plus de besoins, ces territoires deviennent extrêmement consommateurs de ressources et d'énergies. Ce phénomène amène inévitablement à un dérèglement écologique, que ce soit par la modification des écosystèmes naturels ou par l'exploitation des ressources et les rejets massifs de polluants et de déchets. Mettre en évidence les similitudes entre écosystèmes naturels et écosystèmes urbains permettent justement, par le biais de l'urbanisme durable, de faire tendre nos villes vers « un modèle plus vertueux pour notre planète et imaginer des mécanismes de régulation proches de ceux que l'on retrouve dans la nature »²⁴⁷.

Le modèle des circuits ouverts, et donc non-autonome, des écosystèmes urbains, est donc par définition non-durable. Toutes les régulations naturelles ont été complètement modifiées : le sol naturel est devenu minéral, les cours d'eau ont été canalisés, la végétation a été parquée, l'air a été pollué... Les siècles passés d'urbanisation ont conduit à une artificialisation des écosystèmes naturels, rendant la ville tributaire de son environnement et lui faisant perdre toute son autonomie. Et les problèmes commencent à se faire ressentir, sans même parler des effets sur l'environnement, on constate aujourd'hui que la pollution rejetée arrive dans les rivières nuit à la qualité de l'approvisionnement de l'eau en ville. Si les écosystèmes urbains se sont affranchis du modèle en cycle, ce n'est pas le cas de leur environnement ; et tout ce qui sortent des villes finira inévitablement par y revenir d'une manière ou d'une autre. C'est donc en ce sens que les villes doivent s'inspirer des écosystèmes naturels : éviter les impacts négatifs sur leur environnement, devenir un maximum autosuffisante en ressources et en énergies, et adopter un modèle en boucle fermé ; pour pouvoir devenir des villes soutenables [Annexe 19 : Activités humaines et écosystèmes].

²⁴⁵ Ibid. Source 14.

²⁴⁶ Géo confluence (consulté le 19 Novembre). « *Anthroposystème* », (en 2019).

²⁴⁷ Demain la ville (consulté le 21 Novembre). « Transition écologique : Penser la ville comme un système vivant ? », (en2020). <https://www.demainlaville.com/transition-ecologique-penser-la-ville-comme-un-systeme-vivant/>

2.1.2 Ville soutenable

La vision écosystémique des villes a fait naître la notion de ville soutenable (ou durable). Elaborée selon les principes de l’écologie urbaine, mais aussi du développement durable de manière générale, ces villes cherchent à concilier croissance économique et démographique, équilibre social, et respect de l’environnement. La ville durable se définit alors comme : « une ville qui accueille dignement populations et activités sans exporter ses coûts sur d’autres temps ou d’autres territoires ». Malheureusement, si la perspective est louable, le terme devenu « à la mode », est trop souvent politisé et revoit plus à un marketing territorial qu’à une véritable volonté de transition écologique. Etant plus un concept qu’un état de fait, la conception durable du territoire urbain n’a pas d’échelle, on peut tout autant parler d’écocités (ou d’éco-villes) que d’écovillages, d’ecoquartiers ou même d’écorégions. Cette profusion de termes vendeurs marque certe l’importance grandissante de l’écologie en urbanisme, mais met aussi le flou sur cette notion et les véritables bonnes pratiques à suivre²⁴⁸.

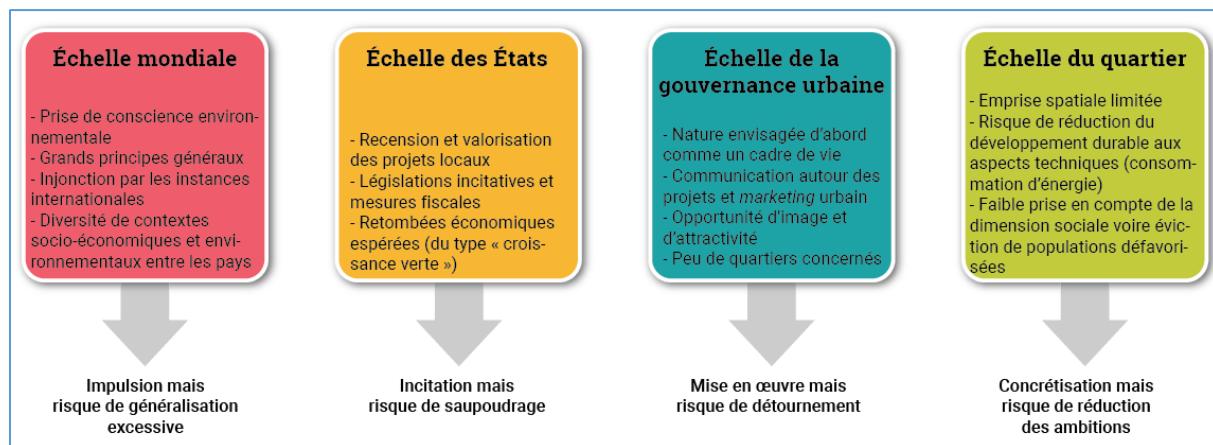


Figure 57 : Différentes échelles d’application spatiale.

L’application des enjeux écologiques mondiaux à des échelles plus réduites (pays, villes, quartier...) est l’objectif des villes durables ; ce qui implique de mobiliser des moyens et des acteurs locaux pour un but qui les dépassent. Cyria Emelianoff²⁴⁹ décrit ce principe sous le terme de « *terrestrialisation* » qui désigne « le travail d’inscription d’une activité, qu’elle qu’elle soit, dans un environnement planétaire perçu dans son fonctionnement écologique »²⁵⁰.

Le véritable enjeu de la ville soutenable reste avant tout de réconcilier les territoires urbains avec leur milieu naturel, rendre les villes moins polluantes et moins consommatrices en énergie, plus en harmonie avec les écosystèmes naturels ; et ce avant les enjeux économiques sociaux, qui ont déjà été développés depuis tout temps. En d’autres termes, mettre des parterres de fleurs, arborer des allées piétonnes, et installer quelques panneaux solaires, afin de justifier un nouveau quartier résidentiel tout confort

²⁴⁸ Chloé Tommasi et Anne-Lise Boyer, « [Notion en débat. La ville durable](#) », Géoconfluences, (en nov 2018) .

<http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/a-la-une/notion-a-la-une/ville-durable>

²⁴⁹ Cyria Emelianoff est une géographe française, professeur d’aménagement et d’urbanisme à l’Université du Maine, membre du laboratoire ESO, urbanisme durable,

²⁵⁰ Emelianoff, 2015, p. 139 *

sur une zone naturelle ne sont qu'une caricature de ce qui doit réellement être fait, ce n'est pas suffisant pour pouvoir se proclamer écoquartiers. Ici, l'objectif n'est pas de suivre le même schéma de conception en ajoutant un peu plus de vert en ville, mais bien de repenser entièrement la manière dont la ville fonctionne, pour rendre ces écosystèmes plus en adéquation avec ceux qui se trouvent dans la nature.

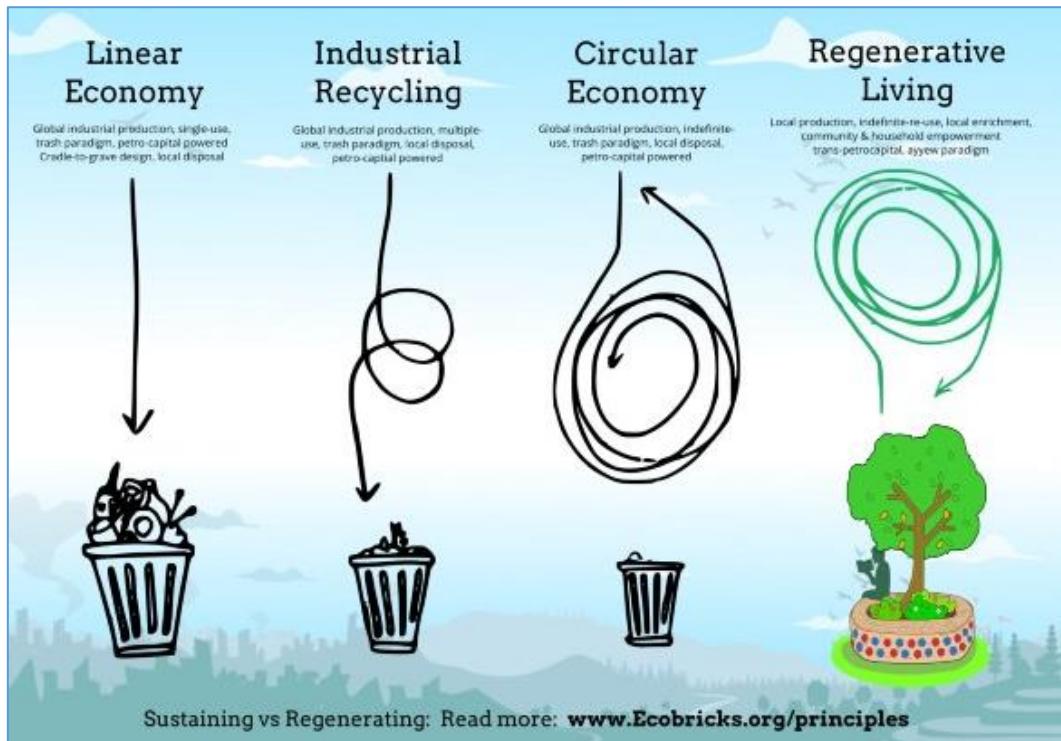


Figure 58 : Notion de ville soutenable (comparé l'économie circulaire, recyclable et linéaire).

Les villes soutenables doivent donc redéfinir leur conception pour devenir moins artificielles et plus vivantes. Cette approche systémique du territoire urbain amène l'idée du vivant en ville et sa capacité à évoluer dans le temps, de s'adapter aux changements, à son environnement et aux populations qui la composent ; elle permet de rendre les villes plus résilientes, à l'image des écosystèmes naturels. La logique de la nature, où tous les acteurs et leurs interactions rythment la dynamique de l'écosystème dans le temps, peut alors s'appliquer en ville, marquant l'interdépendance entre nos activités et nos milieux de vie. C'est dans ce sens que la protection de l'environnement prend tout son sens : les villes ne sont alors plus des systèmes figés, mais en constante évolution ou le vivant travaille alors en coopération afin que les services rendus profitent à tous, et rendent nos écosystèmes urbains résilient²⁵¹.

2.1.3 Ville résiliente

Pour pouvoir être véritablement durable, une ville doit aussi être résiliente. D'abord décrit en sociologie comme « la capacité d'adaptation et de récupération d'une personne à la suite de difficultés », cette définition de la résilience peut tout aussi bien s'adapter aux

²⁵¹ Ibid. source 76.

villes qu'aux personnes. Si la ville est étudiée comme un système, alors la résilience est une de ses propriétés qu'il est nécessaire de promouvoir pour atteindre une véritable stabilité du système dans le temps. Les villes étant alors des systèmes particulièrement complexes, ces capacités lui permettent de faire face aux différentes perturbations qu'elles peuvent subir, autant climatique et environnementale qu'économique et sociologique²⁵².

Découlant de la résilience écologique définie par Buzz Holling²⁵³ comme la faculté d'un système à retrouver la structure et les fonctions de son état d'origine après une perturbation²⁵⁴, la résilience urbaine se développe alors comme un processus d'autorégulation rendant le territoire urbain plus flexible aux changements, penchant donc vers un idéal urbain plus en harmonie avec son environnement. Ainsi, le Crema[®] définit de manière plus générale un territoire résilient comme répondant à plusieurs facteurs : capacité à anticiper un aléa, agir en fonction de ses effets, récupérer de cette perturbation, et s'adapter au changement.

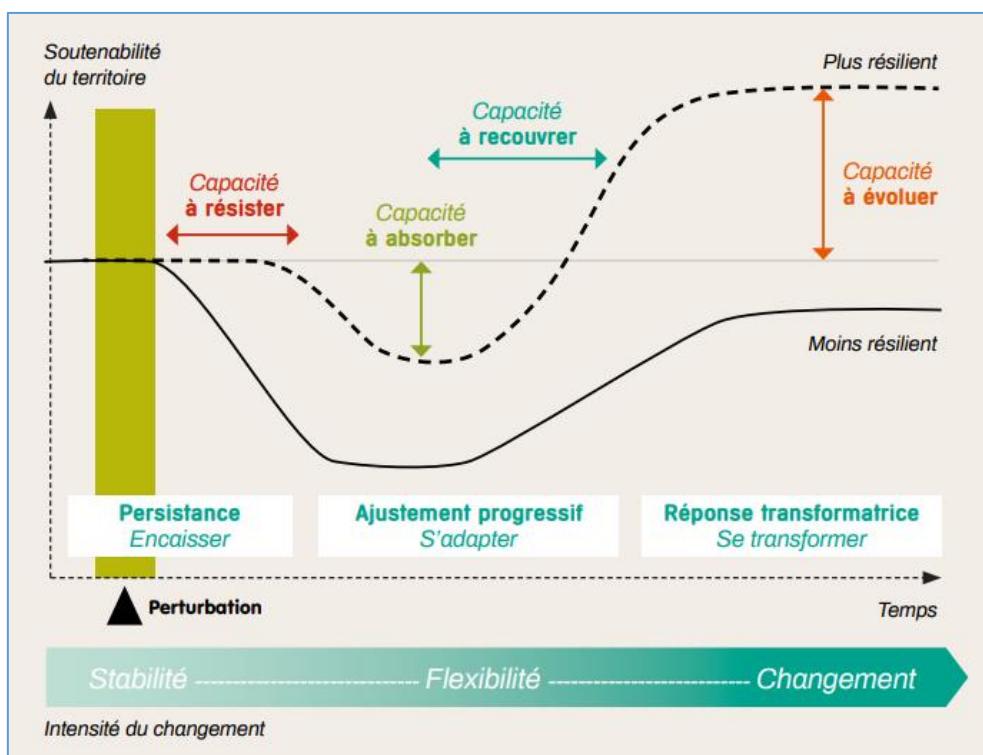


Figure 59 : Principes de la notion de résilience.

Si la ville durable a pour objectif d'assurer un développement environnemental, économique et social sans perturber celui des générations futures, il s'appuie pour cela sur le milieu de vie des territoires urbains et de leurs environnements pour satisfaire les besoins humains et cet idéal de développement. Cette durabilité ne peut donc être pérenne à long

²⁵² [La ville résiliente](https://villeresiliente.org/objet/) (consulté le 21 Novembre). <https://villeresiliente.org/objet/>

²⁵³ Crawford Stanley (Buzz) Holling (1930-2019) est un écologue canadien, professeur à l'université de Colombie-Britannique et de Floride, connu pour ses recherches en résilience écologique et en économie écologique.

²⁵⁴ C. S. Holling. « Resilience and Stability of Ecological Systems » dans *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 4 (1973), pp. 1-23

terme que par le maintien des fonctions et services urbains mais aussi ceux des écosystèmes nécessaires à la production de nos ressources et à notre cadre de vie. Quand l'individu cherche à maintenir sa propre survie, en concurrence avec les autres, un écosystème cherche lui à s'auto-réguler, en collaboration avec ses composants ; et c'est bien sur ce second modèle de résilience que doit se calquer celui de nos villes durables. Ainsi pour nos villes, on différentie une résilience à court terme : réaction d'adaptation à une perturbation ; et une résilience à long terme : maintien de ses fonctions premières²⁵⁵. « Contrairement à la ville stable, sécurisée, hiérarchisée, optimisée et normée, chère au développement durable, la ville résiliente est flexible et transformable. Elle fonctionne en hétérogénéité, limite les dépendances et multiplie interconnexions et redondances entre les différentes échelles de fonctionnement. Le risque fait partie de ses fondements, tout comme les ressources qui peuvent s'en dégager »²⁵⁶.

Afin de parvenir à ce procédé, le Crema[®] a défini un « référentiel de la résilience » sous la forme d'une boussole de 6 principes²⁵⁷ [annexe 20 : Boussole de la résilience territoriale] :

- Stratégies et gouvernances intégrées et adaptatives.
- Cohésion sociale et solidarité des acteurs.
- Anticipation, connaissance, veille.
- Adaptation, apprentissage et innovation.
- Sobriété et satisfaction des besoins essentiels.
- Robustesse et continuité des systèmes

Ainsi, toujours selon le Crema[®], mettre en place ces stratégies permettent à un territoire de s'orienter vers un territoire plus durable et donc d'acquérir certaines qualités tels que²⁵⁸ :

- Apprenant : Capable d'apprendre des perturbations et de les anticiper.
- Intégré : Pensé pour que les différents systèmes travaillent ensemble.
- Robuste : Conçu pour limiter la propagation des défaillances en cas de choc.
- Flexible : Adopte des stratégies alternatives en fonction des conditions.
- Autonome : Maîtrise ses ressources et limite les dépendances des besoins de base.
- Diversifié : Augmente les chances d'être plus adaptés aux perturbations.
- Inclusif : Satisfait les besoins essentiels de tous, notamment les plus vulnérables.
- Redondant : Possède une surcapacité pour s'adapter à des conditions extrêmes.

²⁵⁵ Marie Toubin, Serge Lhomme, Youssef Diab, Damien Serre et Richard Laganier, « La Résilience urbaine : un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine ? », *Développement durable et territoires*, Vol. 3, n° 1 (en Mai 2012).

²⁵⁶ Marco Stathopoulos, , dans Qu'est que la résilience urbaine?, revue Urbanisme n°381

²⁵⁷ Ibid. source 85.

²⁵⁸ Ibidem.

2.1.4 Permaculture

Dans la lignée de cette approche résiliente, on retrouve la permaculture, acronyme de « permanent » et « agriculture », qui est une méthode développée par Bill Mollison²⁵⁹ et David Holmgren²⁶⁰ dans les années 1970. Inspiré du principe de succession écologique des milieux naturels (voir partie 1.1.3), ce principe vise à développer des systèmes agricoles en synergie, avec plus de diversité des cultures pour une meilleure résilience de leurs productivités. Aujourd’hui, la permaculture s’est élargie, prenant en compte tous les systèmes culturels (y compris urbains), dans l’objectif d’un développement résilient et durable, en harmonie avec son environnement, « où l’activité humaine doit tenir compte des écosystèmes naturels et s’exercer en harmonie et en interconnexion avec eux, dans un souci constant d’efficacité, de soutenabilité et de résilience »²⁶¹.

Ce système de culture intégré et évolutif valorise un développement pérenne, non polluant et limitant la production de déchets ; en s’adaptant au contexte social et naturel, aux conditions environnementales du milieu, et en valorisant la biodiversité locale. Afin d’adopter un processus autonome et autosuffisant, la permaculture s’appuie sur un développement à la fois sobre et productif par une bonne efficacité énergétique ; elle est donc « énergétiquement, écologiquement et socialement efficace ». En dehors de l’agriculture, cette méthode s’applique aussi à l’habitat (écoconstruction, biosourcé...), à l’énergie (vert, renouvelable...), à l’économie (circuits-courts, solidaire, circulaire...), etc²⁶².

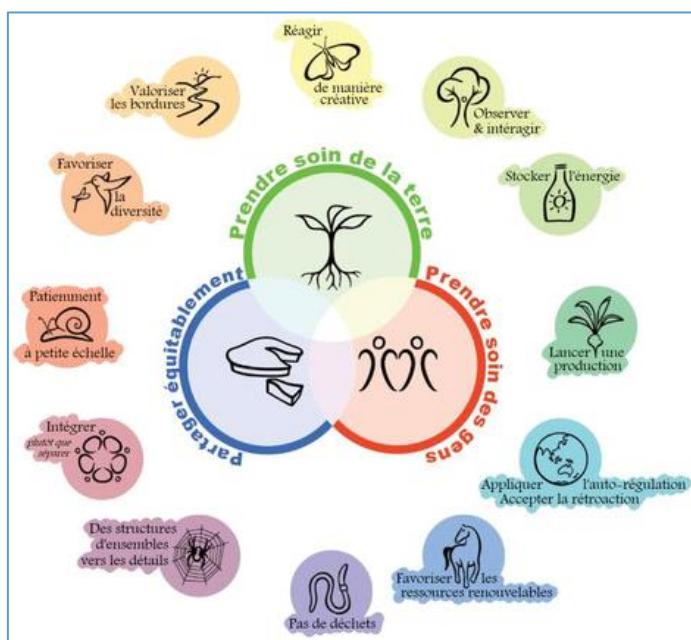


Figure 60 : Principes de la permaculture.

Souvent présentée sous forme d’une fleur, les principes de conception de la permaculture s’établissent suivant plusieurs domaines nécessaires à l’élaboration d’une culture soutenable. Ce processus évolue alors en spirale en partant de la philosophie de cette méthode, et progressant du cadre local au cadre global [annexe 21 : La fleur permaculturelle]. La permaculture est donc d’abord une façon de penser, de percevoir les systèmes humains de manière plus naturels afin de les rendre plus stables et perpétuels. En ce sens on

²⁵⁹ Bruce Charles Mollison (1928-2016) est un scientifique, biologiste et écologue australien, lauréat du prix Nobel alternatif, professeur à l’université de Tasmanie, connu pour être le cofondateur de la permaculture.

²⁶⁰ David Holmgren (1955) est un écologue, militant et essayiste australien, professeur à la ferme Food Forest dans le sud de l’Australie, connu pour être le cofondateur de la permaculture.

²⁶¹ Clément Fournier. « Permaculture, c'est quoi ? : définition, principes et applications» dans Youmarter (en 2019)

²⁶² Ibid. Source 155.

lui attribue une méthodologie de design, le « design permacole »²⁶³ qui répond à une éthique qui lui est propre en abordant trois valeurs fondamentales²⁶⁴ :

- Prendre soin de la nature (les sols, les forêts, l'eau et l'air).
- Prendre soin de l'humain (soi-même, la communauté et les générations futures).
- Partager équitablement, limiter la consommation et partager le surplus.

David Holmgren décrit cette éthique en trois piliers comme devant répondre à une série de douze principes²⁶⁵ :

- Observer et interagir : Pour concevoir des solutions appropriées et contextualisées.
- Collecter et stocker l'énergie : Pour continuer à en bénéficier toute l'année.
- Obtenir des résultats : Pour rendre le système attractif et donc prospère.
- Appliquer l'auto-régulation et accepter la rétroaction : Pour s'assurer que le système reste durable et perpétuel, en évitant les activités qui lui sont néfastes.
- Favoriser les ressources renouvelables : Pour préserver les systèmes biologiques et ainsi adopter un meilleur équilibre entre productivité et diversité.
- Ne pas produire de déchet : Pour éviter le gaspillage et la surconsommation en accordant une valeur et une utilité à chaque ressource disponible.
- Concevoir en partant du général pour aller aux détails : Pour avoir la vue d'ensemble du système et permettre de le reproduire en y ajoutant des progrès aux cas par cas.
- Intégrer plutôt que séparer : Pour permettre de multiplier les relations symbiotiques , afin de s'entraider au lieu d'être en concurrence.
- Utiliser des solutions lentes et à petite échelle : Pour établir des systèmes plus faciles à maintenir avec des résultats plus durables.
- Utiliser et valoriser la diversité : Pour réduire la vulnérabilité du système face aux aléas naturels et tourner à son avantage les bénéfices qui en résultent.
- Utiliser les interfaces et valoriser les zones de bordures : Pour valoriser la productivité, les lieux où deux éléments se rejoignent étant les plus intéressants.
- Utiliser le changement et y répondre de manière créative : Pour maximiser les chances d'avoir un impact positif, en observant les changements et en intervenant au bon moment.

2.1.5 Services écosystémiques urbains

Comme vu précédemment (voir partie 1.1.5), les services écosystémiques constituent les processus écologiques nécessaires au maintien du fonctionnement des écosystèmes naturels (et donc urbains, étant des écosystèmes naturels modifiés). Etant indispensables à la vie sur terre, ils offrent de nombreux bénéfices aux êtres vivants, dont les hommes ont su tirer de nombreux avantages. D'un point de vu anthropique, ce sont

²⁶³ Approche de design en permaculture (2010, 14 Février) [Diaporama]. Wen ROLLAND, au jardin botanique, Montréal, Canada.

²⁶⁴ Wikipédia (consulté le 21 Novembre), « Permaculture». <https://fr.wikipedia.org/wiki/Permaculture>

²⁶⁵ « Les 12 principes de permaculture, selon David Holmgren » dans Permaforest (en Mai 2020).

principalement les trois derniers types de services qui ont une influence directe sur l'humain et ses activités²⁶⁶ [annexe 22 : Les 43 services rendus par les écosystèmes en France] :

- Les services d'approvisionnement : Soit les biens consommés par les humains.
- Les services de régulation : Soit les services d' impact positif sur le bien-être humain.
- les services socioculturels : Soit les bénéfices amènes pour les humains.

Selon « l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire », ces services sont une source irremplaçable pour de nombreux facteurs du bien-être humain, nous rendant donc dépendant de ces derniers et de leur durabilité dans le temps [annexe 23 : Services écologiques et leurs liens avec le bien-être humain]. Cependant si les écosystèmes agissent sur les hommes, ses derniers agissent aussi sur leur environnement ; le rapport estime que 60% des services écosystémiques sont dégradés, provoquant des conséquences notables sur le bien-être humain (apparition de maladies, détérioration de la qualité de l'eau, perturbation du climat...) ²⁶⁷.

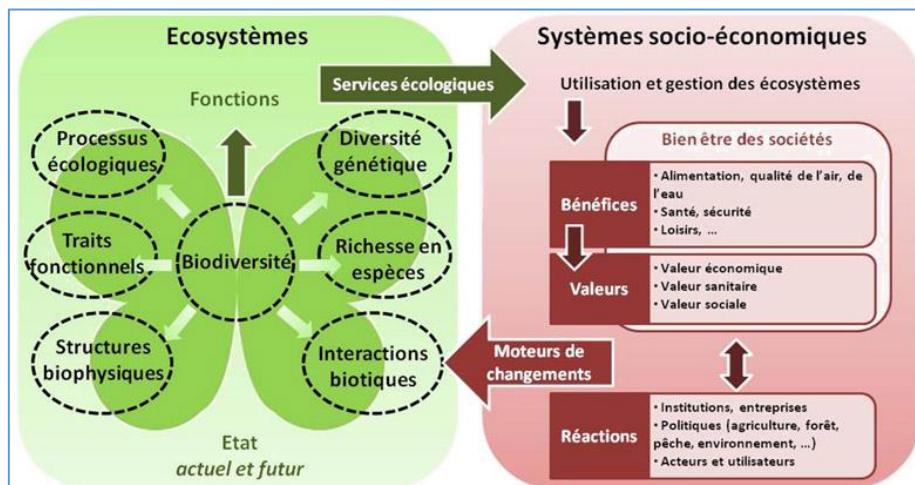


Figure 61 : Liens entre société et nature.

Les services écosystémiques urbains sont « les services qui sont directement produits par des structures écologiques dans les zones urbaines ou des régions périurbaines »²⁶⁸; les villes comportent en effet de nombreux espaces naturels aptes à fournir ces services. L'Efese (Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques) est un programme d'évaluation destiné à « révéler les multiples valeurs de la biodiversité afin de faciliter leur prise en compte dans les décisions publiques et privées». Elaboré entre 2012 et 2019, ce programme montre dans son rapport sur les écosystèmes urbains l'importance de préserver et gérer durablement les espaces naturels en ville afin de faire perdurer les services écologiques qui en résultent²⁶⁹ :

²⁶⁶ Crédoc(2009)ETUDE EXPLORATOIRE POUR UNE EVALUATION DES SERVICES RENDUS PAR LES ECOSYSTEMES EN FRANCE

²⁶⁷ Millennium Ecosystem Assessment. (en 2005). *Un rapport de l'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire*.

²⁶⁸ Luederitz et al., 2015, "A review of urban ecosystem services: six key challenges for future research", *Ecosystem Services*, vol 14, 98-112.

²⁶⁹ Ministère de la transition écologique (consulté le 21 Novembre), *Les écosystèmes urbains français*.

https://ree.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/3-ecosystemes_urbains.pdf

- La ville est dépendante d'écosystèmes voisins pour son approvisionnement en nourriture et en eau potable.
- En fonction de la forme de la ville, les espaces naturels participent à la régulation de la qualité de l'air et du climat local.
- Les ouvrages végétalisés, les sols perméables, et les espaces naturels participent à la régulation qualitative et quantitative du cycle de l'eau.
- Les citadins retirent de nombreux services récréatifs, éducatifs et de loisirs sportifs des espaces naturels en ville.
- Les espaces naturels en ville, gérés de façon écologique, participent à l'éducation et à la sensibilisation à la biodiversité des citadins.
- Les espaces naturels mettant en interaction sols minéraux, flux d'eaux et végétaux, sont le support d'une grande diversité de services.
- La prolifération et la promiscuité de certaines espèces peuvent engendrer des contraintes sanitaires, de l'inconfort et des dégradations matérielles.

2.2 Milieu urbain

2.2.1 Territoire artificiel

Tout comme les écosystèmes naturels, les écosystèmes urbains se développent dans un milieu qui lui est propre. Si, comme on l'a vu, les écosystèmes urbains ne peuvent s'émanciper des caractéristiques des milieux naturels (conditions nécessaires à la vie sur Terre), ils possèdent aussi des caractéristiques qui leurs sont propres, relatifs aux milieux artificiels. Ces milieux, qu'ils soient naturels ou artificiels, ne sont pas des espaces physiques à proprement parler, ils correspondent à l'environnement d'une communauté donnée, à l'habitat d'un écosystème. Le milieu se définit donc autant par les caractéristiques biogéochimiques du territoire que du groupe social qui y vit, ainsi que les interactions qui en résultent. Les milieux artificiels se sont donc construits de pair entre milieux naturels et sociétés humaines, ils ont évolué dans le temps, à travers des « boucles de rétroactions »²⁷⁰.

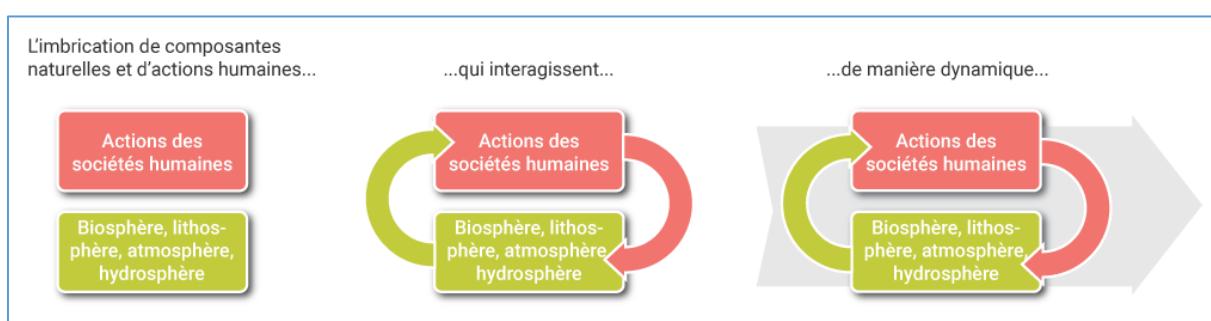


Figure 62 : Boucles de rétroaction entre milieu naturel et sociétés humaines.

²⁷⁰ Géo confluence (consulté le 21 Novembre). « *Milieu physique (milieu géographique, milieu « naturel »...)* ». (en 2018).

<http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/milieu-geographique#:~:text=Pour%20le%20g%C3%A9ographe%2C%20le%20milieu,groupe%20social%20qui%20vit>

A la manière des écosystèmes urbains, les milieux urbains sont une sous-catégorie des milieux artificiels ; lesquels se définissent comme des espaces transformés par l'homme afin de réunir « artificiellement » les ressources et conditions de vie utiles au développement d'êtres vivants. Ici, le milieu urbain correspond donc à l'habitat naturel de l'homme modifié pour répondre à ses besoins, mais aussi ses envies.

Selon le système EUNIS, les habitat artificiels correspondent aux trois dernières catégories [annexe 17 : Liste complète des niveaux typologiques EUNIS] :

- Habitats cultivés (agricoles, horticoles et domestiques)
 - Cultures et jardins maraîchers.
 - Zones cultivées des jardins et des parcs.
- Zones bâties (sites industriels et autres habitats artificiels)
 - Bâtiments des villes et des villages.
 - Constructions à faible densité.
 - Sites industriels d'extraction.
 - Réseaux de transport et autres zones de construction à surface dure.
 - Plans d'eau construits très artificiels et structures connexes.
 - Dépôts de déchets.
- Complexes d'habitats
 - Habitats naturels artificialisés (estuaires, pâturages, jardins et parcs...).

De manière général, notamment en géographie, on définira un milieu urbain par opposition au milieu rural ; synonyme de zone urbaine ou d'espace urbain, il se décrit comme le paysage propre aux villes²⁷¹. On caractérise ce milieu par une forte population, une grande densité du bâti, une faible présence de végétation et la présence de fonctions des secteurs économiques et tertiaires. Par opposition, on retrouve le milieu rural avec une plus faible densité de population et du bâti, une plus forte présence d'espaces verts et de zones agricoles ; entre les deux on retrouve le milieu rurbanisé, soit un territoire rural en évolution vers un territoire urbain²⁷². Ici, en parlant de milieux urbains on parlera des milieux artificiels urbanisés, basés sur la notion d'unité urbaine qui réfère à la continuité du bâti et du nombre d'habitants²⁷³ ; autrement dit des territoires anthroposés.

Les milieux urbains comportent donc des caractéristiques particulières par rapport aux milieux naturels²⁷⁴ :

- Un milieu beaucoup plus minéral avec un sol très imperméable.
- Un milieu fragmenté et morcelé par de nombreuses barrières physiques.
- Un temps plus chaud et sec dû aux activités humaines et aux surfaces artificielles.
- Une modification des vents due à la morphologie urbaine.
- Une plus forte pollution de l'air, de l'eau et des sols.

²⁷¹ Les Définitions (consulté le 21 Novembre), « Définition d'espace urbain ». <https://lesdefinitions.fr/espace-urbain>

²⁷² Les différents milieux – Urbain, rural, rurbanisé (2018, 6 Octobre) [vidéo]. Monsieur Bock.

²⁷³ INSEE (consulté le 21 Novembre), « Unité urbaine / Agglomération / Agglomération multicommunale / Agglomération urbaine» (en Décembre 209) <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1501>

²⁷⁴ Clémentine Desfemmes, « La ville, un écosystème », dans Gerbeaud .(en Mai 2014).

- Une lumière artificielle (quasiment) permanente.

2.2.2 Renouvellement urbain

Suite aux nombreuses conséquences de la périurbanisation (voir chapitre 1, partie 1.1) de ces soixante dernières années, les politiques publiques poussent maintenant vers la stratégie inverse, celle de la densification et du renouvellement urbain. La densification se définit en effet comme un élément clef aux objectifs du développement durable, afin de concilier croissance démographique en ville et lutte contre l'étalement urbain. Aujourd'hui, il ne s'agit plus de construire autour des villes comme cela a été beaucoup fait auparavant (banlieues, faubourgs, cités jardins...), mais de « reconstruire la ville sur la ville »²⁷⁵.

Faisant suite à l'objectif « zéro artificialisation nette » pour 2030 (voir chapitre 1, partie 1.1.2), il est important de repenser la manière de construire en ville, surtout quand on sait que 77% de la population française vit en ville²⁷⁶. Cependant, la densification n'implique pas de monter des tours sur tous les espaces encore libres des centres-villes ; au contraire, cette densification permet aussi de rendre certains espaces à la nature²⁷⁷.

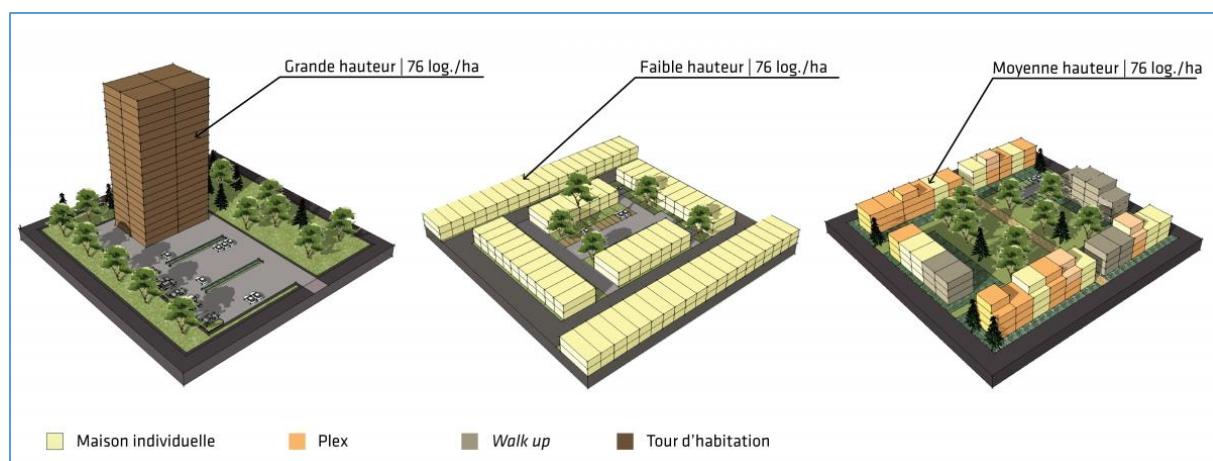


Figure 63 : Trois conception d'une même densité urbaine.

Permettant d'offrir plus d'espaces verts, ce type de construction permet aussi de réduire les coûts des infrastructures et des dépenses énergétiques, favorise la mobilité douce et permet une meilleure offre des services de proximité. Cependant les bâtiments de grande hauteur ne sont pas forcément la meilleure solution, il faut aussi penser au cadre de vie, et étudier une « utilisation judicieuse et équilibrée de la superficie d'un terrain en termes d'espaces verts, d'espace bâti et d'espace social »²⁷⁸.

²⁷⁵ Claire Fonticelli, « [La densification sous contrainte : bâtir des immeubles dans le périurbain francilien](#) », *Géoconfluences*, avril 2020.

²⁷⁶ Nicolas Baylé. « Les écosystèmes urbains : une évaluation dans le cadre du programme EFESE » dans Fondation de la recherche sur la biodiversité (FBR). (en Mai 2019).

²⁷⁷ Elsa Dicharry. « [Immobilier : la densification urbaine, une idée en vogue](#) » dans Les échos (en 2019).

²⁷⁸ « Pour une densification urbaine qui rime avec qualité des milieux de vie » d'après le conseil régional environnement Montréal (s.d.).

En ce sens, on retrouve en France le plan de relance de densification et renouvellement urbain, qui est un dispositif d'aide pour une « utilisation plus efficiente du foncier déjà urbanisé »²⁷⁹. L'objectif est ici bien de densifier en hauteur, tout en gardant à l'esprit de construire à échelle humaine afin de concilier aux mieux les trois piliers du développement durable. Afin d'encadrer cette densification, on l'accompagne aujourd'hui d'une politique de renouvellement urbain. Anciennement rénovation urbaine, avec pour objectif d'améliorer les conditions de vie « des quartiers populaires en intervenant sur le bâti »²⁸⁰, le terme à aujourd'hui fait place au renouvellement urbain qui associe à ce premier objectif en sens plus large, celui de « travailler sur les secteurs vieillis et défavorisés de la ville tout en répondant aux exigences de gestion économe de l'espace »²⁸¹.

Toujours mener par l'ANRU[®] (Agence Nationale pour la Rénovation Urbaine), le NPNRU (Nouveau Programme National de Renouvellement Urbain) lancé en 2014, cherche à mener une transformation urbaine de certains quartiers clés en France selon plusieurs objectifs²⁸² :

- Augmenter la diversité de l'habitat.
- Adapter la densité du quartier à son environnement.
- Favoriser la mixité fonctionnelle et le développement économique.
- Renforcer l'ouverture et la mobilité du quartier.
- Viser l'efficacité énergétique de ces quartiers.
- Réaliser des aménagements urbains en anticipant les évolutions futures.

Mixant rénovation écologique et densité urbaine, le renouvellement urbain cherche à retravailler les quartiers de manière plus écologique et sociale afin de pallier aux dysfonctionnements des territoires urbains ; et ce via différents principes tels que²⁸³ :

- La participation des habitants qui bénéficient du programme.
- L'arrimage aux dynamiques des agglomérations par une approche contextuelle.
- La promotion de la mixité par l'habitat privé et l'attractivité économique.
- L'ambition pour une ville durable dans une démarche de qualité environnementale.

En somme, le renouvellement urbain se voit comme une nouvelle pratique d'aménagement du milieu urbain, par une compréhension plus globale de la ville, de son

²⁷⁹ Ministère de l'économie des finances et de la relance (consulté le 22 Novembre), *Plan de relance*.

<https://www.economie.gouv.fr/plan-de-relance/profils/collectivites/densification-renouvellement-urbain-aide-densification>

²⁸⁰ Jeanne Slimani. (en 2015) « De la rénovation urbaine au renouvellement urbain : glissement sémantique ou nouvelle approche ? » dans d'après-demain (N ° 33, NF), pages 11 à 13.

²⁸¹ Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région d'Ile-de-France. (En Février 2004). *Notre planète sur l'occupation du sol*

²⁸² Agence Nationale pour la Rénovation Urbaine (ANRU). (s.d.). *Qu'est-ce que le Nouveau Programme National de Renouvellement Urbain ?*

²⁸³ SIG Ville .(consulté le 22 Novembre). Renouvellement urbain Nouveau Programme National de Renouvellement Urbain.
<https://sig.ville.gouv.fr/page/18/renouvellement-urbain>

fonctionnement, de ses interactions et des ses flux ; dans un objectif de transition et de performance écologique²⁸⁴.

2.2.3 Métabolisme urbain

Introduit pour la première fois en 1965 par Abel Wolman²⁸⁵, le terme de métabolisme urbain définit le bilan de l'ensemble des échanges d'une ville ; le principe est de quantifier les flux entrants et sortants du système, en comparaison avec son stock interne. De manière générale, moins le système aura besoin de nouvelles ressources et moins il rejette de déchets ou de polluants, plus il aura une forte performance écologique²⁸⁶. Cette notion se rapproche du principe de cycle de vie d'un territoire en définissant l'ensemble des échanges de matière et d'énergie qui le compose ; la ville est alors vue comme un écosystème qui régule les entrants, les transformations et les sortants des sous-systèmes de transferts des flux nécessaires pour satisfaire ses besoins et maintenir sa stabilité²⁸⁷.

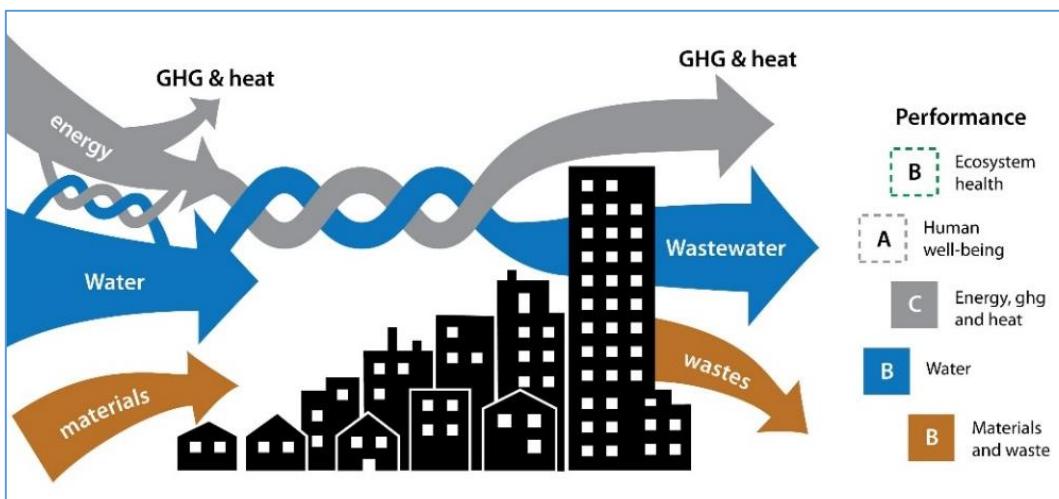


Figure 64 : Schéma du métabolisme urbain.

Wolman développe dans son livre Le métabolisme des villes, trois problèmes majeurs aux métabolismes urbains²⁸⁸ :

- Le manque d'un approvisionnement en eau adéquat : L'eau est principalement approvisionnée par l'importation alors que l'eau pluviale et très généralement renvoyée au « tout à l'égout » (sachant qu'en France il tombe 100 fois plus d'eau que

²⁸⁴ Ibid. source 100

²⁸⁵ Abel Wolman (1892-1989) est un ingénieur américain, pionnier de l'ingénierie sanitaire moderne, connu pour ses recherches sur la chloration de l'approvisionnement en eau potable.

²⁸⁶ Sabine BARLES (2008) Comprendre et maîtriser le métabolisme urbain

²⁸⁷ Eclaira .(consulté le 22 Novembre). Métabolisme urbain : définition et bibliographie.

<https://www.eclaira.org/community/pg/pages/view/4311/>

²⁸⁸ Wikipédia (consulté le 22 Novembre), « Abel Wolman ».

[https://en.wikipedia.org/wiki/Abel_Wolman#%22The_Metabolism_of_Cities%22_\(Sept._1965\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Abel_Wolman#%22The_Metabolism_of_Cities%22_(Sept._1965))

ce qu'on en consomme²⁸⁹). Le manque de stockage en ville et l'imperméabilisation des sols dû à l'artificialisation sont les principales causes du problème.

- Une élimination inefficace des déchets (y compris les eaux usées) : Les déchets organiques et les eaux usées ne sont que très peu utilisés alors que ces boues ont un véritable potentiel de valorisation (méthanisation, épandage agricole...). De plus le système de traitement des eaux usées (stations d'épuration) a une capacité limitée qui oblige à relâcher les eaux sales en pleine nature en cas de fortes pluies.
- Un mauvais contrôle de la pollution : Les métabolismes urbains sont principalement linéaires (on produit, on consomme et on jette). Sachant que les villes représentent près de 70% des émissions de CO₂²⁹⁰, on comprend que la majorité des matières entrantes sont « réduites en fumée » [annexe 24 : Répartition des émissions globales de gaz à effet de serre en 2005].

En effet, l'exemple du cycle de l'eau en réseaux urbains est assez marquant de différences avec les réseaux naturels ; l'artificialisation des sols et les phénomènes d'ilots de chaleur sont les principales causes de ce dérèglement. Quand les écosystèmes naturels stockent les majorités des excédents de pluie par infiltration (50%), les villes les rejettent par ruissèlement (55%). Ainsi, en plus de gâcher cette ressource pourtant essentielle les jours de sécheresse, le ruissèlement, qui ne peut être absorbé par le système d'évacuation, provoque des inondations les jours de fortes pluies²⁹¹.

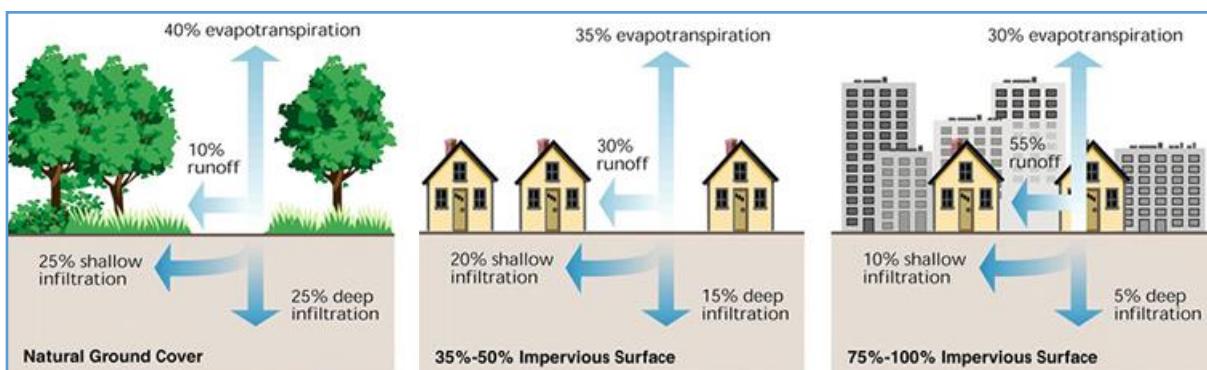


Figure 65 : Schémas des problèmes de l'écoulement des eaux face à l'artificialisation des sols.

Si les écosystèmes naturels sont considérés comme autonomes : faibles flux externes, taux élevé de recyclage, réseaux variés avec des interactions complexes ; ils ont un métabolisme cyclique. « Les écosystèmes biologiques ont évolué jusqu'à fonctionner de manière entièrement cyclique. Dans ce cas, il est impossible de distinguer entre les ressources et les déchets, car les déchets d'un organisme constituent une ressource pour

²⁸⁹ Méli Mélo avec Jacques Chambon et Franck Pitiot (2014, 18 Septembre) [vidéo].Graie Méli Mélo.

<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=zalwKNyzxgY>

²⁹⁰ Métabolisme urbain de Paris .(consulté le 22 Novembre). L'économie circulaire : agir pour préserver les ressources naturelles et le climat. <http://metabolisme.paris.fr/#accueil>

²⁹¹ Méli Mélo, démêlons les fils de l'eau .(consulté le 22 Novembre).L'infiltration des eaux pluviales.

<http://www.graie.org/eaumelimo/Meli-Melo/Questions/Infiltration-des-eaux-pluviales/#prettyPhoto>

un autre organisme. Seule l'énergie solaire constitue un apport extérieur »²⁹². A l'inverse, les écosystèmes urbains sont considérés comme juvéniles (car très peu autonomes) : importance des flux externes, faible taux de recyclage, quantité importante de rejets et de perte ; leur métabolisme est dit linéaire. « Les villes [...] ne possèdent pas de boucle de rétroaction pour les biens consommés. La ville se présente alors comme un système fonctionnant sur le mode d'un « réacteur piston » ou « réacteur à flux continu ». Autrement dit, les flux de matière ne se trouvent pas, du moins pas encore, dans un état stationnaire »²⁹³. Ainsi, tout l'enjeu actuel est de gagner en « maturité », minimiser nos besoins énergétiques, promouvoir le recyclable en valorisant nos déchets, afin de faire devenir nos métabolismes urbains plus cycliques. Pour cela, il faut : « [...] développer des stratégies permettant de transformer son système urbain hautement entropique actuel vers un système urbain syntropique, c'est-à-dire un système urbain qui cherche à minimiser sa production d'entropie, supportée par l'environnement »²⁹⁴.

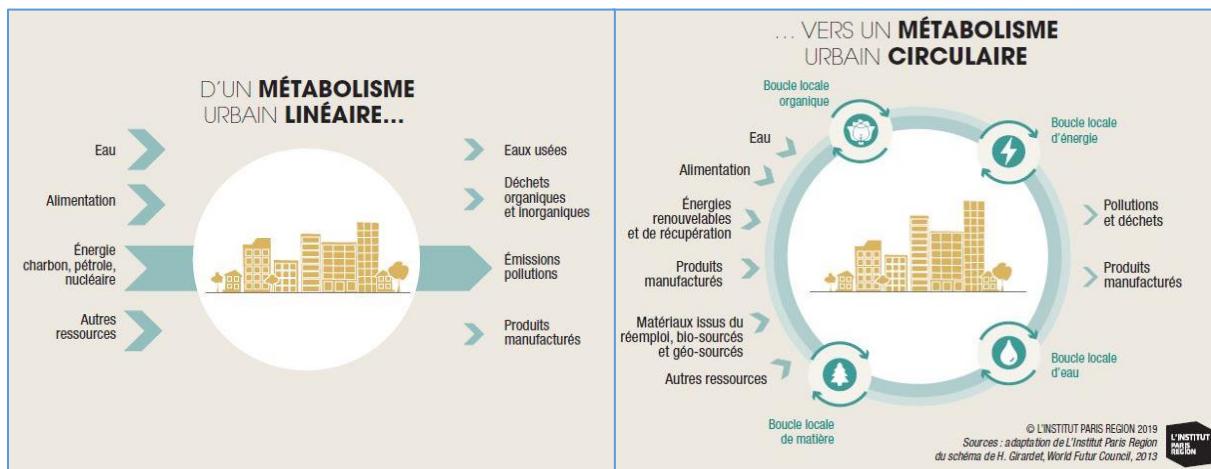


Figure 66 : D'un métabolisme linéaire, vers un métabolisme circulaire.

2.2.4 Economie circulaire

Ce principe de mise en cycle des flux, de la production et l'exploitation des matières, est née dès 1966 par Kenneth Boulding²⁹⁵ qui recommandait des systèmes cycliques et écologiques²⁹⁶. Le terme d'économie circulaire est introduite par David Pearce²⁹⁷ et Kerry Turner²⁹⁸ en 1990, elle poursuit les idées d'économie en boucle, inspirée du concept de

²⁹² Vers une écologie industrielle – comment mettre en pratique le développement durable dans une société hyper-industrielle ? Suren Erkman, 2004, p.44.

²⁹³ Ibidem. P.84.

²⁹⁴ Bochatay, D. (2004). Cycle de l'eau et métabolisme urbain – le cas lausannois. Mémoire de fin d'étude.

Université de Lausanne, Suisse, p.10-11. <file:///C:/Users/Florent/Pictures/TFE/Bochatay-Denis-2004.pdf> 27-11

²⁹⁵ Kenneth Ewart Boulding (1910-1993) est un économiste et philosophe britannique et américain, enseignant à l'université d'Harvard, de Chicago, du Michigan et du Colorado, connu pour ses recherches sur les systèmes.

²⁹⁶ Centre de Gestion Scientifique. « Guide pratique de l'économie circulaire ». Chaire Mines Urbaines, (Janvier 2019).

<https://www.ecosystem.eco/upload/media/default/0001/01/697706fe670ab0c54d548ebce8feb31314d3f09d.pdf>

²⁹⁷ David William Pearce (1941-2005) est un économiste anglais, professeur à l'université de Londres, conseiller environnemental des secrétaires d'état britannique entre 1989 et 1992, connu pour être auteur au GIEC.

²⁹⁸ R. Kerry Turner est un économiste anglais, professeur à l'université de Norwich, membre du centre du Recherche Environmental Social Sciences et directeur exécutif au CSERGE en 1992.

« Cradle to Cradle » de Michael Braungart²⁹⁹ et William McDonough³⁰⁰. Dans la même optique, d'avoir un système plus performant, avec une consommation des ressources plus efficace, l'économie circulaire vise à rendre les modes de consommation et de production plus autonome, par une directive économique plus cyclique ; soit moins portée sur l'exploitation des ressources naturelles et le rejet de déchets et de polluants. Selon l'ADME (Agence de la transition écologique), l'économie circulaire est un « système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en développant le bien-être des individus »³⁰¹.

Si ce principe est d'abord économique, il s'adapte à tout phénomène de production ou de consommation ; il apporte aussi un cadre politique pour un nouveau modèle de fonctionnement de nos villes et leurs métabolismes [annexe 25 : Démarche de l'économie circulaire appliquée au métabolisme urbain]. En opposition avec le modèle d'économie linéaire : extraire > produire > consommer > jeter ; celui-ci se veut plus sobre (augmenter l'efficacité des biens et services, limiter le gaspillage, enrailler l'impact environnemental...) mais aussi plus collaboratif.

Ce concept aussi large que transversal s'articule autour de plusieurs notions et secteurs d'activités. La définition la plus rependue le divise en 3 domaines (production, utilisation et gestion des déchets), eux même divisés en 7 piliers³⁰² [annexe 26 : Schéma des 7 piliers de l'économie circulaire]. Dans le milieu du bâtiment, il s'agit de la même manière de repenser le cycle de vie des matériaux et équipements utilisés, que ce soit lors de sa conception, sa mise en œuvre ou sa variation de fin de vie³⁰³.

2.3 Communauté urbaine

2.3.1 Société humaine

Tout comme les autres êtres vivants, l'espèce humaine fait partie intégrante de la biocénose, et donc de la biodiversité des écosystèmes qu'elle habite. Au sein des écosystèmes urbains, elle constitue d'ailleurs une biomasse tellement importante qu'elle est qualifiée par une biocénose particulière, aussi appelée anthropocénose³⁰⁴. Si l'humain reste avant tout une espèce vivante parmi les autres, elle n'en détient pas moins un statut

²⁹⁹ Michael Braungart (1958) est un chimiste allemand, ancien membre de Greenpeace, fondateur de l'EPEA de Hambourg, cofondateur du MBDC, professeur à l'Université de Suderburg et à l'université de Rotterdam.

³⁰⁰ William Andrews McDonough (1951) est un architecte et designer américain, promu « Héros de la Planète » par le magazine Time en 1999, ancien membre de Greenpeace, cofondateur du MBDC.

³⁰¹ Alain GELDRON. (en Octobre 2014). *Economie circulaire : notions*.

<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-economie-circulaire-oct-2014.pdf>

³⁰² Avise (consulté le 22 Novembre), « Economie circulaire : de quoi parle-t-on ?».

<https://www.avise.org/articles/economie-circulaire-de-quoi-parle-t-on>

³⁰³ Backacia (consulté le 22 Novembre), « l'économie circulaire dans le bâtiment » .

<https://www.backacia.com/blog/economie-circulaire-BTP>

³⁰⁴ La faune du sol comme indicateur de la qualité des sols urbains (2014, 3 Avril) [thèse]. Joël Amossé. Université de Neuchâtel, Suisse.

particulier ; étant une espèce dite civilisée, évoluant en sociétés complexes, avec un impact beaucoup plus important que les autres êtres vivants sur les écosystèmes, notamment urbains. La société, du latin « *societas* », association/communauté, se définit comme un groupe d'individus organisé en relations, traditions et institutions, établissant le milieu de développement de la culture et de la civilisation³⁰⁵.

Si les interactions des sociétés humaines se font principalement au sein de sa propre population, les êtres humains sont aussi en relation (directe ou indirecte) constante avec les autres espèces de la biocénose. Du fait du rôle particulier de l'homme, ses interactions sont évidemment beaucoup plus complexes et variées ; elles seront ici (dans un soucis de simplification) résumées en 5 catégories principales³⁰⁶ :

- Exploitation : Sans réellement parler de prédation, les espèces sont exploitées par l'être humain, notamment pour être consommées ou utilisées pour son travail (céréales, vaches, chevaux...).
- Domestication : Les espèces sont « retirées » de l'état sauvage pour être domestiquées et vivre avec l'être humain (animaux de compagnie, plantes d'intérieures...).
- Commensalisation : Les espèces tirent un intérêt de sa relation avec l'homme sans que cela lui soit réciproque (ex : moineaux).
- Mutualisation : Les espèces tirent un avantage à s'associer à l'homme, relation qui est aussi bénéfique à l'homme (cochon truffier, chien de chasse...).
- Parasitisme : Les espèces tirent bénéfices de l'être humain, tandis que l'homme y voit un inconvénient certain (tiques, moustiques, bactéries...).

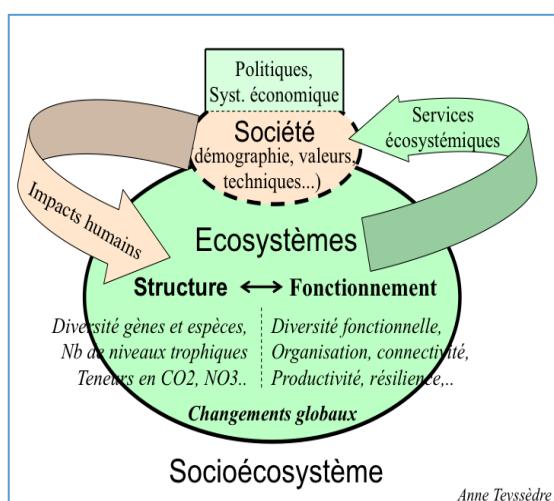


Figure 67 : Impacts entre société et écosystèmes.

Les impacts de l'homme sur les écosystèmes sont majoritairement négatifs : exploitations des ressources, modification du biotope local et global... (voir chapitre 1, partie 2.2) Mais prenant conscient de l'importance des écosystèmes et de ses services, les sociétés rentrent peu à peu dans une logique de préservation plutôt que d'exploitation de l'environnement. Les activités humaines cherchant à favoriser la résilience des écosystèmes appartiennent au domaine du génie et de l'ingénierie écologique³⁰⁷.

³⁰⁵ Centre national de ressources textuelles et lexicales (consulté le 22 Novembre), *définition de société* .

<https://www.cnrtl.fr/definition/soci%C3%A9t%C3%A9>

³⁰⁶ *L'humanité et les écosystèmes : les services écosystémiques* (consulté le 22 Novembre).

³⁰⁷ Centre de ressources génie écologique (consulté le 22 Novembre), *Le génie écologique*.

<http://www.genieecologique.fr/genie-ecologique>

2.3.2 Biodiversité urbaine

Si l'humain reste l'être vivant le plus présent, les écosystèmes urbains ne sont pas pour autant dépourvus de biodiversité. S'ils sont bien évidemment moins riches que les écosystèmes naturels, de nombreuses espèces ont su, au fil de temps, s'installer en ville. L'acclimatation des espèces exotiques et l'hygiénisme ont grandement participé à leur présence, notamment par l'implantation progressive des espaces verts. La gestion écologique de ces milieux offre de nouveaux habitats et de nouvelles ressources aux êtres vivants, notamment par la création de zones humides et de friches qui permettent d'accueillir une grande diversité d'espèces³⁰⁸.

Certaines espèces ont aussi su s'adapter aux milieux artificiels de la ville, prenant elle aussi place dans les habitat urbains, devant même pour certaines dépendantes de l'homme pour se nourrir ou s'abriter. Sans parler des parcs, jardins, parterres et autres espaces verts, certains édifices urbains sont aussi devenu le foyer de vie de ces espèces³⁰⁹ :

- Les combles et les caves : Qui sont des lieux de nidification de nombreuses espèces d'oiseaux et de petits mammifères volants (hirondelles, chauves-souris...).
- Les clochers et autres édifices de grandes hauteurs : Qui abritent une faune de volatiles riches en rapaces (faucons, chouettes...).
- Les murs : Qui sont support des lichens, mousses, et autre plantes grimpantes.

On désigne sous l'appellation « espèces anthropophiles », les espèces sauvages ayant cette capacité de vivre en présent de l'homme, à proximité de son habitat. Comprendre d'où vient cette capacité est un bon moyen de préserver cette biodiversité et éviter leur remplacement par les espèces invasives³¹⁰ :

- Flore : Espèces caractérisées par une forte et rapide capacité de reproduction et une forte tolérance aux perturbations (air pollué, piétinement, coupes répétées...).
- Faune : Espèces caractérisées par une capacité à exploiter une large gamme de ressources et de s'affranchir des obstacles urbains (principalement avifaune).

Ainsi les espèces naturelles sont capables, dans une certaine mesure, de s'adapter aux milieux urbains pour subvenir à leurs besoins (comme les goélands qui se nourrissent des ordures ménagères ou les hérissons des croquettes pour chiens), beaucoup d'autres n'ont pas leur place en villes [annexe 27 : Biodiversité et gradient d'urbanisation]. Les écosystèmes urbains étant les écosystèmes naturels les plus modifiés, ils sont devenus inhospitaliers pour un grand nombre d'êtres vivants³¹¹ :

- Les espaces verts sont beaucoup plus réduits et fractionnés : Ce qui les empêchent de migrer ou de se reproduire convenablement.

³⁰⁸ <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/biodiversite-urbaine/> 27-12

³⁰⁹ Ibid. Source 14

³¹⁰ Ibid. source 138.

³¹¹ MACHON Nathalie, (consulté le 23 Novembre), « Quelle biodiversité en ville ? », (en 2019), dans Encyclopédie de l'environnement [en ligne ISSN 2555-0950] , <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/quest-ce-que-la-biodiversite/>

- Les conditions biotiques (microclimats urbains, pollution de l'air...) sont modifiées : Ce qui rend les villes trop différentes de leur habitat naturel.
- Le manque de biodiversité diminue la diversité génétique des populations : Ce qui les rend plus susceptible aux perturbations (ex : maladies).

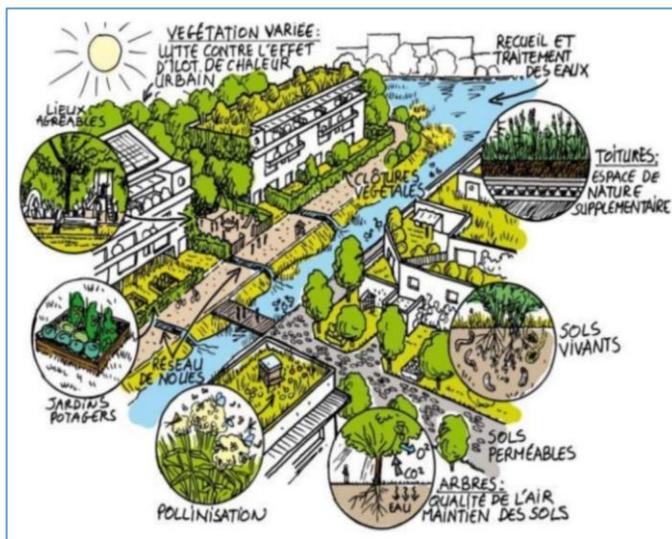


Figure 68 : Mise en place de la biodiversité urbaine.

Pour pallier ces contraintes, il est important de repenser la planification des villes afin de rendre les écosystèmes urbains plus accueillants pour les espèces animales et végétales, et ainsi accroître la biodiversité urbaine³¹². Pour cela, planter des milieux favorables à l'installation d'espaces et limiter les obstacles semble les solutions les plus simples et les plus efficaces, étant aussi faisable à l'échelle du bâti (ex : toitures végétalisées)³¹³.

2.4 Réseau urbain

2.4.1 Réseau social et de gouvernance

Dans les anthropo-systèmes, les interactions entre les êtres humains et leur environnement sont de natures beaucoup plus complexes que ceux des êtres vivants et leurs milieux dans les écosystèmes naturels, souvent résumés à la chaîne alimentaire.

Cependant ces relations suivent elles aussi une certaine mise en réseau, étudiée par la notion de socioécosystème (ou socio-systèmes). Développé en 2009 par Elinor Ostrom³¹⁴, les socioécosystèmes se définissent comme une approche théorique des « mécanismes de gouvernance issus des diverses institutions sociales œuvrant autant dans la gestion des ressources naturelles » ; permettant donc de comprendre les jeux d'acteurs mis en œuvre pour une gestion plus durable de l'exploitation des écosystèmes naturels. A l'inverse de l'idée que les acteurs (de ces exploitations) ne seraient pas à même de s'auto-réguler, et que seule une gouvernance centralisée (donc régie par des politiques publiques) permettrait de garantir la pérennité de ces activités, Ostrom établi le postula inverse. Autrement dit « que la résultante d'un système où toutes les parties ont intérêt à obtenir le maximum de retours possibles, celui-ci s'organisera de manière autonome à devenir une

³¹² Natureparif en association avec l'IFORE et l'AESN (s.d.). *La nature : une solution au changement climatique.* http://www.bidiville.org/arkothèque/client/gdie/outils_pedagogiques/detail_outil_pedagogique.php?ref=244&titre=la-nature-une-solution-au-changement-climatique

³¹³ Bâtiment et biodiversité (en 2016) [vidéo]. Agence régionale de la biodiversité. Institut Paris.

<https://www.arb-idf.fr/publication/clip-video-batiment-et-biodiversite-2016>

³¹⁴ Elinor Ostrom (1933-2012) est une politologue et économiste américaine, lauréate du prix Nobel d'économie en 2009, professeure à l'université de l'Indiana, d'état de l'Arizona et de Californie à Los Angeles.

situation gagnante pour tous. Ainsi, garantissant la pérennité de la ressource, et donc par extension être durable ». Soit, par les biais du partage d'informations et du principe de coopération, les acteurs ont tout intérêt à préserver la durabilité des ressources qu'ils exploitent, et par conséquent la pérennité de leurs bénéfices³¹⁵.

Afin de mieux comprendre le fonctionnement de ce système, assimilé à un système adaptif complexe – soit un système capable de s'adapter aux modifications de l'environnement ou des comportements de ses acteurs –, elle le décompose en quatre sous-systèmes³¹⁶ :

- Le système écologique : Qui gère le cadre de vie des êtres vivants (écosystème).
- Le système économique : Qui gère le réseau de biens et de services.
- Le système politique : Qui gère le réseau de gouvernance des relations de pouvoir.
- Le système socio-anthropologique : Qui gère le réseau social des valeurs et des technologies des individus.

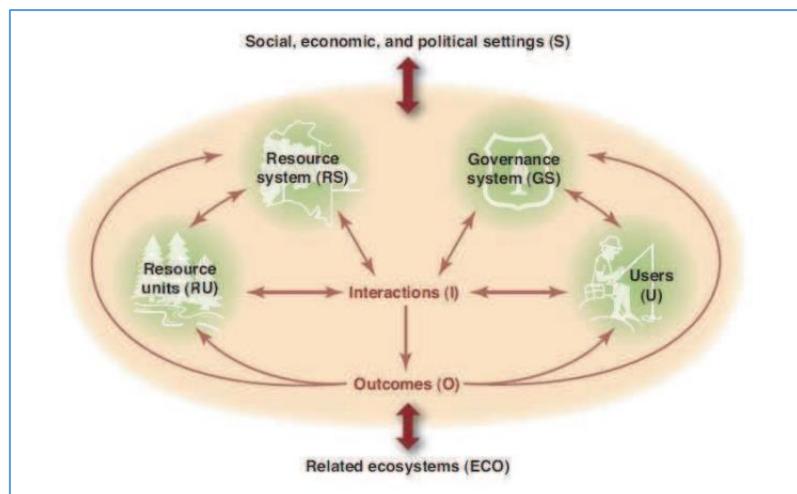


Figure 69 : Schéma du socioécosystème.

Ce réseaux d'acteurs et de gouvernance a d'ailleurs été retravaillé par Christophe Demichelis³¹⁷, en plaçant ici le paysage au centre des relations humains-milieu, mettant en ainsi en évidence les différentes interactions entre socio-systèmes et écosystèmes³¹⁸ [annexe 28 : Système complexe des relations humains-milieu élaboré à partir des concepts de socioécosystème et de formation socio-spatiale].

Cette approche novatrice à l'époque semble avoir aujourd'hui fait sa place, rien qu'en France, où le ministère de l'écologie a porté entre 2017 et 2020 le nom de « Ministère de la transition écologique et solidaire ». Dans son rapport de première phase, l'Efese met d'ailleurs l'accent sur l'importance « d'adopter une approche systémique de l'action », soit

³¹⁵ Etienne maranda. (en 2017) *L'application du cadre d'analyse des systèmes socio-écologiques d'élinor ostrom sur le cas de la forêt de l'aigle comme projet de forêt habitée.*

³¹⁶ Denis Couvet. (s.d.). Qu'est-ce qu'un socio-écosystème ?

³¹⁷ Christophe Demichelis est un doctorant en sciences sociales et environnementales, créateur d'une asso. à Madagascar, chercheur au labo. ECOMAR, à l'IGF Foundation du Mozambique, puis au labo. ESO de Rennes.

³¹⁸ Lara Gautier (2020) Dossier thématique : L'interdisciplinarité : défis méthodologiques et enjeux de positionnement pour le jeune chercheur en sciences sociales

de prendre en compte les interdépendances des enjeux écologiques portés par des acteurs encore trop faiblement reliés. Elle reconnaît les faiblesses de l'action publique, décrite comme trop sectorielle, et marque l'intérêt d'impliquer tous les acteurs, qu'ils puissent eux aussi participer activement et collectivement à la protection des écosystèmes, de ses ressources et de sa biodiversité. L'objectif de la gouvernance n'est donc plus simplement de dicter la marche à suivre mais aussi d'appuyer des leviers de transitions initiés par les citoyens, associations, entreprises etc. ; pour que les objectifs écologiques qui peuvent sembler irréalistes puissent être facilités par « une mise en œuvre conjointe et coordonnée »³¹⁹ [annexe 29 : Agir ensemble pour une transition écologique et solidaire].

2.4.2 Réseaux écologiques

Les trames écologiques et corridors écologiques (voir chapitre 1, partie 1.1.3) permettent aux espèces sauvages de cheminer et s'implanter à travers l'espace bâti des écosystèmes urbains, et ainsi agrandir leur milieu de vie et accroître leur accès aux ressources naturelles. Ces stratégies de planification des villes, d'abord favorables à la biodiversité urbaine, sont aussi porteuses de bénéfices pour l'être humain³²⁰ :

- Augmentation de la nature de proximité sans créer de nouveaux espaces dédiés.
- Amélioration du cadre de vie et du bien-être des habitants.
- Préservation des services écosystémiques urbains.
- Favorisation de la mobilité douce et des liaisons ville-campagne.
- Multiplication des zones de loisirs, récréatives et éducatives.
- Limitation de certains problèmes environnementaux (imperméabilisation des sols, pollution de l'air, variations des températures...).

Ayant comme objectif principal, celui de préserver, restaurer un réseau écologique fonctionnel, les trames sont principalement étudiées et planifiées sous l'angle de la trame verte et bleue (TVB). Permettant le maintien de la continuité écologique, elle forme un réseau continu, constitué des réservoirs de biodiversité et des corridors qui les relient. La trame verte correspond à la végétation ainsi que les milieux naturels (parcs, jardins, friches...), et la trame bleue fait référence aux réseaux aquatiques et les êtres vivants qui y vivent (fleuves, étangs, zones humides...)³²¹. Afin d'en déceler toutes les complexités, ces trames sont souvent divisées en sous-trames comportant : les milieux boisés, ouverts, humides, aquatiques et littoraux³²² [annexe 30 : Compilation des sous-trames écologiques formant la trame verte et bleue].

³¹⁹ L'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE). (en 2020).

Rapport de première phase de l'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques.

³²⁰ Ibid. source 138.

³²¹ Ministère de la transition écologique (consulté le 27 Novembre), *Trame verte et bleue*.

<https://www.ecologie.gouv.fr/trame-verte-et-bleue>

³²² SFE, de Anne.T (consulté la 27 Novembre) « R72 : Trame verte, trame bleue et autres trames, par Romain Sordello». <https://www.sfecologie.org/regard/regards-6-thompson-ronce/>

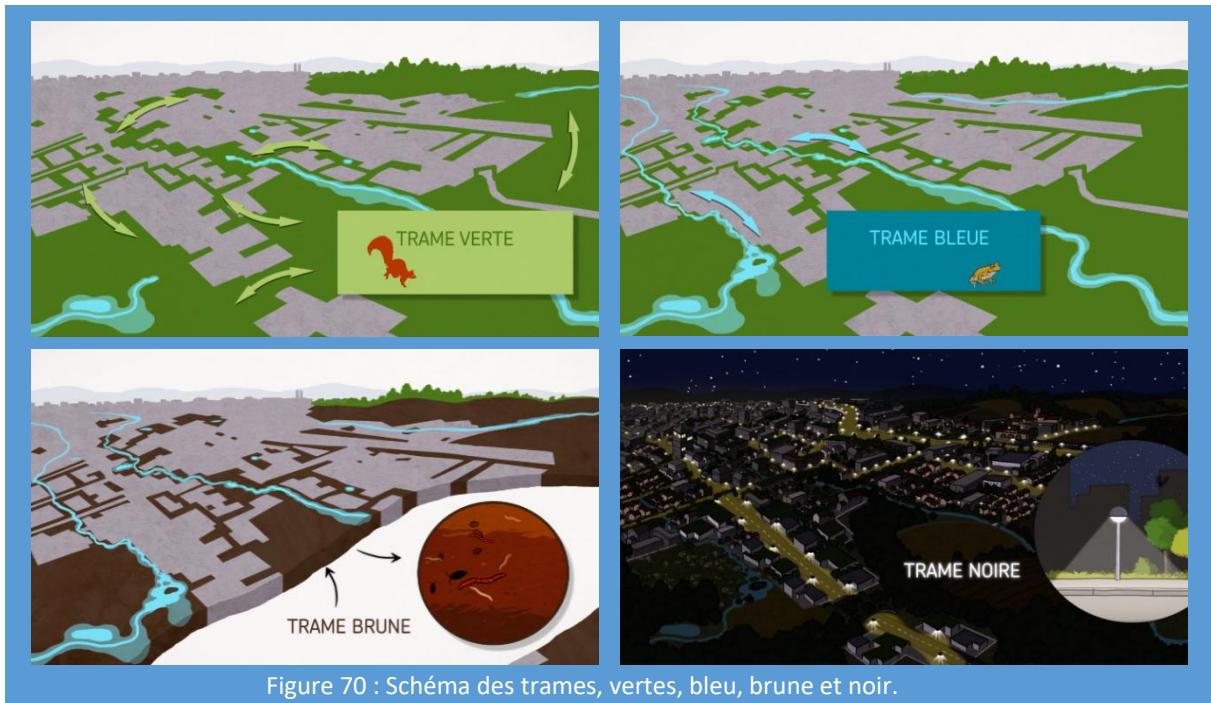


Figure 70 : Schéma des trames, vertes, bleu, brune et noir.

Si ces deux trames sont souvent associées en raison des zones d’interfaces qu’elles détiennent et des qualités graphiques qu’on peut leur attribuer dans les processus d’aménagement du territoire, elles comportent cependant quelques lacunes. Si elles sont les plus visuelles et les plus communes, elles sont loin d’être les seules à prendre en compte, on notera aussi³²³ :

- La trame brune : Afin de préserver un réseau écologique des sols en profondeur et sauvegarder les espèces qui y vivent (bactéries, champignons, lombrics ou même les systèmes racinaires des plantes) face aux obstacles souterrains (fondations, canalisations, bordures...).
- La trame noire : Afin de préserver un réseau écologique obscure la nuit et ainsi maintenir le rythme journalier (notamment des espèces diurnes) face à la prolifération de l’éclairage nocturne agissant comme une source de fragmentation.
- Autres trames :
 - Trame aérienne : Afin de préserver un réseau écologique fonctionnel pour l’avifaune face aux dangers des grands édifices (ex : éoliennes).
 - Trame de quiétude : Afin de préserver un réseau écologique silencieux face aux perturbations de la pollution sonore (ex : circulation automobile).

La prise en compte de ces réseaux écologiques dans les stratégies d’urbanisation permet de mettre en évidence les contraintes (de déplacement, d’adaptation, etc.) et donc les obstacles au maintien de leur continuité. Par le croisement des différentes trames, il est ainsi possible d’identifier les zones de conflits entre continuité écologique et éléments de fragmentation, dans le but de les atténuer, voire de les effacer [annexe 31 : Identification d’obstacles aux continuités écologiques par croisement des trames].

³²³ Ibidem.

CHAPITRE 3 : SUJETS D'ÉTUDE (RESEAUX)

1. METHODOLOGIE D'ANALYSE

1.1 Démarche

1.1.1 Objectif de l'analyse

La première partie théorique a permis de poser les bases du domaine d'étude, mettant en exergue la notion d'écologie biologique et son homologue des villes, l'écologie urbaine. Au vue de la crise écologique actuelle, et des nombreuses conséquences qui ont résulté de l'anthropisation (et donc de l'urbanisation), l'approche de l'écologie urbaine prend tout son sens, et semble une solution plus adaptée à une vision plus « naturalisée » de nos villes, permettant de poser les bases pratiques d'un développement durable réellement sensé.

La deuxième partie théorique a, quant-à-elle, permis de décrire l'objet de se domaine d'étude, soit les écosystèmes. La comparaison entre écosystème naturel et écosystème urbain permet de mettre en évidence les différents composants qui le définissent et ainsi, comprendre son véritable mode de fonctionnement écologique. Appliquer de la sorte aux villes, il est alors possible d'élaborer un urbanisme plus soutenable, prenant en compte toutes les conséquences de ces actions sur son milieu, cherchant donc à répondre à la fois aux besoins humains qu'au besoin naturels, intrinsèques à la vie sur Terre.

Ici, l'objectif est de mettre en lumière les modalités d'application des composants écosystémiques dans la conception urbanistique, autrement dit leur mise en place sous la forme de différents réseaux. Les écosystèmes, dans leur approche systémique, fonctionnent donc en un ensemble de réseaux structurés, où chacun des composants créent des relations symbiotiques avec les autres éléments de son environnement. Partant de ce postulat, comprendre la manière dont se définissent ces interactions et les enjeux systémiques qui en résultent permet de mieux les gérer, et ainsi rendre plus durable les milieux qu'ils produisent.

Si les réseaux sont omniprésent dans nos villes, rendre leurs interactions symbiotiques pour chacun des composants, comme ils le sont dans les écosystèmes naturels, n'est pas toujours évidents. L'objectif de cette analyse sera donc d'étudier des projets mettant l'accent sur ce principe de symbiose des réseaux d'échanges et de flux.

1.1.2 Processus de l'analyse

Dans ce chapitre il s'agira donc de sélectionner plusieurs études de cas répondant à l'objectif fixé, c'est-à-dire des écosystèmes urbains développant des réseaux symbiotiques, et appliquant dans leur concept la notion d'échange (flux en tout genre). La première étape sera alors de décrire ces projets en leur qualité de réseau, et cela en trois points distincts :

- Une explication du concept : Explication encyclopédique de la notion définissant le concept de base du projet (phase précédente à la présentation du projet).
- Une présentation générale : Contextualisation dans le temps et l'espace du projet, révélant les propriétés du lieu d'implantation ainsi que les caractéristiques liées à l'époque et à l'avancement du projet.
- Une présentation fonctionnelle : Description des principes fondateurs, ainsi que la détermination des différents spécificités et caractéristiques propre au projet, conditionnant son fonctionnement.
- Une évaluation rétrospective : Diagnostic des atouts et des faiblesses du projets déterminant les circonstances de son évolution, ainsi que les obstacles surmontés et les facteurs ayant influés sur sa réussite.
- Une analyse systémique : Examen poussé des différents réseaux, la manière dont ils interagissent (en leur sein et entre eux), ainsi que les relations qui en ressortent.

1.2 Mise en œuvre

1.2.1 Choix des études de cas

Le choix a donc été fait d'étudier des écosystèmes urbains fonctionnant en réseau, facteurs intrinsèques d'un système, afin d'en analyser leurs principes de fonctionnement, et voire de quelles manières ces réseaux arrivent à mettre en place des symbioses ; idées développée par l'analyse comparative entre écosystèmes urbains et écosystème naturels (voir chapitre 2). Le choix de ces sujets d'étude permet alors de comprendre comment l'élaboration d'un écosystème urbain se fait en réseaux et comment celui-ci s'applique sur le territoire. Ainsi, cette analyse permettra de mettre en évidences les avantages et inconvénients des uns par rapport aux autres ; et donc de voir quels sont les caractéristiques les plus avantageuses à mettre en place pour répondre aux exigences d'un réseau complexe, autonome et en cycles fermés, tel que sont ceux des écosystèmes naturels.

Parmi les nombreux projets d'urbanisme basés sur le concept d'écosystème, trois d'entre eux sont particulièrement reconnus pour la mise en place d'un réseau pour la gestion des différents flux inhérents au milieu urbain :

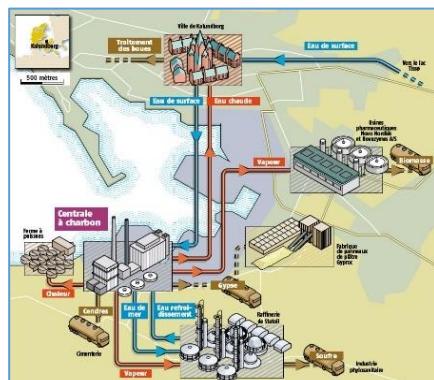


Fig.71 - Le réseau de l'éco-parc industriel « Symbiosis » de Kalundborg.

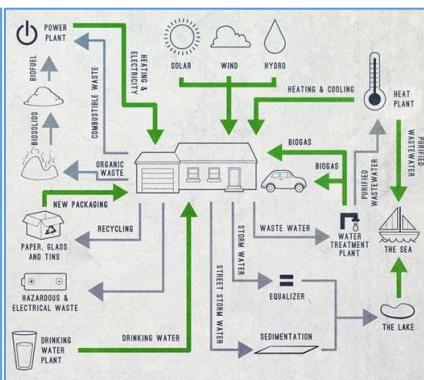


Fig.72 - Le réseau de l'éco-quartier urbain « Hammarby » de Stockholm.



Fig.73 - Le réseau des éco-communs « R-Urban » de Colombes.

1.2.2 Systémique des réseaux

Afin de mieux comprendre les différentes connexions et leurs applications, les projets susmentionnés seront analysées à travers la systémiques des réseaux. Définissants les villes comme des écosystèmes urbains, ils correspondent ainsi à un système, soit un ensemble de sous-systèmes composés de polarités qui interagissent les unes avec les autres.

Dans le cadre du développement durable, qui définit les trois piliers à prendre en compte pour un projet durable (voir chapitre 1, partie 3.2.1), les systèmes urbains répondent donc à trois sous-systèmes principaux : soit un système social, un système économique et un systèmes environnementale. Appliqués aux réseaux urbains (chapitre 2, partie 2.4) ils se divisent alors, d'un point de vu de la systémique, en trois réseaux principaux tel que : un réseau sociétale (anthropo-système), un réseau d'infrastructures urbaines (système des flux techniques), et un réseau écologiques (trames écologiques).

Faisant le parallèle entre ses deux approches, les études de cas de ce chapitre seront donc analysés suivant trois points :

- Le réseau d'acteurs : Réseau mettant en relations les différents acteurs du projets, pouvant être défini comme les utilisateurs, les collaborateurs, les partenaires, etc.
- Le réseau d'échanges : Réseau de flux (préférentiellement cycliques) d'énergie et de ressources, mais aussi de services, qui définissent les interactions des acteurs.
- Le réseau écologique : Réseau des trames écologiques et des cycles métaboliques du territoire accueillants les acteurs et leurs échanges.

2. ANALYSE DES RESEAUX

2.1 Eco-parc « Symbiosis » de Kalundborg

L'étude de cas choisi ici n'est pas à proprement parlé un écosystème urbain, mais un écosystème industriel reste un écosystème artificiel. Pouvant lui aussi être étudié sous le biais de l'écologie urbaine, car l'écologie industrielle en est un dérivé (voir chapitre 1, partie 3.2.2) où le principe est sensiblement le même, seul le sujet d'étude change réellement. De plus, le réseau Symbiosis de Kalundborg en est l'exemple parfait. Etant considéré comme le premier éco-parc industriel et le plus avancé d'entre eux, il est même désigné comme le projet fondateur de cette discipline, mettant en application des notions qui n'ont vu le jour que des années plus tard. On verra aussi que la ville de Kalundborg joue un rôle important, faisant de ce réseau un écosystème complexe, mêlant industriel et urbain.

2.1.1 La symbiose industrielle

La notion de symbiose industrielle a vu le jour dans le but de définir le réseau de relations d'échanges de différentes industries dans la ville de Kalundborg, réseau qui porte d'ailleurs aujourd'hui le nom de « Symbiosis »³²⁴. Faisant l'analogie avec les réseaux trophiques des écosystèmes naturels, où toutes les espèces interagissent ensemble partageant ressources et énergies dans des cycles fermés ; ici les acteurs économiques (industries, entreprises, commune...) mettent en réseaux les ressources consommées ou rejetées dans le but de boucler aux maximum ses flux de matières et d'énergies³²⁵.

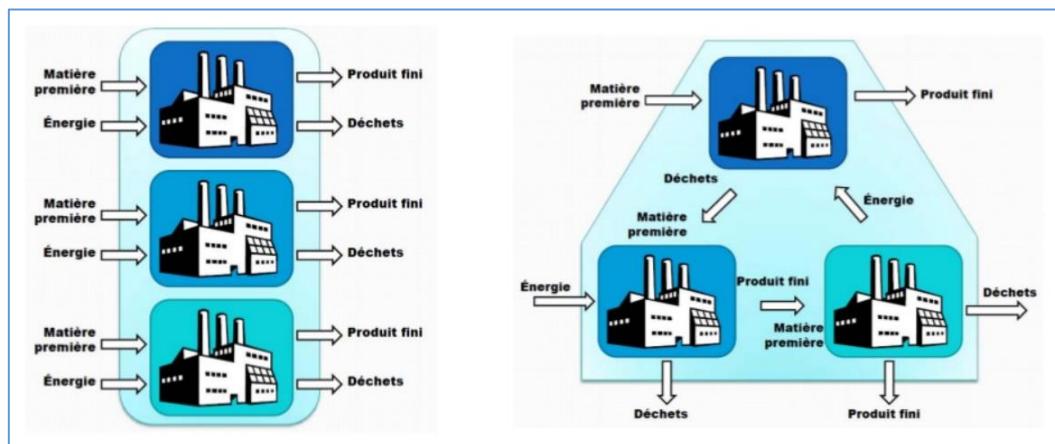


Fig.74 – Schéma explicatif de la symbiose industrielle.

La symbiose industrielle se définit alors comme la synergie des industries afin de rendre leurs flux plus cycliques. C'est donc la mise en relation de leur métabolisme propre à chacun en un seul réseau complet (voir chapitre 2, partie 2.2.3), soit l'application concrète de l'écologie industrielle (voir chapitre 1, partie 3.2.2).

³²⁴ Arnaud Diemer. « Les symbioses industrielles : un nouveau champ d'analyse pour l'économie industrielle » (N°50, en 2016) p.65 à p.94.

³²⁵ UVED. (consulté le 1 Décembre) « l'exemple du parc industriel de Kalundborg ». <https://direns.mines-paristech.fr/Sites/ISIGE/uvod/ecologieIndustrielle/module6/kalundborg/html/1.html>

2.1.2 Contexte et historique

Kalundborg, située au bord de la Mer du Nord au Danemark, est une ville d'environ 50 000 habitants. Possédant un port assez profond pour accueillir de grands bateaux, notamment les vraquiers, elle devient, à la fin des années 50, le lieu idéal pour l'implantation de grandes entreprises très consommatrices en matières premières. C'est ainsi que le gouvernement danois choisit cette ville pour y faire construire une centrale électrique à charbon (*Ørsted*[®], anciennement Asnaes et DONG Energy) et une raffinerie de pétrole (*Equinor*[®], anciennement Statoil)³²⁶.

La zone industrielle grandissant, les industries se multiplient mais fonctionnent, à l'image de ce que l'on connaît le plus régulièrement, indépendamment les unes des autres. Puis au début des années 70, la raffinerie qui souhaite accroître sa production se voit contrainte de compenser ses nouveaux besoins en eau en pompant l'eau d'un lac avoisinant, le lac Tissø. La municipalité accepte à condition que l'eau soit par la suite réutilisée pour la centrale qui a elle aussi besoin de s'agrandir ; en échange, la centrale lui vend de la vapeur, permettant à la raffinerie de fluidifier son pétrole à moindre coût. La raffinerie baisse alors de 15% sa consommation énergétique, et la centrale de 80% sa consommation d'eau : ce sont alors les débuts de la symbiose du parc industriel de Kalundborg³²⁷.



Fig.75 – Situation des différents acteurs du réseau Symbiosis.

Ce modèle écologique, mais surtout économique commence alors à intéresser les autres entreprises du secteur. Très vite de nouveaux acteurs rentrent dans ce réseau, comme Gyproc[®] (panneaux en plâtre), Novo Nordisk[®] (biotechnologie), Novozymes[®] (production d'enzymes), mais aussi la commune elle-même : c'est la naissance de l'éco-parc industriel Symbiosis. Le plus impressionnant reste qu'ici, ce réseau n'a pas été initié par les pouvoirs publics, mettant en pratique un plan stratégique, mais bien d'opportunités, presque hasardeuses, saisies par les industriels locaux, se faisant confiance et coopérant ensemble dans un intérêt commun³²⁸.

³²⁶ Ibid. Source 324.

³²⁷ Kalundborg, symbiose industrielle au Danemark (2017, 30 Novembre) [vidéo]. [ARBE RegionSud](https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=ZryUzaJvKZg).
<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=ZryUzaJvKZg>

³²⁸ Marine Lamoureux. « Au Danemark les déchets sont des ressources » dans La Croix. (en 2018)

Si la démarche n'avait initialement rien d'écologique, elle prouve néanmoins que les bénéfices économiques ne sont pas forcément incompatibles avec la protection de l'environnement.

2.1.3 Principe et fonctionnement

Développé par des accords commerciaux, et grâce à la proximité géographique de ces entreprises, Symbiosis est né de la complémentarité des industriels, rendant possible les flux de matières, d'énergies et d'eaux. Ces échanges permettent ainsi de minimiser les dépenses en approvisionnement des matières premières (ressources et énergies), mais aussi celles de la gestion des déchets. Comme une entreprise ne conçoit pas seulement un produit fini, mais aussi des sous-produits et de l'énergie souvent perdue, voir ses déchets comme des ressources potentielles pour d'autres entreprises permet de rendre le métabolisme urbain plus cyclique et ainsi considérer la ville comme productrice, ce qui est un élément essentiel pour la résilience d'un écosystème urbain³²⁹.

Ce cercle vertueux a été rendu possible par l'initiative des entreprises elles-mêmes, mais aussi de leur proximité, permettant d'établir des réseaux physiques d'échanges de matières, notamment les énormes pipelines de transport d'eau ou de vapeur entre les différentes industries. De plus, n'étant pas concurrentes, elles ont pu établir un réseau de confiance qui compte maintenant plus 26 entreprises qui coopèrent avec la ville ; élaborant, au fil du temps, plus de 50 échanges symbiotiques entre eux³³⁰ [annexe 32 : Evolution du réseau industriel Symbiosis et de ses échanges entre 1961 et 2010].

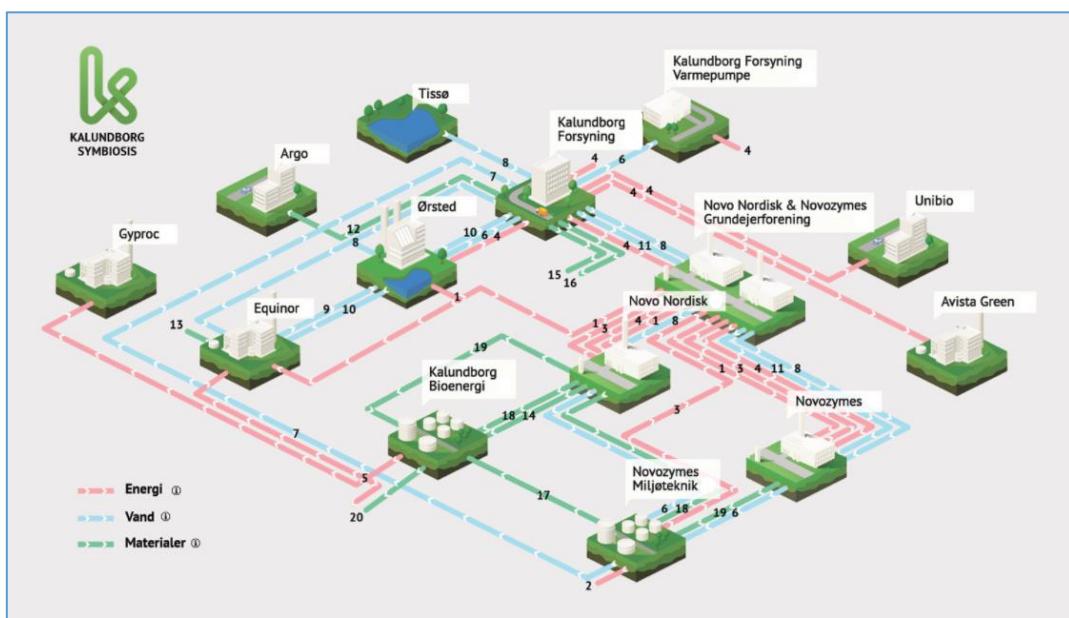


Fig.76 – Schéma des différentes relations entre acteurs du réseau Symbiosis.

³²⁹ Cargocollective. (consulté le 1 Décembre) « *Symbiose industrielle, Kalundborg au Danemark* » <http://cargocollective.com/jaderudler/Symbiose-industrielle-Kalundborg-Dk>

³³⁰ Magazine Nordregio. « Symbiose industrielle à Kalundborg », Nordregio News. (en 2006)

2.1.4 Atouts et faiblesses

Le succès de ce projet est dû à de nombreux facteurs : motivé par les gains économiques, il permet aussi la réduction des pollutions (notamment les émissions de CO₂), la réduction de l'exploitation des ressources naturelles, l'économie d'énergie, ou encore le recyclage systémique des déchets et sous-produits ; faisant de Kalundborg une ville pionnière en terme d'écologie industrielle (et donc urbaine)³³¹.

Si le modèle de réseau de cet éco-parc est si exemplaire, c'est aussi qu'il est né d'une combinaison de conditions favorables à son développement^{332/333} :

- Proximité géographique : Permet une simplification et une meilleure efficacité des échanges, notamment par un réseau physique de flux partagés.
- Diversité des activités : Permet que les échanges puissent se faire et se multiplier, si les déchets produits n'intéressent personne alors la synergie ne fonctionne pas.
- Contexte historique : La crise énergétique de années 70 et les besoins grandissant d'eau de la centrale ont permis d'établir ce réseau et de le rendre attractif.
- Politique favorable : La municipalité n'a pas offert de subventions mais a toujours soutenu le projet, créant un climat incitatif, et participant elle-même à ce réseau.
- Confiance et coopération : Les entreprises ne sont pas concurrentes et les premiers partenaires se connaissaient déjà bien, faisant parti du même Rotary club.
- Partage d'informations : La transparence des flux, la collecte et le traitement des données permet de déceler les synergies possibles et les rendre durables.
- Communication : La promotion du réseau en communiquant sur les résultats de manière détaillée permet d'intéresser de nouveaux acteurs et de diversifier les flux.

Si toutes ces conditions ont permis un développement pérenne dans les temps, avec plus de 50 ans de collaborations, des potentiels d'échanges et de substitution des flux, il n'en demeure pas moins que certains freins inhérents à la symbiose industrielle révèlent les faiblesses de ce réseau³³⁴ :

- Réseau sans redondance : Cet écosystème, contrairement aux écosystèmes naturels, ne possède que peu (voire un seul) acteurs par groupe fonctionnel (secteur d'activité), obligeant la centralisation de certains flux.
- Risque de défaillance : Si un seul des acteurs clé (acteur central) du réseau est en difficulté (grève, fermeture, baisse de production...), c'est alors l'entièreté du système d'échange qui peut se retrouver perturbé, voire arrêté.
- Rigidité des échanges : Les potentiels de substitutions sont contraints par le secteur et le nombre d'entreprises présentes (ainsi que les natures des infrastructures de transports) ne permettant des flux qu'entre les ressources présentes sur le réseau.

³³¹ Socialter. (consulté le 1 Décembre) « Sym city ». <https://www.socialter.fr/article/sym-city>

³³² Editor. (consulté le 1 Décembre) « Il était une fois l'écologie industrielle de Kalundborg ».

³³³ André Botequilha-Leitão. « Systèmes urbains éco-polycentriques: une perspective de région écologique pour les villes en réseau » dans Défis. Université de l'Algarve, Portugal. (en 2012)

³³⁴ Symbioses industrielles et parcs éco-industriels : la symbiose de Kalundborg (2015, 5 Novembre) [vidéo].

UVED. <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=39nbiVcGdNc>

- Valeur marchande : La possibilité d'échanges entre différentes entreprises est alors contrainte par la valeur économique de ses déchets ; si tel n'est pas le cas, elle ne pourra alors s'implanter qu'en bout de chaîne du réseau.
- Localisation des acteurs : Si la proximité a été l'une des clés de réussite de l'éco-parc, elle est aussi une faiblesse à son développement, rendant beaucoup plus compliqué et beaucoup moins efficace (énergétiquement, économiquement et écologiquement) la possibilité d'échanges avec des industries éloignées.

2.1.5 Analyse systémique

a. Approche sociale : Le réseau d'acteurs

Le volontarisme des différents acteurs de ce réseau a été l'élément déterminant dans la réussite de cet éco-parc. « Rien n'a été planifié. Ce système s'est développé sur quatre décennies, accord bilatéral après accord bilatéral » ; et c'est cette volonté de collaboration qui a permis le succès de la symbiose industrielle à Kalundborg. Cette volonté de coopération et de circulation de l'information a créé une dynamique qui résonne aujourd'hui dans le monde entier comme la référence en matière d'éologie industrielle³³⁵.

Les réseaux d'échanges étant spontanés et indépendants les uns des autres, la confiance est primordiale pour qu'ils puissent perdurer. C'est aussi pourquoi ce réseau est longtemps resté en cercle fermé, n'incluant que les entreprises dirigées par des personnes qui se connaissaient bien. Au fil du temps les mentalités ont changé et de plus en plus d'entreprises ont pu intégrer le réseau Symbiosis : des grosses comme Gyproc® qui a choisi de s'implanter à Kalundborg pour profiter du biogaz et du gypse produit par la centrale, ou des petites comme des éleveurs de porcs qui bénéficient des levures résiduelles du site de Novo Nordisk®, en passant par une cimenterie, une ferme d'aquaculture ou une entreprise de valorisation des déchets³³⁶.

Maintenant la politique est tout autre, et l'éco-parc cherche de lui-même à promouvoir les avantages de son réseau afin de trouver de nouveaux acteurs pour rejoindre le projet. Le réseau Symbiosis a d'ailleurs développé une nouvelle plateforme de dialogue, le Dansk SymbioseCenter®, dans l'objectif de développer l'éologie industrielle sur l'ensemble de la région de la Mer Baltique et soutenir les projets de synergie du pays³³⁷. A Kalundborg, ce sont aujourd'hui plus de 25 partenaires publics et privés qui participent à ce réseau, dont les principaux sont³³⁸ [annexe 33 : Tableau des principaux acteurs du réseau industriel Symbiosis] :

³³⁵ Demain la ville (consulté le 21 Novembre). « Kalundborg, modèle d'éologie industrielle», (en2020). <https://www.demainlaville.com/kalundborg-modele-decologie-industrielle/>

³³⁶ L'USINE NOUVELLE. (en 2008). *Kalundborg, la voie danoise*. <https://www.usinenouvelle.com/article/kalundborg-la-voie-danoise.N24483>

³³⁷ Dansk symbiosecenter. (consulté le 1 Décembre) « *Symbiosis center demark* ». <https://symbiosecenter.dk/project/bis/>

³³⁸ Kalindborg symbiosis. (consulté le 1 Décembre) « *Ga pa opdagelse i kalundborg symbiose* ». <http://www.symbiosis.dk/>

- Commune de Kalundborg : Municipalité et ses édifices publics, mais aussi les différents ménages de la ville (logements).
 - Kalundborg Forsyning[®] : Service publique d'approvisionnement en eau et en chauffage urbain, il s'occupe aussi du traitement des déchets ménagers.
 - Biopro[®] : Projet de recherche en biotechnologie piloté par l'université de Copenhague et l'université technique du Danemark³³⁹.
- Kalundborg Bioenergi (Bigadan[®]) : Raffinerie de production de biogaz (partenariat entre Novo Nordisk & Novozymes Groupe et Ørsted[®]).
- Ørsted[®] : Centrale électrique au charbon de la plus grande société de fourniture énergétique du pays.
- Equinor[®] : La plus grande raffinerie de pétrole du Danemark, avec la particularité de convertir le soufre résiduel en engrais liquide (fertilisant).
- Novo Nordisk & Novozymes Groupe :
 - Novo Nordisk[®] : Entreprise pharmaceutique avec la plus grande usine de production mondiale d'insuline, et une production résiduelle d'engrais.
 - Novozymes[®] : Entreprise de production d'enzymes, et une production résiduelle de fertilisants et de biogaz.
- Gyproc[®] : Producteur de plaques de plâtre faisant partie du groupe Saint-Gobain^{®,} leader mondial du marché de la construction légère.
- Argo[®] : Entreprise de recyclage et gestion des déchets ménagers et industriels de 10 communes danoises dont Kalundborg.
- Unibio[®] : Entreprise en biotechnologie qui produit des protéines alimentaires (nourriture animale et compléments alimentaires) en convertissant du méthane.
- Avista Green[®] : Usine de production d'huile, en phase de mutation afin de devenir une raffinerie recyclant l'huile usée en une nouvelle huile de lubrification³⁴⁰.



Fig.77 – Plan des différents acteurs du réseau Symbiosis.

³³⁹ Biopro. (consulté le 1 Décembre) « *Un cluster de classe mondiale dans la fabrication biotechnologique* ». <http://www.biopro.nu/>

³⁴⁰ Avista Green (consulté le 3 Décembre) « *Raffinage De L'huile Usée , en huile de base de haute qualité pour réutilisation* » <http://avistagreen.dk/>

Si les échanges restent principalement entre industriels, ils ne s'arrêtent pas là pour autant. Les ménages de la ville sont aussi impliqués dans ce réseau par le circuit de distribution d'eau, mais aussi par un réseau de chauffage urbain qui utilise la vapeur d'eau comme source de chaleur³⁴¹. Et la municipalité n'incite pas que les acteurs économiques à devenir plus éco-responsables : les habitants aussi sont poussés vers une démarche circulaire, mettant à leur service une déchèterie dédiée au recyclage (avec plus de 40 catégories de déchets différents) qui est devenue un véritable lieu de lien social pour les citoyens de Kalundborg³⁴².

b. Approche économique : Le réseau d'échanges

Le réseau Symbiosis fonctionne donc sur la synergie des flux entre les différents acteurs. Ce réseau d'échanges a été rendu possible par les intérêts économiques mutuels qu'on put tirer les industriels de ces partenariats. Parti des besoins en eaux de la raffinerie qui a obligé d'échanger cette ressource avec la centrale, les relations se sont multipliées années après années afin de devenir un réseau de synergie complet³⁴³ [annexe 34 : Chronologie des échanges de flux du réseau industriel Symbiosis entre 1961 et 2010].

Il faut donc bien prendre en compte que ce système complexe n'est pas figé dans le temps ou dans l'espace : les relations peuvent ainsi se complexifier, se simplifier, se mutualiser, se diviser, se multiplier, voir même s'arrêter. Evoluant au fil du temps, le réseau de partage de l'eau du lac Tissø s'est additionné à un réseau de partage de l'énergie et un réseau de partage en matériaux, tous à la fois communiquant et indépendant les uns des autres. Le réseau comporte donc trois sous-systèmes, qui peuvent eux même être subdivisés, comme le montre le schéma ci-dessous [Annexe 35 : Schéma des 3 systèmes (énergie, eau, déchets) d'échanges du réseau industriel Symbiosis] :

- Réseau de production de l'énergie (en rouge)
 - Flux de chauffage (Heat)
 - Flux de vapeur (Steam)
 - Flux de biogaz (Gas)
- Réseau de mutualisation de l'eau (en bleu et vert)
 - Flux d'eaux de refroidissement (surface water)
 - Flux d'eaux de nettoyage (wast/tech. water)
 - Flux d'eaux de vapeur (deionized/ water)
- Réseau de valorisation des déchets
 - Flux de matières réutilisées (gypsum/ Straw/ Fly ash/ Biomass/Fertilizer)
 - Flux de matières valorisées (alkoholic residue/Bioethanol/ Sludge)

³⁴¹ Ibid. source 327.

³⁴² *Un parc industriel copie la nature pour gérer déchets et ressources.* (2019, 28 Mars) [audio].

[Emmanuel Moreau](#)

³⁴³ Ibid. Source 328.

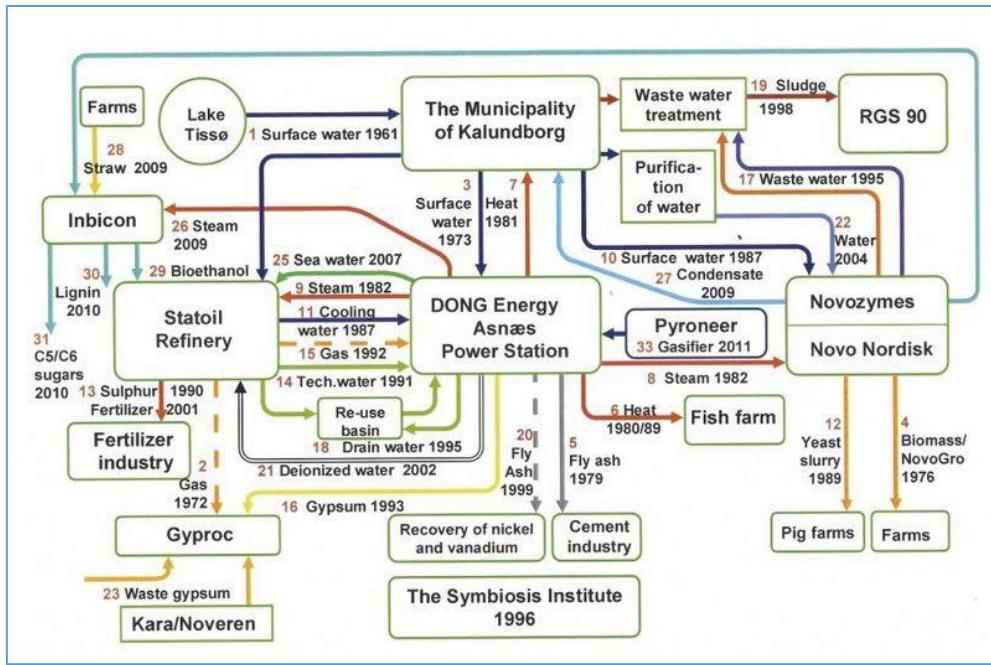


Fig.78 – Diagramme des différentes interactions du réseau Symbiosis.

L'éco-parc industriel de Kalundborg s'appuie donc sur une grande diversité des flux, avec, pour chaque échange, une retombée économique intéressante pour toutes les parties prenantes. Les bénéfices ne se font d'ailleurs pas trop attendre, rendant le réseau rentable en moins de 5 ans. Depuis les résultats sont plus que probants et s'améliorent d'années en années, avec des économies annuelles de^{344/345} :

- 24 millions d'euros de bénéfices financiers.
- 14 millions d'euros de retombé socio-économiques.
- 3.6 millions de m³ d'eau, dont 1.9 million d'eau souterraine.
- 635 000 tonnes de CO₂ et 100 GWh d'énergie.
- 20 000 tonnes de pétrole (notamment par le chauffage de plus de 4 500 foyers).
- 87 000 tonnes de matériaux et 200 000 tonnes de gypse.

c. Approche environnementale : le réseau écologique

Si les résultats, en termes de réduction de l'exploitation des ressources naturelles, des déchets produits et des pollutions émises, sont intégralement bénéfiques pour l'environnement et révèle du réel intérêt écologique de la symbiose, l'éco-parc industriel de Kalundborg n'est pas si écologique que ça. En effet, même si la rentabilité de la matière et de l'énergie consommée est sûrement la plus aboutie au monde, il n'en reste pas moins que se sont de très grosses industries, qui sont aussi très polluantes (ne serait-ce que par

³⁴⁴ Union Européen. (consulté le 3 Décembre) « Kalundborg Symbiosis: six decades of a circular approach to production » <https://circulareconomy.europa.eu/platform/fr/node/938>

³⁴⁵ Ibid. Source 329.

l'envoi de leurs produits dans le monde entier). Ainsi, même si les économies sont énormes, leurs besoins de consommation (en énergies fossiles) le sont encore plus.³⁴⁶

Comme expliquer précédemment, les avantages écologiques tirés de ce réseau de symbioses n'ont été que des conséquences involontaires des bénéfices économiques recherchés. Ici, l'économie circulaire mise en place reste avant tout une lecture économique de l'écologie, et les partenariats n'auraient jamais été appliqués si les avantages n'avaient été qu'environnementaux. Cette croissance verte se résume donc à une démarche économique où « l'écologie ne représenterait qu'une sous discipline mineure de l'économie qui doit être intégrée dans les modèles »³⁴⁷.



Fig. 79 – Photos de l'éco-parc Symbiosis.

Aussi, la nature même des entreprises qui jouent un rôle central dans ce réseau pose problème : une immense raffinerie de pétrole et une centrale électrique qui fonctionne au charbon ne sont pas vraiment des exemples d'industries écologiques... Bien au contraire. Mais les choses commencent à changer sur ce point, la popularité grandissante du réseau Symbiosis comme exemple d'écologie industrielle pousse la ville à évoluer dans ce sens³⁴⁸.

A commencer par la politique gouvernementale du Danemark qui a obligé la centrale au charbon à diminuer ses activités au profit d'une nouvelle centrale à bioéthanol produite à basse de paille et de copeaux de bois³⁴⁹ (mais poussant donc Gyproc[®] à se réapprovisionner à l'étranger pour compenser la baisse de production de gypse de la centrale, pas si bonne nouvelle pour la planète). L'implantation et l'efficacité de Bigadan[®] ou Argo[®] (valorisation des déchets industriels et ménagers) à ce réseau marque aussi l'intérêt de plus en plus fort pour l'écologie ; on notera même la création d'une ferme d'aquaculture afin de ne pas rejeter l'eau (trop chaude de 8°C) de la centrale directement dans la mer³⁵⁰.

Malgré cela, en dehors du travail sur le métabolisme urbain, il n'existe donc aucun réseau écologique à Kalundborg. Les espaces verts présents sur la commune sont en grande partie réservés à l'agriculture, sur des grandes surfaces mono-cultivées, et donc sans travail de permaculture ou même de bioéconomie. La municipalité avait pourtant travaillé sur un plan de re-naturalisation des sols au cours du programme participatif « BaltCICA » de l'Interreg[®] sur l'adaptation aux changements climatiques (le coût estimé

³⁴⁶ Ibid. source 22.

³⁴⁷ Ibid. source 12.

³⁴⁸ Claude Drapeau , (en 2007), L'industrie à l'heure du développement durable : Les stratégies de développement éco-industriel.

³⁴⁹ DHC News. (consulté le 3 Décembre) « La centrale électrique à copeaux de bois d'Asnæs intégrée au Danemark » <https://www.dhcnews.com/centrale-electrique-copeaux-bois-asnaes-integree-danemark/>

³⁵⁰ Ibid. source 13.

des dégâts de l'élévation du niveau de la mer étant pourtant estimé à plus de 500 millions d'euros)³⁵¹.



Fig.80 – Vue de l'éco-parc Symbiosis.

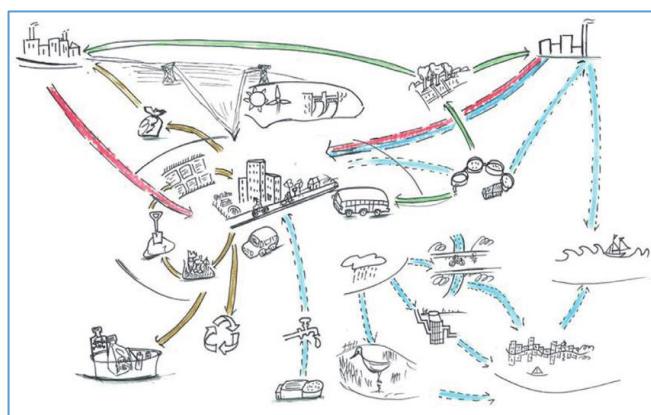
Il n'existe donc aucune stratégie de préservation du biotope ou de la biodiversité, et aucun travail n'a été réalisé sur les réseaux de trames écologiques, faisant de cette ville un territoire particulièrement artificialisé (urbain, industrie et culture).

2.2 Eco-quartier « Hammarby » de Stockholm

L'étude de cas choisi ici cherche à montrer tout le potentiel de l'application de la symbiose industrielle sur les écosystèmes urbains. Appliquant tous les principes de l'écologie urbaine (voir chapitre 1, partie 3.1.1), le quartier d'Hammarby est une véritable référence en termes de réseau de gestion d'eau, de matière et d'énergie. Considérer comme le premier éco-quartier, ce projet a été l'initiateur du modèle d'éco-cycles. Et encore aujourd'hui, beaucoup de villes tirent encore des leçons de l'enseignement de Stockholm sur le bouclage des cycles de flux du métabolisme urbain.

2.2.1 Le modèle « éco-cycle »

Pouvant se définir comme l'application des principes de la synergie industrielle aux milieux urbains, le modèle dit « éco-cycle » est aussi appelé modèle d'Hammarby, en référence au quartier du même nom qui a été le premier à élaborer ce concept. Le modèle



cherche donc à rendre plus cyclique les différents flux de matière et d'énergie afin de rendre le quartier autonome et durable tout au long de son cycle de vie ; c'est l'application de l'économie circulaire sur le métabolisme urbain³⁵². Cette stratégie vise ainsi à mettre en réseau la furniture d'eau, d'électricité,

Fig.81 – Schéma du modèle d'éco-cycles.

³⁵¹ Bottom-up climate adaptation strategies towards a sustainable Europe (s.d.) Case-study: Kalundborg The Danish Board of Technology, Denmark.

³⁵² Arene, (en 2005), Quartier durable : guide d'expérience européennes.

de chauffage et de climatisation avec la gestion des déchets et des eaux usées par des principes de recyclage, de réutilisation et de valorisation³⁵³.

De manière générale, l'objectif du modèle d'éco-cycles reste donc de réduire l'impact environnemental des écosystèmes urbains en améliorant l'efficacité et l'autonomie des réseaux techniques urbains, par une utilisation plus durable et raisonnée des ressources ; à la manière des réseaux trophiques et cycles biologiques des écosystèmes naturels³⁵⁴.

2.2.2 Contexte et historique

Stockholm, capitale de la Suède, a été une importante ville portuaire avec un grand passé industriel. Suite à l'importante demande de logements à la fin des années 80, la ville entreprend alors un grand programme de construction de logements qui, combiné à la volonté d'accueillir les J.O. de 2004, prévoit l'implantation du village olympique sur une ancienne friche d'usines et d'entrepôts désaffectés [annexe 36 : Planches de l'ancien projet du quartier d'Hammarby]. Si Stockholm n'a pas été choisie, le projet a perduré, commençant par une importante opération de dépollution (300 tonnes de résidus de pétrole et métaux lourds) du site au Sud de la ville : le quartier d'Hammarby Sjöstad³⁵⁵.

Le site de plus de 200 hectares, situé sur la rive Sud du canal Hammarby, est composé d'un ancien port, d'industries et de bureaux, connu à l'époque pour de nombreux problèmes d'insécurité et de pollutions. A la jonction entre le centre-ville et la réserve naturelle de Nacka, le quartier est alors entièrement redessiné pour pouvoir accueillir près de 11 000 logements et 8 000 emplois. Aujourd'hui, on compte près de 13 000 logements (25 000 habitants) et plus de 30 000 travailleurs³⁵⁶.

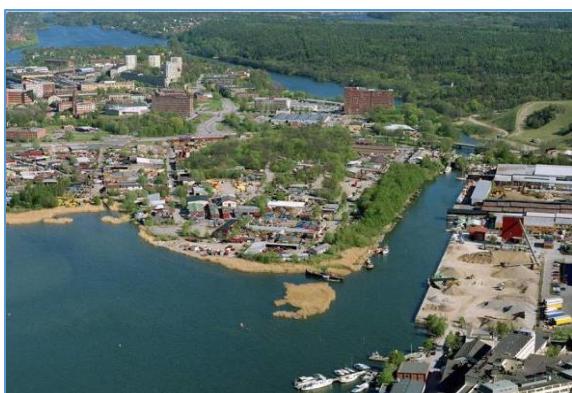


Fig.82 – Vue de la zone industrielle d'Hammarby.



Fig.83 – Plan de l'éco-quartier d'Hammarby.

³⁵³ Wikipédia (consulté le 3 Décembre), « Hammarby Sjöstad »

https://fr.wikipedia.org/wiki/Hammarby_Sj%C3%B6stad#Le_mod%C3%A8le_des_%C2%AB_%C3%89co-Cycles_%C2%BB

³⁵⁴ Catherine Ducruet. (en 2010). « A Stockholm, un écoquartier inspiré par la nature ».

<https://www.lesechos.fr/2010/01/a-stockholm-un-ecoquartier-inspire-par-la-nature-415727>

³⁵⁵ Midi Onze (consulté le 3 Décembre), Hammarby et le royal seaport à Stockholm : deux exemples de planification verte.

<http://www.midionze.com/2017/07/12/hammarby-et-le-royal-seaport-a-stockholm-deux-exemples-de-planification-verte/>

³⁵⁶ Ibid. source 29.

Dès le départ l'ambition était de faire de ce quartier un exemple de développement durable, avec pour objectif de réduire par deux les dépenses énergétiques et l'empreinte écologique des futurs habitants. Initialement pensé pour une population plutôt vieillissante, le quartier a au contraire été investi par la jeunesse, entre étudiants et jeunes couples avec enfants ; qui ont d'ailleurs plutôt bien joué le jeu de l'écologie : avec une réduction en 2010 de leur impact environnemental estimée à plus de 40% par rapport à leurs voisins du centre-ville³⁵⁷.

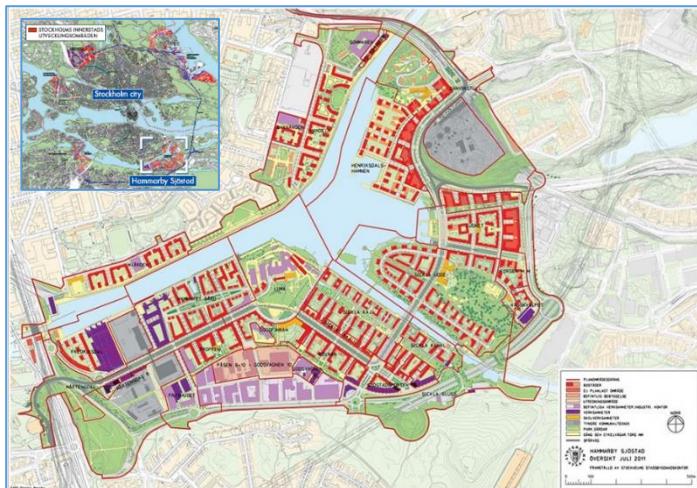


Fig.84 – Photos de l'éco-quartier d'Hammarby.

Si aujourd'hui le quartier d'Hammarby est un exemple pour le monde entier, étant aussi considéré comme le premier éco-quartier, convaincre les quelques 25 entreprises de construction n'a pas été une mince affaire. Développé avec autant d'entreprises afin de produire une véritable mixité tant sur le plan fonctionnel qu'architectural, le projet n'a été possible que par l'importante subvention de la ville, et une forte communication en termes de retours sur investissements des projets plus respectueux de l'environnement³⁵⁸.

2.2.3 Principe et fonctionnement

Débuté en 1990, ce projet de renouvellement urbain (voir chapitre 2, partie 2.2.2) est principalement construit entre 1998 et 2010, pour être entièrement terminé en 2018.



Avec des ambitions aussi élevées sur le plan écologique, des solutions innovantes ont dû être trouvées, s'appuyant sur un concept totalement novateur pour l'époque : celui de la symbiose des flux de matière et d'énergie, une façon très intelligente de repenser le métabolisme urbain sur les principes des cycles vertueux des écosystèmes naturels³⁵⁹.

Fig.85 – Plan de l'éco-quartier d'Hammarby.

³⁵⁷ Hammerby, un écoquartier modèle pour les villes de demain (2010) [audio]. [Emmanuel Moreau](#), (Octobre 27)

³⁵⁸ [worldenergy](#). « À la recherche de la ville durable: le modèle Hammarby » *The world energy fondation* (en 2016).

³⁵⁹ Le petit journal (consulté le 3 Décembre), ENVIRONNEMENT - La Suède verte (premier volet): Hammarby et Stockholm Royal Seaport. <https://lepetitjournal.com/stockholm/actualites/environnement-la-suede-verte-premier-volet-hammarby-et-stockholm-royal-seaport-46614>

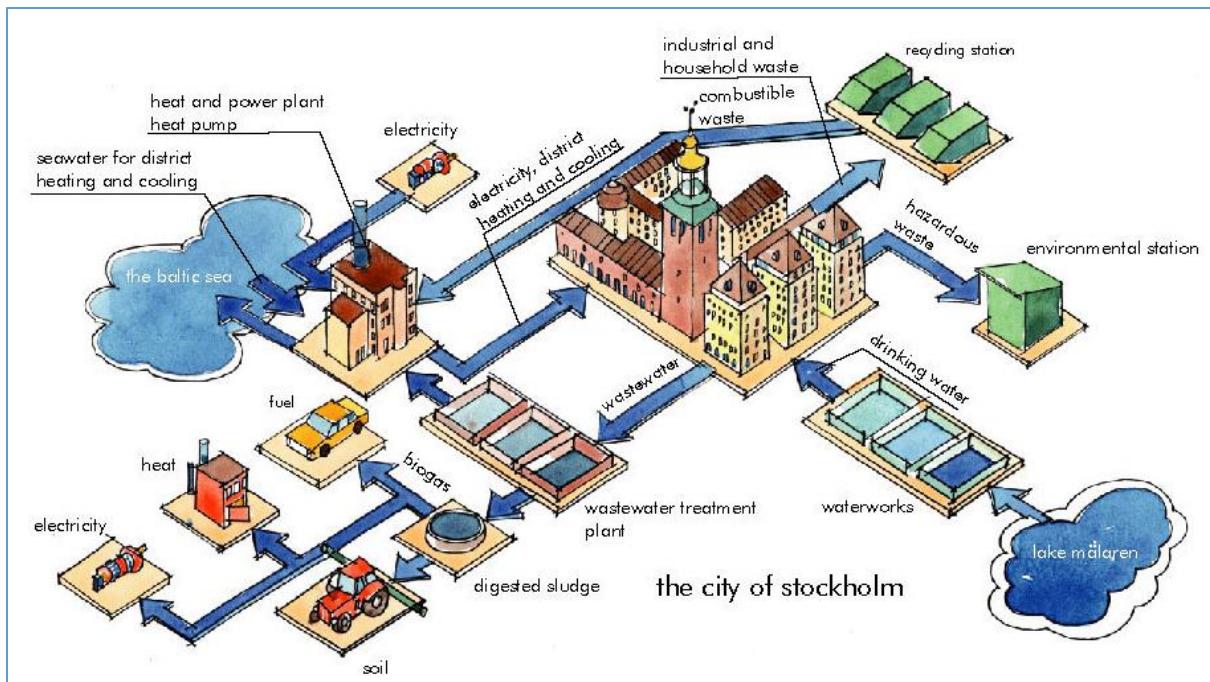


Fig.86 – Schéma de la symbiose du réseau d'Hammarby.

Ce quartier, qui avait à l'origine été baptisé « SimbioCity », a donc repensé en réseaux complexes l'intégralité de échanges possibles entre les circuits d'eaux (eaux propres et eaux usées), d'énergies (électricité, chauffage et climatisation) et des déchets (organiques et autres) du quartier³⁶⁰. Ici, à l'inverse du projet de l'éco-parc industriel Symbiosis, la stratégie de mise en réseau de la matière et de l'énergie du quartier a été intégralement réfléchie en amont afin d'être le plus autonome et complet possible.

Si les solutions apportées à ce projet sont aujourd'hui assez répandues, elles étaient complètement nouvelles à l'époque, et ont permis d'importantes économies d'énergie. Reconnu à l'international pour l'intégration des infrastructures urbaines et méthodes de gestion des ressources, l'éco-quartier d'Hammarby se base sur deux notions principales : une meilleure efficacité énergétique des bâtiments et des réseaux de chaleur, ainsi qu'une réduction et une valorisation des déchets³⁶¹. De ces objectifs se sont développés de nombreux processus tel que la sobriété énergétique du quartier [annexe 37 : Modélisation de l'irradiation solaire annuelle du quartier d'Hammarby], le mix énergétique (entre biomasse, solaire, incinération des déchets), ou le cycle de l'eau (eaux pluviales et usées)³⁶².

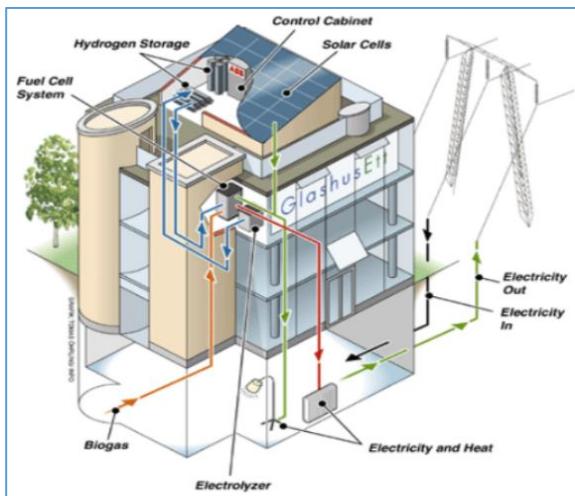


Fig.87 – Schéma du centre de GlashusEtt.

³⁶⁰ Ibid. source 354.

³⁶¹ Ibid. source 358.

³⁶² Ibid. source 355.

Une réflexion a aussi été portée sur les modes de déplacements des futurs habitants en incluant les transports en commun (bus, et connexion au centre-ville en tramway et bac) avec une distance de maximum 500 mètres entre les logements et les arrêts, des solutions d'autopartage (10% des ménages utilisent des véhicules en libre-service), et une incitation à la mobilité douce (rues piétonnes, piste cyclables et proportion de 2,5 places de parking à vélos par appartements). L'objectif initial de faire baisser à 0,3 le nombre de voitures par ménages n'a pas été relevé, ne réussissant qu'à atteindre qu'un taux de 0,7 (contre 0,84 à Stockholm³⁶³)³⁶⁴. Mais cette thématique n'est pas non plus un échec, les objectifs d'atteindre 15% du parc automobile roulant au biogaz et 80% des déplacements pendulaires et mobilité douce (à pied, à vélo ou en transports en commun) ont été largement atteints³⁶⁵.

2.2.4 Atouts et faiblesses

Le quartier d'Hammarby est une réussite, devenant un exemple mondial d'urbanisme durable (voir chapitre 1, partie 3.1.5) ; offrant même en 2009 le statut de « Capitale verte de l'Europe » à la ville de Stockholm. Si tous les objectifs initiaux n'ont pas été complètement atteints, ils étaient tellement ambitieux que le projet reste un véritable succès avec de très bons résultats³⁶⁶ :

- Réduction de la consommation d'eau potable de 60%.
- Diminution de la consommation énergétique de 40%.
- Baisse des émissions de CO₂ de 60%.
- Part des trajets en mobilité douce de 90%.
- Proportion de véhicules roulant au biogaz ou à l'électrique de 25%.

Le seul bémol sur le plan environnemental pourrait être la sobriété énergétique des bâtiments, la municipalité n'ayant imposé à leur conception que la réglementation nationale en vigueur de l'époque afin d'attirer les investisseurs. En effet le pari d'un quartier exemplaire sur le plan environnemental a effectivement fait pécher le plan économique ; la ville ayant dû investir pas loin de 700 millions d'euros dans le projet (soit plus de 15% du coût total)³⁶⁷.

Mais c'est surtout sur le plan social que le projet montre ses faiblesses. Il n'y existe quasiment aucune mixité sociale, les habitants du quartier provenant essentiellement de la classe aisée. Le cadre de vie et la qualité urbanistique du quartier à fait grimper en flèche

³⁶³ Le petit journal (consulté le 3 Décembre), *ENVIRONNEMENT - La Suède verte (premier volet): Hammarby et Stockholm Royal Seaport*. <https://lepetitjournal.com/stockholm/actualites/environnement-la-suede-verte-premier-volet-hammarby-et-stockholm-royal-seaport-46614>

³⁶⁴ Börje Wredén län (en 2002) *Hushållens bilinnehav, En kartläggning av hushållen i Stockholms*

³⁶⁵ Ibid. source 352.

³⁶⁶ Docplayer (consulté le 3 Décembre), *Hammarby Sjöstad. Cité lacustre. Hammarby*.

<https://docplayer.fr/8891400-Hammarby-sjostad-cite-lacustre-hammarby-contexte-preparation-du-projet-cahier-des-charges.html>

³⁶⁷ Ibid. source 366.

le prix de l'immobilier, atteignant un prix au mètre carré 1,26 fois supérieur à celui d'un quartier comparable³⁶⁸. En effet, afin d'éviter le phénomène de ghettoïsation, et la volonté d'un projet de « haut standing » introduit par le projet initial (se voulant devenir la vitrine de la Suède pour les Jeux Olympiques), la planification du quartier conduit, à l'inverse, à un phénomène de gentrification ; maintenant devenu un problème récurrent des éco-quartiers.

2.2.5 Analyse systémique

a. Approche sociale : le réseau d'acteurs

Afin de multiplier les idées et trouver les solutions les plus adaptées au programme de ce projet, la ville a mis en place une véritable synergie des acteurs. Mettant autour de la table une douzaine de partenaires, afin de réfléchir ensemble aux actions à entreprendre et aux stratégies de composition urbaine afin de mettre en place un véritable urbanisme durable (voir chapitre 1, partie 3.1.5). Parmi ces acteurs, les principaux intervenants ont été³⁶⁹ :

- La municipalité de Stockholm.
- Les départements des propriétés immobilières, de la voirie et de la mobilité urbaine.
- Le comité de planification urbaine et de coordination environnementale.
- Le comité environnement et santé de la ville.
- Le centre d'information environnemental : GlashusEtt®.
- Les associations de défense de l'environnement.
- Les instituts de recherche.
- Le conseil LIP (programme d'investissement local).
- Les partenaires économiques et techniques (promoteurs, propriétaires fonciers...).
- La compagnie pétrolière Statoil® : gestionnaire du système d'autopartage.
- Birka Energi® : société de fourniture d'énergie.
- La compagnie des eaux de Stockholm.

Dans ce réseau d'acteurs les habitants n'ont pas été oubliés dans la conception du projet. La municipalité de Stockholm a elle aussi fait le pari de la transparence par une vaste campagne de communication sur le futur du quartier composée de³⁷⁰ :

- La diffusion d'un questionnaire sur les principales thématiques écologiques (récoltant plus de 10 000 réponses).
- L'animation d'une trentaine de tables rondes réunissant chacune plus de 200 personnes.

³⁶⁸ Mélanie Rostagnat « Ecoquartiers : Hammarby, le développement durable à la suédoise » dans *GEO*. Suède (en 2009). <https://www.geo.fr/voyage/ecoquartiers-suede-hammarby-developpement-durable-57943>

³⁶⁹ Ibid. source 364.

³⁷⁰ Ibid. source 366.

Et cette implication citoyenne ne s'est pas arrêtée une fois le projet sur pied. Le centre d'information environnemental GlashusEtt[©] a monté dans le quartier un établissement d'information et de conseils sur les pratiques de protection de l'environnement, l'utilisation des technologies développées dans le projet, et les solutions pour réduire son empreinte écologique au quotidien. Le bâtiment, classé HQE (Haute Qualité Environnementale), sert aussi de vitrine écologique, intégrant dans sa conception architecturale toutes les techniques utilisées dans le quartier (voir figure 87)³⁷¹.

Le projet bénéficie d'ailleurs d'un suivi annuel sur l'évolution des différents objectifs écologiques planifiés à sa création. Celles-ci montrent que les comportements individuels des habitants ont une place prépondérante dans les résultats obtenus, et que les technologies mise en place ne sont vraiment efficaces qu'à condition qu'elles soient bien utilisées³⁷². Heureusement la conscience écologique de la population est au rendez-vous, comme le montre la campagne de sensibilisation de 2005 : signalant la présence de substances polluantes dans les eaux usées (comme le triclosan, un composé de certains dentifrices), les comportements des habitants ont évolué et les proportions ont été nettement diminuées par la suite³⁷³.

La connexion entre les usagers du quartier a aussi été réfléchie afin de maximiser les liens sociaux ; notamment par les transports en commun pour reconnecter le quartier au centre-ville. Tous les espaces communs sont aménagés avec des espaces naturels et les bâtiments sont tous accessibles aux PMR. De nombreux services ont aussi été implantés dans le quartier (commerces, écoles, jardins, équipements sportifs...) afin de répondre aux besoins des habitants et ainsi accroître leur bien-être.

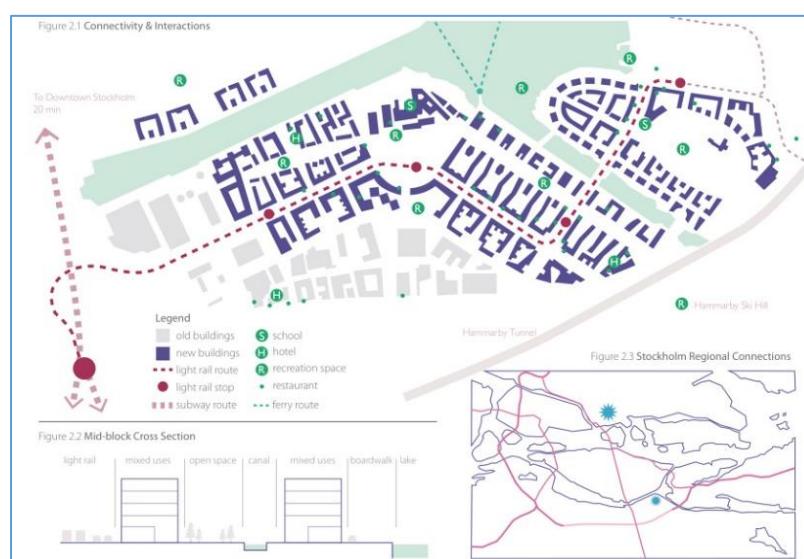


Fig.88 – Plan des lieux d'interactions d'Hammarby.

b. Approche économique : le réseau d'échanges

Le modèle d'éco-cycle se basant sur la symbiose industrielle, le réseau d'Hammarby fonctionne donc, à la manière du réseau Symbiosis, sur la synergie des flux de matières et

³⁷¹ Ibid. source 352.

³⁷² Ibid. source 354.

³⁷³ CleanTech (consulté le 4 Décembre), Stockholm abrite la star des éco-quartiers européens. (en 2009). <http://www.cleantechrepublic.com/2009/03/18/stockholm-abrite-la-star-des-eco-quartiers-europeens/>

d'énergies. S'il ne se fait pas entre différents acteurs industriels, le réseau n'en a pas pour autant moins complexe, faisant ici interagir les habitants du quartier avec les différents services urbains de la ville de manière plus cyclique [annexe 38 : Tableau des différents types de relations des principaux acteurs du réseau urbain d'Hammarby].

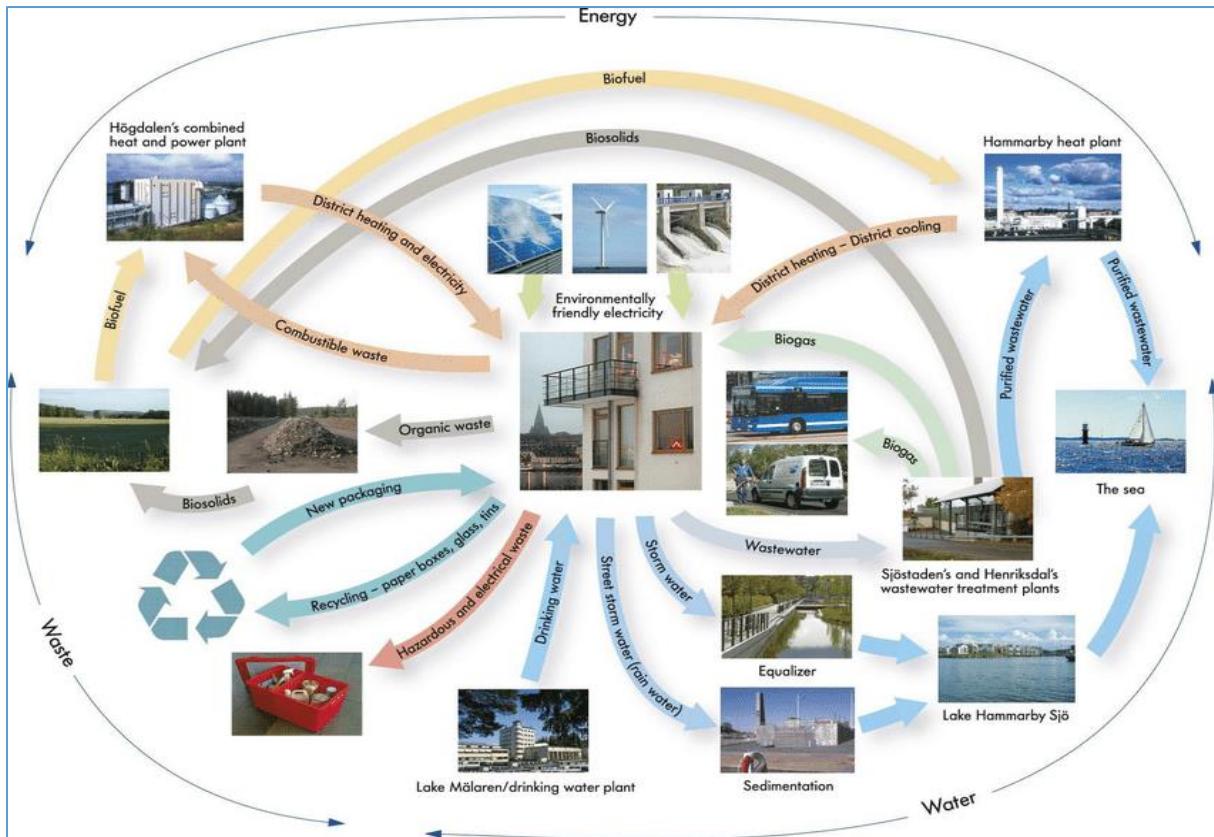


Fig.89 – Schéma des différentes interactions du réseau d'Hammarby.

Dans ce quartier, les habitants sont donc beaucoup plus actifs dans la gestion de leurs flux, participants eux-mêmes, via les technologies développées, à la production d'une partie de leur énergie, c'est ce qu'on appelle des systèmes sociotechniques³⁷⁴. Les cycles sont donc conçus, dans un système complexe, de telle manière à ce que tout ce qui soit rejeté par les habitants puisse être recyclé, réutilisé ou valorisé afin d'être réintroduit au réseau³⁷⁵. La planification de ces échanges en amont a permis une grande diversité des interactions entre les utilisateurs du réseau et les différents fournisseurs énergétiques du quartier afin d'en réduire sa consommation, tel que³⁷⁶ :

- Energies renouvelables : Avec une part dans le mix énergétique bien plus importante que la moyenne suédoise, panneaux solaires et photovoltaïques, barrages hydroélectriques et bioénergies ont été intégrés au quartier.

³⁷⁴Olivier Coutard et Jonathan Rutherford. « Les réseaux transformés par leurs marges : développement et ambivalence des techniques 'décentralisées' » (en 2009)

³⁷⁵Ibid. source 354.

³⁷⁶Ibid. source 364.

- Valorisation des déchets : Les déchets ménagers ne pouvant pas être recyclés sont incinérés afin de produire de l'électricité et de la chaleur pour le réseau de chauffage (8 000 logements ont ainsi réduit leur consommation de 60%).
- Production de biogaz : La collecte des déchets organiques et la filtration des eaux usées sert à fournir du biogaz pour les cuisines (de 900 logements) et du carburant pour les voitures partagées, les véhicules de la ville et les bus du quartier.
- Mutualisation de l'eau et de l'énergie : Le traitement des eaux usées permet aussi de récupérer la chaleur (environ 20°C) pour le système de chauffage en hiver ou le système de climatisation (environ 10°C) en été.

En dehors de la production d'énergie, le cycle de l'eau a aussi été une réflexion importante du projet.

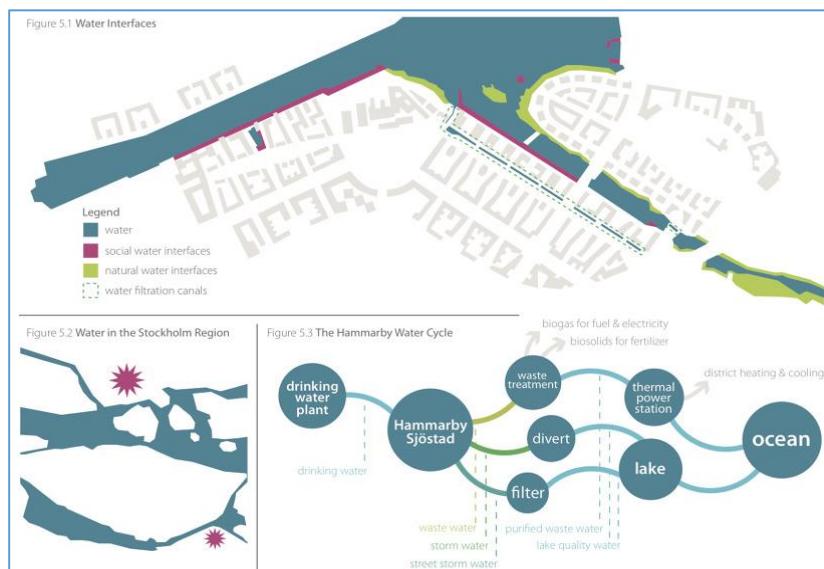


Fig.90 – Plan des milieux aquatiques d'Hammarby.

L'eau consommée par les habitants provient d'une usine de purification qui pompe l'eau du lac voisin, les eaux pluviales (récoltées par les toitures végétalisées) et les eaux de ruissellement sont traitées séparément afin d'être réintroduites localement au sol et éviter tout problème de ruissellement³⁷⁷ (voir chapitre 2, partie 2.2.3).

Concernant le recyclage, un important réseau de collecte pneumatique a été mise en place, directement au pied des immeubles, afin d'acheminer, via des conduites souterraines, les déchets de habitants [annexe 39 : Plan du réseau souterrain de collecte des déchets du quartier d'Hammarby]. Si ce système est très couteux à la mise en place, il permet de réduire les coûts des collectes traditionnelles et les nuisances qui s'en suivent. Il permet en plus d'inciter au recyclage rendant la tâche plus simple pour les utilisateurs³⁷⁸ (bénéficiant en tout de 13 catégories différentes de tris³⁷⁹).

c. Approche environnementale : le réseau écologique

L'éco-quartier d'Hammarby est aussi un projet qui, avec plus de 40% du territoire réservé aux espaces verts, a clairement mis l'accent sur la part de nature en ville. Déjà de par sa trame bleue qui est omniprésente dans le projet, et comme vue précédemment, par la préservation du cycle naturel de l'eau (infiltration des eaux de pluies, évapotranspiration

³⁷⁷ Ibid. source 352.

³⁷⁸ Ibidem.

³⁷⁹ Ibid. source 357.

en toitures vertes, etc.)³⁸⁰. Mais aussi avec sa trame verte, que ce soit au cœur des îlots de logement ou aux abords du projet. En effet, suivant le programme fixé, les espaces partagés de chaque ensemble de logements comprennent un minimum de 15 m² d'espaces verts, et une proximité de moins de 300 mètres avec un parc ; et les espaces publics n'ayant pas été verdurés ont dû mettre en place des stratégies favorisant le développement de la biodiversité dans la périphérie immédiate³⁸¹.

En revanche on ne retrouve aucune prise en compte de la trame brune, noire ou autre. On notera tout de même un travail sur la réduction des nuisances (bruits, pollution...), mais pas plus pour la biocénose que pour les habitants du quartier³⁸².



Fig.91 – Photos des espaces verts d'Hammarby.

Cependant, les synergies n'ont pas été pensées que pour les acteurs, et les échanges mais aussi avec la biocénose. Sur un nouveau concept de « bio-sociotope », où les espaces naturels ont été conçus autant pour améliorer le bien-être humain (zones de

jeux, pédestres, de détente...) que pour favoriser la biodiversité locale (cours d'eau, roselières, arbres morts...)³⁸³. Un travail a aussi été réalisé sur les corridors écologiques, avec des avenues verdurées afin de relier les différents espaces verts ; et des connexions (vertes et bleues) qui ont été dessinées entre tous les parcs urbains et la réserve naturelle de Nacka³⁸⁴.



Fig.92 – Plan des milieux écologiques d'Hammarby.

³⁸⁰ Ibid. source 352.

³⁸¹ Ibid. source 369.

³⁸² Ecologik (consulté le 4 Décembre), LE QUARTIER DURABLE HAMMARBY, UN MODÈLE À LA SUÉDOISE (en 2019).

<http://www.cleantechrepublic.com/2009/03/18/stockholm-abrite-la-star-des-eco-quartiers-europeens/>

³⁸³ Ibid. source 359.

³⁸⁴ Ibid. source 364.

2.3 Eco-communs « R-Urban » de Colombes

L'étude de cas choisi ici vise à étudier l'étendu des possibilités de symbiose au sein de l'écosystème urbain. Appliquant, à l'échelle locale, des pratiques novatrices entre résilience urbaine, dynamiques participatives et promotion de l'économie circulaire, le réseau R-Urban est un véritable exemple de gestion environnementale et de réappropriation spatiale des communs urbains, notamment des territoires en friche. Reconnu à l'international, ce réseau en constante mutation prouve le potentiel de l'implication citoyenne et des circuits courts dans la transition écologique vers un métabolisme urbain plus cyclique.

2.3.1 Les communs urbains

Les communs se définissent comme « l'usage ou la gestion d'une ressource, [d'un lieu ou d'une connaissance] par une communauté ». Un commun peut donc être décrit par trois éléments, à savoir : une ressource (tangible ou intangible), une communauté et une pratique de mise en commun (règles d'accès et de partage), aussi appelé « commoning ». Cette définition appuie donc l'idée de rediscuter la notion de la propriété, cherchant un équilibre entre privé et public dans le partage et l'accès à une ressource³⁸⁵.



Fig.93 – Schéma explicatif d'un commun.

Appliqué à l'espace urbain, les communs urbains décrivent donc les territoires de forme de vie ou de production partagés par une communauté concevant ses « propres processus de territorialisation ». Motivé par la préservation d'une ressource ou par la protection des relations entre une société et son milieu, ils décrivent des choses destinées à la « jouissance collective » comme les parcs, les potagers collectifs, les friches, les lieux de production culturelle et sociale, etc. Les communs urbains peuvent donc désigner des biens, des services ou des espaces caractérisés par une fonction sociale ainsi qu'une action collective de sa gestion et du partage de son accès. Bien souvent politisée, la revendication d'une ressource en tant que commun urbain relève la volonté de lutter pour « le droit à la ville », et donc de protéger un territoire de toute spéculation foncière. La notion de

³⁸⁵ Géo confluence (consulté le 4 Décembre). « Notion en débat : les communs ». (en 2019).

<http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/a-la-une/notion-a-la-une/communs>

communs urbain et donc un moyen de revendiquer le caractère collectif d'une ressource, d'un lieu ou d'une connaissance³⁸⁶.

Dans le cas d'un caractère économique pouvant être attribué à cette ressource, on parle alors d'un modèle de gestion de ce commun se basant sur le concept d'économie de la contribution, défini par *Bernard Stiegler*³⁸⁷ en trois points, tel que³⁸⁸ :

- Contributeurs : Producteurs et consommateurs ne sont plus distingués.
- Externalité positive : La valeur produite n'est pas intégralement monétisable.
- Savoir-faire : La production relève autant de l'économie de subsistance (auto-production) que de l'économie des existences (production de savoir-vivre).

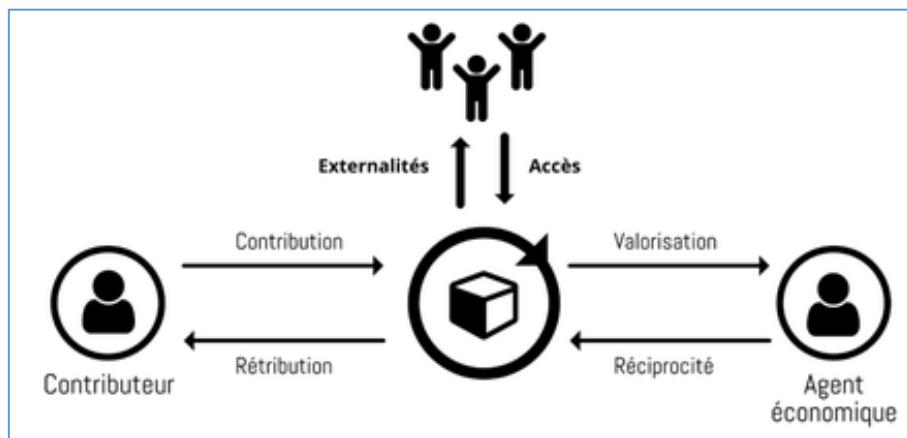


Fig.94 – Schéma explicatif de l'économie de la contribution.

2.3.2 Contexte et concept

a. Réseau d'unités

Colombes est une ville de la banlieue parisienne comptant plus de 83 000 habitants, située entre Gennevilliers, la plus grande zone portuaire de la région, et La Défense, le plus grand quartier d'affaires d'Europe³⁸⁹. Ancien territoire agricole de la capitale, la ville est aujourd'hui principalement composée d'habitats pavillonnaires et de logements sociaux. Manquant cruellement d'infrastructures et d'équipements, et souffrant d'un fort taux de chômage (17%) ; les habitants, qui n'ont pratiquement que la rue comme espace de lien social, ont su développer une importante communauté associative (avec plus de 450 associations)³⁹⁰.

³⁸⁶ Ibidem.

³⁸⁷ Bernard Stiegler (1952-2020) est un philosophe français, fondateur et président du groupe de réflexion « Ars Industrialis », directeur de l'Institut de recherche et d'innovation du centre Georges-Pompidou.

³⁸⁸ [Ars Industrialis](http://arsindustrialis.org/economie-de-la-contribution) (consulté le 4 Décembre). « Economie de la contribution » (en 2012).

<http://arsindustrialis.org/economie-de-la-contribution>

³⁸⁹ R-urban. (s.d.) Stratégie participative pour le développement de pratiques et réseaux de résilience urbaine à destination des villes européennes.

³⁹⁰ R-urban Act. (s.d.) Une stratégie participative de résilience urbaine.

En s'appuyant sur cette forte dynamique sociale, l'association AAA[©] (Atelier d'Architecture Autogérée), développe en 2008 un nouveau projet de réseau stratégique de résilience urbaine (voir chapitre 2, partie 2.1.3). Visant à créer des unités d'expérimentation basées sur des pratiques éco-responsables, ce projet cherche à encourager la gestion citoyenne des communs urbains en favorisant les actions sociales et environnementales³⁹¹. Mettant en place des services collectifs d'économie de la contribution, le projet se développe en trois « hubs civiques » composée d'une AgroCité, d'un RecycLab et d'un EcoHab.



Fig.95 – Situation des unités du réseau R-Urban.

Mis en œuvre à partir de 2011, le projet « R-Urban » (Résilience URBAiNe) vise à favoriser la résolution de la crise écologique par des initiatives locales et concrètes ; il est financé en partenariat par la municipalité, le ministère de l'environnement et la CE (Commission Européenne) dans le cadre du projet Life+³⁹². Après deux premiers projets de réappropriation spatiale par la population de terrains délaissés [Annexe 40 : Projets Ecobox et Passage 56] dans le centre de Paris, le cabinet AAA[©] entreprend de voir plus grand. Au lieu de concevoir un éco-quartier par étalement urbain, l'idée est d'utiliser les friches pour mettre en place tout un réseau « d'unité de transition », afin d'introduire concrètement des pratiques écologiques et résilientes au cœur de la ville³⁹³.

Afin de mettre en pratique le concept ainsi développé, trois sites proches ont été retenus à Colombes afin d'y implanter une série d'équipements réversibles³⁹⁴ [annexe 41 : Diagramme du processus de développement des unités de R-Urban] :

- AgroCité : Unité d'agriculture urbaine favorisant les activités culturelles, sociales et pédagogiques.
- RecycLab : Unité de recyclage et d'éco-construction favorisant l'économie sociale et la solidarité citoyenne.
- EcoHab : Unité d'habitats écologiques et coopératifs (qui n'a pas été concrétisé).

³⁹¹ Grace OLIVIER « Récupérer les biens communs urbains: une solution écologique » dans *Code Local*. (en 2017).

³⁹² Emmanuelle Chaudieu, « A Colombes, l'écologie citoyenne perd une bataille (mais pas la guerre) » dans *Télérama*, (en 2017).

³⁹³ Emmanuelle Mugnier-Viret. (en 2014) « AgroCité, le projet d'agriculture urbaine à Colombes par R-Urban » dans *Pour, N° 224*, pages 379 à 385.

³⁹⁴ Atelier d'architecture autogéré. (consulté le 4 Décembre). R-URBAN. <http://www.urbantactics.org/projets/r-urban/>



Fig.96 – Jardin Michelet avant & après l'implantation de l'unité AgroCité.

b. Unité « AgroCité »

Le réseau a donc débuté par l'implantation du projet d'AgroCité sur un terrain vague de presque 3 000 m². L'unité ainsi créée consiste en une micro-ferme urbaine d'activités mixtes entre agriculture (pour la production alimentaire), social (pour la favorisation du lien social), culturel (pour l'amélioration du cadre de vie) et pédagogique (pour le partage de savoir-faire). Promotionnant la mise en place de dispositifs écologiques et résilients, l'AgroCité devient le lieu de conférences et de workshops, mais aussi d'expérimentations et de constructions de dispositifs tel qu'un chauffage au compost, une ferme à lombrics, un système de plantation hydroponique, un système de phytoépuration³⁹⁵... [annexe 42 : Schémas des prototypes écologiques de pratiques résilientes de l'AgroCité].



Fig.97 – Photos de l'unité AgroCité.

Toutes ces pratiques et ces activités ont pour objectif le partage des compétences, l'auto-gestion citoyenne du site, la promotion des éco-communs, le développement de micro-économies et d'emplois, l'élaboration d'un savoir-vivre ; le tout en collaborant avec les autres unités du réseau, ainsi que les acteurs locaux et les associations partenaires du projet³⁹⁶.

Concrètement l'AgroCité se développe en deux espaces composés de³⁹⁷ :

- Une zone d'agriculture avec :
 - L'AgroLab : Soit une soixantaine de parcelles familiales et partagées.
 - L'AnimaLab : Soit une ferme domestique pour les poules et les abeilles.

³⁹⁵ Ibid. Source 389

³⁹⁶ Ibid. Source 390

³⁹⁷ R-urban (consulté le 4 Décembre). <http://r-urban.net/blog/projects/agrocite/>

- Un jardin partagé : Soit une serre, un espace pédagogique, une terrasse conviviale et un couloir réservé à la biodiversité.
- Un bâtiment éco-construit avec :
 - Une épicerie pour la vente de la production aux habitants du quartier.
 - Complété par un mini-marché hebdomadaire.
 - Une cantine citoyenne cuisinant des repas avec les produits du jardin.
 - Un atelier pour l'expérimentation, les workshops, conférences...
 - Un espace culturel comprenant un café associatif.
 - Une résidence temporaire pour accueillir des acteurs, chercheurs...

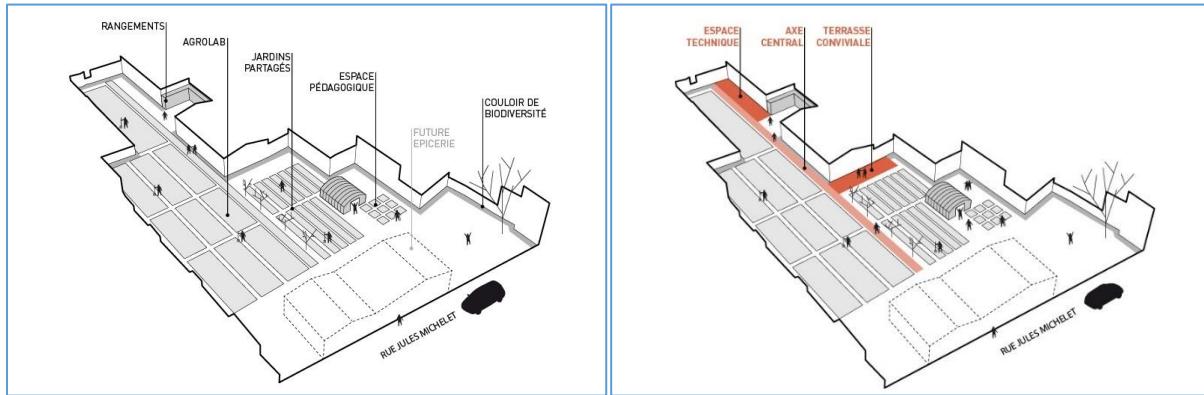


Fig.98 – Schémas de l'unité AgroCité.

c. Unité « RecycLab »

A la suite de ce projet, s'en est suivi RecycLab qui s'est implanté au milieu d'un couloir écologique. Construit à partir de conteneurs et de matériaux recyclés tel que du bois de séchage ou de palettes, le bâtiment est, comme pour celui de l'AgroCité, entièrement modulable et démontable. Cette unité est dédiée au recyclage des déchets locaux et à l'éco-construction, se destine autant aux professionnels qu'aux amateurs, dans un souci de partages des compétences et des savoir-faire écologiques. A l'image de l'AgroCité, le RecycLab travaille main dans la main avec des associations et partenaires locaux ; et participe lui aussi à l'élaboration de « prototypes écologiques expérimentaux » tel que des toitures végétalisées, un système de collecte des eaux de pluie, des toilettes sèches, etc.³⁹⁸ [voir annexe 42].



Fig.99 – Photos de l'unité EcoHab.

³⁹⁸ Ibid. Source 390

L'implantation de cette unité permet le recyclage des objets et des déchets des habitants du quartier, la réalisation d'aménagements écologiques et d'éco-constructions, de favoriser le réemploi, la reconversion, et la conception éco-responsable, ainsi que la réduction de la consommation de ressources et d'énergie. Pour ce faire, le RecycLab se compose de différents espaces tel que³⁹⁹ :

- Un espace extérieur de collecte des déchets et autres dépôts.
- Des ateliers de recyclage et de réparation (professionnels et participatifs).
- Un fab-Lab et un Repair-café ouvert au public.
- Une résidence avec espaces de coworking.
- Un ensemble de jardins verticaux pour la biodiversité.



Fig.100 – Schéma de l'unité RecycLab.

d. Unité « EcoHab »

N'ayant pas pu se concrétiser, l'EcoHab aurait été le troisième pôle de promotion des pratiques participatives d'écologie et de résilience urbain. Imaginé comme une unité de sept habitations écologiques et coopératives, il aurait été construit et géré collectivement par les habitants du quartier⁴⁰⁰. Sensé accueillir logements sociaux et résidences pour des étudiants, des chercheurs, des artistes, etc. ; l'EcoHab devait permettre l'expérimentation du « co-housing » et des techniques d'éco-construction sur le principe du « chantier-école ».

Conceptualisé au sein du réseau R-Urban, cette unité aurait permis de⁴⁰¹ :

- Expérimenter un nouveau mode d'habitat collectif et un mode de vie écologique.
- Promouvoir la gestion raisonnée des ressources en réduisant les consommations.

³⁹⁹ Ibid. Source 397

⁴⁰⁰ Ibid. Source 390

⁴⁰¹ Ibid. Source 397

- Elaborer un lieu de partage et d'archivage des pratiques de résilience urbaine.



Fig.101 – Schéma de l'unité EcoHab.

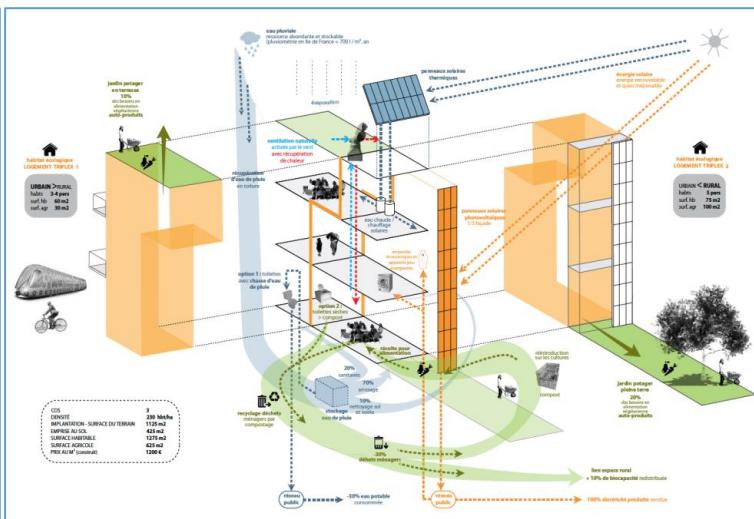


Fig.102 – Concept de l'unité EcoHab.

2.3.3 Principe et fonctionnement

R-Urban se définit comme une « stratégie participative pour le développement de pratiques et réseaux de résilience urbaine ». L'objectif ici est donc d'accroître la résilience des villes par le développement d'actions simples mais pouvant influer sur un changement de mode de vie des habitants, fondant sa stratégie sur la participation citoyenne. Ainsi développé, le projet tend à accroître la prise de conscience sur les problèmes écologiques en offrant des solutions concrètes et réalisables à l'échelle urbaine, tout en permettant l'émergence de nouveaux projets pouvant s'affilier au réseau créé⁴⁰².

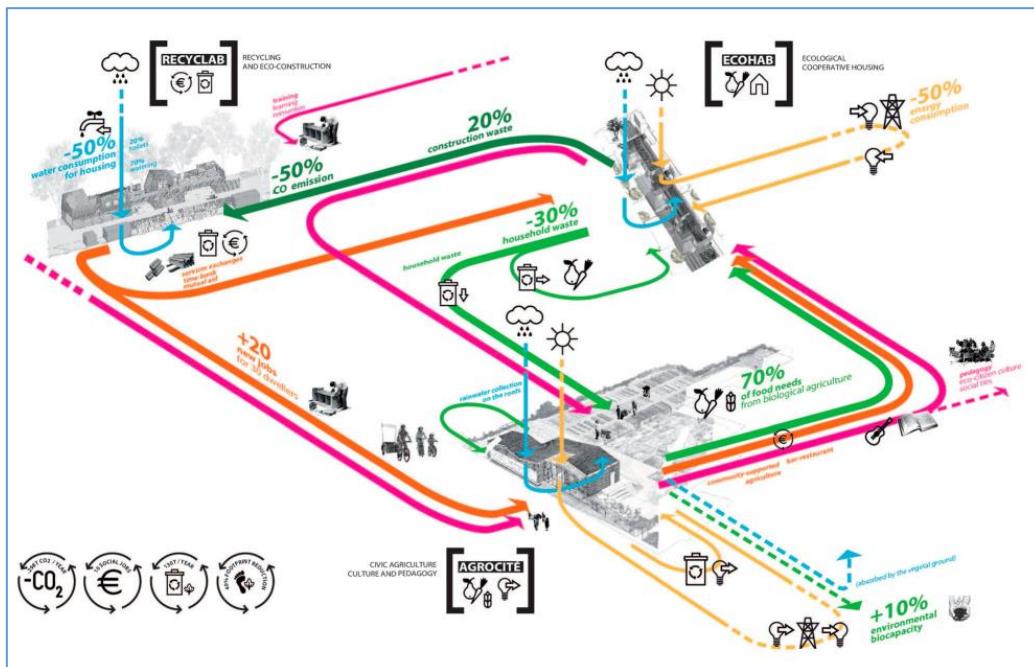


Fig.103 – Connexions entre les 3 unités du réseau R-Urban.

⁴⁰² Ibid. Source 389

A Colombe cela s'applique concrètement par trois unités de communs urbains répondant à trois principes de base du projet R-Urban⁴⁰³ :

- Initier des réseaux de résilience environnementaux.
- Façonner une dynamique participative.
- Développer les circuits courts et locaux.

Les réseaux de résilience visent à mettre en œuvre des connexions entre les équipements urbains existants et les différentes unités du projet, ainsi qu'entre les unités elles-mêmes [annexe 43 : Schéma des connexions émergeantes des différentes unités du réseau R-Urban]. En s'appuyant sur les initiatives citoyennes et associatives déjà présentes sur le territoire, R-Urban sert à développer des pratiques quotidiennes sur des changements culturels, sociaux, et économiques. L'utilisation temporaire et réversible de friches urbaines permet d'offrir aux habitants des lieux pouvant accueillir ces nouvelles pratiques tout en leur permettant de se réapproprier l'espace urbain. Le réseau se veut ouvert, multiple et modulable, fondé sur la diversité des acteurs et la profusion des connexions qui les relient⁴⁰⁴.

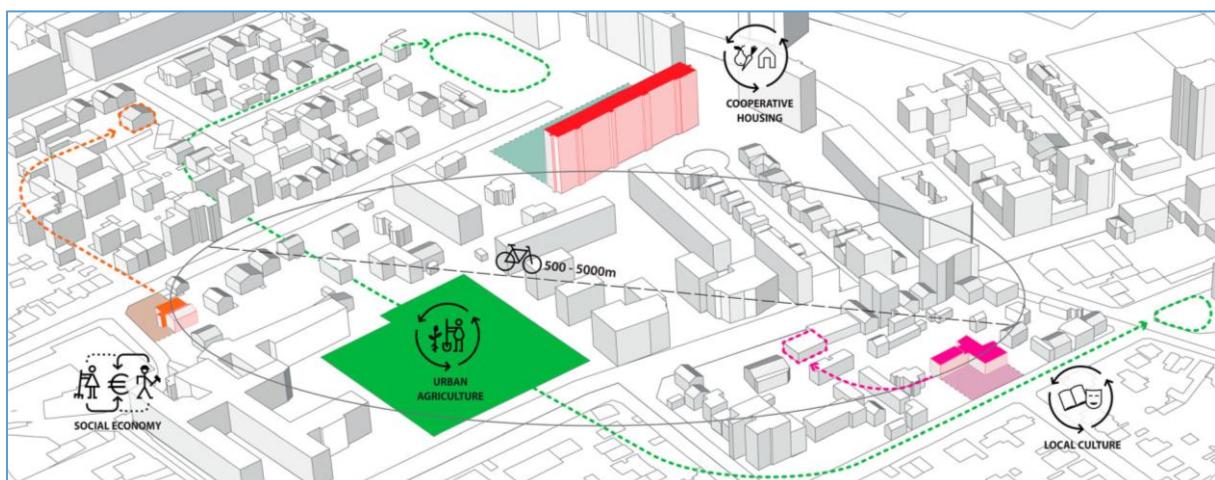


Fig.104 – Réseaux de résilience du projet R-Urban.

Les dynamiques participatives visent à mettre en action une gouvernance civile, dite « bottom-up », faisant des habitants les principaux artisans du changement par une politique d'écologie citoyenne. Permettant de valoriser le capital social du quartier, la stratégie de R-Urban s'applique à rendre les habitants acteurs de leur milieu de vie. Pouvant s'impliquer de différents manières (participation, utilisation, collaboration...), ils deviennent alors actifs de la politique sociale qui les incombe, contribuant concrètement aux changements qu'ils veulent voir. En proposant des formes d'organisations alternatives (sociales et économiques) basées sur la collaboration ; R-Urban engendre de nouvelles

⁴⁰³ Ibidem.

⁴⁰⁴ Ibid. Source 390

pratiques et de nouveaux services écologiques, créateurs d'emplois, de valeurs, et de savoir-faire⁴⁰⁵.

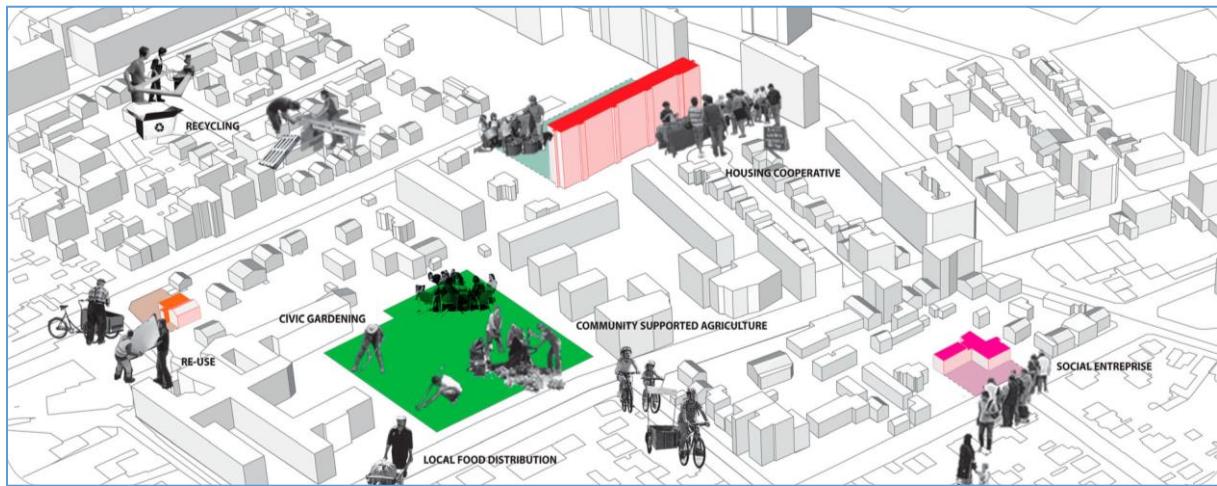


Fig.105 – Dynamiques participatives du projet R-Urbain.

Les circuits courts servent à mettre en place des pratiques écologiques dans le but de réduire les déchets, soutenir le recyclage, raisonner la consommation d'eau, produire de l'énergie renouvelable et consommer des produits cultivés localement. S'appuyant sur les services écosystémiques de la biodiversité urbaine, les circuits ainsi développés permettent de rendre plus écologique le métabolisme urbain du quartier, comme le sont les cycles biogéochimiques des écosystèmes naturels. Le projet R-Urbain applique donc les principes de l'économie circulaire (voir chapitre 2, partie 2.2.4), faisant émerger des bénéfices sociaux, économiques et écologiques pour tous les habitants du quartier⁴⁰⁶.

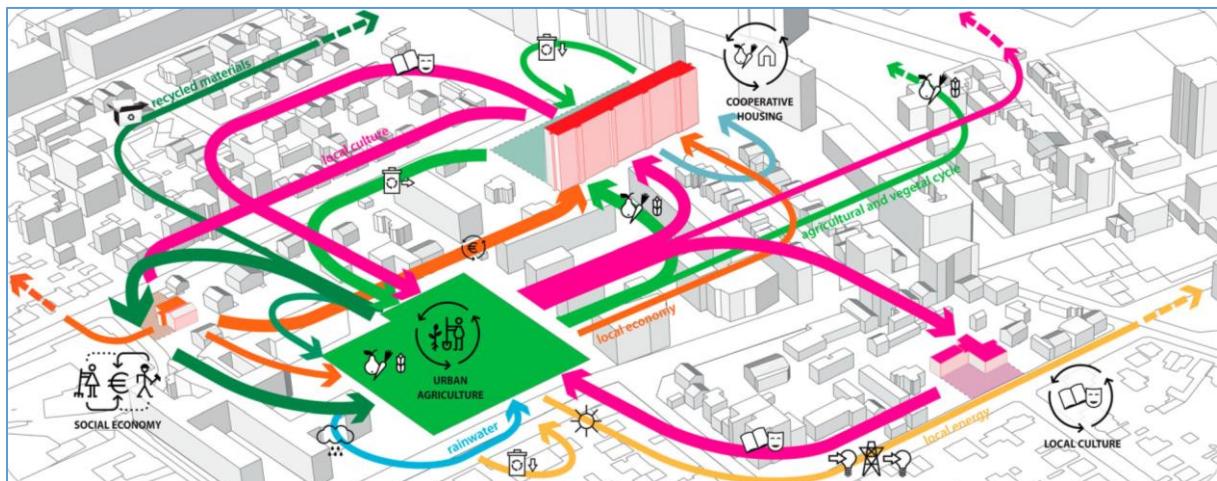


Fig.106 – Circuits courts et locaux du projet R-Urbain.

2.3.4 Atouts et faiblesses

Le projet R-Urbain est une véritable référence en matière de projets de résilience urbaine basés sur la participation citoyenne. La stratégie de mise en réseau des communs

⁴⁰⁵ Ibidem.

⁴⁰⁶ Ibidem.

urbains afin de promouvoir des solutions concrètes de pratiques écologiques est unique en son genre, inspirant de nombreux pays, comme le montre la venue en 2013 d'une délégation des maires de Montréal, de Séoul, et d'autres villes de France⁴⁰⁷. L'association AAA[®] a d'ailleurs été invité à la COP 21 afin de démontrer les bénéfices de ce projet hors-normes au monde entier⁴⁰⁸.

Dès son initiative, le réseau s'était d'ailleurs aussi développé à Londres, dans le cadre du projet R-Urban Wick [annexe 44 : Projet du R-Urban Wick de Londres]. Suite au succès grandissant du projet, de nombreuses initiatives locales ont rejoint le projet, avec plus d'une centaine d'acteurs en Ile-de-France [annexe 45 : Carte des partenaires franciliens du réseau R-Urban]. Plus récemment, des communes d'Ile-de-France ont manifesté leur intérêt pour rejoindre le réseau R-Urban, notamment Gennevilliers, Montreuil et Bagneux, mais aussi dans toute l'Europe, comme en Espagne, en Allemagne, en Roumanie ou en Turquie⁴⁰⁹.

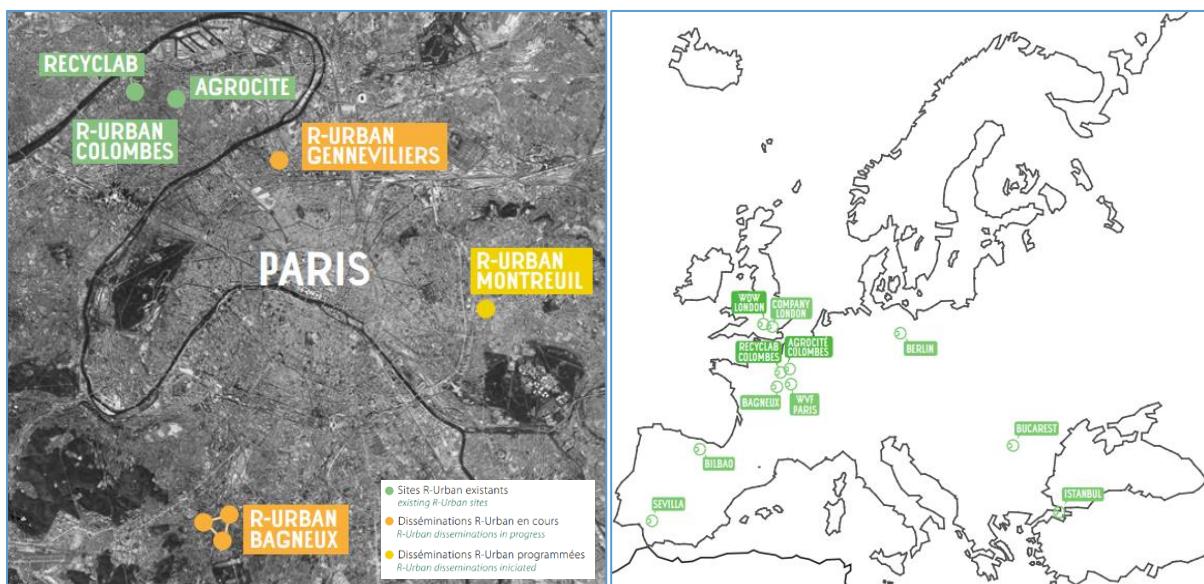


Fig.107 – Cartes des municipalités projetant de s'associer au réseau R-Urban.

Cependant les faibles bénéfices économiques de ce genre de projet ne font pas le bonheur de tout le monde. La nouvelle mairie de Colombes élue en 2014, décide de moderniser la ville pour attirer une population plus aisée. Dans ce grand projet de gentrification, une ferme en palette juste en face du nouveau centre culturel « Jacques Chirac » fait tâche. Le maire commence alors par interdire le projet EcoHab qui n'avait pas encore été monté, puis en 2017, il fait intervenir les forces de l'ordre et les bulldozers pour expulser l'AgroCité. Ce grand terrain est maintenant libre pour construire un tout nouveau projet bien plus important... Un parking temporaire !⁴¹⁰

⁴⁰⁷ R-Urban, la « campagne » pour la ville (consulté le 4 Décembre).

<https://blogs.mediapart.fr/unpalimpseste/blog/080715/r-urban-la-campagne-pour-la-ville>

⁴⁰⁸ Ibid. Source 389

⁴⁰⁹ Ibidem.

⁴¹⁰ Ibid. Source 392.

Qu'à cela ne tienne, l'AgroCité n'est pas un projet résilient pour rien, et compte bien renaitre de ses cendres. Le maire de Gennevilliers, lui-même apiculteur, est enchanté d'accueillir cet édifice sur sa commune. Depuis son déménagement en 2018, l'AgroCité y est devenue le projet phare de la politique environnementale de cette commune⁴¹¹ [annexe 46 : Plan du projet d'AgroCité de Gennevilliers].

2.3.5 Analyse systémique

a. Approche sociale : le réseau d'acteurs

Le projet R-Urban est donc un réseau complexe qui vise à multiplier les interactions entre ses différentes unités afin de partager un maximum de ressources et de connaissances à travers le quartier [Annexe 47 : Tableau des différents types de relations des principaux acteurs du réseau R-Urban]. Mais, comme expliqué plus tôt, ce réseau développe aussi des relations avec un grand nombres d'acteurs, qu'ils soient locaux, régionaux, nationaux ou internationaux⁴¹². De plus, ce réseau multipolaire ne s'associe pas seulement aux initiatives aux associations, mais bien à une grande diversité de typologie d'acteurs (entrepreneurs, acteurs économiques, administrations, groupes informels...) formant ainsi une véritable plateforme de coordination.

PARTENAIRES LOCAUX / LOCALS PARTNERS	PARTENAIRES INITIAUX / INITIALS PARTNERS
Agrocité	Mairie de Paris
Recyclab	Recyclab
Biocoop Bois Colombes	Colombes à Vélo
AMAP Fossés-Jean	ProdActions
Les Amis de la Nature	Simones de Colombes
Ecole du Compost	Lycée Valmy
Centre Nature	
<hr/>	
PARTENAIRES RÉGIONAUX / REGIONALS PARTNERS	PARTENAIRES NATIONAUX / NATIONALS PARTNERS
Conseil Régional Île-de-France	Atelier d'Architecture Autogérée
Conseil Départemental Hauts-de-Seine	Mairie de Colombes Public Works
<hr/>	
PARTENAIRES INTERNATIONAUX / INTERNATIONALS PARTNERS	
Agro Paris Tech	Ademe
Extramuros	Fondation de France
	Ministère de l'Ecologie
	Agro Paris Tech
	Transition Citoyenne
	La Nef
	Go Sport
	Association Aurore
<hr/>	
PARTENAIRES INTERNATIONAUX / INTERNATIONALS PARTNERS	
Agro Paris Tech	LIFE+
Extramuros	Université de Sheffield
	Eco-Nomadic School
	M.I.T USA
	Rotor Bruxelles
	Company Drinks, Londres

Fig.108 – Listes des principaux partenaires du réseau R-Urban.

D'un point de vue purement local, les porteurs du projet et les utilisateurs des unités sont les acteurs principaux des synergies quotidiennes, mais ce ne sont pas non plus les seuls. Les dynamiques participatives s'associent à des dynamiques partenariales afin de développer les activités proposées par les unités à plus grande échelle [annexe 48 : Diagrammes des réseaux d'acteurs des différentes unités de R-Urban]. Ainsi, la résilience naît de la diversité des polarités et de leur force de connectance au réseau ; faisant la

⁴¹¹ Mona Prudhomme, « Chassée de Colombes, la ferme R-Urban renaît à Gennevilliers » dans *En large your Paris*. Gennevilliers (en 2017).

⁴¹² Ibid. Source 389

promotion des pratiques pro-actives et de la possibilité d'agir ensemble dans un climat de confiance sociale⁴¹³.

b. Approche économique : le réseau d'échanges

A la manière des études de cas précédentes, le réseau R-Urban met en place des synergies qui, ici, se développent principalement sur la logique de circuits courts, favorisant les échanges locaux, à la fois matériels et immatériels. En effet, le partage de savoirs, de connaissances, de savoir-faire et de savoir-vivre est une composante essentielle du projet ; ils composent, avec les autres ressources, les interactions du réseau R-Urban en tant que tel⁴¹⁴. Les apports en eau et en énergie sont quasi intégralement générés par la récolte d'eau pluviale et la production des panneaux solaires.

A l'unité AgroCité, les circuits courts se composent principalement des produits agricoles générés par les jardins et les animaux domestiqués (fruits, légumes, œufs, miel...) mais aussi d'autres producteurs locaux, qui sont ensuite revendus à travers les différents dispositifs mis en place (marché, boutique, cantine). On retrouve aussi les déchets organiques (notamment les déchets verts) de la ferme, mais aussi des voisins volontaires, du marché de la ville et du magasin Biocoop. Ces déchets sont transformés en compost afin d'être utilisés pour les jardins, mais aussi pour le chauffage du bâtiment. Enfin on peut compter les services appliqués comme ceux initiés par les workshops « prod-action » (tricot, cuisine...) ; et les services pédagogiques (formations de l'école du Compost ou des apiculteurs).

A l'unité RecycLab, ils se composent majoritairement des matériaux récupérés (bois, gravats, textiles, métaux...) chez différents acteurs locaux (menuiserie, chantiers, entreprises, institutions, particuliers...) pour être transformés et revendus (meubles, triporteurs...). Comme pour l'AgroCité, on retrouve aussi des circuits de services concrets (réparation de produits, mise à disposition d'outils et d'espace de travail) ; et des services pédagogiques (partage d'idées et de compétences au sein du Fab-Lab)⁴¹⁵.

⁴¹³ Ibid. Source 390

⁴¹⁴ Ibidem.

⁴¹⁵ Ibid. Source 390

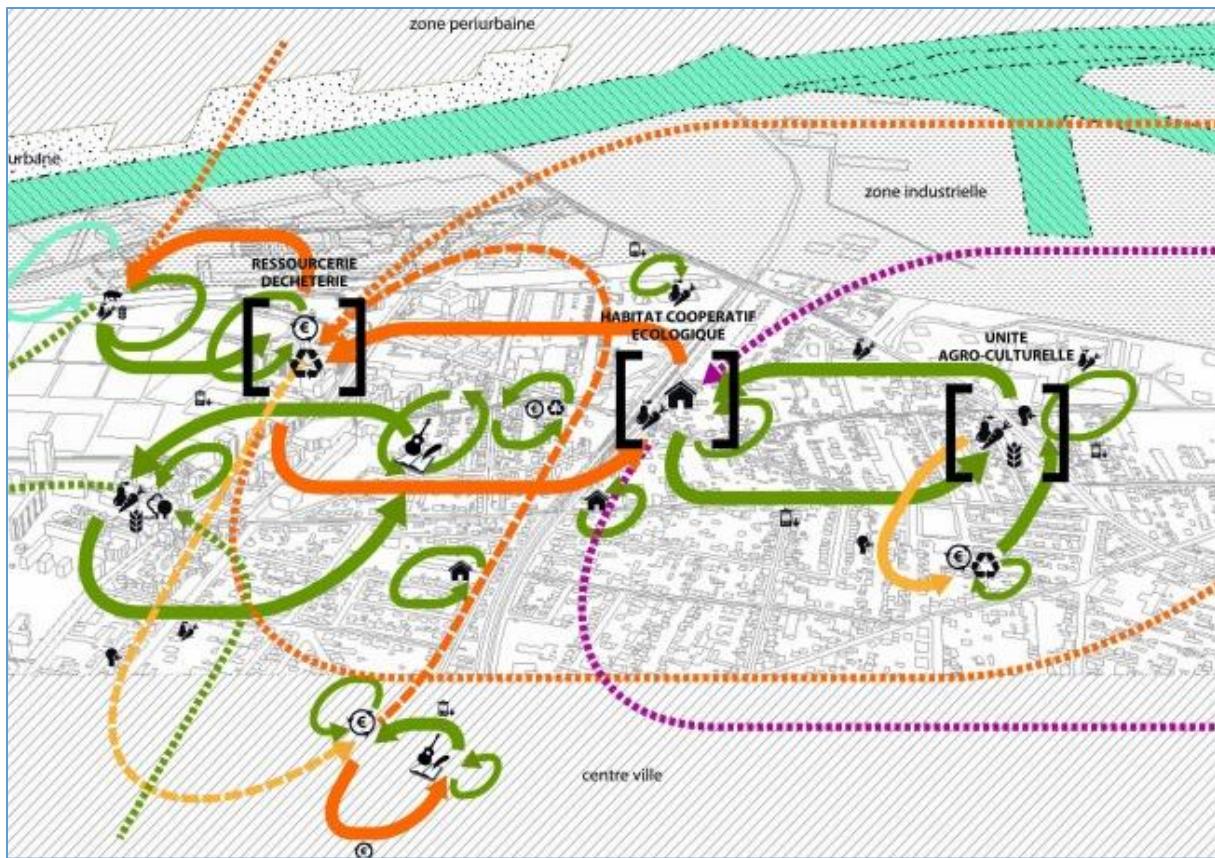


Fig.109 – Schéma des synergies du réseau R-Urbain.

Avec son statut associatif, le réseau ne peut être rentable, mais ne fait d'ailleurs aucun bénéfice. Si la plupart des échanges ne sont pas monétaires (économie de la connaissance, bénévolat, trocs...), les quelques échanges qui le sont se basent sur les principes de l'économie de la contribution. Ainsi l'argent récolté (ventes de l'AgroCité ou du RecycLab) a permis de subvenir aux charges des terrains et des infrastructures du réseau, mais aussi à la création d'une quinzaine d'emplois⁴¹⁶.

c. Approche environnementale : le réseau écologique

Avec comme objectif d'offrir des solutions concrètes par des lieux alternatifs de promotion des pratiques écologiques, le réseau R-Urbain permet, à son échelle, d'avoir un impact positif sur le plan environnemental. Les unités ainsi développées cherchent à influer sur les habitudes de consommation, de production et de mode de vie des habitants, les rendant acteurs de la transition écologique par des actions réelles et efficaces. Les prototypes déjà présentés [voir annexe 42] en sont des exemples concrets et efficaces des pratiques écologiques faciles et économiques à mettre en œuvre.

Sans chercher à obtenir des solutions exemplaires à l'échelle planétaire, R-Urbain cherche plutôt à agir localement en implantant des idées, des concepts, des possibilités de « faire autrement », le tout à travers un réseau d'expérimentations, de partage et de

⁴¹⁶ Ibidem.

collaborations ; réseau qui peut alors s'enrichir des connaissances de chacun. Dans ce sens, certains objectifs ont été mis en place sur les différentes unités avec des objectifs de changements écologiques simples et réalisables. En se concentrant sur les activités mises en place, les solutions apportées ont largement prouvé leur efficacité, montrant des résultats très encourageants⁴¹⁷ (chiffres par an) :

- 500 : Usagers participant à la diffusion des pratiques écologiques.
- 300T : Réduction sur les émissions de CO₂.
- 50T : Economies sur la consommation d'eau.
- 110T : Recyclage des déchets urbains (RecycLab).
- 24T : Recyclage des déchets organiques (AgroCité).
- 6T : Production de légumes bios.

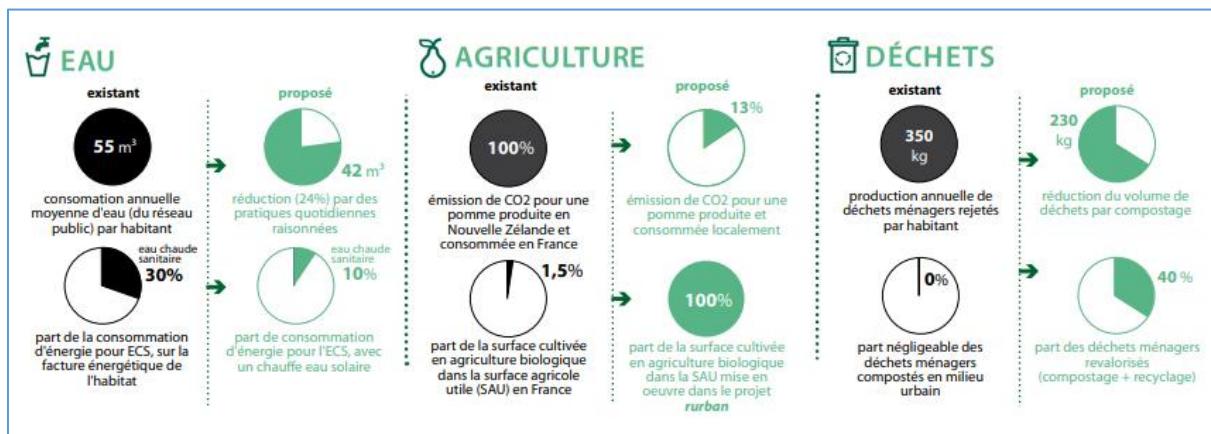


Fig.110 – Listes des principaux partenaires du réseau R-Urbain.

Etabli en petites unités d'un réseau plus complet, le projet R-Urbain ne peut pas vraiment produire une trame écologique à l'échelle du quartier. Cependant, espaces verts, toitures végétalisées, points d'eau et couloirs arborés sont implantés sur chacun des sites. Favorisant la biodiversité et les services écosystémiques en villes, ces installations sont aussi des atouts majeurs pour les projets (épuration de l'eau, lombricompost, engrais, climat favorable aux plantations, bien-être des habitants...) ⁴¹⁸.

⁴¹⁷Ibid. Source 390.

⁴¹⁸Ibid. Source 397.

3. BILAN D'ANALYSE

3.1 Résilience des réseaux

En s'appuyant sur les connaissances systémiques des réseaux trophiques, il devient alors possible de définir la capacité de résilience induite des synergies des réseaux urbains. Ainsi, la structure systémique des réseaux symbiotiques permet de définir sa résilience (son caractère durable), à l'image des réseaux trophiques qui en définissent leur complexité.

Sur la base des analyses systémiques des réseaux (d'acteurs, d'échanges et écologiques), les caractéristiques des structures systémiques précédemment définies (voir chapitre 2, partie 1.4.5) sont alors appliqués aux trois systèmes afin de mettre en évidence les atouts et les faiblesses propres à leur résilience, notamment du point de vue des trois piliers du développement durable.

Pour rappel, la structure des réseaux trophiques se définit par la complexité de ses interactions, elles-mêmes définies par : la connectance, la diversité d'interaction et la force d'interaction. En faisant le parallèle avec les réseaux des écosystèmes urbains, on peut alors définir la résilience de ces synergies par :

- La connectance (C) : Capacité à multiplier ses interactions.
- La diversité des interactions (ID) : Capacité à diversifier ses interactions.
- La force des interactions (IS) : Capacité à renforcer ses interactions.

3.2 Evaluation de la résilience

Ainsi redéfinis, les caractéristiques propres aux synergies urbaines peuvent alors s'appliquer aux trois réseaux des études de cas choisis, et ainsi évaluer leurs capacités de résilience (R). Cette évaluation théorique se basera sur une jauge tricolore (rouge, jaune, vert), en réponse aux questions suivantes :

- La connectance (C) : Le réseau permet-il de développer de nouvelles connexions ?
 - Réseau d'acteurs :
 - Il incite les nouveaux acteurs à rejoindre le réseau.
 - Il est réticent à accueillir de nouveaux acteurs.
 - Il est ferme à la connexion avec de nouveaux acteurs.
 - Réseau d'échanges :
 - Il permet la possibilité de nouveaux échanges.
 - Il restreint la possibilité de nouveaux échanges.
 - Il empêche la possibilité de nouveaux échanges.
 - Réseau écologiques :
 - Il développe de nouvelles solutions écologiques.
 - Il conditionne le développement des solutions écologiques.
 - Il ne permet pas de nouvelles solutions écologiques.
- La diversité (ID) : Le réseau se compose-t-il de connexions diversifiées ?
 - Réseau d'acteurs :

- Les acteurs du réseaux sont de nature très diverses.
 - Les acteurs du réseaux sont peut diversifier.
 - Les acteurs du réseaux sont monofonctionnel.
- Réseau d'échanges :
 - Les échanges du réseaux comprennent une grande diversité de flux.
 - Les échanges du réseaux comprennent une faible diversité de flux.
 - Les échanges du réseaux sont tous du même type.
- Réseau écologiques :
 - Les solutions écologiques s'appliquent sur des nombreux facteurs.
 - Les solutions écologiques s'appliquent sur quelques facteurs.
 - Les solutions écologiques s'appliquent sur un seul facteur.
- La force (*IS*) : Le réseau peut-il s'appuyer sur des connexions sûres et durables ?
 - Réseau d'acteurs :
 - Les acteurs sont liés par une relation de confiance.
 - Les acteurs sont liés par une relation intéressée.
 - Les acteurs sont liés par une relation instable.
 - Réseau d'échanges :
 - Les échanges sont de nature économique.
 - Les échanges sont de nature intéressée.
 - Les échanges sont de nature bénévole.
 - Réseau écologiques :
 - Les solutions écologiques sont immuables.
 - Les solutions écologiques sont conditionnées.
 - Les solutions écologiques sont expérimentales.

3.3 Comparaison des réseaux

Structure des réseaux		Eco-Parc Symbiosis	Eco-quartier Hammarby	Eco-Communs R-Urban
Réseau d'acteurs (approche social)	<i>C</i>			
	<i>ID</i>			
	<i>IS</i>			
Réseau d'échanges (approche économique)	<i>C</i>			
	<i>ID</i>			
	<i>IS</i>			
Réseau écologique (approche environnementale)	<i>C</i>			
	<i>ID</i>			
	<i>IS</i>			

Fig.111 – Tableau comparatif des résiliences des différents réseaux des études de cas.

Le tableaux ainsi développé montre que les études de cas ont une résilience plus ou moins forte en fonction du réseau analysé ; si chacune excellent pour une des trois approches, elle pèche inévitablement dans une autre. On constate cependant que l'objectif principal (dans la conception du projet) s'avère à chaque fois être le réseau avec le meilleur « score de résilience » :

- Eco-Parc Symbiosis : Il montre une résilience plutôt forte via son réseau d'échange, révélant l'objectif principalement économique du projet ; à l'inverse, le réseau écologique, n'étant que très peu développer dans la commune, notamment du au caractère industrielle du projet, a lui plus de difficulté.
- Eco-quartier Hammarby : Il montre au contraire une résilience élevée pour son réseau écologique, montrant la prise en compte importante de cette aspect dans la planification du projet ; et montre ses limites sur le plan social, conséquence direct de la gentrification, minimisant la mixité social et favorisant l'installation d'habitants plus motivés par le cadre de vie que par une implication citoyenne.
- Eco-communs R-Urban : Il montre une résilience accrue de par son réseau d'acteurs, le projet étant, au contraire, porté par les acteurs du projet et les habitants du quartier ; et une résilience plus limité sur le plan économique, le projets n'étant effectivement pas entable (ce qui lui a d'ailleurs coûté sa première ferme urbaine).

Assimiler au schéma du développement durable ont peut percevoir les effets de chacun des piliers sur les autres : L'aspect économique influe négativement sur l'aspect environnementale, de même que l'aspect environnemental sur l'aspect social, ainsi que l'aspect social sur l'aspect économique.

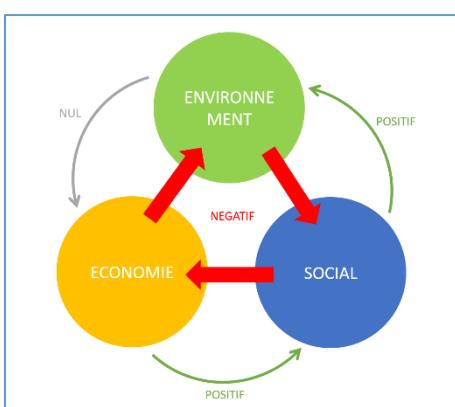


Fig.112 – Influences mutuelles des piliers du développement durable

Rattaché au modèle économique des trois sphères de René Passet⁴¹⁹ (où la sphère économique est comprise dans la sphère humaine, elle-même comprise dans la sphère écologique), il développe le principe selon lequel la croissance économique est limitée par le développement social, lui-même limité par les ressources naturelles⁴²⁰ [annexe 50 : Modèle des trois sphère imbriquée de René Passet].

Mettant en relation les résultats du tableau avec ce nouveau modèle, l'influence négative de l'environnement sur le social, et du social sur l'économique, s'explique par l'imbrication des sphères. En revanche l'influence de l'aspect économique sur celui de l'écologie relève plus des dérives économiques du modèle de nos sociétés actuelles, que des condition intrinsèque à la vie sur Terre. Ce paradoxe pouvant être le problème majeur lié à la résilience partielle des réseaux de symbiose et de l'approche écosystémique de nos milieux urbain.

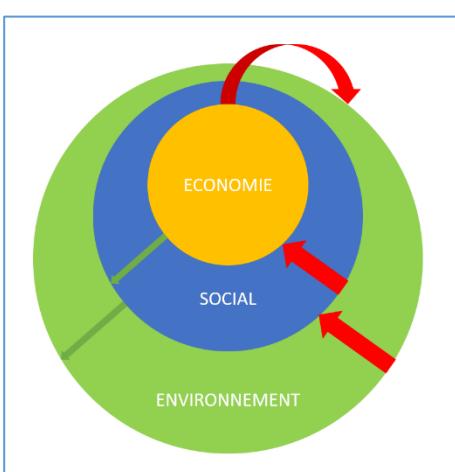


Fig.113 – Influences mutuelles des piliers du développement durable adaptées au modèle de René Passet

⁴¹⁹ René Passet (1926) est un économiste français, professeur à la Sorbonne, président du conseil scientifique d'ATTAC, membre du « groupe des 10 », connu pour ses recherches en bioéconomie.

⁴²⁰ <http://uved.univ-nantes.fr/GRCPB/sequence1/html/chap2.html> 01-12

CONCLUSION

Ce travail, dans son ensemble, a permis de montrer l'intérêt grandissant de changer notre vision du milieu urbain ; non plus comme un territoire déconnecté de son environnement où règne l'anthropisation et l'étalement urbain d'une urbanisation toujours plus énergivore ; mais bien comme un écosystème, avec certes ses particularités propre, mais surtout avec ses similitudes avec les milieux naturels, faisant lui aussi parti d'un ensemble plus grand, celui de la biosphère. Développant ce travail sous l'angle des réseaux, composant essentiel des écosystèmes, qu'ils soient urbains ou naturels ; il a permis de mettre en avant que le fonctionnement de la ville, de par son métabolisme, ses cycles, et surtout ses symbioses, et une notion intrinsèque à un urbanisme durable et résilient : que j'ai choisi d'appelé urbanisme symbiotique.

Motivé par une forte conscience environnementale de la crise écologique que nous vivons et d'un intérêt notable pour la notion de biomimétisme, le choix de ce sujet à été la possibilité de démontrer que des visions différentes de notre environnement existent belle et bien, et que des solutions concrète se développent déjà à travers le monde pour répandre cette idée. Il n'y a pas de planète B, mais il existe des centaines de manières d'urbaniser, avec chacune une responsabilité indéniable envers l'écosystème qui a permis la vie.

La première partie, posant les bases du domaine d'étude de ce travail, à justement chercher à révéler, peut-être de manière alarmiste, les conséquences de l'homme et de ses activités (dont l'architecture) sur son environnement à travers la notion d'écologie. Discipline aussi vaste qu'intéressante, elle montre autant les problèmes que les solutions pour la transition qui doit être menée. Cette partie à aussi été l'occasion d'introduire la notion d'écologie urbaine, des enjeux qui l'accompagne (notamment ceux du développement durable) et de la vision écosystémique qu'elle applique aux milieux urbains.

La seconde partie, définissant cette fois ci l'objet d'étude, a permis de décrire, étape par étape les différents composants d'un écosystème, allant du biotope à la biocénose en passant par la biodiversité et les réseaux trophiques ; chacun ont leur place et leur utilité dans cette ensemble vivant, jouant un rôle indispensable au bon fonctionnement de ce dernier. Par le biais de la comparaison, chacun de ses éléments à trouver son homologue au sein des écosystèmes urbains, posant ainsi les bases pour analyser les projets écologiques de la troisième partie.

Enfin, les études de cas ont permis de mieux comprendre l'importance des réseaux urbains dans l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes urbains, que ce soit à l'échelle local, du quartier ou de la ville. A travers trois projets reconnus mondialement pour les concepts qu'ils ont développé, il a été possible d'étudier l'ensemble des possibilités de la symbiose urbaine et des synergies qui en résultent. Démontrant le potentiel de l'approche écosystémique, ils ont permis d'offrir une perspective nouvelle sur un urbanisme plus durable, et d'apporter une réponse à la problématique soulevée :

La symbiose des réseaux permet-elle de rendre les écosystème urbains plus résilient ?

Plus que de définir une urbanité totalement durable, la symbiose des réseaux urbains ouvre la voie à une démarche plus inclusive et résiliente. Résultant de l'application sur le territoire du paradigme des écosystèmes urbains, les réseaux symbiotiques restes des exceptions plus que la norme, ce qui nuit grandement à leur développement. Etant à chaque fois développé par l'expérimentation de nouveau modèle d'urbanisation, les réseaux symbiotique sont encore loin d'avoir développé tout le potentiel qu'ils recèlent.

Aujourd'hui la symbiose urbaine offre des exemples de résilience certains sans pour autant l'être complètement. Si les écosystèmes urbain fonctionne à la manière des écosystèmes naturels, ils sont aussi sujets aux activités et sociétés humaines qu'ils abritent, rendant les conditions de résilience bien plus complexe. Si cette démarche n'arrivent pas encore à répondre avec brio à tous les objectifs du développement durable, elle offre tout des même des projets exemplaires en la matière, simplement victimes des paradoxes sociaux de notre mode vie ; l'humain ayant réussi à mettre à mal la résilience même de notre planète.

Si la question est : La symbiose des réseaux urbains est-elle plus résiliente que l'urbanisme classique ? La réponse est oui ! Si la question est : La symbiose des réseaux urbains est-elle d'une résilience sans faille ? La réponse est non. Mais la question à se poser serait plutôt en quoi la société est-elle productrice d'obstacles à la résilience ? Ce qui n'est plus du domaine de l'architecture et de l'urbanisme.

« Quand tu vois la planète depuis l'orbite basse [...], il y a des choses qui deviennent vraiment ridicules [...]. Au final on est tous embarqués sur le même bateau, on est sur un gros bateau, 7 milliards sur le même bateau à travers le cosmos. Autour il n'y a rien [...], il n'y a pas de vie du tout, c'est le seul petit radeau de sauvetage [...] et si on endommage trop celui-là, je te promets qu'il n'y en a pas d'autres. »

Thomas Pesquet, 10 décembre 2017, Interview chez Clique TV (CANAL+).

BIBLIOGRAPHIE

A. Lipietz, *Qu'est-ce que l'économie politique ?* La Découverte, Paris, (en 1999), p. 40

Agence Nationale pour la Rénovation Urbaine (ANRU). (s.d.). *Qu'est-ce que le Nouveau Programme National de Renouvellement Urbain ?*

Alain GELDRON. (en Octobre 2014). *Economie circulaire : notions.*
<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-economie-circulaire-oct-2014.pdf>

André Botequilha-Leitão. « Systèmes urbains éco-polycentriques: une perspective de région écologique pour les villes en réseau » dans *Défis*. Université de l'Algarve, Portugal. (en 2012)

Antoine Lagneau. *Ecologie sociale et transition, entretien avec Vincent Gerber* (N°75 ? EN 2013° p.77 à p.85.

Antonio DA CUNHA. « Nouvelle écologie urbaine et urbanisme durable. De l'impératif écologique à la qualité urbaine », BSGLg, (en 2015), p.5 à p.25.

Approche de design en permaculture (2010, 14 Février) [Diaporama]. Wen ROLLAND, au jardin botanique, Montréal, Canada.

Aquaportal (consulté le 15 Novembre). « **facteur écologique** ».
<https://www.aquaportal.com/definition-9274-facteur-ecologique.html>

Aquaportal (consulté le 15 Novembre). « **facteur limitant** ».
<https://www.aquaportal.com/definition-3841-facteur-limitant.html>

Aquaportal (consulté le 15 Novembre). « **facteurs biotiques** ».
<https://www.aquaportal.com/definition-4846-facteurs-biotiques.html>

Aquaportal (consulté le 31 octobre). « **écologie globale** »

Aquaportal (consulté le 31 octobre). « **Synécologie** »

Aquaportal (consulté le 31 octobre). « **Démécologie** »

Arene, (en 2005), Quartier durable : guide d'expérience européennes.

Arnaud Diemer. « Les symbioses industrielles : un nouveau champ d'analyse pour l'économie industrielle » (N°50, en 2016) p.65 à p.94.

Ars Industrialis (consulté le 4 Décembre). « Economie de la contribution » (en 2012).
<http://arsindustrialis.org/economie-de-la-contribution>

Atelier d'architecture autogeree. (consulté le 4 Décembre). *R-URBAN*.
<http://www.urbantactics.org/projets/r-urban/>

Avise (consulté le 22 Novembre), « Economie circulaire : de quoi parle-t-on ?».
<https://www.avise.org/articles/economie-circulaire-de-quoi-parle-t-on>

Avista Green (consulté le 3 Décembre) « Raffinage De L'huile Usée , en huile de base de haute qualité pour réutilisation » <http://avistagreen.dk/>

Backacia (consulté le 22 Novembre), « l'économie circulaire dans le bâtiment ». <https://www.backacia.com/blog/economie-circulaire-BTP>

Basta radicalement indépendant, (consulté le 2 Novembre) « Retour des insecticides « tueurs d'abeilles » : le gouvernement a ouvert une boîte de pandore »
<https://www.bastamag.net/Insecticides-tueurs-abeilles-neonicotinoides-pesticides-derogation-denormandie-pompili-lobby-fnsea-betterave-biodiversite>

Bâtiment et biodiversité (en 2016) [vidéo]. Agence régionale de la biodiversité. Institut Paris.

Bethléem Ecosystème, (consulté le 7 Novembre), *Représentations et visions de l'écosystème urbain de la place Bethléem*. <https://bethleemecosysteme.wordpress.com/ecosystemes-urbains/>

Biopro. (consulté le 1 Décembre) « *Un cluster de classe mondiale dans la fabrication biotechnologique* ». <http://www.biopro.nu/>

Bochatay, D. (2004). Cycle de l'eau et métabolisme urbain – le cas lausannois. Mémoire de fin d'étude. Université de Lausanne, Suisse, p.10-11.
<file:///C:/Users/Florent/Pictures/TFE/Bochatay-Denis-2004.pdf> 27-11

Börje Wredén län (en 2002) *Hushållens bilinnehav, En kartläggning av hushållen i Stockholms*

Bottom-up climate adaptation strategies towards a sustainable Europe (s.d.) Case-study: Kalundborg
The Danish Board of Technology, Denmark.

C. S. Holling. « Resilience and Stability of Ecological Systems » dans *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 4 (1973), pp. 1-23

C40 Cities (consulté le 10 novembre) <https://www.c40.org/about>

Cahier technique écosystèmes dans les territoires, « Fiche outil / méthode », *Le coefficient de biotope par surface (CBS)*, n°11 (s.d.)

Cargocollective. (consulté le 1 Décembre) « *Symbiose industrielle, Kalundborg au Danemark* »
<http://cargocollective.com/jaderudler/Symbiose-industrielle-Kalundborg-Dk>

Carl Richard Woese (1928-2012) est un microbiologiste américain, enseignant au Center for Advanced Study de l'université d'Illinois, connu pour ses travaux sur l'organisation cellulaire et en phylogénie moléculaire.

Catherine Ducruet. (en 2010). « A Stockholm, un écoquartier inspiré par la nature ».
<https://www.lesechos.fr/2010/01/a-stockholm-un-ecoquartier-inspire-par-la-nature-415727>

CDP (en 2017). *The Carbon Majors Database*.

Céline DELUZARCHE, « Jour du dépassement : un recul exceptionnel de trois semaines » dans Futura Planète (en 2020)

Centre de Gestion Scientifique. « Guide pratique de l'économie circulaire ». Chaire Mines Urbaines, (Janvier 2019).

<https://www.ecosystem.eco/upload/media/default/0001/01/697706fe670ab0c54d548ebce8feb31314d3f09d.pdf>

Centre de ressources génie écologique (consulté le 22 Novembre), *Le génie écologique*.
<http://www.genieecologique.fr/genie-ecologique>

Centre national de ressources textuelles et lexicales (consulté le 22 Novembre), *définition de société* . <https://www.cnrtl.fr/definition/soci%C3%A9t%C3%A9>

Cerema (consulté le 10 Novembre). « Ilots de chaleur : Agir dans les territoires pour adapter les villes au changement climatique ». <https://www.cerema.fr/fr/actualites/ilots-chaleur-agir-territoires-adapter-villes-au-changement>

Cerema. « L'artificialisation et ses déterminants d'après les fichiers fonciers, période 2009-2018 » (en 2020)

Chloé Tommasi et Anne-Lise Boyer, « Notion en débat. La ville durable », *Géoconfluences*, (en nov 2018) . <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/a-la-une/notion-a-la-une/ville-durable>

CITEPA, (en Juin 2020). *Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques Bilan des émissions en France de 1990 à 2018*

Claire Fonticelli, « La densification sous contrainte : bâtir des immeubles dans le périurbain francilien », *Géoconfluences*, avril 2020.

CleanTech (consulté le 4 Décembre), Stockholm abrite la star des éco-quartiers européens. (en 2009). <http://www.cleantechrepublic.com/2009/03/18/stockholm-abrite-la-star-des-eco-quartiers-europeens/>

Clément Fournier. « Développement Durable : définition, histoire et enjeux – Qu'est-ce que le développement durable ?» dans Youmatter (en 2020)

Clément Fournier. « Permaculture, c'est quoi ? : définition, principes et applications» dans Youmatter (en 2019)

Clément Fournier. « Pourquoi le Changement Climatique est aussi un Problème Social ? » dans Youmatter (en 2015)

Clémentine Desfemmes, « La ville, un écosystème », dans *Gerbeaud .(en Mai 2014). climatique.*http://www.biodiville.org/arkothèque/client/gdie/outils_pedagogiques/detail_ou_til_peda

Club PLUi, « Trame verte et bleue et PLUi Outils et mise en œuvre», *Le Coefficient de Biotope par Surface (CBS)*, Fiche n°8 (en 2015).

Commissariat général au développement durable « Références », *Écologie industrielle et territoriale : le guide pour agir dans les territoires*, (en 2014)

Commissariat général au développement durable. « Objectif zéro artificialisation nette, élément de diagnostic » (en 2018)

Conférence de Thierry Paquot: écologie de la méthode (en Février 2020)

Corey J. A. Bradshaw est un écologue australien, directeur du laboratoire d'écologie mondiale, chercheur et principale de l'université Charles Darwin de 2004 à 2008, professeur à l'université d'Adélaïde de 2008 à 2015, puis à l'université Flinders depuis 2017, connu pour ses recherches sur le changement climatique.

Cours de O. MAIRE. (Année universitaire 2010-2011). *Cours : Développement et évolution des écosystèmes.*

Crawford Stanley (Buzz) Holling (1930-2019) est un écologue canadien, professeur à l'université de Colombie-Britannique et de Floride, connu pour ses recherches en résilience écologique et en économie écologique.

Cyria Emelianoff est une géographe française, professeur d'aménagement et d'urbanisme à l'Université du Maine, membre du laboratoire ESO, urbanisme durable.

Dansk symbiosecenter. (consulté le 1 Décembre) « *Symbiosis center demark* ». <https://symbiosecenter.dk/project/bis/>

Data (consulté le 15 Novembre), « Niveau d'Organisation et d'Intégration du Vivant » <http://data.abuledu.org/wp/?LOM=5508>

Définition simple (consulté le 19 Novembre), « un écosystème artificiel ». <https://definition-simple.com/un-ecosysteme-artificiel/>

Demain la ville (consulté le 21 Novembre). « Kalundborg, modèle d'écologie industrielle», (en2020). <https://www.demainlaville.com/kalundborg-modele-decologie-industrielle/>

Demain la ville (consulté le 21 Novembre). « Transition écologique : Penser la ville comme un système vivant ? », (en2020). <https://www.demainlaville.com/transition-ecologique-penser-la-ville-comme-un-systeme-vivant/>

Denis Couvet. (s.d.). Qu'est-ce qu'un socio-écosystème ?

DHC News. (consulté le 3 Décembre) « La centrale électrique à copeaux de bois d'Asnæs intégrée au Danemark » <https://www.dhcnews.com/centrale-electrique-copeaux-bois-asnaes-integree-danemark/>

Dictionnaire environnement (consulté le 19 Novembre), « Réseau trophique ». https://www.dictionnaire-environnement.com/reseau_trophique_ID4954.html

Dictionnaire environnement (consulté le 30 Octobre), « Ecologie urbaine ». https://www.dictionnaire-environnement.com/ecologie_urbaine_ID880.html

Doc-développement durable, *Ecologie du paysage*.

Docplayer (consulté le 3 Décembre), *Hammarby Sjöstad. Cité lacustre. Hammarby*. <https://docplayer.fr/8891400-Hammarby-sjostad-cite-lacustre-hammarby-contexte-preparation-du-projet-cahier-des-charges.html>

Earth overshoot day (consulté le 6 Novembre), « Jours de dépassement de pays ». <https://www.overshootday.org/newsroom/country-overshoot-days/>

Earth overshoot day (consulté le 6 Novembre), « Jours passés de dépassement de la Terre ». <https://www.overshootday.org/newsroom/past-earth-overshoot-days/>

Eclaira .(consulté le 22 Novembre). Métabolisme urbain : définition et bibliographie. <https://www.eclaira.org/community/pg/pages/view/4311/>

Ecologik (consulté le 4 Décembre), LE QUARTIER DURABLE HAMMARBY, UN MODÈLE À LA SUÉDOISE (en 2019). <http://www.cleantechrepublic.com/2009/03/18/stockholm-abrite-la-star-des-eco-quartiers-europeens/>

Editor. (consulté le 1 Décembre) « *Il était une fois l'écologie industrielle de Kalundborg* ». Edward Scott Pruitt (1968) est un politicien américain du parti républicain, procureur général de l'Oklahoma depuis 2011 et administrateur de l'Agence de Protection de l'Environnement entre 2017 et 2018.

EEA Technical report (en 2005), *EEA core set of indicators, Guide.*

Elinor Ostrom (1933-2012) est une politologue et économiste américaine, lauréate du prix Nobel d'économie en 2009, professeure à l'université de l'Indiana, d'état de l'Arizona et de Californie à Los Angeles.

Elsa Dicharry. « *Immobilier : la densification urbaine, une idée en vogue* » dans Les échos (en 2019).

Emelianoff, 2015, p. 139 *

Emmanuelle Chaudieu, « A Colombes, l'écologie citoyenne perd une bataille (mais pas la guerre) » dans Télérama, (en 2017).

Emmanuelle Mugnier-Viret. (en 2014) « Agrocité, le projet d'agriculture urbaine à Colombes par R-Urban » dans *Pour*, (N° 224), pages 379 à 385.

EncycloEcolo, (consulté le 31 octobre). « Autécologie »

Energy performance and sustainability, (consulté le 5 Novembre). « Sommet de la terre : comment l'environnement devint une priorité ». <https://www.orygeen.eu/docs-actus/glossaire/sommet-de-la-terre/>

Eric Blanchart et Stéphane de Tourdonnet. (s.d.). *Lien entre Services Écosystémiques et Fonctions écologiques*

ESC. (2020) « *Perte d'espérance de vie due à la pollution atmosphérique par rapport à d'autres facteurs de risque : une perspective mondiale* ».

Etienne Danchin (en 2005), *Ecologie comportementale*.

Etienne maranda. (en 2017) *L'application du cadre d'analyse des systèmes socio-écologiques d'elínor ostrom sur le cas de la forêt de l'aigle comme projet de forêt habitée.*

Etude FAO : Forêt, (en 2010). *Evaluation des ressources forestières mondiales 2010.* <http://www.fao.org/3/i1757f/i1757f.pdf>

Frédérique GERBEAUD MAULIN. « La fragmentation des milieux naturels (en 2018).

Futura planète (consulté le 10 Novembre). « Ilot de chaleur urbain ». <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-ilot-chaleur-urbain-5473/>

Futura planète (consulté le 16 Novembre), « Biomasse ». <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/environnement-biomasse-2038/>

Futura planète (consulté le 16 Novembre), « Biotope ». <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/environnement-biotope-106/>

Futura planète (consulté le 16 Novembre), « Climat ». <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/climatologie-climat-13771/>

Futura planète (consulté le 16 Novembre), « Le système climatique : interaction et effet de serre ». <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/climatologie-rechauffement-climatique-question-forcages-1117/page/4/>

Futura planète (consulté le 19 Novembre), « Autotrophe ». <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/environnement-autotrophe-4552/>

Futura planète (consulté le 19 Novembre), « Hétérotrophe ». <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/environnement-heterotrophe-4551/>

Futura planète (consulté le 5 Novembre). « Pourquoi limiter le réchauffement climatique à 2 °C et pas plus ? ». <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/rechauffement-climatique-limiter-rechauffement-climatique-2-c-pas-plus-930/>

Géo confluence (consulté le 19 Novembre). « *Anthroposystème* », (en 2019).

Géo confluence (consulté le 21 Novembre). « *Milieu physique (milieu géographique, milieu « naturel »...)* ». (en 2018). <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/milieu-geographique#:~:text=Pour%20le%C3%A9g%C3%A9ographe%20le%20milieu,groupe%20soci%C3%A9al%20qui%20y%20vit>

Géo confluence (consulté le 4 Décembre). « Notion en débat : les communs». (en 2019). <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/a-la-une/notion-a-la-une/communs>

Géo confluence, (en 2015), *École de Chicago*.

GEO. « Les forêts primaires, des écosystèmes en voie d'extinction » (en 2017)

GIEC, (en 2013). *Changements climatiques 2013, les éléments scientifiques*.

Global Alliance for Buildings and Construction. (2018) : *Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*.

Global Footprint Network (consulté le 6 Novembre), « Empreinte écologique de la consommation (EFC) ». <https://www.greenfacts.org/fr/glossaire/abc/biocapacite.htm>

<gogique.php?ref=244&titre=la-nature-une-solution-au-changement-climatique>

Grace OLIVIER « Récupérer les biens communs urbains: une solution écologique » dans *Code Local*. (en 2017).

GreenFacts (consulté le 6 Novembre), « Biocapacité ». <https://www.greenfacts.org/fr/glossaire/abc/biocapacite.htm>

Greta Tintin Eleonora Ernman Thunberg (2003) est une militante écologiste suédoise connue pour être à l'origine du mouvement *Fridays for Future* (copié en France et en Belgique par *Youth for Climate*).

Habitats Naturels supports de la biodiversité (consulté le 16 Novembre) <http://habitats-naturels.info/definition/>

Hammerby, un écoquartier modèle pour les villes de demain (2010) [audio]. Emmanuel Moreau, (Octobre 27)

ICLEI Local Governments for sustainability (consulté le 10 Novembre), *Le développement urbain durable est la clé d'un monde plus durable*. https://www.iclei.org/en/our_approach.html

INSEE (consulté le 21 Novembre), « Unité urbaine / Agglomération / Agglomération multicommunale / Agglomération urbaine» (en Décembre 209) <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1501>

INSEE, (en 2020). *Indicateurs de richesse nationale*.

Institut d'aménagement et d'urbanisme (IAU). « Les îlots de chaleur urbains » (en 2010)

Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région d'Ile-de-France. (En Février 2004). *Notre planète sur l'occupation du sol*

Ipbes. (2019) « *Biodiversité changer ! Agir ! Les conclusions de la première évaluation intergouvernementale* ».

Ipbes. (2019) « *Rapport de la Plénière de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques sur les travaux de sa septième session.* ».

Ipbes. (s.d.). « *Échapper à « l'ère des pandémies » : Les experts mettent en garde contre de pires crises à venir ; Options proposées pour réduire les risques.*

IPCC (consulté le 5 Novembre), <https://www.ipcc.ch/languages-2/francais/publications/>

Jean Zin. « Ecologie et Politique », *Qu'est-ce l'écologie-politique ?* (en 2010) p.41 à p.49

Jeanne Slimani. (en 2015) « De la rénovation urbaine au renouvellement urbain : glissement sémantique ou nouvelle approche ? » dans d'après-demain (N ° 33, NF), pages 11 à 13.

Joël Cossardeaux. « L'empreinte carbone devient une information obligatoire » dans *Les échos* (en 2015)

John Richard Krebs (1945) est un zoologiste anglais, président de la « British Science Association » entre 2012 et 2013, connu pour ses recherches en écologie comportementale.

Joseph Grinnell (1877-1939) est un zoologiste américain, directeur du musée de zoologie de l'université de Californie de 1908 à 1939, considéré comme l'un des premiers spécialistes des communautés écologiques.

JOYARD Jacques (consulté le 18 Novembre), « Qu'est-ce que la biodiversité ? », (en 2020), dans Encyclopédie de l'environnement, <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/quest-ce-que-la-biodiversite/>

Julien LHOMME, « Fonctions et services écosystémiques » dans Ecotopia (s.d.)

Kalundborg symbiosis. (consulté le 1 Décembre) « *Ga pa opdagelse i kalundborg symbiose* ». <http://www.symbiosis.dk/>

Kalundborg, symbiose industrielle au Danemark (2017, 30 Novembre) [vidéo]. ARBE RegionSud. <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=ZryUzaJvKZg>

L'écologie fonctionnelle pour comprendre la dynamique de la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes (en 2014, 21 janvier), Sandra LAVOREL.

L'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE). (en 2020). *Rapport de première phase de l'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques*

L'humanité et les écosystèmes : les services écosystémiques (consulté le 22 Novembre).

L'indice de Shannon est une mesure de l'entropie d'un système ; il donne une idée de la diversité spécifique d'un milieu, soit le nombre d'espèces de ce milieu (richesse spécifique) et de la répartition des individus au sein de ces espèces (équitabilité spécifique).

L'opinion, « Avec extinction rébellion, EELV joue au grand frère » (en 2019).

La faune du sol comme indicateur de la qualité des sols urbains (2014, 3 Avril) [thèse]. Joël Amossé. Université de Neuchâtel, Suisse.

La ville résiliente (consulté le 21 Novembre). <https://villeresiliente.org/objet/>

Larousse (consulté le 16 Novembre), « Climat : les climats du monde ».

https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/climat_les_climats_du_monde/185927

Le coefficient de regroupement est une mesure du regroupement des nœuds dans un réseau ; c'est la probabilité que deux nœuds soient connectés sachant qu'ils ont un voisin commun (vulgairement appelé : les amis de mes amis sont-ils aussi mes amis ?).

Le Monde (consulté le 6 Novembre), « La France creuse sa « dette écologie » » (en 2018).
https://www.lemonde.fr/planete/article/2018/05/04/la-france-creuse-la-dette-ecologique_5294070_3244.html

Le Monde, (en 2017). « *Seulement 5 % de chances de limiter le réchauffement climatique à 2 °C* »

Le petit journal (consulté le 3 Décembre), *ENVIRONNEMENT - La Suède verte (premier volet)*:
Hammarby et Stockholm Royal Seaport.
<https://lepetitjournal.com/stockholm/actualites/environnement-la-suede-verte-premier-volet-hammarby-et-stockholm-royal-seaport-46614>

Le petit journal (consulté le 3 Décembre), *ENVIRONNEMENT - La Suède verte (premier volet)*:
Hammarby et Stockholm Royal Seaport.
<https://lepetitjournal.com/stockholm/actualites/environnement-la-suede-verte-premier-volet-hammarby-et-stockholm-royal-seaport-46614>

Les Définitions (consulté le 21 Novembre), « Définition d'espace urbain ».
<https://lesdefinitions.fr/espace-urbain>

Les différents milieux – Urbain, rural, rurbanisé (2018, 6 Octobre) [vidéo]. Monsieur Bock.

Lévêque C., Van Der Leeuw S. dir. Quelles natures voulons-nous ? Pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement, Elsevier, Paris.

L'Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville (consulté le 10 novembre)
<https://irstv.ec-nantes.fr/>

Luederitz et al., 2015, "A review of urban ecosystem services: six key challenges for future research", *Ecosystem Services*, vol 14, 98-112.

L'USINE NOUVELLE. (en 2008). *Kalundborg, la voie danoise.*
<https://www.usinenouvelle.com/article/kalundborg-la-voie-danoise.N24483>

Ma Cop21 (consulté le 16 Novembre), « Le fonctionnement de notre système climatique »
<http://macop21.fr/comprendre-les-changements-climatiques/notre-systeme-climatique/>

MACHON Nathalie, (consulté le 23 Novembre), « Quelle biodiversité en ville ? », (en 2019), dans Encyclopédie de l'environnement [en ligne ISSN 2555-0950] ,
<https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/quest-ce-que-la-biodiversite/>

Magazine Nordregio. « Symbiose industrielle à Kalundborg », *Nordregio News*. (en 2006)

Marco Stathopoulos, , dans Qu'est que la résilience urbaine?, revue *Urbanisme* n°381

Marcus Dupont-Besnard. « Vivons-nous vraiment la sixième extinction de masse ? » dans Numerama, (en 2019).

Marie L. Cadenasso est une botaniste et écologue de l'évolution américaine, membre du CLUE, fondatrice de la Baltimore

Ecosystem Study, et professeure à l'université de Californie depuis 2006.

Marie Toubin, Serge Lhomme, Youssef Diab, Damien Serre et Richard Laganier, « La Résilience urbaine : un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine ? », *Développement durable et territoires*, Vol. 3, n° 1 (en Mai 2012).

Marine Lamoureux. « Au Danemark les déchets sont des ressources » dans *La Croix*. (en 2018)

Mary E. Power « Forces descendantes et ascendantes dans les réseaux trophiques: les plantes ont-elles la primauté » dans *Ecologie*, Vol. 73, n° 3 (juin 1992) , pp. 733-746

Mélanie Rostagnat « Ecoquartiers : Hammarby, le développement durable à la suédoise » dans *GEO*. Suède (en 2009). <https://www.geo.fr/voyage/ecoquartiers-suede-hammarby-developpement-durable-57943>

Méli Mélo avec Jacques Chambon et Franck Pitiot (2014, 18 Septembre) [vidéo].Graie Méli Mélo. <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=zalwKNyzxgY>

Méli Mélo, démêlons les fils de l'eau .(consulté le 22 Novembre).L'infiltration des eaux pluviales. <http://www.graie.org/eaumelimelo/Meli-Melo/Questions/Infiltration-des-eaux-pluviales/#prettyPhoto>

Métabolisme urbain de Paris .(consulté le 22 Novembre). L'économie circulaire : agir pour préserver les ressources naturelles et le climat. <http://metabolisme.paris.fr/#accueil>

Météo France (consulté le 16 Novembre), « Le système climatique ». <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/comprendre-le-climat-mondial/le-systeme-climatique>

Midi Onze (consulté le 3 Décembre), Hammarby et le royal seaport à stockholm : deux exemples de planification verte. <http://www.midionze.com/2017/07/12/hammarby-et-le-royal-seaport-a-stockholm-deux-exemples-de-planification-verte/>

Millénium Ecosystem Assessment. (en 2005). *Un rapport de l'Évaluation des Écosystèmes pour le Millénaire.*

Ministère de l'économie des finances et de la relance (consulté le 22 Novembre), *Plan de relance*. <https://www.economie.gouv.fr/plan-de-relance/profils/collectivites/densification-renouvellement-urbain-aide-densification>

Ministère de la transition écologique (consulté le 21 Novembre), *Les écosystèmes urbains français*. https://ree.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/3-ecosystemes_urbains.pdf

Ministère de la transition écologique (consulté le 27 Novembre), *Trame verte et bleue*. <https://www.ecologie.gouv.fr/trame-verte-et-bleue>

Ministère de la transition écologique (consulté le 7 Novembre), *Il n'y a pas de plan B parce qu'il n'y a pas de planète B*. <https://www.ecologie.gouv.fr/il-ny-pas-plan-b-parce-quil-ny-pas-planete-b-emmanuel-macron>

Ministère de la transition écologique (consulté le 9 Novembre), *Artificialisation des sols*. <https://www.ecologie.gouv.fr/artificialisation-des-sols>

Miriam BISSARDON et Lucas GUIBAL, (s.d.), : *Types d'habitats français*.

Mona Prudhomme, « Chassée de Colombes, la ferme R-Urban renaît à Gennevilliers » dans *En large your Paris*. Gennevilliers (en 2017).

Mtaterre, (consulté le 7 Novembre), *C'est quoi le développement durable ?* <https://www.mtaterre.fr/dossiers/le-developpement-durable/cest-quoi-le-developpement-durable>

Murray Bookchin. *Qu'est-ce que l'écologie sociale ?* (Lyon : Atelier de création libertaire, 2012)

Nation Unies (consulté le 10 novembre) *Objectifs de développement durable.* <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/>

Nation Unies, (en 1998). *Protocole de Kyoto à la convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques.* <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpfrench.pdf>

Nation Unies, (en 2009). *Convention cadre sur les changements climatiques.* <https://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/fre/11a01f.pdf>

Nation Unies, (en 2015). *Accord de Paris.* https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/french_paris_agreement.pdf

Natureparif en association avec l'IFORE et l'AESN (s.d.). *La nature : une solution au changement*

Nicolas Baylé. « Les écosystèmes urbains : une évaluation dans le cadre du programme EFESE » dans Fondation de la recherche sur la biodiversité (FBR). (en Mai 2019).

NORPAC (consulté le 10 Novembre). « Dix principes et concepts essentiels en écologie ». <http://www.biodiversite-positive.fr/notion-de-connectivite-de-fragmentation/>

Olivier Coutard et Jonathan Rutherford. « Les réseaux transformés par leurs marges : développement et ambivalence des techniques 'décentralisées' » (en 2009)

ONU info. (en 2008) « Climat : 250 millions de nouveaux déplacés d'ici à 2050, selon HCR »

Organisation mondiale de la Santé, (consulté le 2 Novembre) « Neuf personnes sur 10 respirent un air pollué dans le monde » <https://www.who.int/fr/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

OXFAM, (en 2020) (consulté le 5 Novembre). « Combattre les inégalités des émissions de co2 ». (en 2020) <https://www.oxfamfrance.org/wp-content/uploads/2020/09/Resume-Rapport-Oxfam-Combattre-Inegalites-Emissions-CO2.pdf>

Pascal Combemorel, « La répartition de la biomasse sur Terre » dans Planet vie (en 2018).

Portail Wallonie.be (consulté le 18 Novembre), « Natura 2000 » <http://biodiversite.wallonie.be/fr/biotope-ou-habitat.html?IDD=2212&IDC=833>

R. Kerry Turner est un économiste anglais, professeur à l'université de Norwich, membre du centre du Recherche Environmental Social Sciences et directeur exécutif au CSERGE en 1992.

Rapport Brundtland, (s.d.)

Régions 4 (consulté le 10 novembre) <https://www.regions4.org/our-work/what-we-do/>

R-urban (consulté le 4 Décembre). <http://r-urban.net/blog/projects/agrocite/>

R-urban Act. (s.d.) Une stratégie participative de résilience urbaine.

R-Urban, la « campagne » pour la ville (consulté le 4 Décembre). <https://blogs.mediapart.fr/unpalimpseste/blog/080715/r-urban-la-campagne-pour-la-ville>

R-urban. (s.d.) Stratégie participative pour le développement de pratiques et réseaux de résilience urbaine à destination des villes européennes.

Sabine Barles, Nicolas Buclet, Gilles Billen. *L'écologie territoriale : du métabolisme des sociétés à la gouvernance des flux d'énergie et de matières.*

Sea around us (consulté le 6 Novembre), « Marine Trophic Index ». <http://www.searroundus.org/data/#/marine-trophic-index>

Séché environnement, (consulté le 10 Novembre). *Nos actions de respect du vivant l'écologie territoriale.* <http://www.secherse.com/2015/nos-actions-de-respect-du-vivant/leecologie-territoriale/>

Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (en 2010) 3e édition des Perspectives mondiales de la diversité biologique [archive]. Montréal, p.94.

SFE, de Anne.T (consulté la 27 Novembre) « R72 : Trame verte, trame bleue et autres trames, par Romain Sordello». <https://www.sfecologie.org/regard/regards-6-thompson-ronce/>

SFE, de Anne.T (consulté le 2 Novembre) « R6 : La fragmentation des habitats, J.Thompson et O. Ronce». <https://www.sfecologie.org/regard/regards-6-thompson-ronce/>

SIG Ville .(consulté le 22 Novembre). Renouvellement urbain Nouveau Programme National de Renouvellement Urbain. <https://sig.ville.gouv.fr/page/18/renouvellement-urbain>

Socialter. (consulté le 1 Décembre) « Sym city». <https://www.socialter.fr/article/sym-city>

Solenvie (consulté le 10 Novembre) *Mensuel de l'académie d'agriculture de France*, n°37 (en Octobre 2018)

<https://www.solenvie.com/mensuel-de-lacademie-dagriculture-de-france-n-37-octobre-2018/>

Stéphane LAUER, « Trump nomme un climatosceptique à l'agence de l'environnement » dans *Le Monde* (en 2016)

Steward TA Pickett et May L. Cadenasso. « Combien de principes d'écologie urbaine existe-t-il? » *Landscape Ecol* 32, 699–705 (en 2017).

Sur le front des océans – Hugo Clément 10-11

Sustainable development report (consulté le 10 novembre) *Classements, la performance globales des 193 états membre de l'ONU.* <https://dashboards.sdgindex.org/rankings>

Symbioses industrielles et parcs éco-industriels : la symbiose de Kalundborg (2015, 5 Novembre) [vidéo]. UVED. <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=39nbiVcGdNc>

Tadeusz Pawlikowski et Krzysztof Pawlikowski (en 2004), *Valuation of environmental processes by invertebrate groups as bioindicators.* <http://www.home.umk.pl/~pawlik/publ/112-2004.pdf>

Thierry BOULINIER, Fonctionnement et évolution des systèmes écologiques (s.d.) l'écologie évolutive et l'évolution.

Thierry Lodé, Manifeste pour une écologie évolutive : Darwin et après ?, Odile Jacob, 2014, 183 p.

TPE Paris et le développement durable, (s.d.), *Quelle évolution pour engager Paris et ses habitants dans la voie du développement durable ?*

IUCN Comité Français (en 2013), « Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France», *Les écosystèmes urbain*, Volume 2.3. Paris, France

IUCN Comité Français, (consulté le 5 Novembre). « La liste rouge mondiale des espèces menacées ». <https://iucn.fr/liste-rouge-mondiale/>

IUCN Comité Français, « Indicateurs de biodiversité pour les collectivités territoriales », *Cadre de réflexion et d'analyse pour les territoires* (en 2014)

Un parc industriel copie la nature pour gérer déchets et ressources. (2019, 28 Mars) [audio]. Emmanuel Moreau.

Union Européen. (consulté le 3 Décembre) « Kalundborg Symbiosis: six decades of a circular approach to production » <https://circulareconomy.europa.eu/platform/fr/node/938>

United nations climate change, (consulté le 5 Novembre). « Conférence des parties (COP) ». <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>

United nations climate change, (consulté le 5 Novembre). « Il faut réduire les émissions mondiales de 7,6 % par an au cours de la prochaine décennie pour atteindre l'objectif de 1,5°C fixé à Paris - Rapport du PNUE». <https://unfccc.int/fr/news/il-faut-reduire-les-emissions-mondiales-de-76-par-an-au-cours-de-la-prochaine-decennie-pour>

Université Virtuelle Environnement et Développement durable (UVED), (consulté le 18 Novembre), « Définitions des termes habitat, biotope et niche écologique » https://www.supagro.fr/ress-pepites/Opale/ProcessusEcologiques/co/Ha_Definitions.html

Up magazine (2019, 16 mai) « Emission de gaz à effet de serre : laisse béton »

URBIO (consulté le 10 novembre), « International network urban biodiversity and design». <https://www.urbionetwork.com/>

UVED. (consulté le 1 Décembre) « l'exemple du parc industriel de Kalundborg ». <https://direns.mines-paristech.fr/Sites/ISIGE/uved/ecologieIndustrielle/module6/kalundborg/html/1.html>

Vers une écologie industrielle – comment mettre en pratique le développement durable dans une société hyper-industrielle ? Suren Erkman, 2004, p.44.

Victor Bérubé, Mathieu Lorenzo, Guillaume Raimbault, Jean-Philippe Choisis, Gael Plumecocq. (en 2019). Bioéconomie : Définition. [Dictionnaire d'Agroécologie](#).

Vigie Nature (consulté le 5 Novembre), « [Suivi Temporel des Oiseaux Communs \(STOC\)](#) ». <http://www.vigienature.fr/fr/observatoires/suivi-temporel-oiseaux-communs-stoc/resultats-3413>

Wikipédia (consulté le 10 Novembre), « URBIO». https://fr.wikipedia.org/wiki/URBIO#cite_ref-2

Wikipédia (consulté le 15 Novembre), « Ecosystème ». <https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cosyst%C3%A8me>

Wikipédia (consulté le 15 Novembre), « Facteur écologique ». https://fr.wikipedia.org/wiki/Facteur_%C3%A9cologique#Loi_du_minimum_de_Liebig

Wikipédia (consulté le 15 Novembre), « Service écosystémique». https://fr.wikipedia.org/wiki/Facteur_%C3%A9cologique#Loi_du_minimum_de_Liebig

Wikipédia (consulté le 15 Novembre), « Système naturel». https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_naturel

Wikipédia (consulté le 16 Novembre), « Biotope». <https://fr.wikipedia.org/wiki/Biotope>

Wikipédia (consulté le 16 Novembre), « Climat ». <https://fr.wikipedia.org/wiki/Climat>

Wikipédia (consulté le 16 Novembre), « Cycle biogéochimique». https://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle_biotique

Wikipédia (consulté le 18 Novembre), « Arbre phylogénétique». https://fr.wikipedia.org/wiki/Arbre_phylog%C3%A9n%C3%A9tique

Wikipédia (consulté le 18 Novembre), « Biocénose». <https://fr.wikipedia.org/wiki/Bioc%C3%A9nose>

Wikipédia (consulté le 18 Novembre), « Interaction biologique». https://fr.wikipedia.org/wiki/Interaction_biological

Wikipédia (consulté le 18 Novembre), « Niche écologique». https://fr.wikipedia.org/wiki/Niche_%C3%A9cologique#:~:text=La%20niche%20%C3%A9cologique%20est%20un,population%20viable%20de%20cet%20organisme

Wikipédia (consulté le 18 Novembre), « Règne (biologie)». [https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A8gne_\(biologie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A8gne_(biologie))

Wikipédia (consulté le 19 Novembre), « Énergie ». <https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie>

Wikipédia (consulté le 19 Novembre), « Interactions multitrophiques et diversité des communautés».

https://fr.wikipedia.org/wiki/Interactions_multitrophiques_et_diversit%C3%A9_des_communaut%C3%A9s

Wikipédia (consulté le 19 Novembre), « Réseau trophique». https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A8seau_trophique

Wikipédia (consulté le 2 Novembre), « Ecotoxicologie ».

Wikipédia (consulté le 2 Novembre), « Pollution ». https://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution#Impacts_sur_les_esp%C3%A8ces_animautes

Wikipédia (consulté le 21 Novembre), « Permaculture».
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Permaculture>

Wikipédia (consulté le 22 Novembre), « Abel Wolman».
[https://en.wikipedia.org/wiki/Abel_Wolman#%22The_Metabolism_of_Cities%22_\(Sept._1965\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Abel_Wolman#%22The_Metabolism_of_Cities%22_(Sept._1965))

Wikipédia (consulté le 3 Décembre), « Hammarby Sjöstad

Wikipédia (consulté le 30 Octobre), « Ecologie industrielle ».
https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cologie_industrielle

Wikipédia (consulté le 30 Octobre), « Ecologie urbaine ».
https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cologie_urbaine

Wikipédia (consulté le 30 octobre). « Ecologie ».

Wikipédia (consulté le 30 octobre). « Ecologie humaine»

Wikipédia (consulté le 30 octobre). « Ecologie politique »,
https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cologie_politique

Wikipédia (consulté le 30 octobre). « Ecologie sociale, domaine universitaire »,
[https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cologie_sociale_\(domaine_universitaire\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cologie_sociale_(domaine_universitaire))

Wikipédia (consulté le 31 octobre), « Ecologie évolutive».

Wikipédia (consulté le 31 octobre). « Ecologie comportementale ».

Wikipédia (consulté le 5 Novembre), « Accord de Paris sur le climat ».
https://fr.wikipedia.org/wiki/Accord_de_Paris_sur_le_climat

Wikipédia (consulté le 5 Novembre), « Réchauffement climatique ».
https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9chauffement_climatique#Changements_d'aires_de_r%C3%A9partition

Wikipédia (consulté le 6 Novembre), « Empreinte carbone ».
https://fr.wikipedia.org/wiki/Empreinte_carbone#cite_note-BilanGES-2

Wikipédia (consulté le 8 Novembre), « Indicateur de biodiversité».
https://fr.wikipedia.org/wiki/Indicateur_de_biodiversit%C3%A9

worldenergy. « À la recherche de la ville durable: le modèle Hammarby » *The world energy fondation* (en 2016).

WWF (en 2020) « Living Planet report 2020 », *Bending the curve of biodiversity loss*

WWF, (consulté le 2 Novembre) « Coraux, joyaux des océans »

WWF, (consulté le 6 Novembre) « L'empreinte écologique est un outil développé par le Global Footprint Network qui permet de mesurer la pression qu'exerce l'homme sur la nature.»
https://wwf.panda.org/fr/wwf_action_themes/modes_de_vie_durable/empreinte_ecologique/

WWF, (consulté le 7 Novembre) « L'autre déficit de la France» (en 2018)

https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2018-05/180504_rapport_jour du depassement france.pdf

Yves Grafmeyer et Isaac Joseph, *L'École de Chicago. Naissance de l'écologie urbaine*. Lyon. Aubier, (en 1984).

ICONOGRAPHIE

CHAPITRE 1 : DOMAINE D'ÉTUDE (ÉCOLOGIES)

Figure 1 : Part mondiale de l'énergie et des émissions du BTP.

©<https://www.worldgbc.org/sites/default/files/2018%20GlobalABC%20Global%20Status%20Report.pdf>

Figure 2 : Part des causes de la perte de biodiversité à travers le monde.

© <https://f.hubspotusercontent20.net/hubfs/4783129/LPR/PDFs/ENGLISH-FULL.pdf>

Figure 3 : Schéma de l'étalement urbain.

©<https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/artificialisation-des-sols-resume-francais-8-pages-1.pdf>

Figure 4 : Schéma de la fragmentation écologique

© <https://www.docscopy.com/fr/la-fragmentation-des-milieux-naturels/5061496/>

Figure 5 : Schéma du principe de corridors écologiques.

© <http://www.biodiversite-positive.fr/notion-de-connectivite-de-fragmentation/>

Figure 6 : Schéma du principe d'îlots de chaleur urbain.

©https://bybeton.fr/grand_format/maitrise-ilots-de-chaleur-urbains-solutions-beton

Figure 7 : Echelles d'application de l'écologie

© https://www.researchgate.net/figure/Schema-conceptuel-des-liens-entre-echelles-en-ecologie-le-temps-axe-x-lespace-axe_fig7_321347227

Figure 8 : Schéma de la notion de paysage en écologie.

© <https://www.sfecologie.org/regard/r72-mai-2017-r-sordello-corridors-ecologiques/>

Figure 9 : Changement annuel de la superficie forestière

© https://www.researchgate.net/figure/Changement-annuel-de-la-superficie-forestiere-par-region-1990-2010-source-FAO-2010_fig2_280662606

Figure 10 : Répartition des émissions de gaz à effet de serre par secteur d'activités.

©<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-05/datalab-46-chiffres-cles-du-climat-edition-2019-novembre2018.pdf>

Figure 11 : Evolution du réchauffement climatique entre 1900 et 2015.

© <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/meteorologie-video-changements-temperature-lies-empreinte-humaine-43154/>

Figure 12 : Evolution prévisionnelle de la Hausse des températures d'ici 2100.

© <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-05/datalab-46-chiffres-cles-du-climat-edition-2019-novembre2018.pdf>

Figure 13 : Cause de l'extinction de l'Holocène.

© https://fr.wikipedia.org/wiki/Extinction_de_l%27Holoc%C3%A8ne

Figure 14/15 : Cartes des pays ayant ratifiés les accords de Kyoto/ de Paris.

© https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_signataires_du_protocole_de_Kyoto

Figure 16 : Evolution de l'abondances des populations d'animaux vertébrés.

© <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/developpement-durable-extinction-especes-hommes-sont-plus-dangereux-rechauffement-climatique-55431/>

Figure 17 : Evolution des émissions mondiales de CO2.

©<https://www.connaissancedesenergies.org/emissions-de-co2-une-stabilisation-encourageante-mais-insuffisante-161116>

Figure 18 : Carte de l'empreinte écologique par pays.

© <https://atlasocio.com/cartes/recherche/selection/empreinte-ecologique-habitant.php>

Figure 19 : Carte de la biocapacité des pays.

© <https://www.sfecologie.org/regard/r72-mai-2017-r-sordello-corridors-ecologiques/>

Figure 20 : Carte des déficits/ excédents écologiques par pays.

© <http://data.footprintnetwork.org/#/>

Figure 21 : Evolution du jour de dépassement par an.

©<https://www rtl.fr/actu/debats-societe/quelle-difference-entre-le-jour-du-dereglement-et-le-jour-du-depassement-7800207762>

Figure 22 : Schéma du dépassement des limites planétaires.

© Limites planétaires - Pictet Asset Management

Figure 23 : Schéma du développement durable/ adapté à l'écologie urbaine.

© http://tpeecologie.over-blog.com/pages/A_Introduction_a_lecologie_urbaine-253912.html

Figure 24 : Schéma du métabolisme des écosystèmes naturels.

© <https://lamaisondalzaz.wordpress.com/2011/03/01/productivite-et-energie-dans-lesysteme/>

Figure 25 : Schéma du métabolisme des écosystèmes urbain (Bruxelles).

© <https://bethleemecosysteme.wordpress.com/ecosystemes-urbains/>

Figure 26 : Schéma des principes de l'Urbanisme durable.

©<https://popups.uliege.be/0770-7576/index.php?id=4116&file=1>

Figure 27 : Schéma du développement durable.

© https://www.researchgate.net/figure/Schema-du-developpement-durable-Credits-Universite-Rennes-2_fig1_274057835

Figure 28 : Schéma de l'écologie industrielle

© <http://www.paca.cci.fr/info-actu-des-territoires--plus-et-mieux-avec-moins-a-nice-en-region--magie-non-ecologie-industrielle-7393.php>

Figure 29 : Schéma des acteurs de l'écologie industrielle

© <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pour-agir-dans-les-territoires.pdf>

Figure 30 : Schéma de l'écologie territoriale.

© https://www.researchgate.net/figure/exemple-dorganisation-dune-plate-forme-regionale-de-gestion-des-ressources_fig2_270272434

Figure 31 : Schéma de la bioéconomie.

© <https://www.iar-pole.com/la-bioeconomie/>

Figure 32 : Coefficient de biotope.

© <https://www.o2d-environnement.com/observatoires/coefficient-de-biotope-par-surface/>

Figure 33 : Schéma des différents indicateurs de biodiversité.

© https://uicn.fr/wp-content/uploads/2016/08/UICN_Indicateurs_biodiversite__collectivites.pdf

Figure 34 : Carte du score par pays de la réalisation des objectifs du développement durable.

<http://www.universalis-edu.com/authentification/>

CHAPITRE 2 : OBJET D'ÉTUDE (SYSTÈMES)

Figure 35 : Schéma d'un écosystème.

© <https://journals.openedition.org/traduire/1991>

Figure 36 : Pyramide des échelles du vivant

© Florent Guillard

Figure 37 : Schéma de la succession écologique.

© Florence Dellerie illustration

Figure 38 : Liens entre milieu, fonction, et services écosystémique

© <https://www.supagro.fr/ress-pepites/processusecologiques/co/ServicesFonctions.html>

Figure 39 : Schéma des services écosystémiques.

© <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/16-201-x/2014000/i001-fra.htm>

Figure 40 : Schéma du cycle du carbone.

© <http://www.universalis-edu.com/authentification/>

Figure 41 : Schéma du système climatique.

© <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/comprendre-le-climat-mondial/le-systeme-climatique>

Figure 42 : Glossaire des types d'habitats français

© https://mapahabitatsaragon.files.wordpress.com/2015/10/corine_completo_francia.pdf

Figure 43 : Pyramide des échelles des milieux.

© Florent Guillard

Figure 44 : Principe de création de la diversité génétique.

© <http://svt4ever.free.fr/docs/TS.T5.BILAN7.pdf>

Figure 45 : Arbres des liens génétiques entre faune, fonge et flore.

© https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:R%C3%A9seau_mycorhizien.svg

Figure 46 : Répartition spatiales des populations sur le plan horizontal.

© <http://faculty.collin.edu/dmcculloch/2406/Notes/Limiting%20Factors/Distribution%20Patterns.htm>

Figure 47 : Répartition spatiales des populations sur le plan vertical.

© <http://www.universalis-edu.com/authentification/>

Figure 48 : Schéma des interaction du vivant.

© https://fr.wikipedia.org/wiki/Interaction_biologique

Figure 49 : Exemple simplifiées des différents interactions au sein d'un écosystème.

© R3: Fonctionnement des écosystèmes, N. Mouquet et al. - sfecologie.org

Figure 50 : Schéma de la distribution d'énergie.

© http://www.acgrenoble.fr/armorin.crest/beespip3/IMG/pdf/th2_ch1__l_energie_solaire_et_biophere.pdf

Figure 51 : Proportion de la biomasse totale/animal.

© [https://fr.wikipedia.org/wiki/Biomasse_\(%C3%A9cologie\)#/media/Fichier:BiomasseTotale.png](https://fr.wikipedia.org/wiki/Biomasse_(%C3%A9cologie)#/media/Fichier:BiomasseTotale.png)

Figure 52 : Schéma d'un réseau trophique.

© <http://www.universalis-edu.com/authentification/>

Figure 53 : Pyramides écologiques.

© <https://www.aquaportal.com/definition-13279-pyramide-ecologique.html>

Figure 54 : Schéma de relation de contrôle.

© https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_trophique

Figure 55 : Principe des espèces clés de voûte.

© Cascade trophique — Wikipédia

Figure 56 : Schéma d'un écosystème urbain.

© <https://www.wsp.com/fr-CA/insights/pouvons-nous-rendre-les-systemes-urbains-dapprovisionnement-en-eau-plus-durables>

Figure 57 : Différentes échelles d'application spatiale.

© <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/a-la-une/notion-a-la-une/ville-durable>

Figure 58 : Notion de ville soutenable (comparé l'économie circulaire, recyclable et linéaire).

© <https://www.demainlaville.com/transition-ecologique-penser-la-ville-comme-un-systeme-vivant/>
<https://www.demainlaville.com/transition-ecologique-penser-la-ville-comme-un-systeme-vivant/>

Figure 59 : Principes de la notion de résilience.

© <https://www.cerema.fr/system/files/product/publication/2020/10/boussoleresilience-cerema-web2.pdf>

Figure 60 : Principes de la permaculture.

© <https://chouettedevie.com/association-permaculture-chouette-de-vie/definition-permaculture/fleur-des-principes/>

Figure 61 : Liens entre société et nature.

© <https://freshwaterwatch.thewaterhub.org/fr/content/services-ecosystemiques>

Figure 62 : Boucles de rétroaction entre milieu naturel et sociétés humaines.

© <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/milieu-geographique#:~:text=Pour%20le%20g%C3%A9ographe%2C%20le%20milieu,groupe%20social%20qui%20y%20vit.>

Figure 63 : Trois conception d'une même densité urbaine.

© <https://cremtl.org/publication/entrevues/2018/pour-une-densification-urbaine-qui-rime-qualite-milieux-vie>

Figure 64 : Schéma du métabolisme urbain.

© <http://www.moreno-web.net/comprendre-le-metabolisme-urbain/>

Figure 65 : Schémas des problèmes de l'écoulement des eaux face à l'artificialisation des sols.

© Natural Urban-Runoff-Rates

Figure 66 : D'un métabolisme linéaire, vers un métabolisme circulaire.

© <https://www.arec-idf.fr/metabolisme-a-tous-les-etages.html>

Figure 67 : Impacts entre société et écosystèmes.

© <https://www.sfecologie.org/regard/regards-4-teyssedre/>

Figure 68 : Mise en place de la biodiversité urbaine.

© <https://www.construction21.org/france/articles/h/biodiversite-que-peut-faire-le-secteur-de-la-construction-comment-et-pourquoi.html>

Figure 69 : Schéma du socioécosystème.

© file:///C:/Users/Florent/Downloads/Contribution_to_a_design_theory_of_agro-ecosystems.pdf

Figure 70 : Schéma des trames, vertes, bleu, brune et noir.

© <https://www.arb-idf.fr/publication/clip-video-batiment-et-biodiversite-2016>

CHAPITRE 3 : SUJET D'ÉTUDE (RÉSEAUX)

Figure 71 : Le réseau de l'éco-parc industrielle « Symbiosis » de Kalundborg.

© <https://www.usinenouvelle.com/article/kalundborg-la-voie-danoise.N24483>

Figure 72 : Le réseau de l'éco-quartier urbain « Hammarby » de Stockholm.

© <https://i.pinimg.com/564x/c6/b3/97/c6b397af6b8be54b1002b08577bbb699.jpg>

Figure 73 : Le réseau des éco-communs « R-Urban » de Colombes.

© <https://www.citymart.com/blog-10/2014/12/10/r-urban>

Figure 74 : Schéma explicatif de la symbiose industrielle

©<https://fr.slideshare.net/sherbrookeinnopole/gate-cologie-industrielle-centre-de-transfert-technologique-en-cologie-industrielle>

Figure 75 : Situation des différents acteurs du réseau Symbiosis.

© <http://www.symbiosis.dk/en/>

Figure 76 : Schéma des différentes relations entre acteurs du réseau Symbiosis.

© <http://www.symbiosis.dk/en/>

Figure 77 : Plan des différents acteurs du réseau Symbiosis.

©https://www.researchgate.net/publication/234016076_Eco-Polycentric_Urban_Systems_An_Ecological_Region_Perspective_for_Network_Cities

Figure 78 : Diagramme des différentes interactions du réseau Symbiosis.

© <https://ebrary.net/16752/environment/introduction>

Figure 79 : Photos de l'éco-parc Symbiosis

© <https://www.franceinter.fr/emissions/l-esprit-d-initiative/l-esprit-d-initiative-28-mars-2019>

Figure 80 – Vue de l'éco-parc Symbiosis.

©<https://www.uved.fr/fiche/ressource/ecologie-industrielle-l-exemple-historique-lecoparc-de-kalundborg>

Figure 81 : Schéma du modèle d'éco-cycles.

©https://www.researchgate.net/publication/335914869_Application_of_a_Metabolic_Thinking_Driven_Sustainability_Framework_in_Early-Stage_Planning_of_Eco-City

Figure 82 : Vue de la zone industrielle d'Hammarby.

© https://www.lemonde.fr/smart-cities/article/2018/05/30/a-stockholm-un-quartier-laboratoire-de-la-ville-durable_5307013_4811534.html

Figure 83 : Photos de l'éco-quartier d'Hammarby.

©<https://vaxer.stockholm/globalassets/projekt/sodermalm-sdo/hammarby-sjostad/hammarbymodellen-mars-2011.pdf>

Figure 84 : Photos de l'éco-quartier d'Hammarby.

©<https://vaxer.stockholm/globalassets/projekt/sodermalm-sdo/hammarby-sjostad/hammarbymodellen-mars-2011.pdf>

Figure 85 : Plan de l'éco-quartier d'Hammarby.

© <https://www.urbangreenbluegrids.com/projects/hammarby-sjostad-stockholm-sweden/>

Figure 86 : Schéma de la symbiose du réseau d'Hammarby

© <https://chinadialogue.net/en/cities/8614-china-s-green-urban-planning-can-draw-lessons-from-portland-and-stockholm/>

Figure 87 : Schéma du centre de GlashusEtt.

© <https://docplayer.fr/8891400-Hammarby-sjostad-cite-lacustre-hammarby-contexte-preparation-du-projet-cahier-des-charges.html>

Figure 88 : Plan des lieux d'interactions d'Hammarby.

© <https://cargocollective.com/almaraz/following/all/almaraz/Hammarby-Sjostad>

Figure 89 : Schéma des différentes interactions du réseau d'Hammarby.

©https://www.researchgate.net/publication/308966970_Integrating_the_concept_of_urban_metabolism_into_planning_of_sustainable_cities_Analysis_of_the_Eco_Cities_Initiative

Figure 90 : Plan des milieux aquatiques d'Hammarby.

© <https://cargocollective.com/almaraz/following/all/almaraz/Hammarby-Sjostad>

Figure 91 : Photos des espaces verts d'Hammarby.

© <https://docplayer.fr/8891400-Hammarby-sjostad-cite-lacustre-hammarby-contexte-preparation-du-projet-cahier-des-charges.html>

Figure 92 : Plan des milieux écologiques d'Hammarby

© <https://cargocollective.com/almaraz/following/all/almaraz/Hammarby-Sjostad>

Figure 93 : Schéma explicatif d'un commun.

© <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/a-la-une/notion-a-la-une/communs>

Figure 94 : Schéma explicatif de l'économie de la contribution

© https://fr.wikipedia.org/wiki/Communs#cite_note-13

Figure 95 : Carte des unités du réseau R-Urban de Colombes

© <http://localcode.org/2017/06/reclaiming-the-urban-commons-an-ecological-solution-nk/>

Figure 96 : Jardin Michelet avant & après l'implantation de l'unité AgroCité

© <http://localcode.org/2017/06/reclaiming-the-urban-commons-an-ecological-solution-nk/>

Figure 97 : Photos de l'unité AgroCité.

© <https://www.publicspace.org/works/-/project/j281-r-urban-network-of-urban-commons>

Figure 98 : Schémas de l'unité AgroCité.

© <http://www.collectifetc.com/realisation/projet-r-urban-a-colombes/>

Figure 99 : Photos de l'unité EcoHab.

© <http://www.urbantactics.org/projets/recyclab/>

Figure 100 : Schéma de l'unité RecycLab.

© <http://r-urban.net/blog/activities/recyclab-livraison-des-premiers-lots-de-containers/>

Figure 101 : Schéma de l'unité EcoHab.

© <https://www.urbantactics.org/projets/ecohab/>

Figure 102 : Concept de l'unité EcoHab.

© <https://www.urbantactics.org/projets/ecohab/>

Figure 103 : Connexions entre les 3 unités du réseau R-Urban.

© https://www.researchgate.net/publication/306240012_Co-producing_commons-based_resilience_lessons_from_R-Urban

Figure 104 : Réseaux de résilience du projet R-Urban.

© <http://localcode.org/2017/06/reclaiming-the-urban-commons-an-ecological-solution-nk/>

Figure 105 : Dynamiques participatives du projet R-Urban.

© <http://localcode.org/2017/06/reclaiming-the-urban-commons-an-ecological-solution-nk/>

Figure 106 : Circuits cours et locaux du projet R-Urban.

© http://r-urban.net/wp-content/uploads/2017/05/03_LAYMAN-REPORT.pdf

Figure 107 : Cartes des municipalités projetant de s'associer au réseau R-Urban

© http://r-urban.net/wp-content/uploads/2017/05/03_LAYMAN-REPORT.pdf

Figure 108 : Listes des principaux partenaires du réseau R-Urban.

© http://r-urban.net/wp-content/uploads/2017/05/03_LAYMAN-REPORT.pdf

Figure 109 : Schéma des synergies du réseau R-Urban.

© <http://r-urban.net/>

Figure 110 : Listes des principaux partenaires du réseau R-Urban.

© http://r-urban.net/wp-content/uploads/2017/05/03_LAYMAN-REPORT.pdf

Figure 111 : Tableau comparatif des résiliences des différents réseaux des études de cas

© Florent GUILLARD

Figure 112 : Influences mutuelles des piliers du développement durable

© Florent GUILLARD

Figure 113 : Influences mutuelles des piliers du développement durable adaptées au modèle de René Passet

© Florent GUILLARD

SOURCE DES ANNEXES

Annexe 1 : Surface imperméabilisées en métropole de 1981 à 2030

© <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9ma%20-%20Objectif%20z%C3%A9ro%20artificialisation%20nette.pdf>

Annexe 2 : Intervention de l'Homme sur les écosystèmes

© <http://www.planete-ecologie.com/quel-impact-pour-l'intervention-humaine-sur-l'environnement-naturel/>

Annexe 3 : Tableau des principaux types de pollutions

© https://www.airparif.asso.fr/_pdf/tableau-polluants-origine-impacts.pdf

Annexe 4 : Part des émissions cumulées entre 1990 et 2015 par différents groupes de revenus mondiaux

© <https://oxfamlibrary.openrepository.com/bitstream/handle/10546/621052/mb-confronting-carbon-inequality-210920-fr.pdf>

Annexe 5 : Jour du dépassement par pays en 2019

© <https://www.novethic.fr/actualite/environnement/ressources-naturelles/isr-rse/jour-du-depassement-de-la-terre-en-sept-mois-nous-avons-consommé-toutes-les-ressources-que-la-planète-peut-produire-en-un-an-147519.html>

Annexe 6 : Principaux principes de l'écologie urbaine

© <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-017-0492-0>

Annexe 7 : Concept de l'écologie industrielle basé sur l'écologie biologique

© <https://slideplayer.fr/slide/3175290/>

Annexe 8 : Principaux acteurs de l'écologie industrielle en France

© <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pour-agir-dans-les-territoires.pdf>

Annexe 9 : Schéma d'organisation d'une plate-forme de gestion des flux basé sur les principes de l'écologie territoriale

© https://www.researchgate.net/figure/exemple-d'organisation-d'une-plate-forme-regionale-de-gestion-des-ressources_fig2_270272434

Annexe 10 : Schéma circulaire des objectifs intrinsèques de l'écologie territoriale

© <http://www.secherse.com/2015/nos-actions-de-respect-du-vivant/le-ecologie-territoriale/>

Annexe 11 : Chaîne de production bioéologique des biomasses

© <http://www.bsi-economics.org/images/bioecodefdef.pdf>

Annexe 12 : Listes des principaux jeux d'indicateurs de biodiversité

©https://uicn.fr/wp-content/uploads/2016/08/UICN_Indicateurs_biodiversite__collectivites.pdf

Annexe 13 : Les 17 objectifs du développement durable

© https://www.globalcompact-france.org/images/un_global_compact/page_odd>Liste_des_17_ODD_et_169_cibles_-_web.pdf

Annexe 14 : Cartes des différentes unités écologiques planétaires

© <https://le-cartographe.net/dossiers-carto-91/monde/176-lempreinte-ecologique>

Annexe 15 : Schémas des principaux cycles biogéochimiques de la biosphère

© <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/cycles.biogeochimiques.html>

Annexe 16 : Cartes des différents climats terrestres

© <http://soutien67.free.fr/svt/terre/climat/climat.htm>

Annexe 17 : Liste complète des niveaux typologiques EUNIS

© https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/documentation/GP2018-Eunis_Annexe.pdf

Annexe 18 : Arbre phylogénétique simplifié des groupes d'espèces vivantes ©

© https://fr.wikipedia.org/wiki/Arbre_phylog%C3%A9n%C3%A9tique

Annexe 19 : Activités humaines et écosystèmes

© <https://www.afterclasse.fr/fiche/669/les-activites-humaines-et-les-ecosystemes-locaux/schema>

Annexe 20 : Boussole de la résilience territoriale

© <https://www.cerema.fr/system/files/product/publication/2020/10/boussoleresilience-cerema-web2.pdf>

Annexe 21 : La fleur permaculturelle

© <https://www.scopeli.fr/wp-content/uploads/2016/11/permaculture-valeurs.png>

Annexe 22 : Les 43 services rendus par les écosystèmes en France

© <file:///C:/Users/Florent/Downloads/R260.pdf>

Annexe 23 : Services écologiques et leurs liens avec le bien-être humain

© <https://www.supagro.fr/ress-pepites/processusecologiques/co/lienServEcoBienEtre.html>

Annexe 24 : Répartition des émissions globales de gaz à effet de serre en 2005

© <https://www.alternatives-economiques.fr/repartition-emissions-globales-de-gaz-a-effet-de-serre-2005-equivalent-co2-a-lhorizon-2105-source-a-0105201174763.html>

Annexe 25 : Démarche de l'économie circulaire appliquée au métabolisme urbain ©

© <https://www.bellastock.com/projets/metabolisme-urbain-de-plaine-commune/>

Annexe 26 : Schéma des 7 piliers de l'économie circulaire

©<https://www.ademe.fr/expertises/economie-circulaire/leconomie-circulaire>

Annexe 27 : Biodiversité et gradient d'urbanisation

© <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/biodiversite-urbaine/>

Annexe 28 : Système complexe des relations humains-milieu élaboré à partir des concepts de socioécosystème et de formation socio-spatiale

© Système complexe développé à partir des concepts de socio-écosystème et de formation sociospatiale appliqués à la zone d'étude et plaçant le paysage au centre des interactions humains-milieu

Annexe 29 : Agir ensemble pour une transition écologique et solidaire ©

© <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Efese%20-%20Rapport%20de%20premi%C3%A8re%20phase%20-%20Du%20constat%20%C3%A0%20l%27action%20-%20Synth%C3%A8se.pdf>

Annexe 30 : Compilation des sous-trames écologiques formant la trame verte et bleue

© <https://www.fondation-nanosciences.fr/trame-verte-et-bleue/>

Annexe 31 : Identification d'obstacles aux continuités écologiques par croissement des trames

© <https://www.sfecologie.org/regard/r72-mai-2017-r-sordello-corridors-ecologiques/>

Annexe 32 : Evolution du réseau industriel Symbiosis et de ses échanges entre 1961 et 2010

© <http://www.scottvalentine.net/wp-content/uploads/2016/05/Valentine-Kalundborg.pdf>

Annexe 33 : Tableau des principaux acteurs du réseau industriel Symbiosis

© <https://core.ac.uk/download/pdf/18141304.pdf>

Annexe 34 : Chronologie des échanges de flux du réseau industriel Symbiosis entre 1961 et 2010

© <http://www.scottvalentine.net/wp-content/uploads/2016/05/Valentine-Kalundborg.pdf>

Annexe 35 : Schéma des 3 systèmes (énergie, eau, déchets) d'échanges du réseau industriel Symbiosis

© https://ec.europa.eu/environment/archives/greenweek2011/sites/default/files/1-6_Andersen.pdf

Annexe 36 : Planches de l'ancien projet du quartier d'Hammarby

© <https://vaxer.stockholm/globalassets/projekt/sodermalm-sdo/hammarby-sjostad/hammarby-sjostad-oversiktsplan.pdf>

Annexe 37 : Modélisation de l'irradiation solaire annuelle du quartier d'Hammarby

© <https://docplayer.fr/8891400-Hammarby-sjostad-cite-lacustre-hammarby-contexte-preparation-du-projet-cahier-des-charges.html>

Annexe 38 : Tableau des différents types de relations des principaux acteurs du réseau urbain d'Hammarby

©

Annexe 39 : Plan du réseau souterrain de collecte des déchets du quartier d'Hammarby

© https://direns.mines-paristech.fr/Sites/ISIGE/uved/quartierdurable/etudededcas/co/dechets_air_comprime.jpg.html

Annexe 40 : Projets Ecobox et Passage 56

© <http://www.urbantactics.org/projets/passage56/>

Annexe 41 : Diagramme du processus de développement des unités de R-Urban

© http://r-urban.net/wp-content/uploads/2017/05/03_LAYMAN-REPORT.pdf

Annexe 42 : Schémas des prototypes écologiques de pratiques résilientes de l'AgroCité

© <http://r-urban.net/blog/prototypes/>

Annexe 43 : Schémas des connexions émergeantes des différentes unités du réseau R-Urban

© <https://agile-city.com/agile-city-research/r-urban-colombes-a-sustainable-network-of-agriculture-and-building-processes/>

Annexe 44 : Projet du R-Urban Wick de Londres

© <https://r-urban-wick.net/>

Annexe 45 : Carte des partenaires franciliens du réseau R-Urban

© <https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?hl=fr&ie=UTF8&oe=UTF8&msa=0&mid=1KQQgA3Np1Eq7dafcxVRtajuGhNY&ll=48.86360744724601%2C2.327660978731325&z=12>

Annexe 46 : Plan du projet d'AgroCité de Gennevilliers

© <https://fondation-terresolidaire.org/r-urban-agrocite-gennevilliers/>

Annexe 47 : Tableau des différents types de relations des principaux acteurs du réseau R-Urban

© <http://r-urban.net/>

Annexe 48 : Diagrammes des réseaux d'acteurs des différentes unités de R-Urban

© https://www.researchgate.net/publication/306240012_Co-producing_commons-based_resilience_lessons_from_R-Urban

Annexe 49 : Objectifs d'amélioration de paramètres et de pratiques plus écologiques

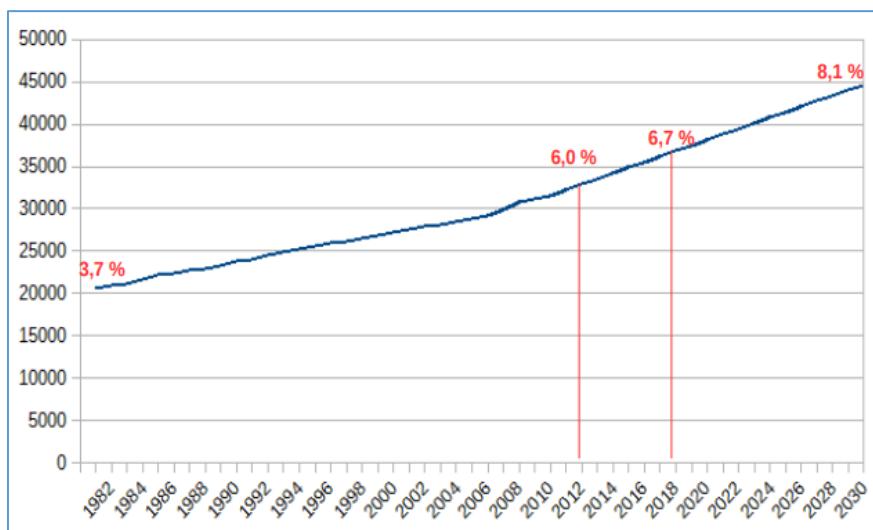
© <https://www.inami.fgov.be/fr/inami/Pages/objectifs-environnement.aspx>

Annexe 50 : Modèle des trois sphère imbriquée de René Passet

© <https://www.frequence-retraite.com/marches/marches-dune-soutenabilite-faible-a-une-soutenabilite-forte/>

ANNEXES

Annexe 1 : Surface imperméabilisées en métropole de 1981 à 2030



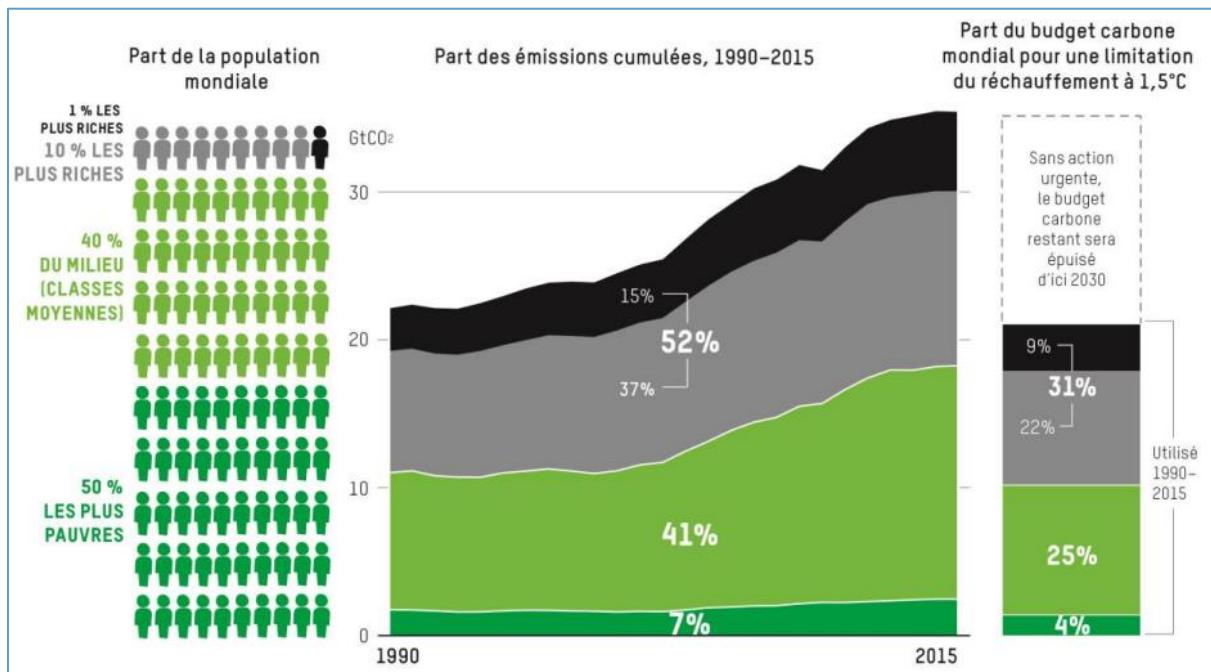
Annexe 2 : Intervention de l'Homme sur les écosystèmes

ÉCOSYSTÈME	MENACE
Hydrosphère	<ul style="list-style-type: none">PollutionDiminution de la qualité des eaux doucesAssèchement des nappes phréatiques
Atmosphère	<ul style="list-style-type: none">Effet de serre anthropiqueOzone troposphériqueOzone stratosphériquePollution
Lithosphère	<ul style="list-style-type: none">PollutionÉrosionImperméabilisationDiminution de la qualité du solDestruction suite à l'exploitation des ressources non renouvelables (mines, etc.)
Forêts	<ul style="list-style-type: none">Pluies acidesDéforestation
Mers et océans	<ul style="list-style-type: none">PollutionSurexploitation et menace des espècesEspèces invasives
Rivières et lacs	<ul style="list-style-type: none">EutrophisationEspèces invasives
Zones humides	<ul style="list-style-type: none">AssèchementDestruction
Déserts et montagnes	<ul style="list-style-type: none">DésertificationModification des écosystèmes montagneux suite au réchauffement climatique

Annexe 3 : Tableau des principaux types de pollutions

nature de la pollution ou de la nuisance	milieu affecté par la pollution ou la nuisance		
commentaires	atmosphère	hydrosphère	sols
1 pollutions physiques			
radiations ionisantes	+	+	+
pollution thermique	+	+	
bruit et vibrations à basse fréquence (nuisance sonore)	+		+
2 pollutions chimiques			
dérivés gazeux du carbone	+	+	
hydrocarbures		+	+
dérivés du soufre	+	+	+
dérivés de l'azote	+	+	+
métaux et métalloïdes toxiques		+	+
fluorures	+		+
particules solides (aérosols)	+		
détersifs		+	
pesticides et autres composés organiques de synthèse non volatils		+	+
matières organiques fermentescibles		+	
émission de substances chimiques nauséabondes (nuisance olfactive)	+		
3 pollutions biologiques			
contamination microbiologique des milieux inhalés ou ingérés (bactéries ou virus)	+	+	
introduction des O.G.M. dans l'espace rural			+
modification des biocénoses par introduction intempestive d'espèces exotiques végétales ou animales invasives		+	+
4 nuisances esthétiques			
dégradation de l'espace rural ou du milieu urbain par l'urbanisation sauvage, des aménagements mal conçus, des décharges etc.	+		
implantation d'industries dans des biotopes vierges ou peu modifiés par l'homme	+		

Annexe 4 : Part des émissions cumulées entre 1990 et 2015 par différents groupes de revenus mondiaux



Annexe 5 : Jour du dépassement par pays en 2019

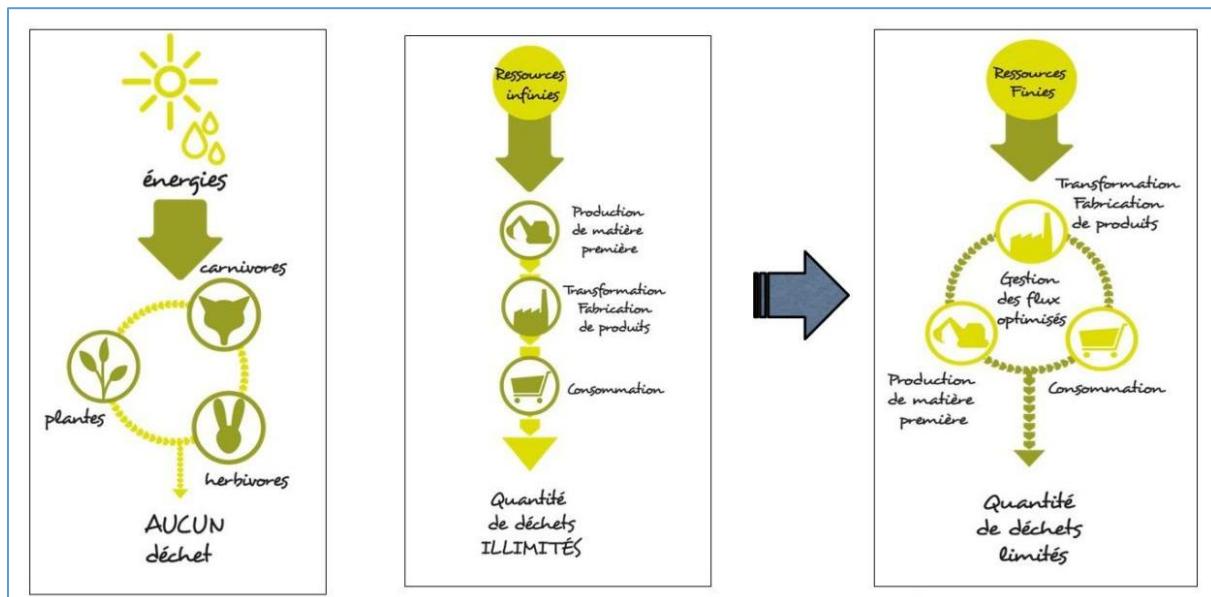


Annexe 6 : Principaux principes de l'écologie urbaine

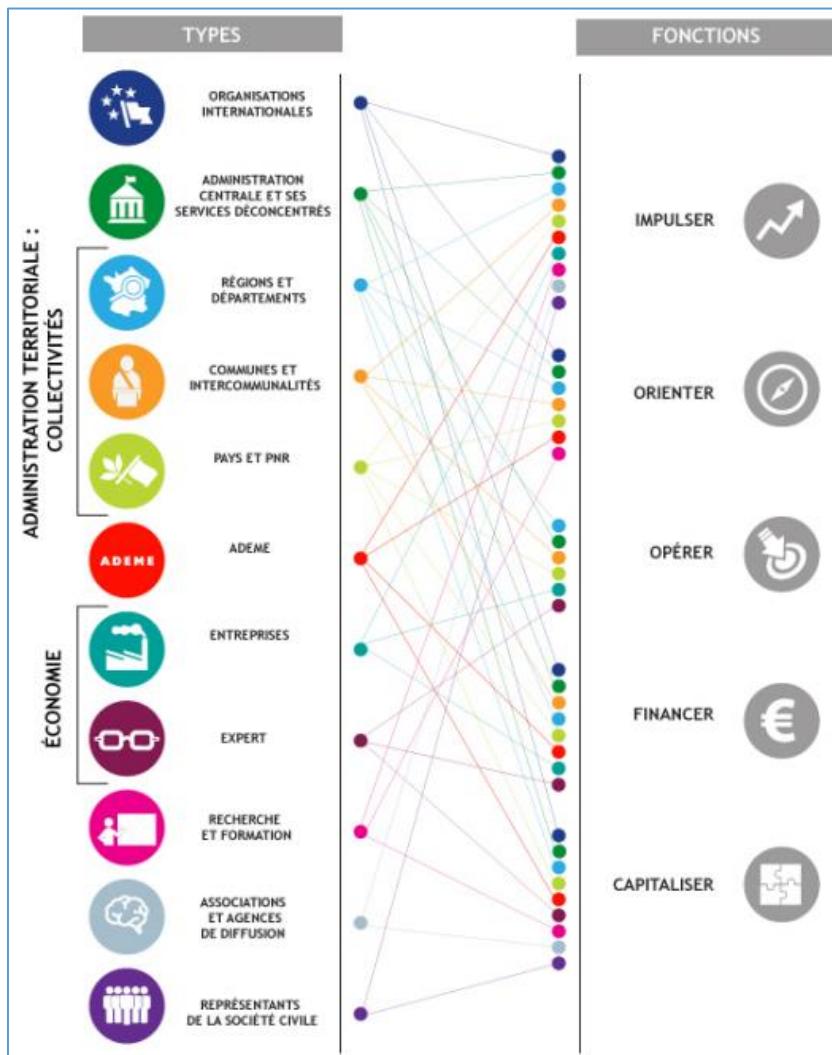
1. Les villes et les zones urbaines sont des écosystèmes humains dans lesquels les processus socio-économiques et écologiques se répercutent les uns sur les autres
2. Les zones urbaines contiennent des parcelles de végétation et de cours d'eau résiduelles ou nouvellement émergentes qui présentent des fonctions écologiques
3. La flore et la faune urbaines sont diverses et cette diversité a de multiples dimensions (par exemple taxonomie, phylogénétique, fonction, origine géographique)
4. Les valeurs et les perceptions humaines sont un lien essentiel qui sert d'intermédiaire entre les rétroactions entre les composantes sociales et écologiques des écosystèmes humains
5. Les processus écologiques sont répartis différemment dans la métropole et la périphérie et l'excès de risques sont souvent associés à l'emplacement des communautés humaines pauvres, victimes de discrimination ou dépourvues de tout autre pouvoir.
6. La forme urbaine est hétérogène à de nombreuses échelles, et l'hétérogénéité à petite échelle est particulièrement notable dans les villes et les banlieues plus anciennes
7. La forme urbaine reflète la planification, les effets accessoires et indirects des décisions sociales et environnementales
8. La forme urbaine est un phénomène dynamique et présente des contrastes dans le temps et entre les régions qui expriment différents contextes culturels et économiques d'urbanisation
9. Les conceptions urbaines et les projets de développement à différentes échelles peuvent être traités comme des expériences et utilisés pour exposer les effets écologiques de différentes stratégies de conception et de gestion.
10. La définition des limites et du contenu d'un modèle de système urbain est définie par les chercheurs en fonction de leurs questions de recherche ou de la portée spatiale de son application prévue.
11. Les comparaisons urbaines peuvent être présentées sous forme de transects linéaires ou de gradients abstraits, et les comparaisons abstraites reconnaissent la complexité spatiale de l'hétérogénéité urbaine.
12. La couverture des terres urbaines et les utilisations des terres s'étendent et s'interconnectent avec les couvertures et les utilisations des terres rurales ou sauvages
13. Le flux d'eau, y compris l'approvisionnement en eau potable, les déchets et la gestion des eaux pluviales, préoccupe les zones urbaines et urbanisées du monde entier et les relie explicitement à des régions plus vastes.

Modifié de Pickett et Cadenasso (2012)

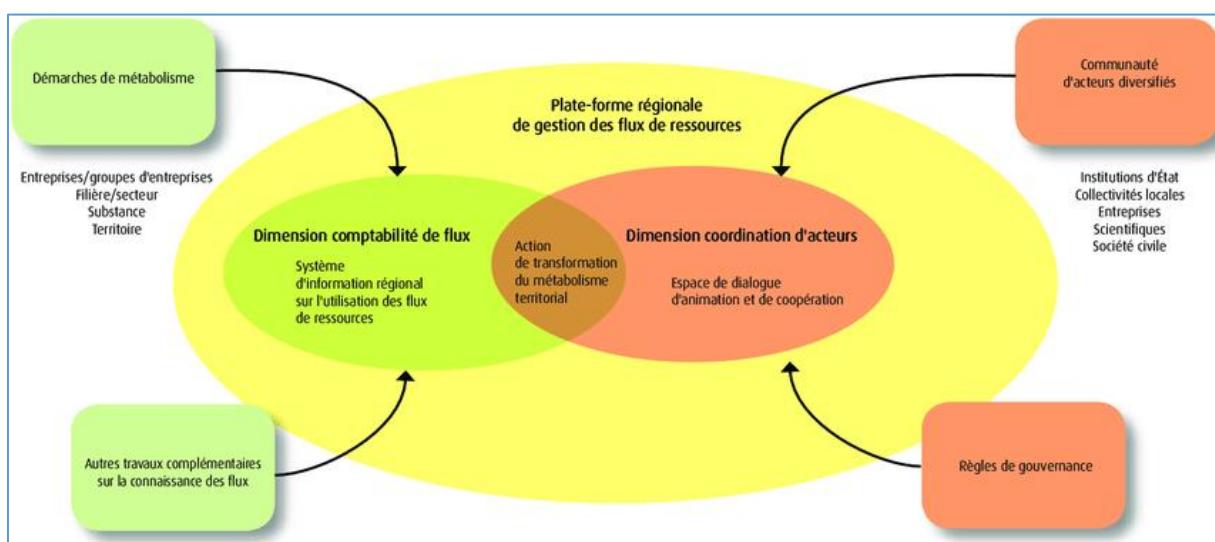
Annexe 7 : Concept de l'écologie industrielle basé sur l'écologie biologique



Annexe 8 : Principaux acteurs de l'écologie industrielle en France



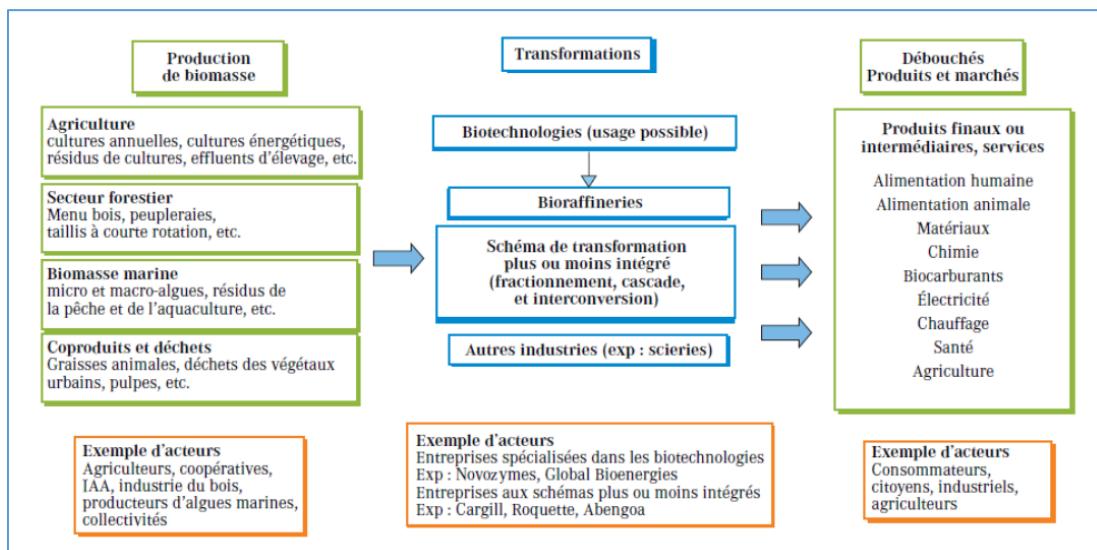
Annexe 9 : Schéma d'organisation d'une plate-forme de gestion des flux basé sur les principes de l'écologie territoriale



Annexe 10 : Schéma circulaire des objectifs intrinsèques de l'écologie territoriale



Annexe 11 : Chaîne de production bioéologique des biomasses



Annexe 12 : Listes des principaux jeux d'indicateurs de biodiversité

➤ Les indicateurs de l'indice de Singapour :

Thématiques	Indicateurs	Variables
Biodiversité indigène	1 Proportion des zones naturelles dans la ville	Superficie totale des zones naturelles / Superficie totale de la collectivité x 100
	2 Mesures de connectivité ou réseaux écologiques pour contrer la fragmentation	(A1 ² + A2 ² + ... + An ²) / Atotal A1 à An : n espaces naturels distincts (non reliés) Atotal : surface totale des espaces naturels
	3 Biodiversité indigène dans les zones construites (espèces d'oiseaux)	Nombre d'espèces d'oiseaux indigènes dans des zones construites comprenant des superficies imperméables, ainsi que des espaces verts anthropogéniques.
	Changement du nombre d'espèces indigènes :	
	- 4 : plantes vasculaires	
	- 5 : oiseaux	Variation nette des espèces (hausse totale du nombre d'espèces - nombre d'espèces disparues)
	- 6 : papillons	
	- 7 et 8 : autres groupes taxonomiques au choix, reflétant le mieux la biodiversité de la ville	
	9 Proportion de zones naturelles protégées	Superficie des zones naturelles protégées ou sécurisées / Superficie totale de la collectivité x 100
	10 Proportion d'espèces non indigènes envahissantes (par opposition aux espèces indigènes)	Nombre d'espèces non indigènes envahissantes* / nombre d'espèces indigènes* x 100 (*d'un groupe taxonomique particulier)
Services écosystémiques	11 Régulation de la quantité d'eau	Superficie perméable totale / Zone terrestre totale de la collectivité x 100
	12 Régulation du climat: stockage de carbone et effet rafraîchissant de la végétation	Couvert forestier / Zone terrestre totale de la collectivité x 100
	13 et Services récréatifs et éducatifs	Superficie des parcs comportant des zones naturelles ou des zones naturelles protégées ou sécurisées / 1000 habitants de la collectivité
	14	Nombre de visites éducatives par enfant de moins de 16 ans dans les parcs comportant des zones naturelles ou protégées ou sécurisées par année
Gouvernance et gestion de la biodiversité	15 Budget attribué à la biodiversité	Sommes investies dans l'administration de la biodiversité / Budget total de la collectivité x 100
	16 Nombre de projets sur la biodiversité mis en œuvre par la ville chaque année	Nombre de programmes et projets mis en œuvre par les autorités municipales, le secteur privé, les ONG, etc. par année
	17 Règlements et politique - Existence de stratégies et de plans d'action locaux pour la biodiversité	Existence de stratégies et de plans d'action locaux pour la biodiversité, liens avec les stratégies et de plans d'action nationaux pour la biodiversité et la CBD
	18 et Capacité institutionnelle	Nombres de fonctions essentielles ayant trait à la biodiversité remplies par la collectivité
	19	Nombre d'agences municipales ou gouvernementales locales engagées dans la coopération interinstitutionnelle pour des actions touchant la biodiversité
	20 et Participation et partenariat	Existence et état d'un processus de consultation publique formel ou informel ayant trait aux affaires touchant la biodiversité
	21	Nombre d'organismes avec lesquelles la collectivité a mis sur pied des partenariats afin de mener des activités, des projets et des programmes axés sur la biodiversité
	22 et Education et sensibilisation	Indication à savoir si les programmes d'enseignement abordent la biodiversité ou la sensibilisation à la nature
	23	Nombre d'événements de sensibilisation du public tenus dans la collectivité chaque année

➤ Les indicateurs du BIP :

Domaines	Indicateurs clés	Indicateurs opérationnels
1 Etat et évolution des éléments constitutifs de la diversité biologique	1 Evolution des biomes, écosystèmes et habitats sélectionnés	1 Etendue des forêts et types de forêts 2 Etendue de divers habitats
	2 Evolution de l'abondance et de la répartition des espèces sélectionnées	3 Indice Planète Vivante 4 Indice global des oiseaux sauvages 5 Indicateur relatif aux oiseaux aquatiques
	3 Couverture des aires protégées	6 Couverture des aires protégées 7 Correspondance avec la biodiversité 8 Efficacité de la gestion
	4 Modification de l'état des espèces menacées	9 Indice Liste Rouge et Indice échantillonnable de la Liste Rouge
	5 Tendances de la diversité génétique	10 Collectes de récoltes ex-situ 11 Diversité génétique des animaux domestiques terrestres
	6 Aires bénéficiant d'une gestion durable	12 Superficie de forêts bénéficiant d'une gestion durable : certification 13 Superficie de forêts bénéficiant d'une gestion durable : dégradation et déboisement
	7 Proportion de produits provenant de sources durables	14 Superficie d'écosystèmes agricoles bénéficiant d'une gestion durable 15 Proportion de stocks de poissons dans des limites biologiques sûres 16 Etat des espèces commercialisées 17 Indice des produits de base sauvages
	8 Empreinte écologique et concepts connexes	18 Empreinte écologique et concepts connexes
	9 Dépôts d'azote	19 Dépôts d'azote
	10 Espèces exotiques envahissantes	20 Evolution des espèces exotiques envahissantes
4 Intégrité de l'écosystème et biens et services qu'il fournit	11 Indice trophique marin	21 Indice trophique marin
	12 Qualité de l'eau des écosystèmes d'eau douce	22 Indice de la qualité de l'eau pour la biodiversité
	13 Connectivité/fragmentation des écosystèmes	23 Fragmentation de la forêt 24 Fragmentation des cours d'eau et régulation du débit
	14 Santé et bien-être des communautés	25 Santé et bien-être des communautés directement tributaires de biens et services d'origine écosystémique
	15 Diversité biologique utilisée dans l'alimentation et la médecine	26 Indicateurs nutritionnels pour la biodiversité 27 Diversité biologique utilisée dans l'alimentation et la médecine
5 Etat des connaissances, innovations et pratiques traditionnelles	16 Etat et évolution de la diversité biologique et des populations de locuteurs de langues autochtones	28 Etat et évolution de la diversité biologique et des populations de locuteurs de langues autochtones
6 Etat de l'accès et du partage des avantages	17 A déterminer	
7 Etat des transferts de ressources	18 Aide officielle au développement fournie en soutien à la Convention	29 Aide officielle au développement fournie en soutien à la Convention

➤ Les indicateurs du programme SEBI de l'EEA[©] :

Thèmes	Indicateurs
1 Statut et évolution des composantes de la biodiversité	1 Abondance et répartition d'espèces sélectionnées (oiseaux, papillons, etc.)
	2 Changement de statut des espèces menacées
	3 Changement de statut des espèces protégées présentant un intérêt européen
	4 Évolution de la couverture écosystémique
	5 Évolution des habitats présentant un intérêt européen
	6 Évolution de la diversité génétique des espèces domestiquées (bétail, cultures)
	7 Couverture des espaces protégés au niveau national
	8 Couverture des sites Natura 2000
2 Menaces pour la biodiversité	9 Charges critiques de dépôts d'azote excédentaires
	10 Évolution des espèces exotiques envahissantes en Europe
	11 Effets du changement climatique sur les espèces sensibles aux variations de températures
3 Intégrité, biens et services écosystémiques	12 Indice trophique marin en Europe
	13 Fragmentation des zones naturelles et semi-naturelles
	14 Fragmentation des systèmes fluviaux
	15 Niveau de nutriments dans les eaux de transition, côtières et marines
	16 Qualité des eaux douces
4 Utilisation durable	17 Zone forestière gérée durablement
	18 Quantité de bois mort dans les forêts
	19 Bilan azoté dans l'agriculture
	20 Zones faisant l'objet d'une gestion potentiellement favorable à la biodiversité
	21 État des stocks commerciaux de poisson en Europe
5 Autres	22 Qualité des effluents des fermes piscicoles
	23 Empreinte écologique des pays européens sur le reste du monde
	24 Demandes de brevets fondées sur les ressources génétiques
5 Autres	25 Financement de la gestion de la biodiversité
	26 Sensibilisation et participation du grand public

➤ Les indicateurs de l'ONB[©] :

Indicateurs	Détails
1 Aide publique au développement à l'international liée à la biodiversité	Dépense nationale pour l'aide publique au développement à l'international en matière de biodiversité ²⁵⁴
2 Aires marines protégées pourvues d'un document de gestion	Proportion, en surface, d'aires marines protégées de plus de trois ans dotées d'un document de gestion validé (DOCOB ou plan de gestion)
3 Artificialisation des territoires d'outre-mer	Surface nette artificialisée annuellement dans les territoires d'Outre-mer
4 Artificialisation du territoire métropolitain	Surface nette artificialisée annuellement en métropole
5 Complétude du réseau d'aires protégées pour les espèces à enjeu	Proportion d'espèces SCAP (Stratégie de Création d'Aires Protégées) pour lesquelles le réseau métropolitain d'aires protégées est considéré comme satisfaisant ou partiellement satisfaisant pour en assurer la conservation (complétude géographique)

6	Degré de connaissance des habitats remarquables	Proportion de paramètres mentionnés comme «inconnus» dans l'évaluation de l'état de conservation des habitats d'intérêt communautaire
7	Degré de connaissance du niveau de menace des espèces	Proportion des espèces évaluées dans les listes rouges UICN-MNHN pour lesquelles les données sont insuffisantes
8	Dépense nationale pour la biodiversité	Dépense nationale pour la préservation de la biodiversité et des paysages
9	Déplacement des espèces lié au changement climatique	Évolution de l'indice thermique moyen des communautés d'oiseaux en réponse au changement climatique
10	Diversité structurelle des forêts métropolitaines	Proportion des surfaces forestières métropolitaines comportant plusieurs strates arborées superposées
11	Effort de conservation des secteurs de nature remarquable	Proportion des surfaces de nature identifiée comme remarquable (ZNIEFF de type 1 et 2) qui fait l'objet d'un statut de protection, de réglementation ou de gestion destiné à favoriser sa conservation (aires protégées, site Natura 2000, PNR, CEN)
12	Espaces protégés recensés dans l'inventaire de la nature remarquable	Proportion des surfaces d'espaces sous protections fortes également recensées dans l'inventaire ZNIEFF des espaces remarquables pour la biodiversité
13	Espèces menacées concernées par un plan national d'action	Espèces menacées concernées par un plan national d'action
14	État de conservation des habitats naturels	Proportion des habitats d'intérêt communautaire évalués qui sont dans un état de conservation favorable
15	État des habitats les plus caractéristiques de la France au niveau européen	Proportion des habitats d'intérêt communautaire pour lesquels la France a une responsabilité supérieure à la moyenne et qui sont en bon état
16	Évolution de l'état de santé des coraux	Évolution du taux de recouvrement de coraux vivants
17	Évolution de l'état des zones humides	Proportion de zones humides au sein d'un échantillon national dont l'évolution est stable ou en amélioration en termes d'étendue et d'état des milieux humides qu'elles abritent
18	Évolution de l'implication des citoyens dans les sciences participatives liées à la biodiversité	Taux d'évolution du nombre de participants actifs aux initiatives de sciences participatives liées à la biodiversité
19	Évolution de la consommation de produits phytosanitaires	Taux d'évolution du nombre de doses unités de produits phytosanitaires
20	Evolution de la densité microbienne des sols en métropole	Taux d'évolution de la densité microbienne moyenne des sols en métropole
21	Évolution de la participation aux actions d'éducation sensible et citoyenne à la biodiversité	Taux d'évolution du nombre d'expériences vécues par le public dans la nature, au contact du vivant, dans le cadre d'un panel d'activités éducatives
22	Évolution de la pollution des cours d'eau	Taux d'évolution de la pollution des cours d'eau par les macro-polluants d'origine urbaine, industrielle et agricole en France métropolitaine
23	Évolution des infrastructures agro-écologiques favorables à la biodiversité	Évolution annuelle de la valeur médiane de la proportion d'infrastructures agro-écologiques dans la SAU des petites régions agricoles
24	Évolution des populations d'oiseaux communs spécialistes	Taux d'évolution de l'abondance des oiseaux communs spécialistes métropolitains
25	Evolution des populations de chauves-souris	Taux d'évolution de l'abondance des Chiroptères métropolitains
26	Évolution des surfaces de grands espaces toujours en herbe	Taux d'évolution de la surface toujours en herbe (STH), surfaces collectives incluses, des petites régions agricoles (PRA) où ces surfaces représentent au moins 20% de la SAU
27	Évolution du nombre de traces de pontes de tortues marines en Outre-mer	Taux d'évolution du nombre de traces de pontes de tortues marines dans les territoires ultramarins
28	Évolution du volume de données disponibles sur la biodiversité	Taux de progression annuelle du nombre de données élémentaires d'échange accessibles depuis la plateforme du système d'information sur la nature et les paysages
29	Evolution en métropole des volumes de bois particulièrement favorable à la biodiversité liée aux stades vieillissants des arbres	Proportion des sylvo-éco-régions dont le volume de bois mort et très gros bois [se maintient ou ?] progresse

30	Exhaustivité de la liste des espèces connues en Outre-mer	Proportion de groupes taxonomiques pour lesquels le niveau d'exhaustivité de la liste des espèces connues en Outre-mer (référentiel taxonomique) est jugé satisfaisant au regard des connaissances disponibles
31	Fragmentation des cours d'eau	Densité d'obstacles à l'écoulement des cours d'eau métropolitains
32	Fragmentation des milieux naturels	Taille effective de maille des espaces naturels en France métropolitaine
33	Hétérogénéité des cortèges d'espèces	Evolution de l'indice de spécialisation moyenne des communautés (CSI) de différents groupes (oiseaux, orthoptères, etc.) par rapport aux habitats
34	Importance accordée par les Français aux problèmes de biodiversité	Proportion de la population française mettant la disparition de certaines espèces végétales ou animales parmi les deux problèmes liés à la dégradation de l'environnement les plus préoccupants
35	Niveau de connaissance de la répartition des espèces marines	Proportion d'espèces marines valides listées dans TAXREF faisant l'objet d'au moins une donnée d'occurrence dans l'INPN
36	Niveau de connaissance de la répartition des espèces métropolitaines	Proportion d'espèces métropolitaines valides listées dans TAXREF faisant l'objet d'au moins une donnée d'occurrence dans l'INPN
37	Niveau de prospection naturaliste dans les sites remarquables	Nombre moyen de groupes taxonomiques et d'habitats estimés bien connus par Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) de type 1
38	Nombre d'espèces en Outre-mer parmi les plus envahissantes au monde	Nombre d'espèces présentes dans au moins un des territoires ultramarins parmi la liste de 100 espèces considérées par l'IUCN comme les plus envahissantes au monde
39	Nombre d'espèces endémiques en France	Nombre d'espèces métropolitaines et ultramarines endémiques et sub-endémiques
40	Nombre d'espèces endémiques en Outre-mer	Nombre d'espèces endémiques et sub-endémiques en Outre-mer
41	Nombre d'habitats écologiquement fonctionnels	Proportion des habitats d'intérêt communautaire dont les structures et fonctions sont en bon état de conservation
42	Part des espaces naturels français à l'échelle européenne	Proportion de la surface de milieux naturels en France par rapport à la surface de milieux naturels dans l'Union européenne des 27
43	Part du territoire des DOM occupé par les écosystèmes peu anthropisés	Part du territoire des DOM occupé par les écosystèmes peu anthropisés
44	Part du territoire métropolitain occupé par les écosystèmes peu anthropisés	Part du territoire métropolitain occupé par les écosystèmes peu anthropisés
45	Principal milieu naturel métropolitain détruit par artificialisation	Surface perdue du principal type de milieux naturels métropolitains détruits par artificialisation
46	Principal milieu naturel ultramarin détruit par artificialisation	Surface perdue du principal type de milieux naturels ultramarins détruits par artificialisation
47	Proportion d'espèces métropolitaines éteintes ou menacées dans les listes rouges	Proportion d'espèces en catégories éteintes ou menacées dans les listes rouges IUCN-MNHN pour la France métropolitaine par rapport au nombre total d'espèces évaluées
48	Proportion d'espèces ultramarines éteintes ou menacées dans les listes rouges	Proportion d'espèces en catégories éteintes ou menacées dans les listes rouges de l'IUCN (évaluations internationales) pour les territoires de la France ultramarine par rapport au nombre total d'espèces évaluées
49	Proportion de mangroves sous pression anthropique	Proportion des surfaces de mangroves et de milieux associés soumises à au moins une pression d'origine anthropique
50	Qualité écologique des eaux de surface	Proportion des rivières, des plans d'eau, des lagunes, des estuaires et des mers côtières en bon état écologique
51	Responsabilité de la France métropolitaine pour les espèces menacées au niveau européen	Parmi les espèces menacées évaluées par l'IUCN international au niveau européen, proportion des espèces qui sont présentes en France métropolitaine
52	Responsabilité internationale de la France pour les espèces les plus originales	Nombre d'espèces françaises d'amphibiens et de mammifères présentes dans les listes mondiales EDGE

53	Surface d'habitats naturels en bon état	Proportion des habitats d'intérêt communautaire évalués qui sont dans un état de conservation favorable en France métropolitaine, pondéré par la surface des habitats
54	Surfaces en aires protégées terrestres en métropole	Proportion de la superficie terrestre du territoire métropolitain classée en aires protégées (protection forte)
55	Surfaces en aires protégées terrestres en Outre-mer	Proportion de la superficie terrestre des territoires ultramarins classée en aires protégées (protection forte)
56	Territoire couvert par un schéma d'aménagement du territoire incluant les enjeux biodiversité	Proportion du territoire français couvert par un schéma de cohérence territoriale incluant les enjeux biodiversité ("SCOT Grenelle")

➤ Les indicateurs de suivi et d'évaluation des SRCE :

Thème	Code	Nom de l'indicateur
Eléments constitutifs de la Trame Verte et Bleue	RC	Nombre et surface des réservoirs de biodiversité et des corridors du SRCE par type d'objectif
	RB1	Surface-compacité des réservoirs de biodiversité
	RB2	Surface et connectivité par type de milieu dans chaque réservoir de biodiversité
	COR	Linéaire de cours d'eau bénéficiant d'une interface entre sa ripisylve et un élément de TVB (corridor) défini dans le SRCE
	EM	Surfaces d'espaces de mobilité des cours d'eau
	OS1	Part du territoire régional par type d'occupation du sol
	OS2	Part des milieux naturels de la région détruits par artificialisation
	OS3	Degré d'hétérogénéité des milieux dans les réservoirs de biodiversité, en fonction des objectifs
	OS4	Taux de renaturation sur le territoire régional et dans les éléments de Trame verte et bleue
	F1	Fragmentation des espaces naturels et semi-naturels
Fragmentation du territoire et son évolution	F2	Fragmentation théorique des milieux aquatiques
	OB1	Nombre de points de conflits faune/route
	OB2	Niveau de fragmentation due aux infrastructures linéaires de transport et ouvrages faisant obstacle à la continuité écologique
	C1	Connectivité structurelle des milieux
	C2	Hiérarchisation des réservoirs de biodiversité dans leur contribution à la connectivité globale du territoire
	DEN	Densité d'éléments de TVB définis dans le SRCE sur le territoire régional et par sous-trame
	ESP1	Suivi des déplacements de certaines espèces à l'aide d'études locales
	ESP2	Suivi de la répartition de certaines espèces
	ESP3	Suivi génétique régional de certaines espèces
	HAB	Connectivité des habitats de la cohérence nationale TVB
Contribution de la trame régionale aux enjeux de cohérence nationale	INTER1	Part de réservoirs de biodiversité et de corridors également identifiés comme éléments de TVB par les SRCE des régions limitrophes
	INTER2	Part de réservoirs de biodiversité et de corridors interrégionaux ayant le même objectif dans les SRCE des régions voisines
	INTER3	Nombre d'actions communes engagées sur des éléments de trame interrégionaux
	INTER4	Nombre de rencontres avec les régions voisines dans un but d'articulation de projets en faveur des continuités écologiques

Mise en œuvre du SRCE	ACT1	Taux de réalisation des actions et de respect des engagements prévus dans le plan d'action stratégique du SRCE
	ACT1CONN	Taux de réalisation des actions du SRCE en matière de connaissance
	ACT1EAU	Taux de réalisation des actions du SRCE de restauration des cours d'eau
	ACT1INFRA	Taux de réalisation des actions du SRCE de traitement des obstacles liés à des infrastructures linéaires existantes
	ACT2	Répartition des moyens financiers alloués aux actions et engagements figurant dans le plan d'action stratégique du SRCE
	ACT3	Part des aides accordées par l'Etat et/ou le Conseil régional, dans les différentes politiques publiques (agriculture, transport, urbanisme...) soumises à des critères liés au SRCE
	ACT4	Nombre de nouveaux projets de territoires (approche collective à l'échelle d'une ou plusieurs continuités écologiques) ayant pour objectif la préservation et la remise en bon état de continuités écologiques
	ACT5	Part de la surface totale (ou linéaire) sur lesquelles les actions réalisées ont porté par rapport à la surface totale sur lesquelles les actions prévues devaient porter
	ACT6	Présence d'objectifs chiffrés dans le plan d'action du SRCE
	URBA1	Nombre de documents d'urbanisme révisés ou modifiés prenant en compte le SRCE
Mise en œuvre du SRCE	URBA2	Nombre de documents d'urbanisme prenant en compte les zones à enjeux, éléments TVB identifiés dans le SRCE et part des surfaces identifiées en éléments de TVB dans les documents sur la surface totale du territoire couvert par le document d'urbanisme
	URBA3	Surfaces des différents zonages des PLU révisés après adoption du SRCE et corrélation de cette évolution avec les éléments de TVB du SRCE
	PROJ1	Nombre d'avis émis par le CRTVB sur des projets d'aménagement du territoire et nature de l'avis émis
	PROJ2	Contribution de mesures compensatoires aux objectifs du SRCE : réalisation de mesures compensatoires visant à remettre en bon état un ou des éléments de TVB identifiés dans le SRCE
	PROJ3	Part de projets de l'Etat et des collectivités territoriales, faisant l'objet d'un avis de l'Etat, refusés ou modifiés au titre du SRCE
	GOUV1	Nombre de réunions du Comité régional Trame verte et bleue
	GOUV2	Nombre de projets en faveur des continuités écologiques co-construits par plusieurs partenaires, financés par l'Etat ou la Région
	INFO	Nombre d'actions de communication, de sensibilisation et de formation sur les enjeux du SRCE
	AGRI1	Existence d'un dispositif de mise en place de mesures agri-environnementales ciblé sur des éléments de Trame verte et bleue
	AGRI2	Part des MAE mises en place pour préserver ou remettre en bon état des éléments de la TVB
Mise en œuvre du SRCE	SCAP	Part d'aires protégées nouvellement créées faisant partie des éléments TVB identifiés dans le SRCE
	NAT	Part de DOCOB créés ou renouvelés abordant l'enjeu de fragmentation dans le diagnostic du site ou dans les mesures proposées
	PNA	Part de PNA pilotés ou déclinés en région abordant la fragmentation des populations (diagnostic ou actions)

1 PAS DE PAUVRETÉ 	ODD1 : Éliminer l'extrême pauvreté et la faim
2 FAIM «ZÉRO» 	ODD2 : Éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir l'agriculture durable
3 BONNE SANTÉ ET BIEN-ÊTRE 	ODD3 : Permettre à tous de vivre en bonne santé et promouvoir le bien-être de tous à tout âge
4 ÉDUCATION DE QUALITÉ 	ODD4 : Assurer l'accès de tous à une éducation de qualité, sur un pied d'égalité, et promouvoir les possibilités d'apprentissage tout au long de la vie
5 ÉGALITÉ ENTRE LES SEXES 	ODD5 : Parvenir à l'égalité des sexes et autonomiser toutes les femmes et les filles
6 EAU PROPRE ET ASSAINISSEMENT 	ODD6 : Garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau
7 ÉNERGIE PROPRE ET D'UN COÛT ABORDABLE 	ODD7 : Garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable
8 TRAVAIL DÉCENT ET CROISSANCE ÉCONOMIQUE 	ODD8 : Promouvoir une croissance économique soutenue, partagée et durable, le plein emploi productif et un travail décent pour tous
9 INDUSTRIE, INNOVATION ET INFRASTRUCTURE 	ODD9 : Bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation

10 INÉGALITÉS
RÉDUITES



ODD10 : Réduire les inégalités dans les pays et d'un pays à l'autre

11 VILLES ET COMMUNAUTÉS DURABLES



ODD11 : Faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables

12 CONSOMMATION ET PRODUCTION RESPONSABLES



ODD12 : Établir des modes de consommation et de production durables

13 MESURES RELATIVES À LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES



ODD13 : Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions

14 VIE AQUATIQUE



ODD14 : Conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable

15 VIE TERRESTRE



ODD15 : Préserver et restaurer les écosystèmes terrestres, en veillant à les exploiter de façon durable, gérer durablement les forêts, lutter contre la désertification, enrayer et inverser le processus de dégradation des sols et mettre fin à l'appauvrissement de la biodiversité

16 PAIX, JUSTICE ET INSTITUTIONS EFFICACES



ODD16 : Promouvoir l'avènement de sociétés pacifiques et ouvertes à tous aux fins du développement durable, assurer l'accès de tous à la justice et mettre en place, à tous les niveaux, des institutions efficaces, responsables et ouvertes à tous

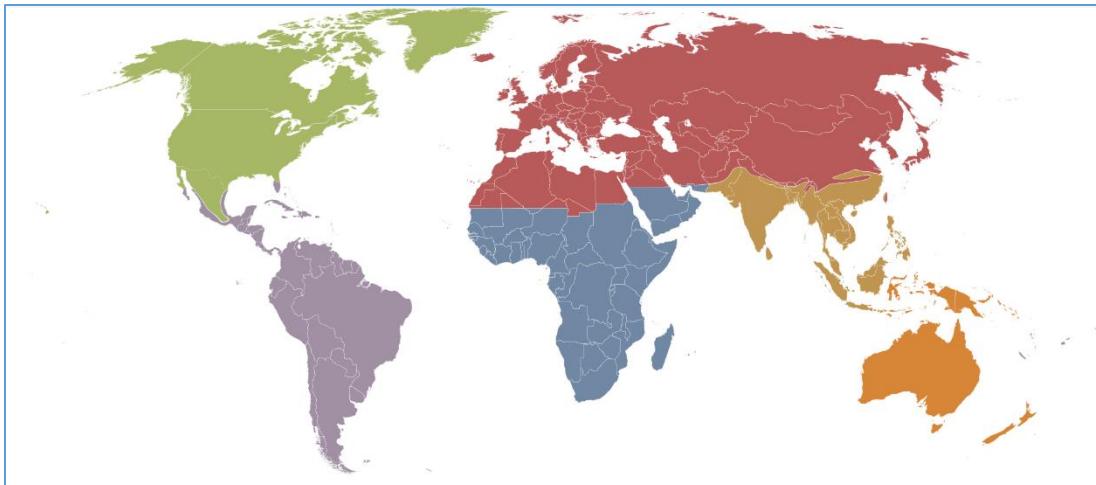
17 PARTENARIATS POUR LA RÉALISATION DES OBJECTIFS



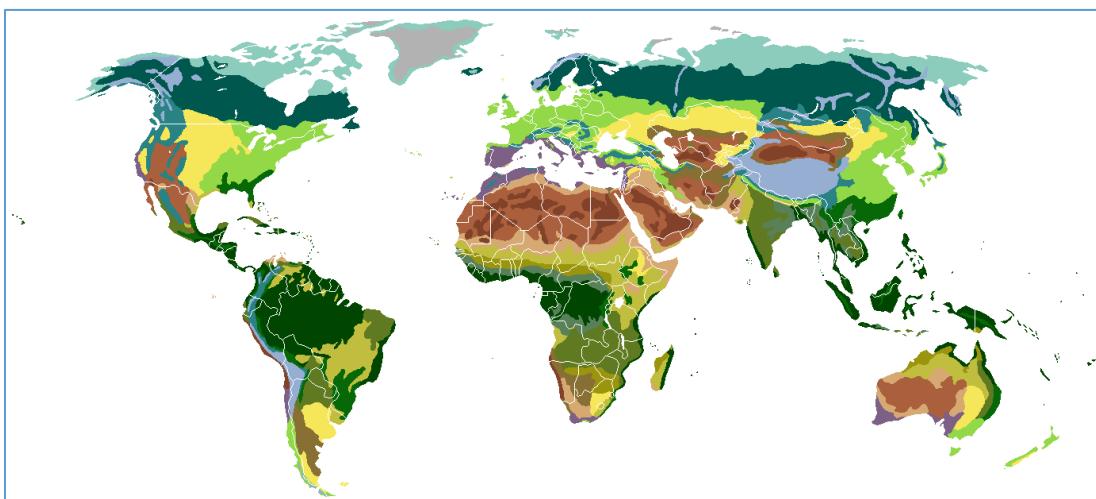
ODD17 : Partenariats pour la réalisation des Objectifs

Annexe 14 : Cartes des différentes unités écologiques planétaires

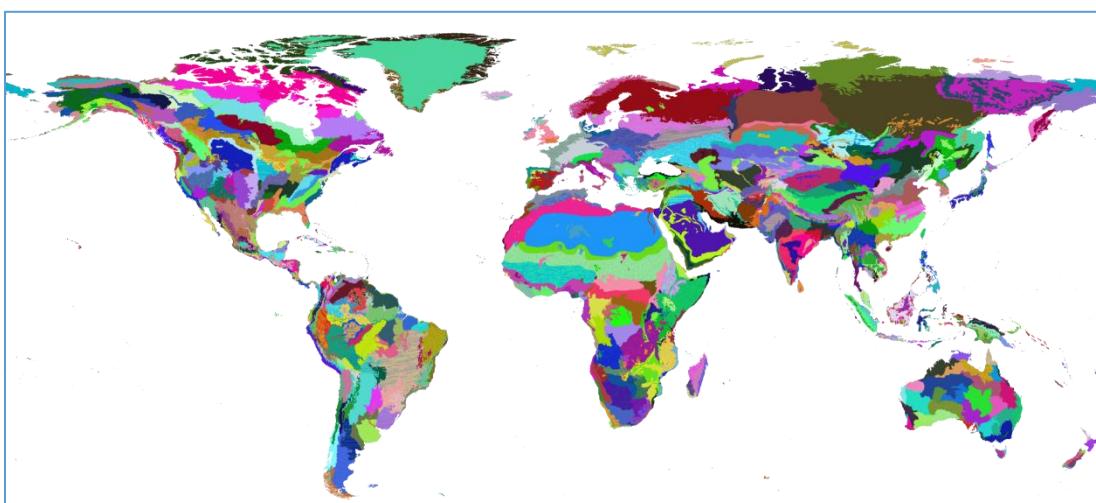
➤ Ecozones terrestres :



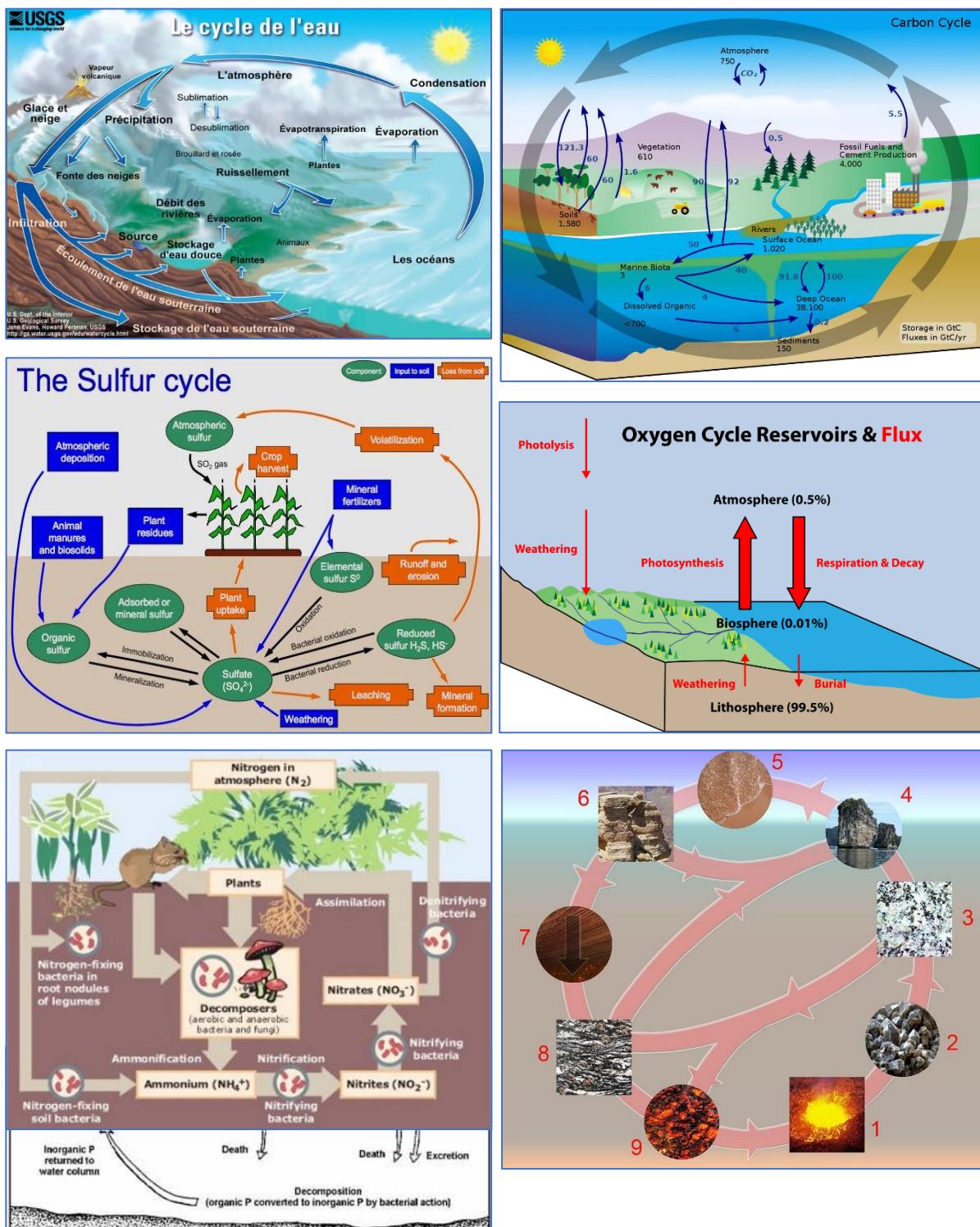
➤ Ecoprovinces terrestres :



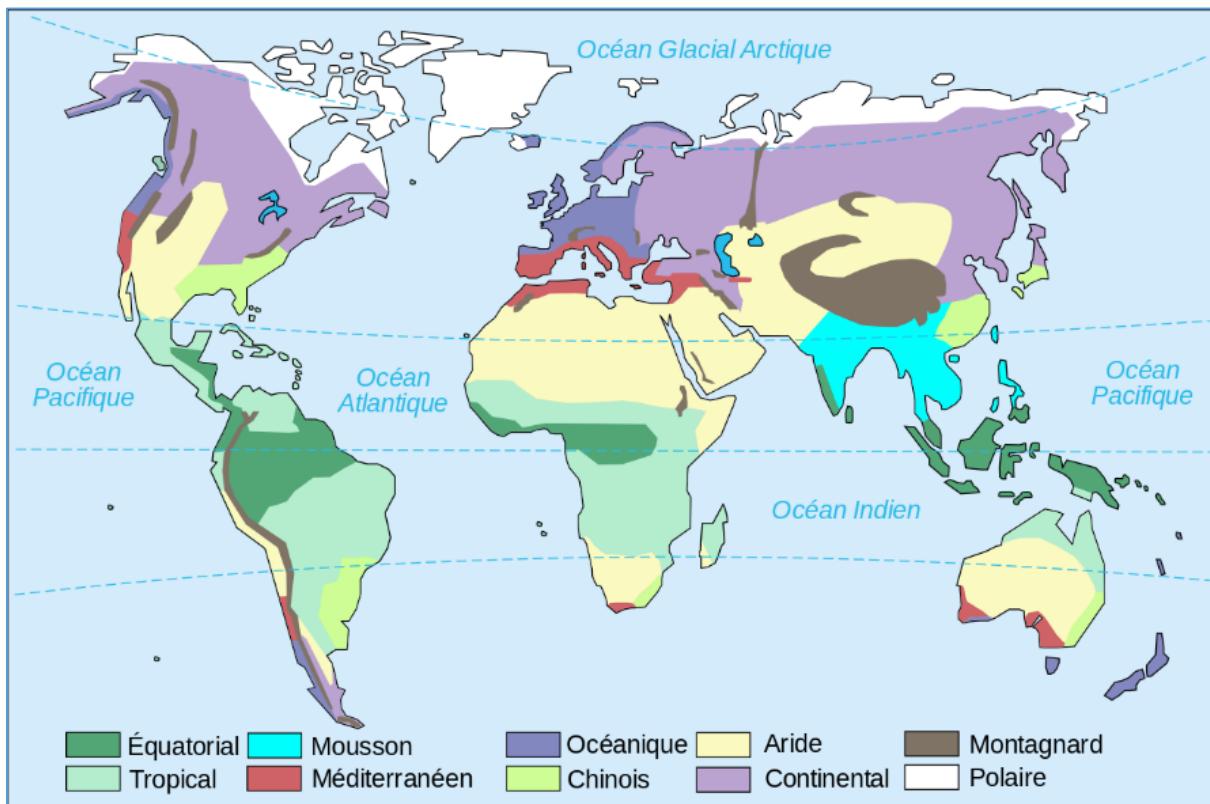
➤ Ecorégions terrestres :



Annexe 15 : Schémas des principaux cycles biogéochimiques de la biosphère



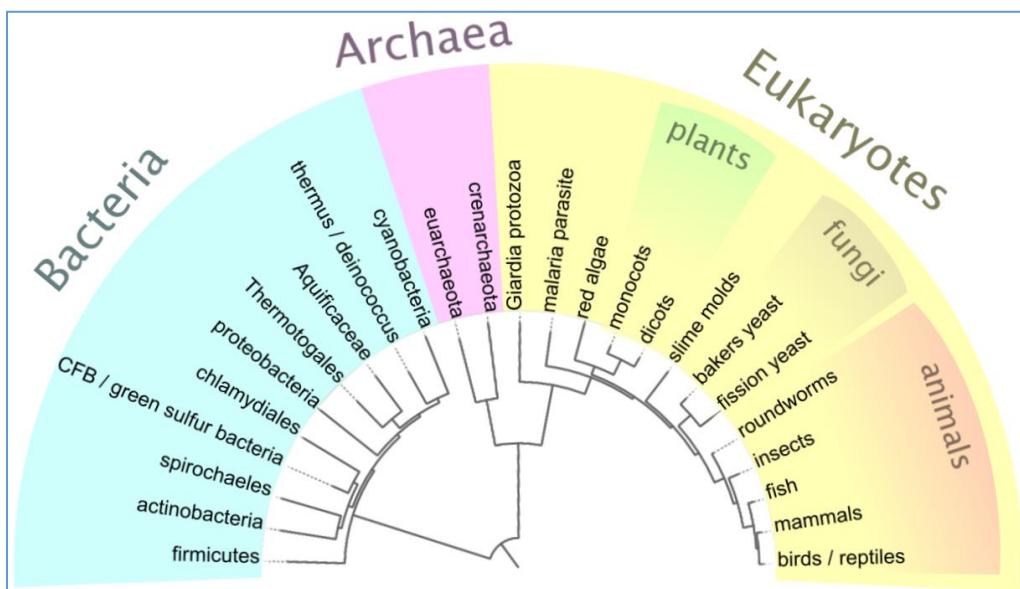
Annexe 16 : Cartes des différents climats terrestres



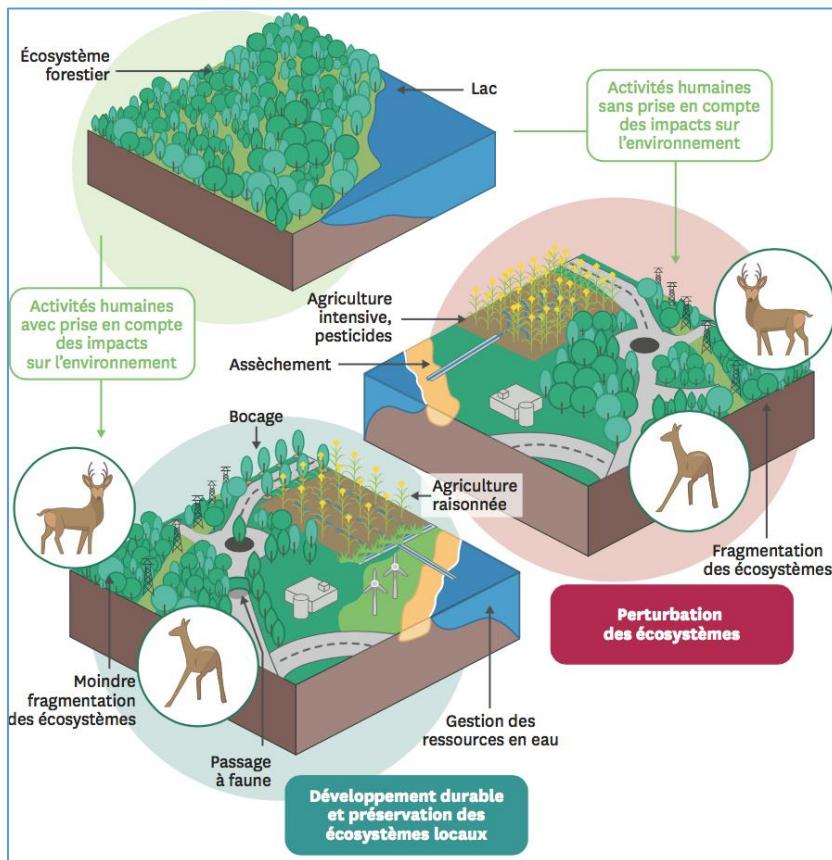
Annexe 17 : Liste complète des niveaux typologiques EUNIS

- https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/documentation/GP2018-Eunis_Annexe.pdf

Annexe 18 : Arbre phylogénétique simplifié des groupes d'espèces vivantes



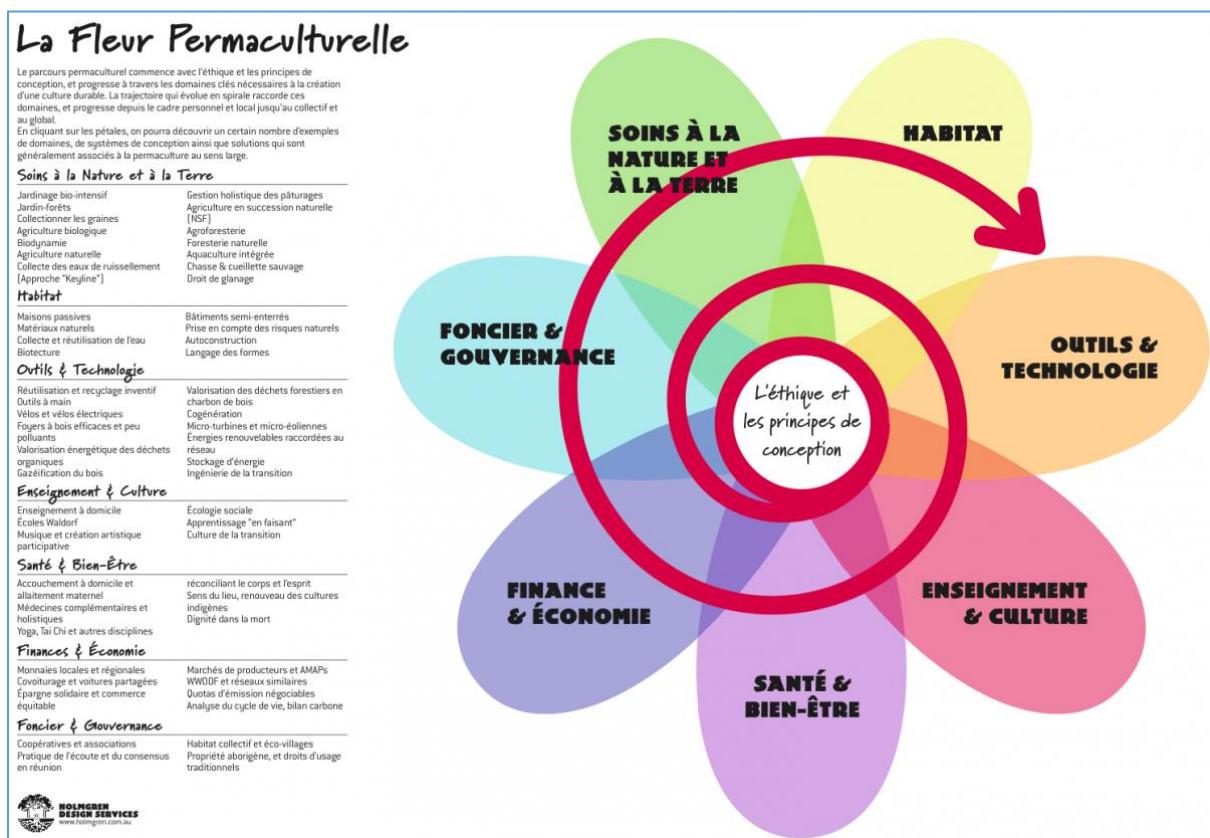
Annexe 19 : Activités humaines et écosystèmes



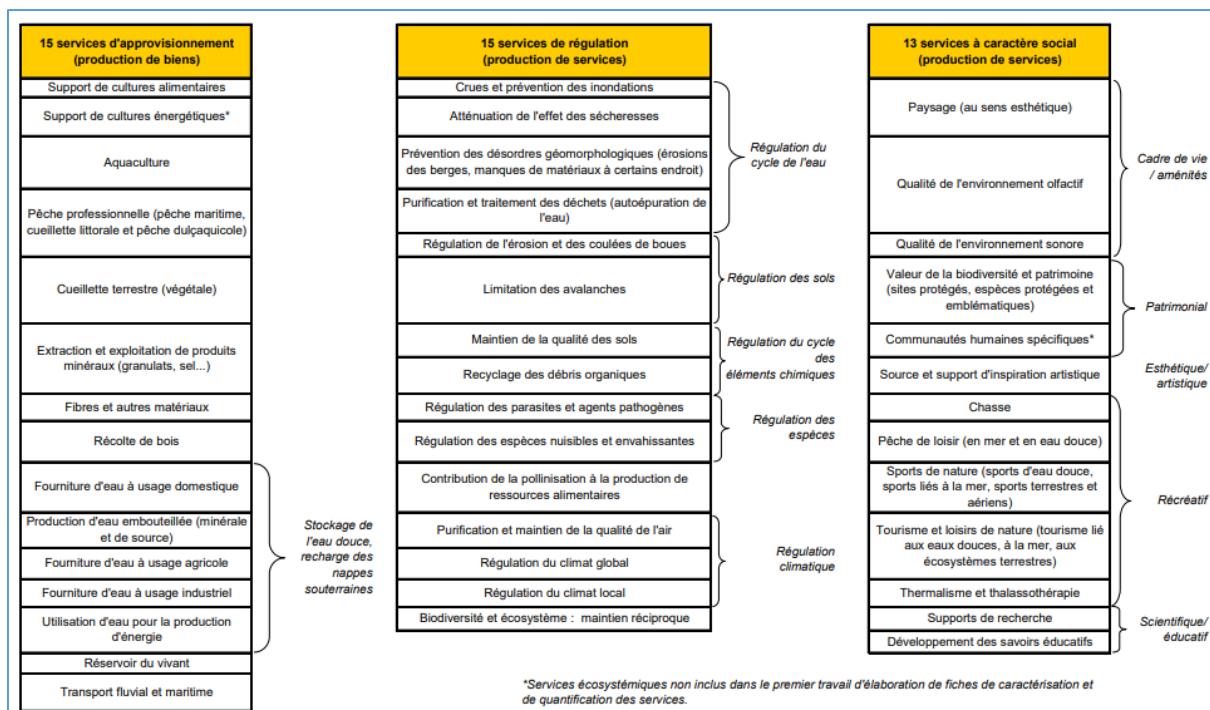
Annexe 20 : Boussole de la résilience territoriale



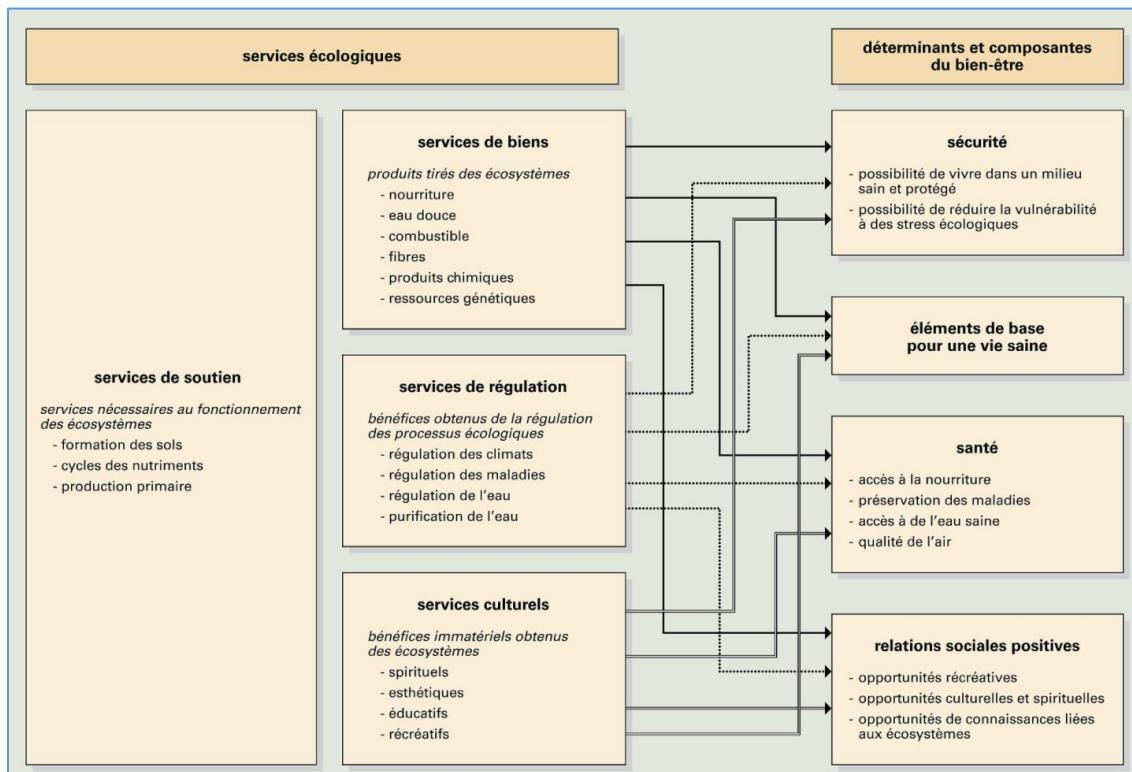
Annexe 21 : La fleur permaculturelle



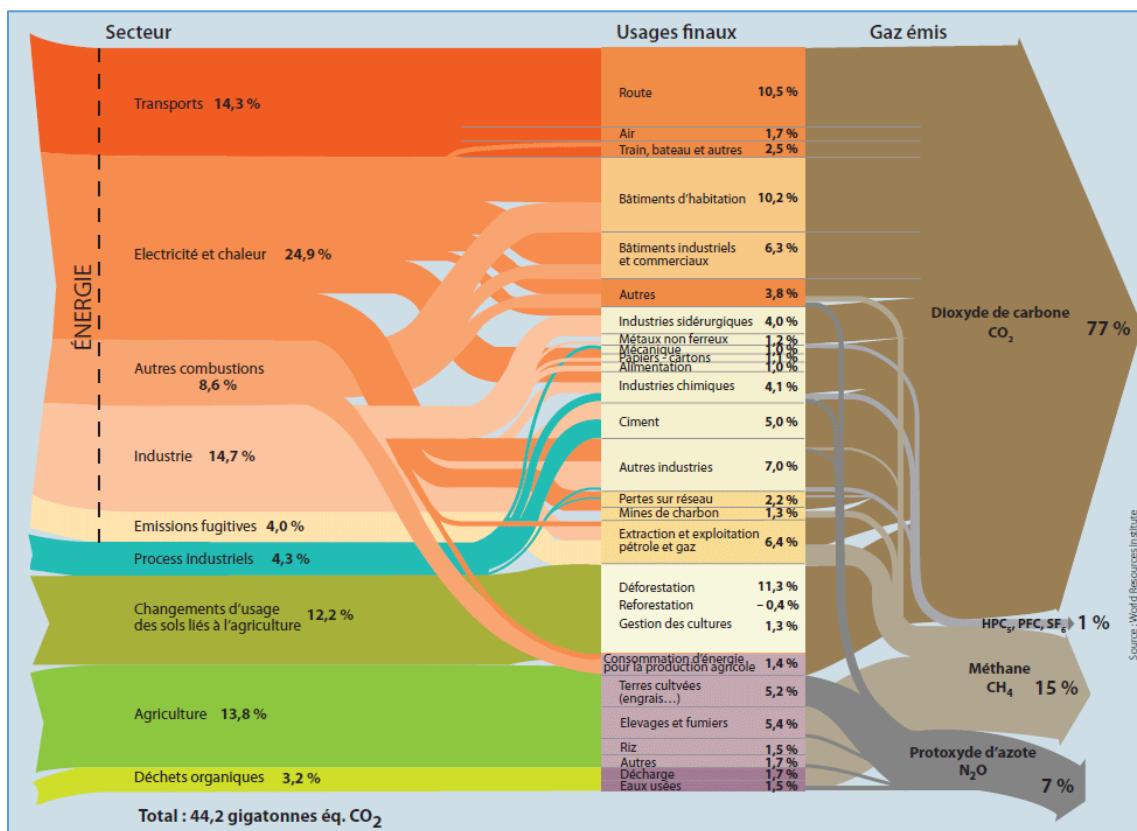
Annexe 22 : Les 43 services rendus par les écosystèmes en France



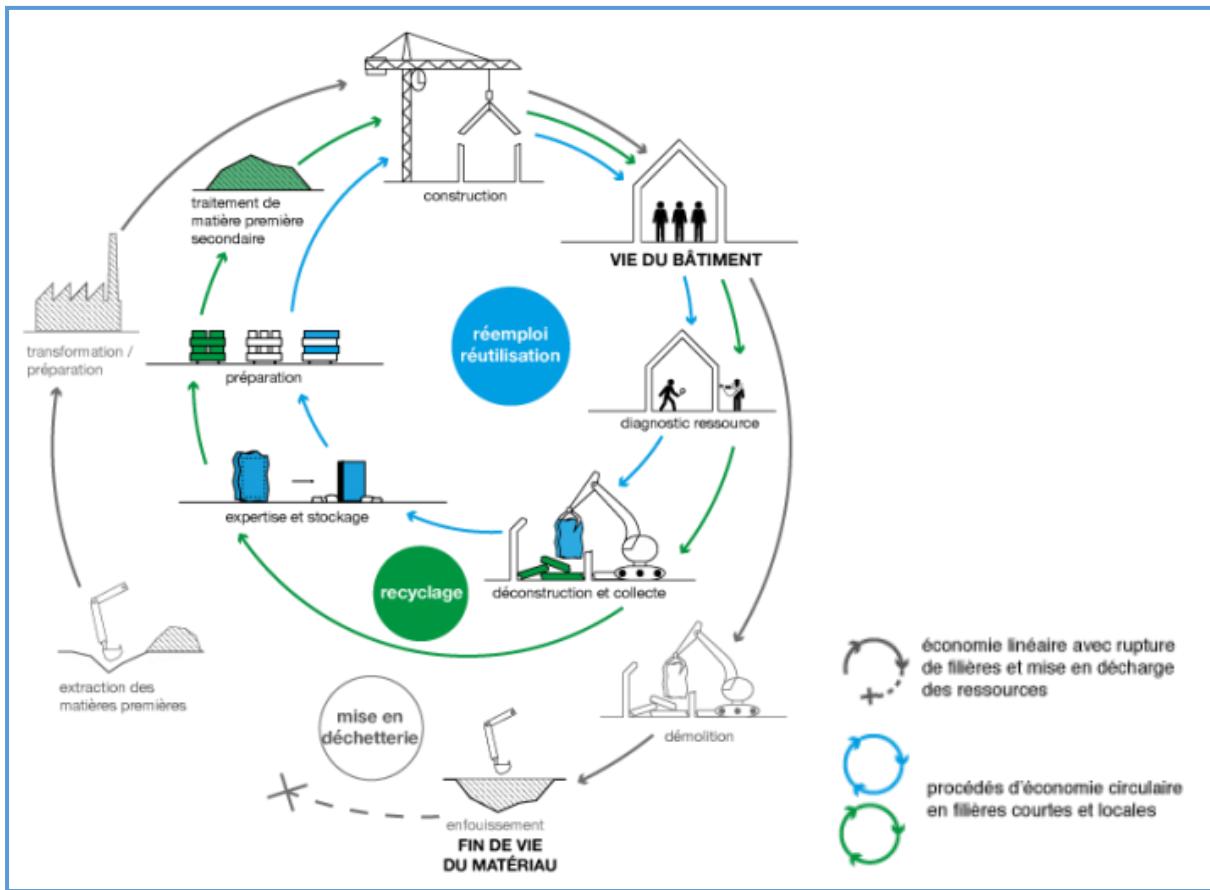
Annexe 23 : Services écologiques et leurs liens avec le bien-être humain



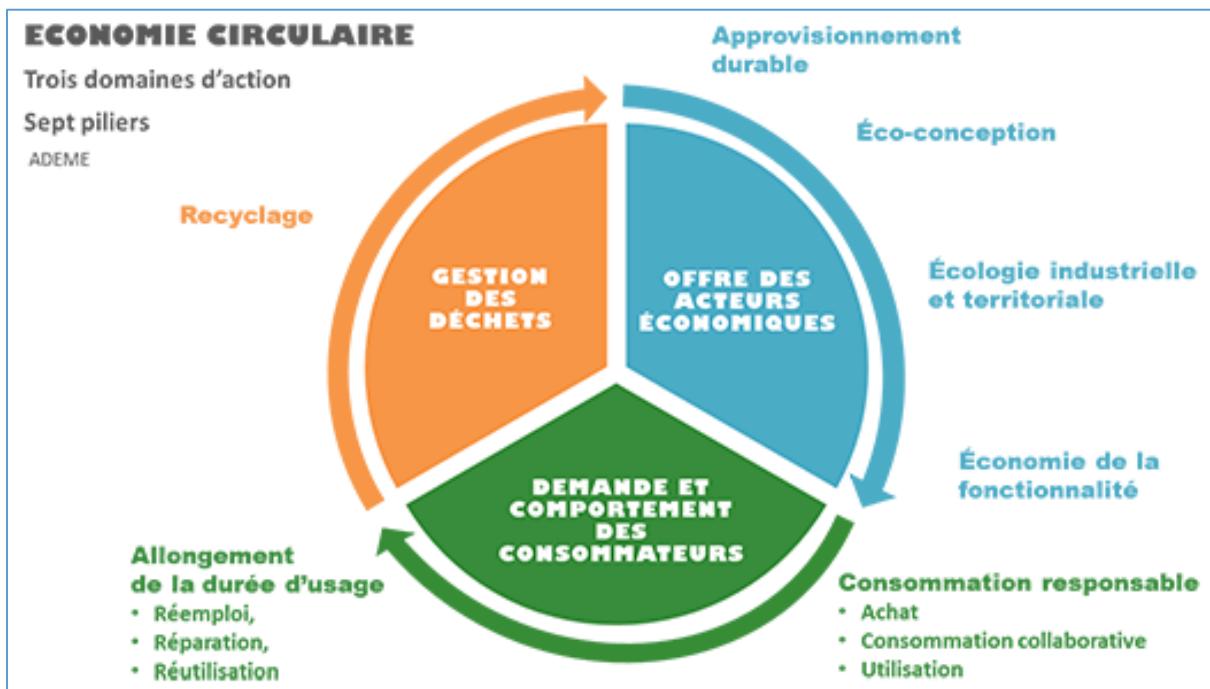
Annexe 24 : Répartition des émissions globales de gaz à effet de serre en 2005



Annexe 25 : Démarche de l'économie circulaire appliquée au métabolisme urbain

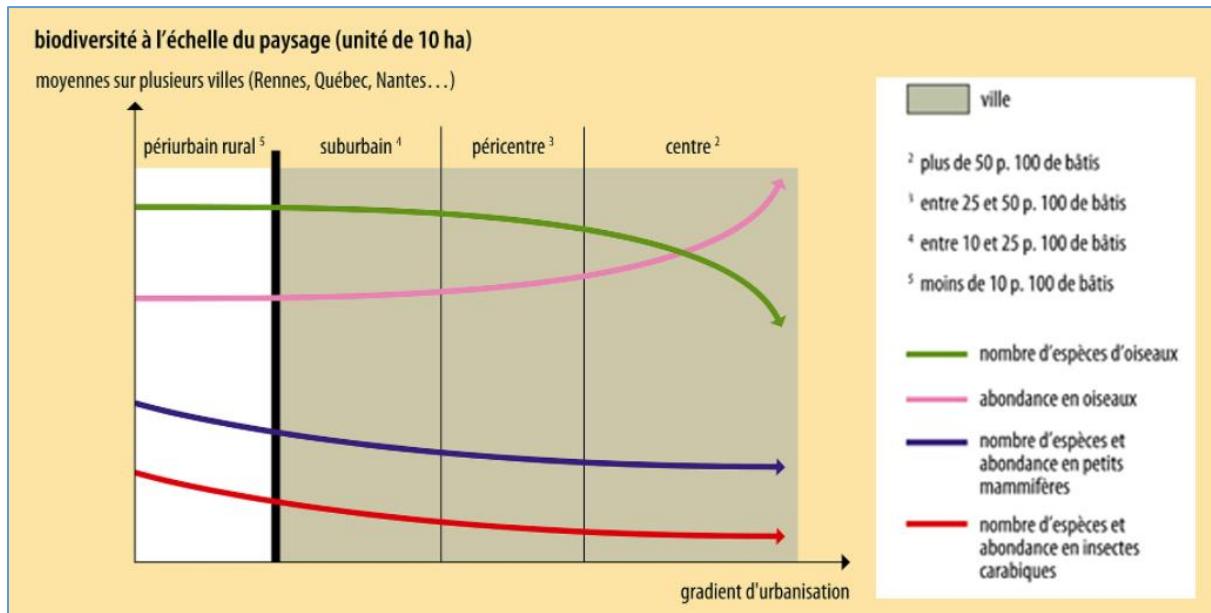


Annexe 26 : Schéma des 7 piliers de l'économie circulaire

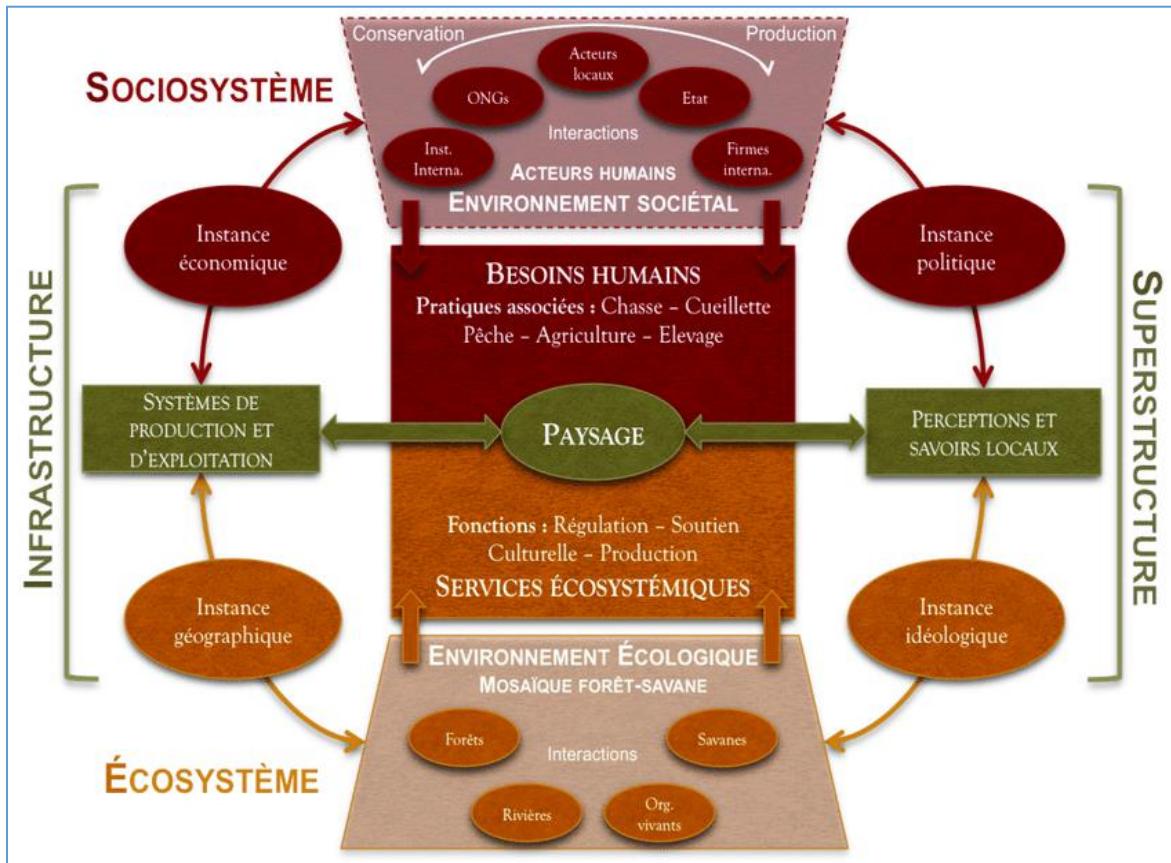


- Production :
 - Approvisionnement durable : Pour une exploitation/extraction des ressources plus durables et moins impactantes sur l'environnement.
 - Eco-conception : Pour concevoir l'ensemble du cycle de vie (du produit, service ou autre) en minimisant l'impact environnemental.
 - Symbiose industrielle : Pour des échanges de flux et une mutualisation des besoins et des rebus de différentes entreprises d'un même territoire, afin d'optimiser l'utilisation des ressources ou des équipements.
 - Economie fonctionnelle : Pour privilégier l'usage collaboratif ou la prestation à la possession personnelle.
- Utilisation :
 - Consommation responsable : Pour une consommation sobre et raisonnée, qui prend en compte les critères socio-écologiques.
 - Allongement de la durée d'usage : Pour un recours au réemploi (don ou vente en occasion), à la réutilisation (pour une autre utilité ou en pièces détachées) ou à la réparation (ou reconditionnement).
- Gestion des déchets :
 - Recyclage : Pour un traitement et une valorisation des déchets collectés.

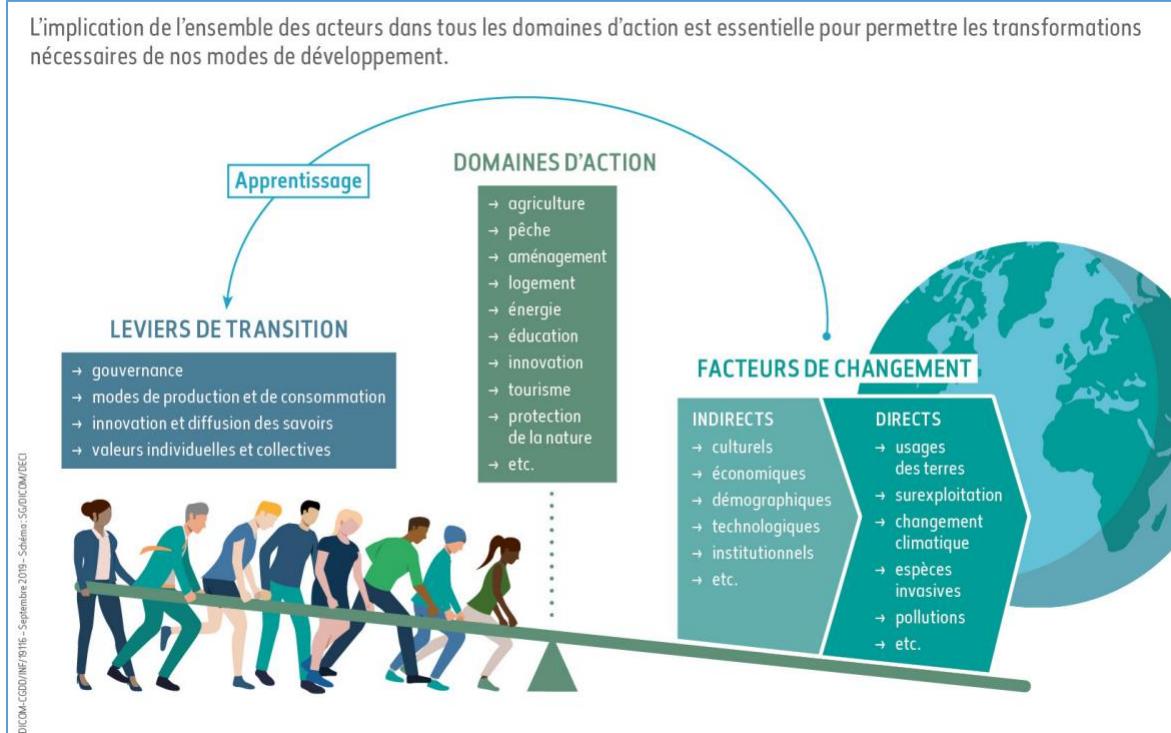
Annexe 27 : Biodiversité et gradient d'urbanisation



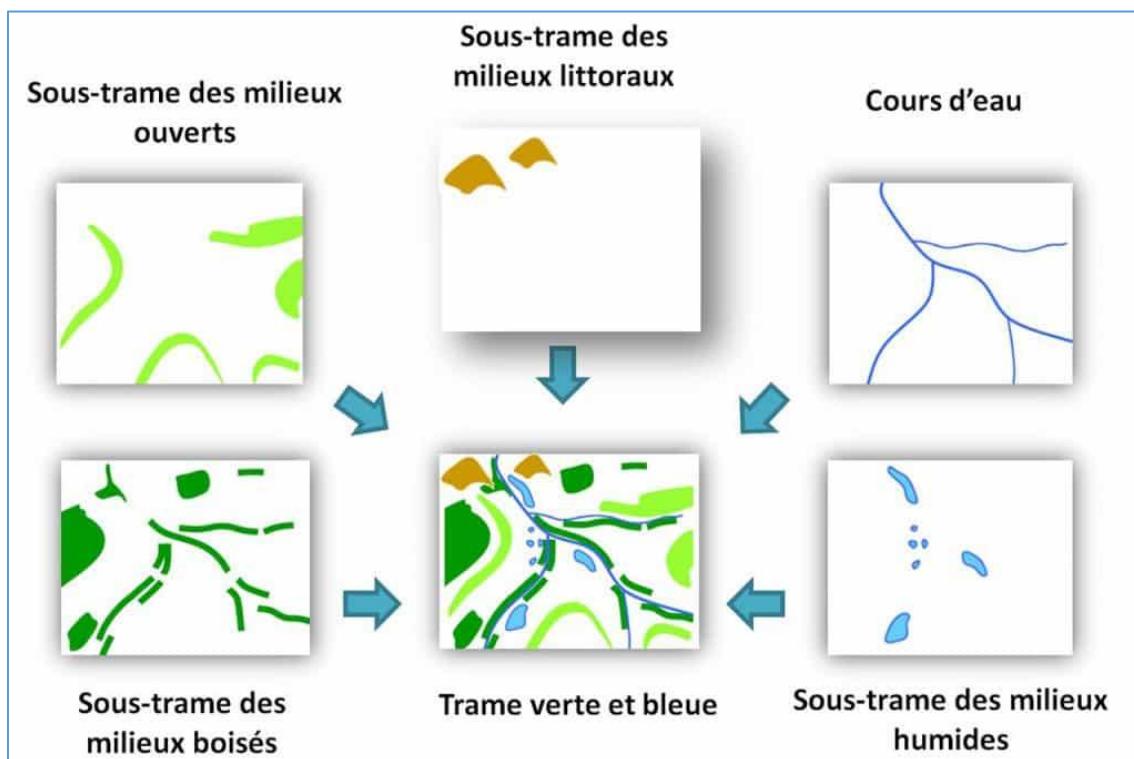
Annexe 28 : Système complexe des relations humains-milieu élaboré à partir des concepts de socioécosystème et de formation socio-spatiale



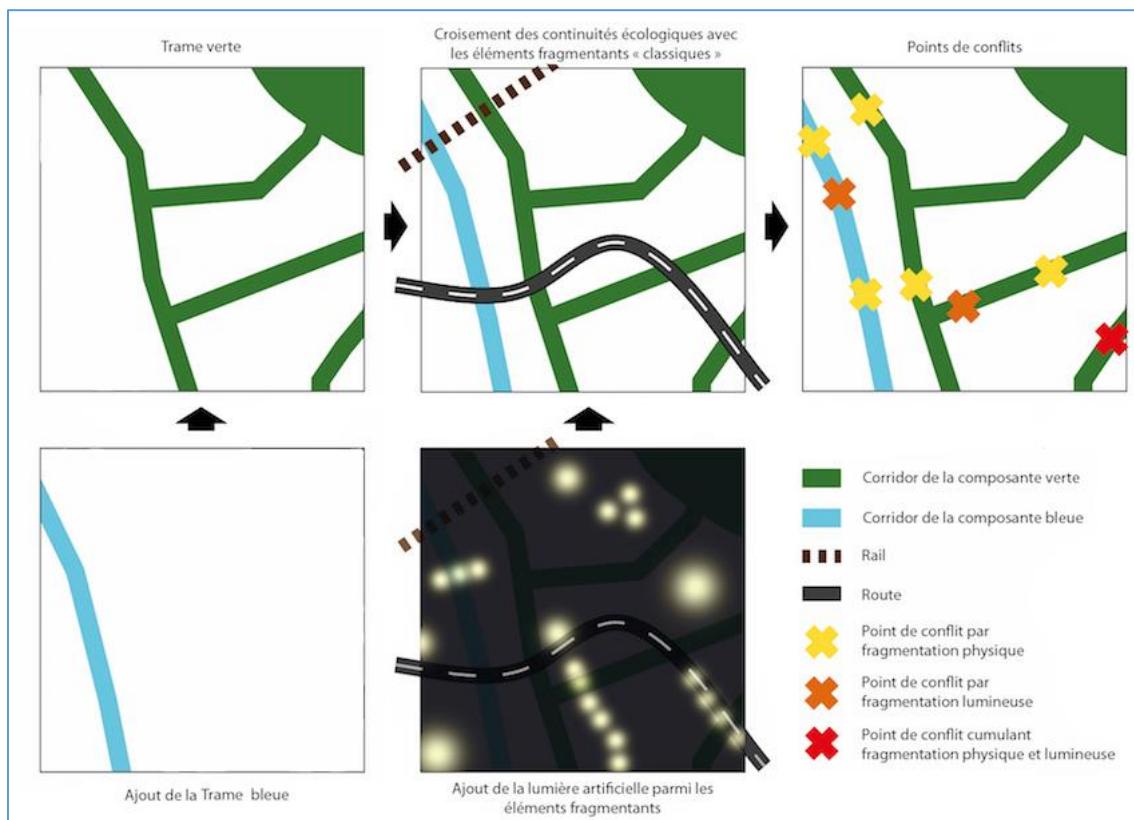
Annexe 29 : Agir ensemble pour une transition écologique et solidaire



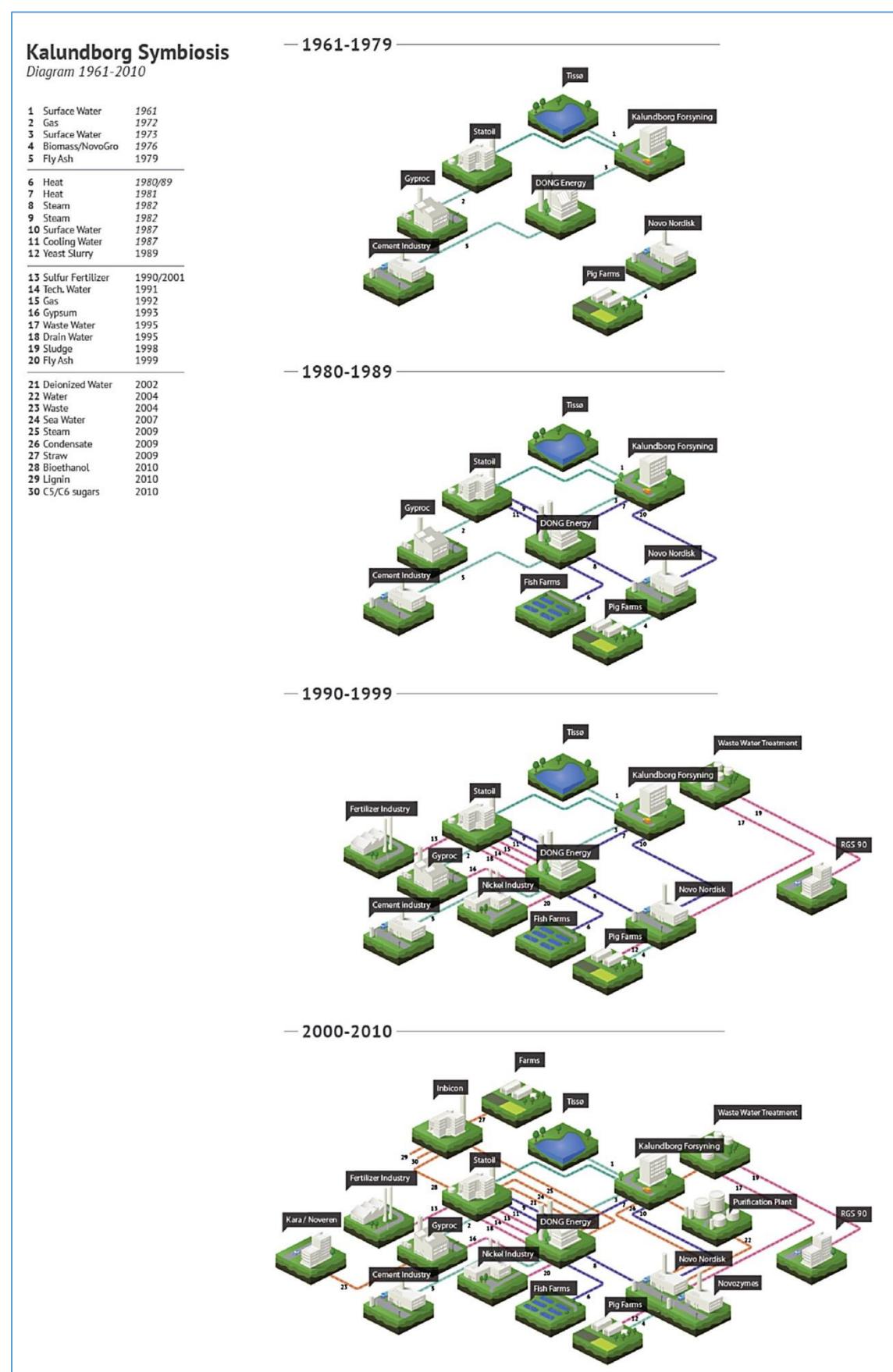
Annexe 30 : Compilation des sous-trames écologiques formant la trame verte et bleue



Annexe 31 : Identification d'obstacles aux continuités écologiques par croisement des trames



Annexe 32 : Evolution du réseau industriel Symbiosis et de ses échanges entre 1961 et 2010



Annexe 33 : Tableau des principaux acteurs du réseau industriel Symbiosis

Acteurs principaux	Secteur d'activité	Relations (Flux sortants)	Types		
			Energie	Eau	Matière
 BIOPRO ®	Public/Privé : Biotechnologie	Ørsted			
		Novo Nordisk			Recherche & Développement
		Novozymes			
 KALUNDBORG FORSYNING	Public : Distribution d'eau et de chauffage	Ørsted		8	
		Equinor		8	
		Novo Nordisk & Novozymes	4	8/11	
		Unibio	4		
		Avista Green	4		
		Argo			12
		Entreprises du BTP			15
		Agriculteurs			16
		Commune (ménages)	4	8	
 Ørsted	Privé : Fourniture d'énergie	Kalundborg Forsyning	4	10/6	
 equinor		Equinor	1	10	
		Novo Nordisk & Novozymes	1		
		Gyproc			21
 novozymes Rethink Tomorrow	Privé : Secteur pharmaceutique	Ørsted		9	
		Producteurs d'engrais			13
		Novo Nordisk	3		
		Bigadan			17
 novo nordisk	Privé : biotechnologie	Kalundborg Forsyning		7	
		Commune (ménages)	2		
		Novozymes (Miljøteknik)	3	6	18
 BIGADAN	Privé : Secteur énergétique	Bigadan			14/18/19
		Equinor	5		
		Gyproc	5		
		Commune (ménages)	5		
 Gyproc SAINT-GOBAIN	Privé : Construction	Agriculteurs			20
 argo		Commune (ménages)	4		
 KALUNDBORG KOMMUNE	Public : Municipalité	Commune (ménages)	2/4		
 AVISTA Green	Privé : Industriel	Kalundborg Forsyning		6	12
 unibio	Privé : biotechnologie				

Flux d'énergie

- 1- Vapeur
- 2- Electricité
- 3- Condensat
- 4- Chauffage
- 5- Gaz naturel

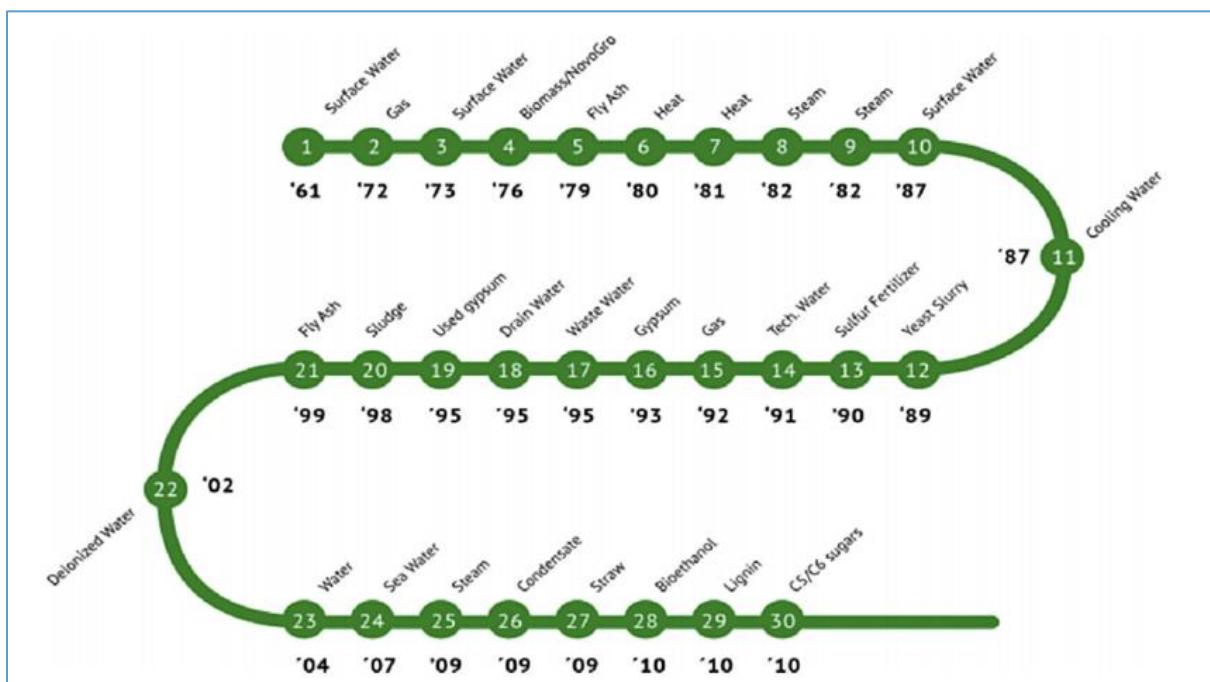
Flux d'eau

- 6- Eaux usées
- 7- Eaux usées épurées
- 8- Eaux de surface
- 9- Eaux utilisées
- 10- Eaux déminéralisées
- 11- Eaux purifiées

Flux de matériaux

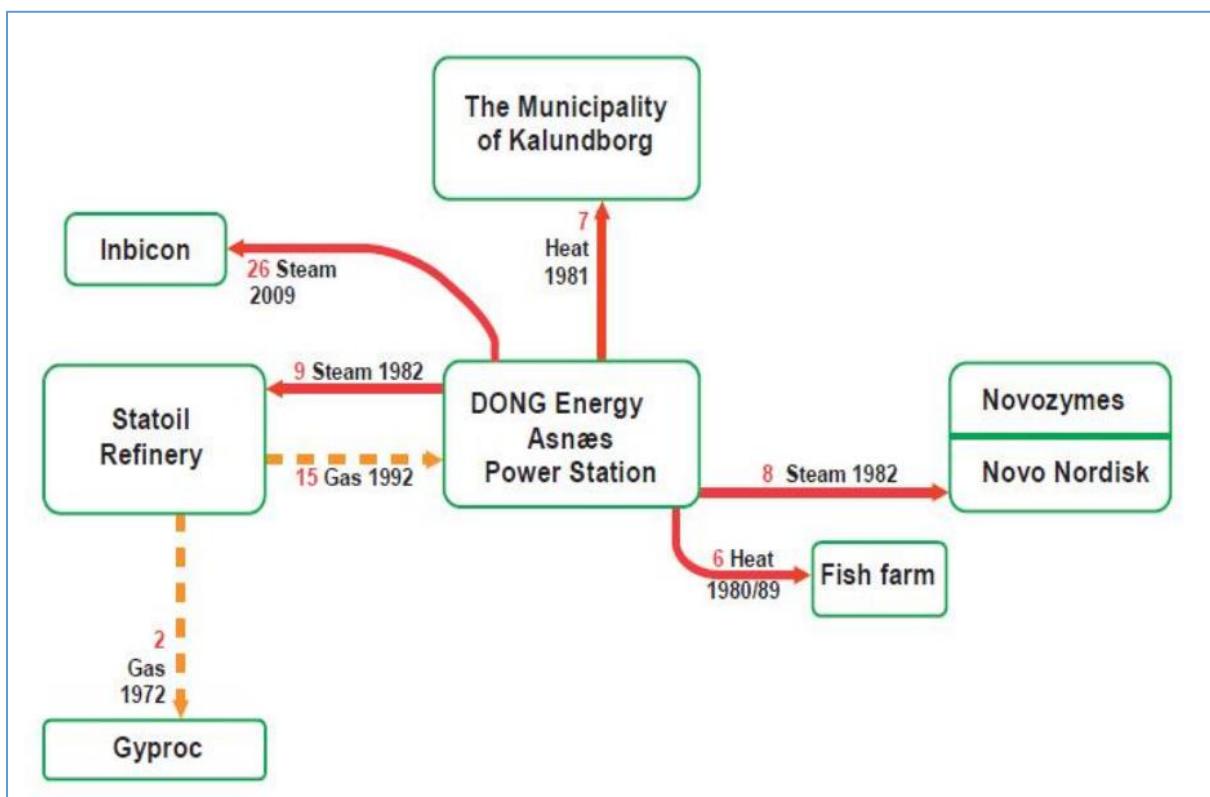
- 12- Déchets
- 13- Soufre
- 14- Levures
- 15- Sable
- 16- Boues
- 17- Engrais chimiques
- 18- Déchets d'éthanol
- 19- Biomasse
- 20- Fertilisants
- 21- Gypse

Annexe 34 : Chronologie des échanges de flux du réseau industriel Symbiosis entre 1961 et 2010

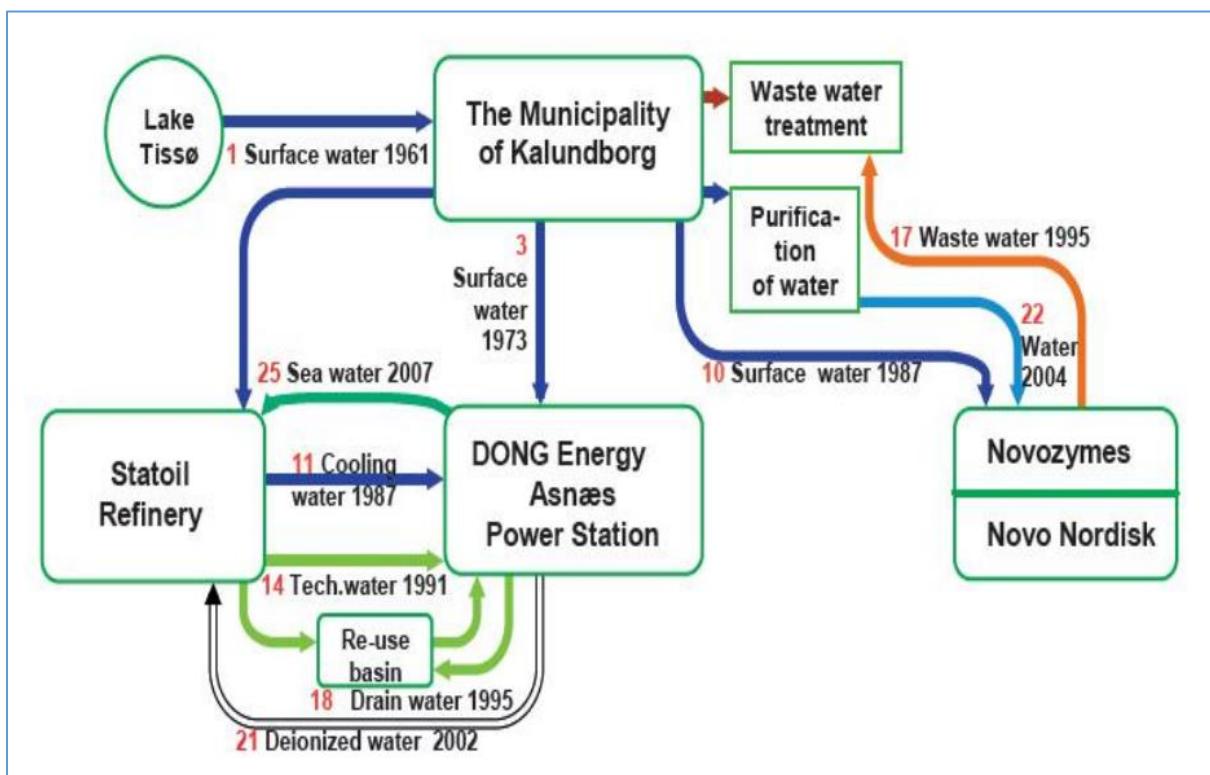


Annexe 35 : Schéma des 3 systèmes (énergie, eau, déchets) d'échanges du réseau industriel Symbiosis

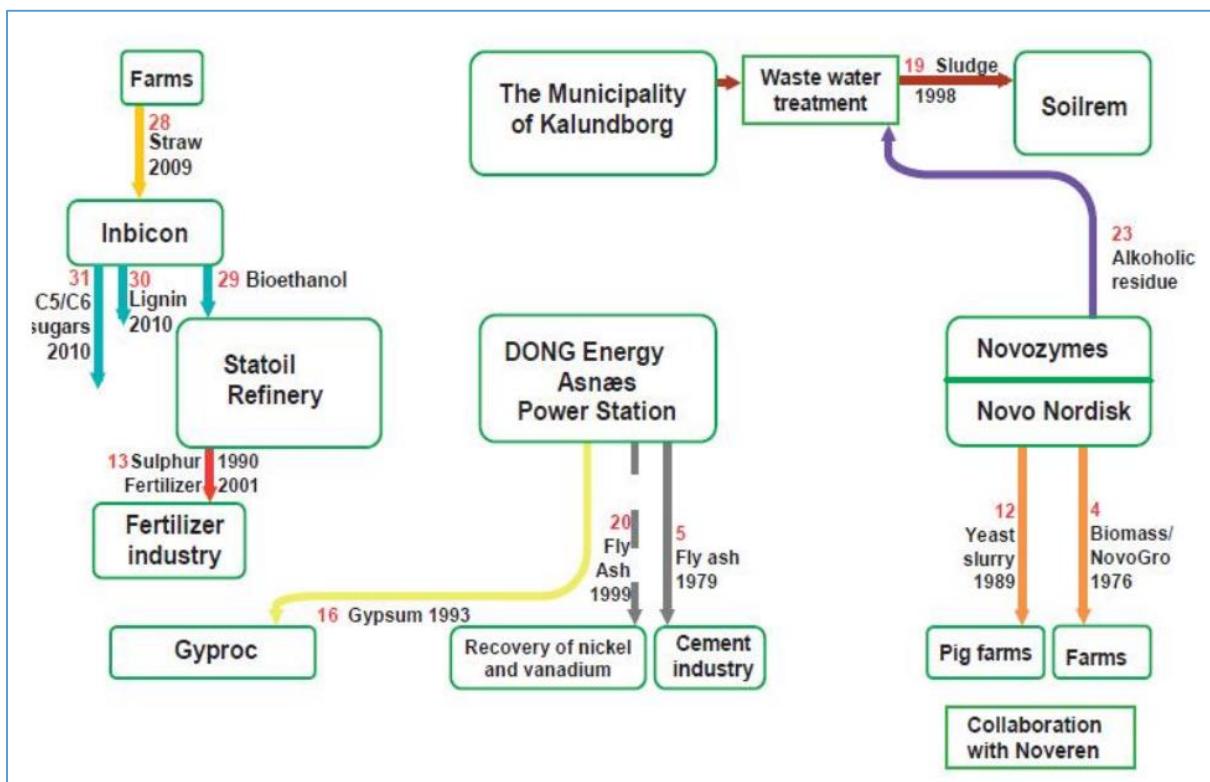
➤ Réseau d'énergie



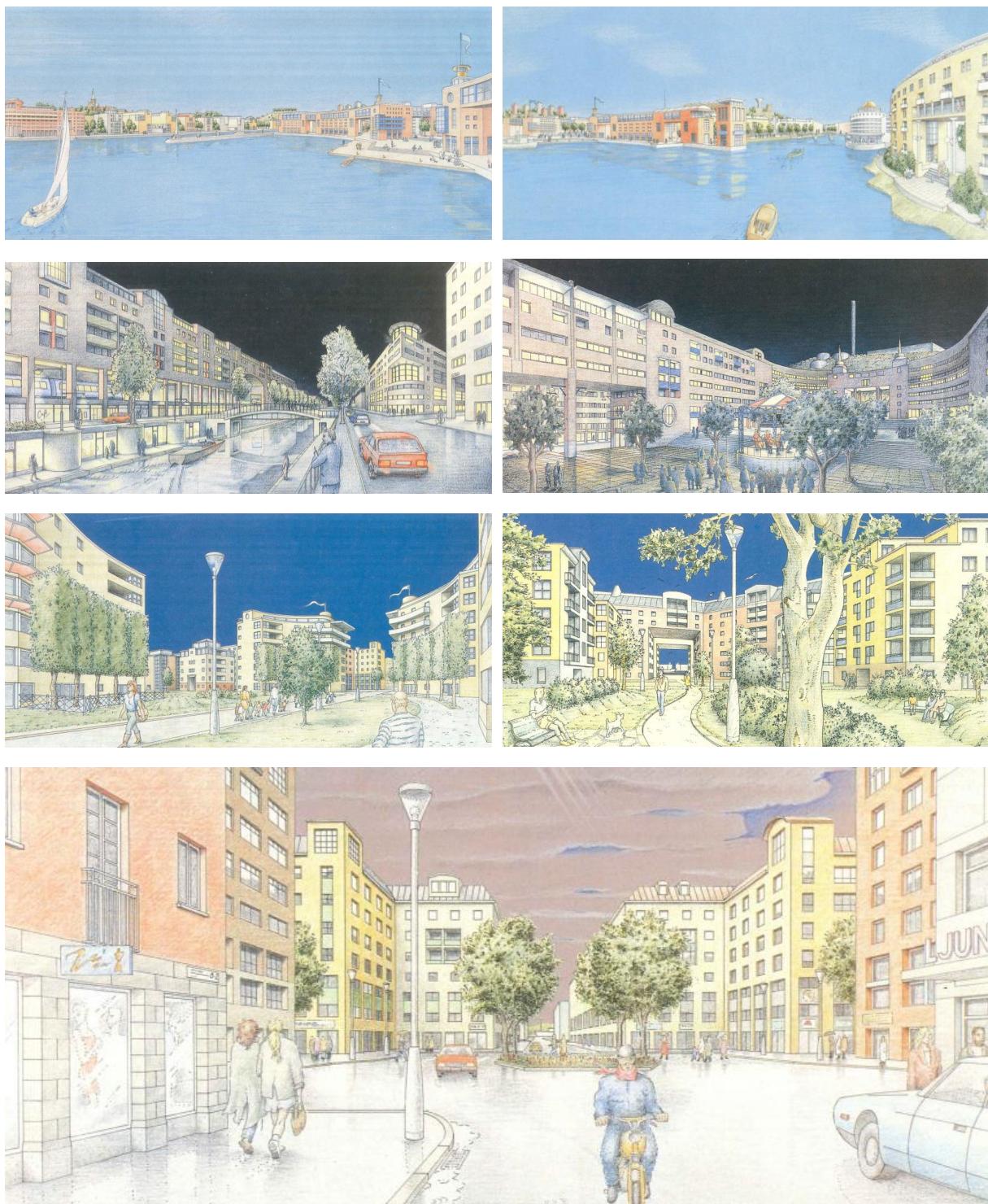
➤ Réseau d'eau



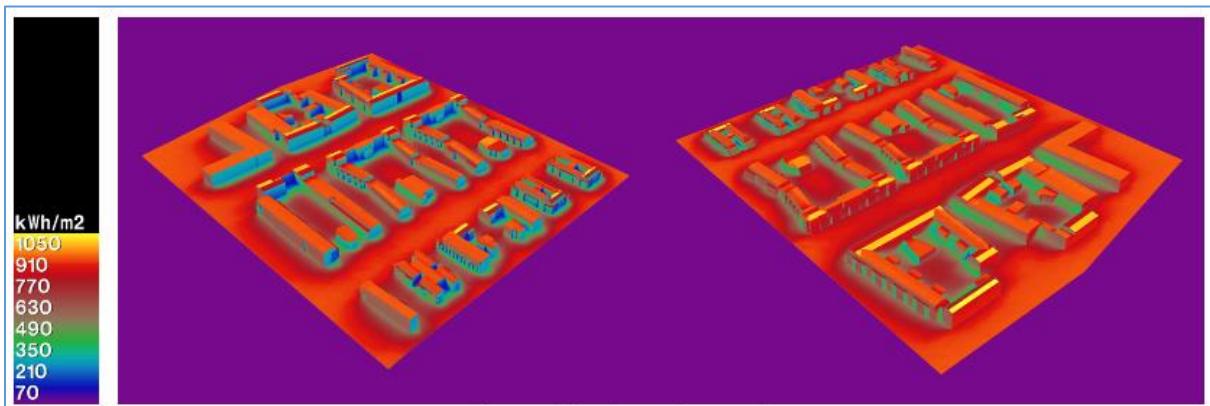
➤ Réseau de matière



Annexe 36 : Planches de l'ancien projet du quartier d'Hammarby



Annexe 37 : Modélisation de l'irradiation solaire annuelle du quartier d'Hammarby



Annexe 38 : Tableau des différents types de relations des principaux acteurs du réseau urbain d'Hammarby

Acteurs principaux	Secteur d'activité	Relations (Flux sortants)	Types		
			Energie	Eau	Produits Services
NATURE	Eléments naturels (Eau, Vent, Soleil)	Quartier (ménages)		9	
		Usine d'eau potable		8	
		Centrale électrique	1		
QUARTIER (Ménages)	Habitants d'Hammarby	Station d'épuration		9/10	14
		Centrale électrique	2		12
		Centrale thermique			13
		Déchèterie			11
STATION D'EPURATION	Traitements des eaux usées	Nature (Mer)		7	
		Centrale thermique		7	
		Quartier (ménages)	3/4/5		
		Autopartage	5		
CENTRALE THERMIQUE	Fourniture de chauffage/Clim	Nature (Mer)		7	
		Quartier (ménages)	3/4		
CENTRALE ELECTRIQUE	Fourniture d'électricité	Quartier (ménages)	2		
USINE D'EAU POTABLE	Fourniture d'eau potable	Quartier (ménages)		6	
DECHETERIE	Parc de recyclage	Commune (ménages)			15
TRANSPORTS EN COMMUN	Bus et voitures en libre-service	Commune (ménages)			16

Flux d'énergie

- 1- Energie renouvelable
- 2- Electricité
- 3- Climatisation
- 4- Chauffage
- 5- Biogaz

Flux d'eau

- 6- Eaux potables
- 7- Eaux propres
- 8- Eaux de surface
- 9- Eaux pluviales
- 10- Eaux usées

Flux de produits et services

- 11- Déchets recyclables
- 12- Déchets combustibles
- 13- Déchets organiques
- 14- Eaux fécales
- 15- Produits recyclées
- 16- Services de transports

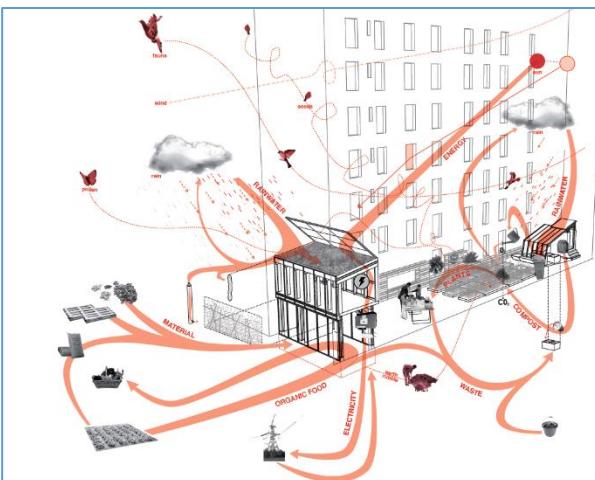
Annexe 39 : Plan du réseau souterrain de collecte des déchets du quartier d'Hammarby



Annexe 40 : Projets Ecobox et Passage 56

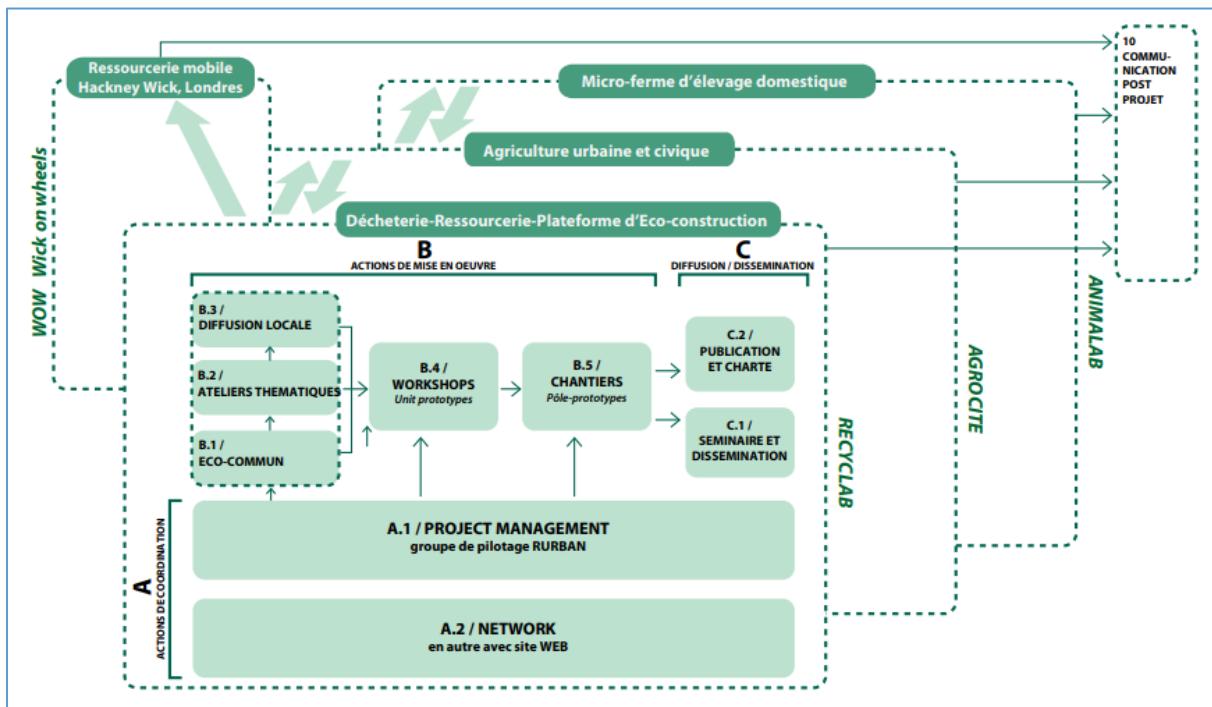


Projet Ecobox (18^{ème} arrondissement)

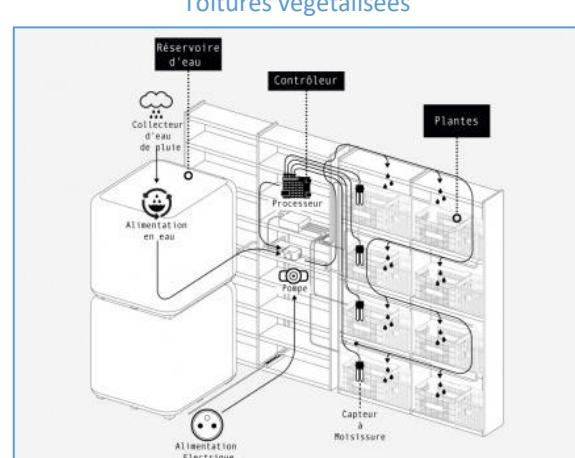
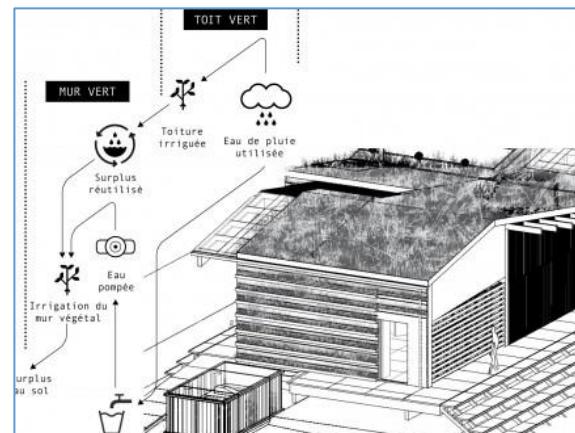
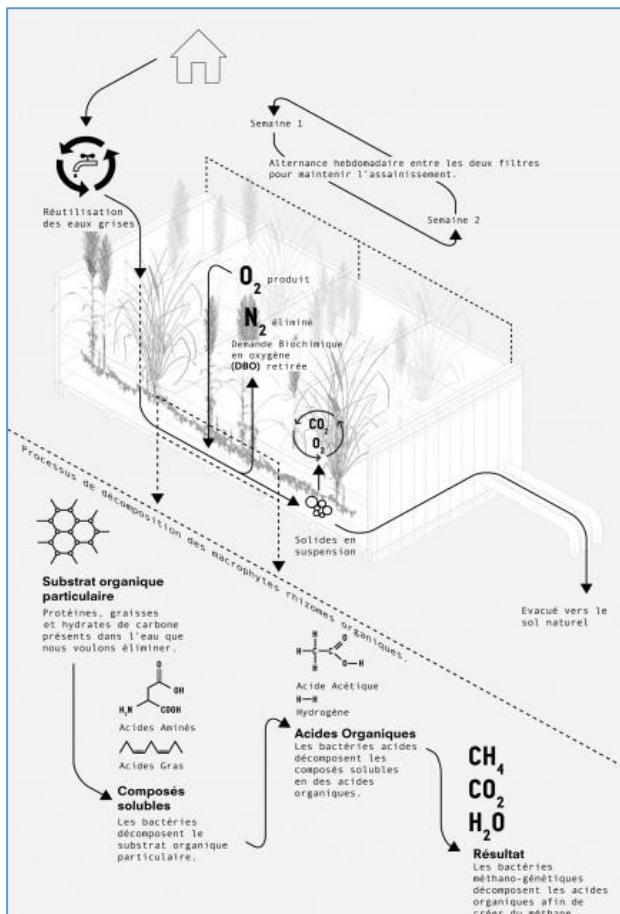


Projet Passage 56 (20^{ème} arrondissement)

Annexe 41 : Diagramme du processus de développement des unités de R-Urban

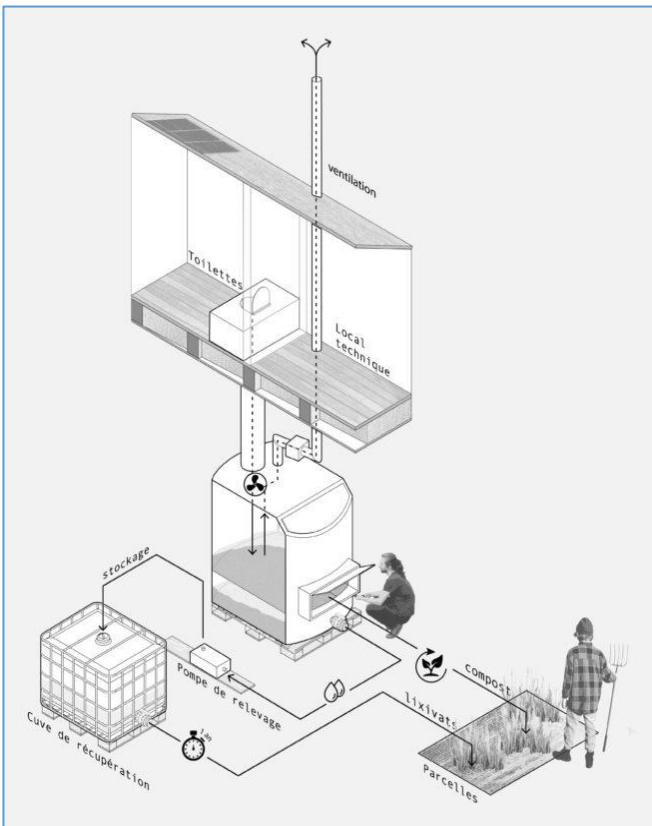


Annexe 42 : Schémas des prototypes écologiques de pratiques résilientes de l'AgroCité

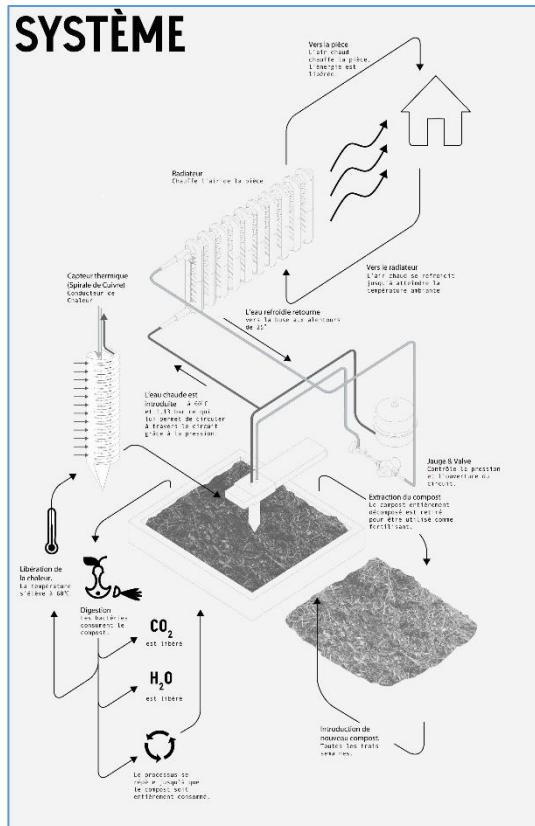


Phytoépuration de l'eau

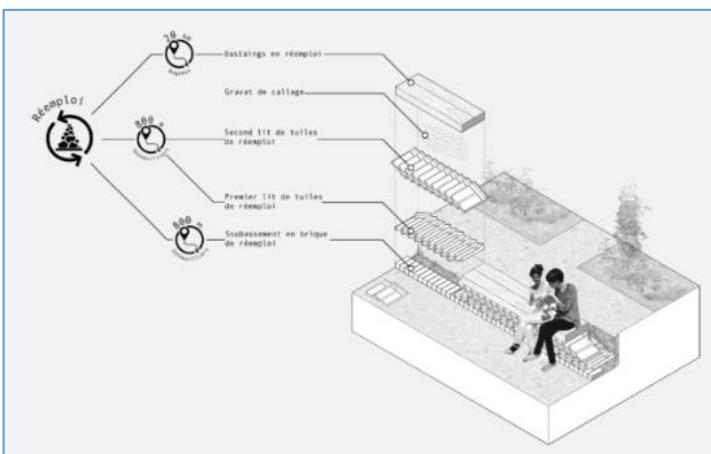
Système d'irrigation



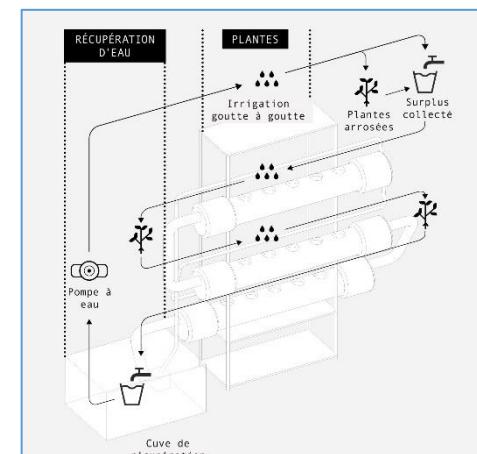
Toilettes sèches



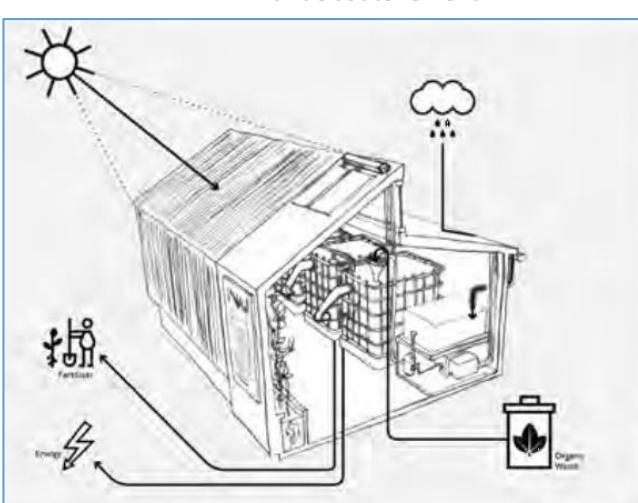
Chaussage au compost



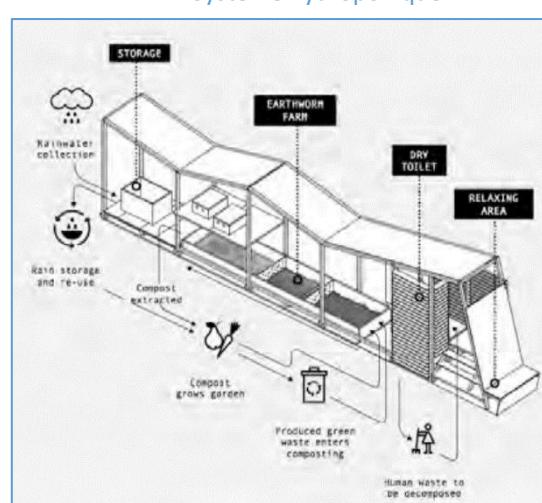
Mur de soutènement



Système hydroponique



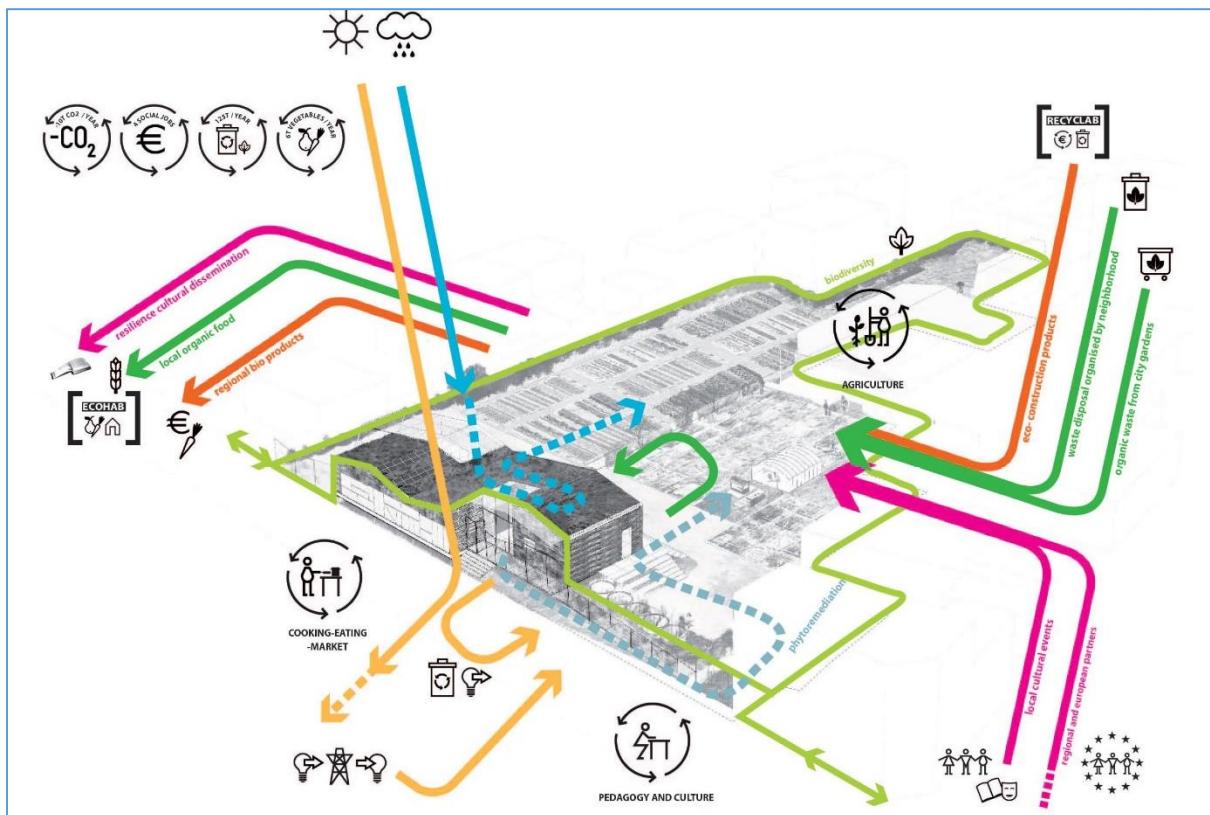
Digesteur anaérobique



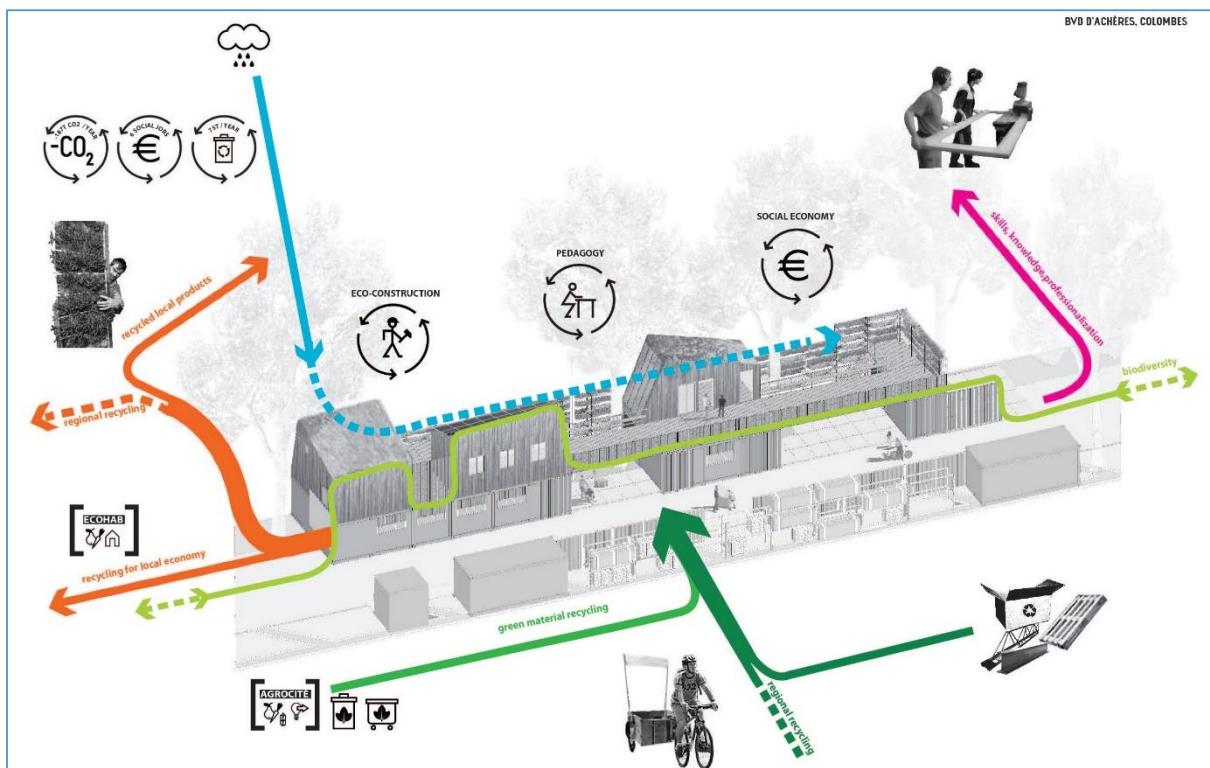
Ferme à lombrics

Annexe 43 : Schémas des connexions émergeantes des différentes unités du réseau R-Urban

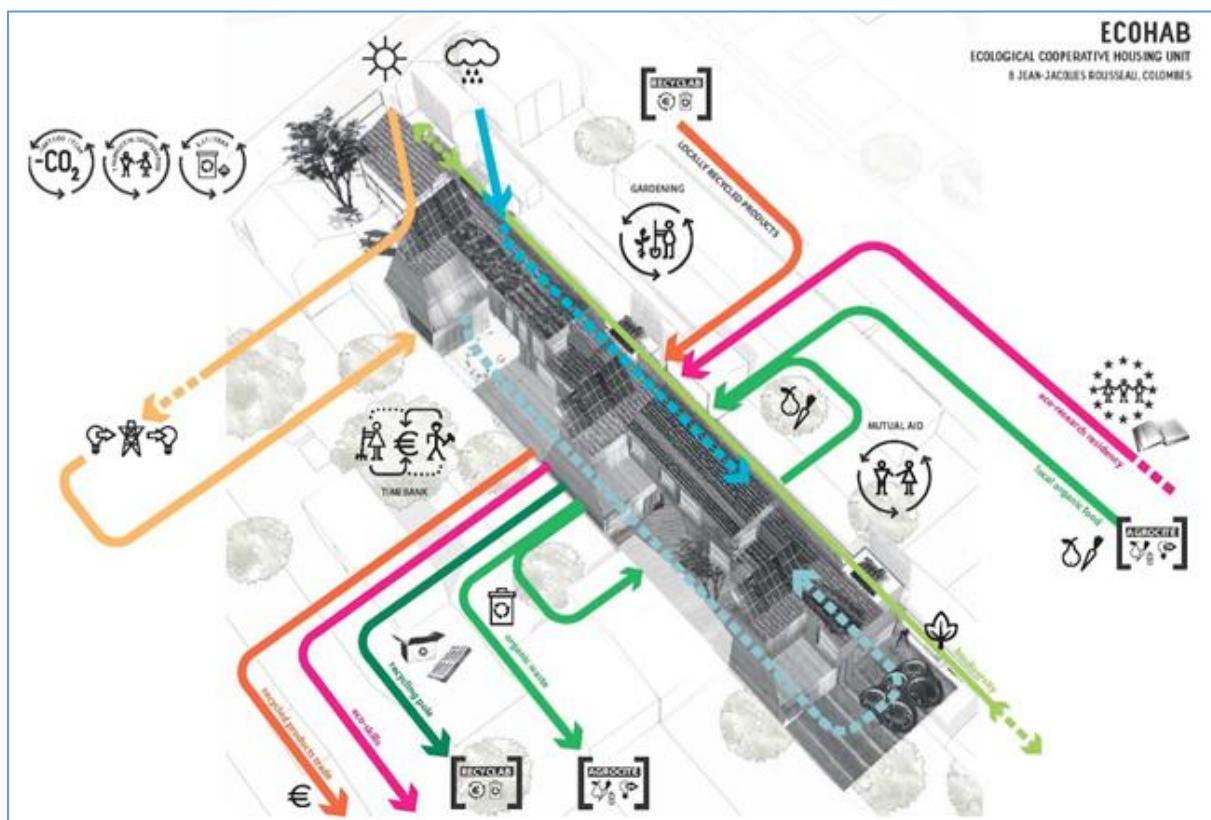
➤ Connexions de l'unité AgroCité



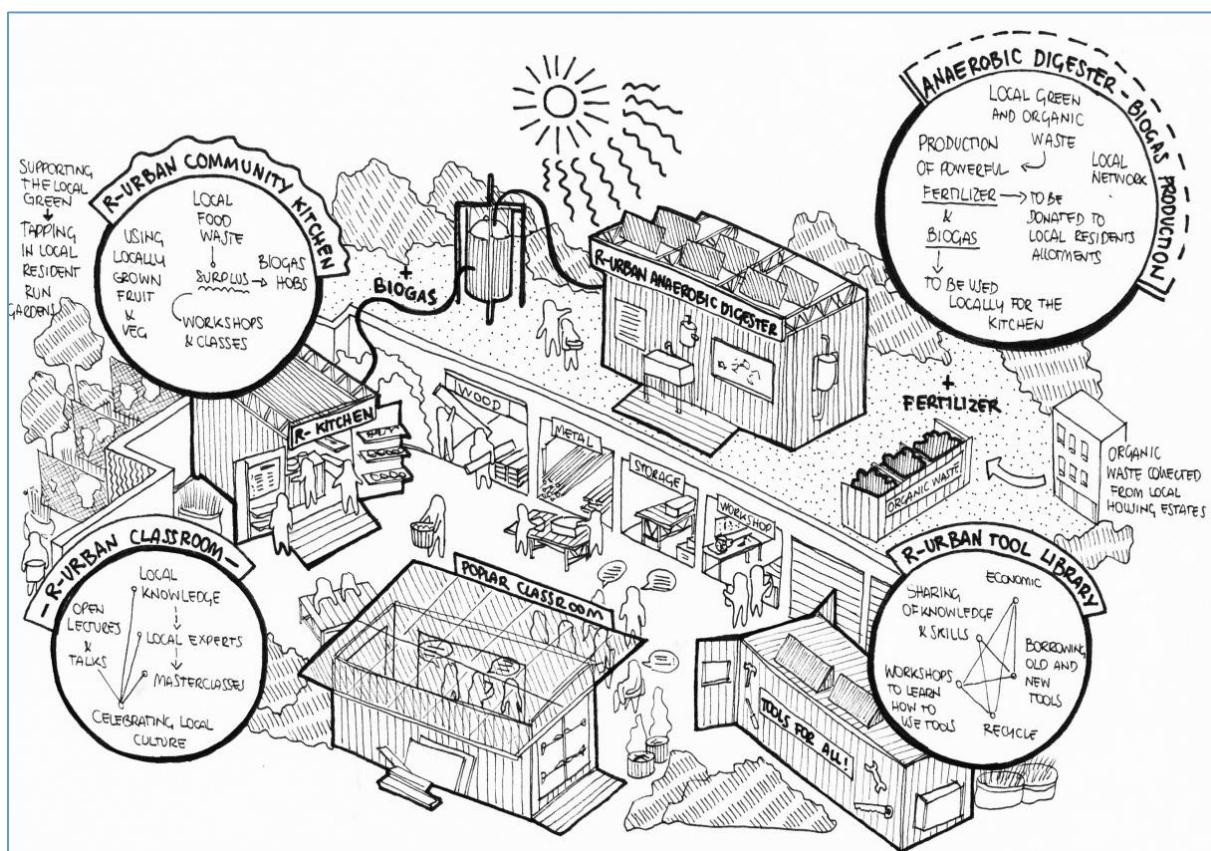
➤ Connexions de l'unité RecycLab



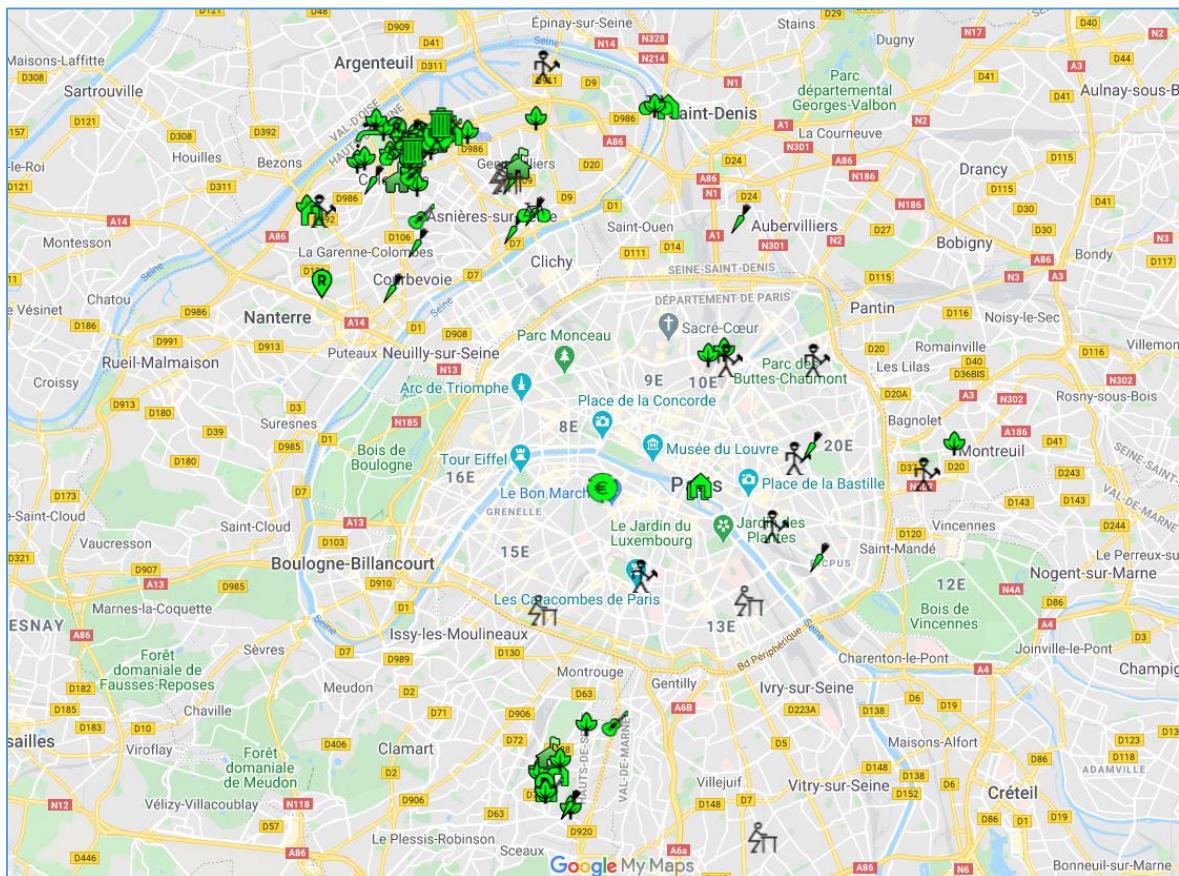
➤ Connexions de l'unité EcoHab



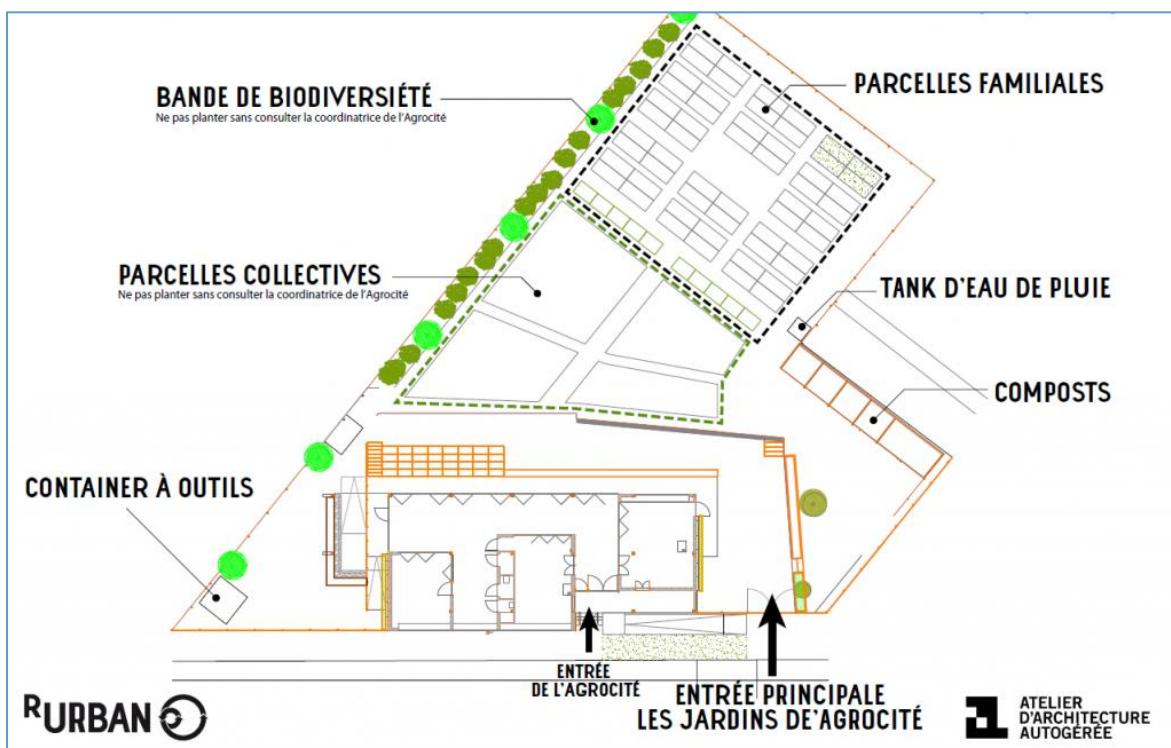
Annexe 44 : Projet du R-Urban Wick de Londres



Annexe 45 : Carte des partenaires franciliens du réseau R-Urban



Annexe 46 : Plan du projet d'AgroCité de Gennevilliers



Annexe 47 : Tableau des différents types de relations des principaux acteurs du réseau R-Urban

Acteurs principaux	Secteur d'activité	Relations (Flux sortants)	Types			
			Energie	Eau	Produits	Services
NATURE	Eléments naturels (Eau, Soleil)	AgroCité	1	2		
		RecycLab	1	2		
		EcoHab	1	2		
QUARTIER (Population)	Citoyens de Colombes	AgroCité			5	9/10
		RecycLab			6	9/10
		EcoHab				9
AGROCITE (& AnimaLab)	Ferme urbaine, sociale et culturelle	Quartier (Population)			3	8
		RecycLab			4	
		EcoHab			3	
		Nature (biodiversité)				12
RECYCLAB	Unité de recyclage et d'écoconstruction	Quartier (Population)			7	8
		AgroCité			7	
		EcoHab			7	
		Nature (biodiversité)				12
ECOHAB	Unité d'habitat écologique et coopératif	Quartier (Population)				11
		AgroCité			5	
		RecycLab			6	
		Nature (biodiversité)				12

Flux d'énergie

1- Energie renouvelable

Flux d'eau

2- Eaux pluviales

Flux de produits

- 3- Aliments
- 4- Déchets verts
- 5- Déchets organiques
- 6- Déchets recyclables
- 7- Produits recyclés

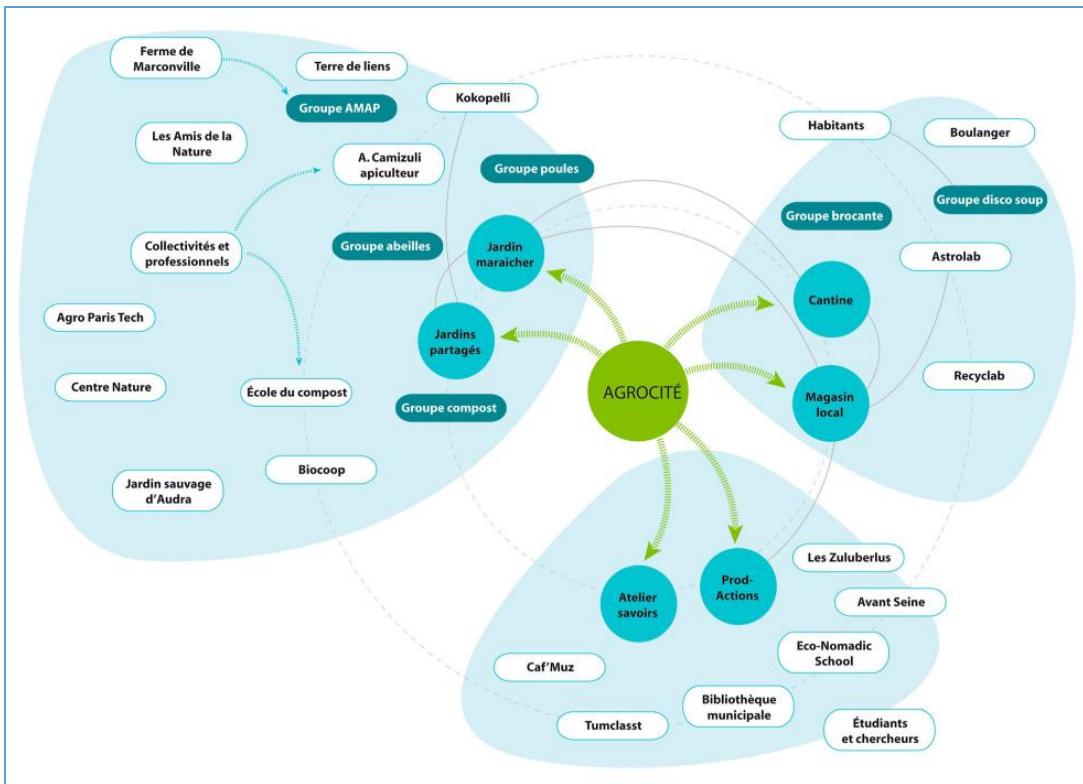
Flux de services

- 8- Savoir et compétences
- 9- Temps de travail
- 10- Activités culturelles
- 11- Logements
- 12- Accès à un milieu naturel

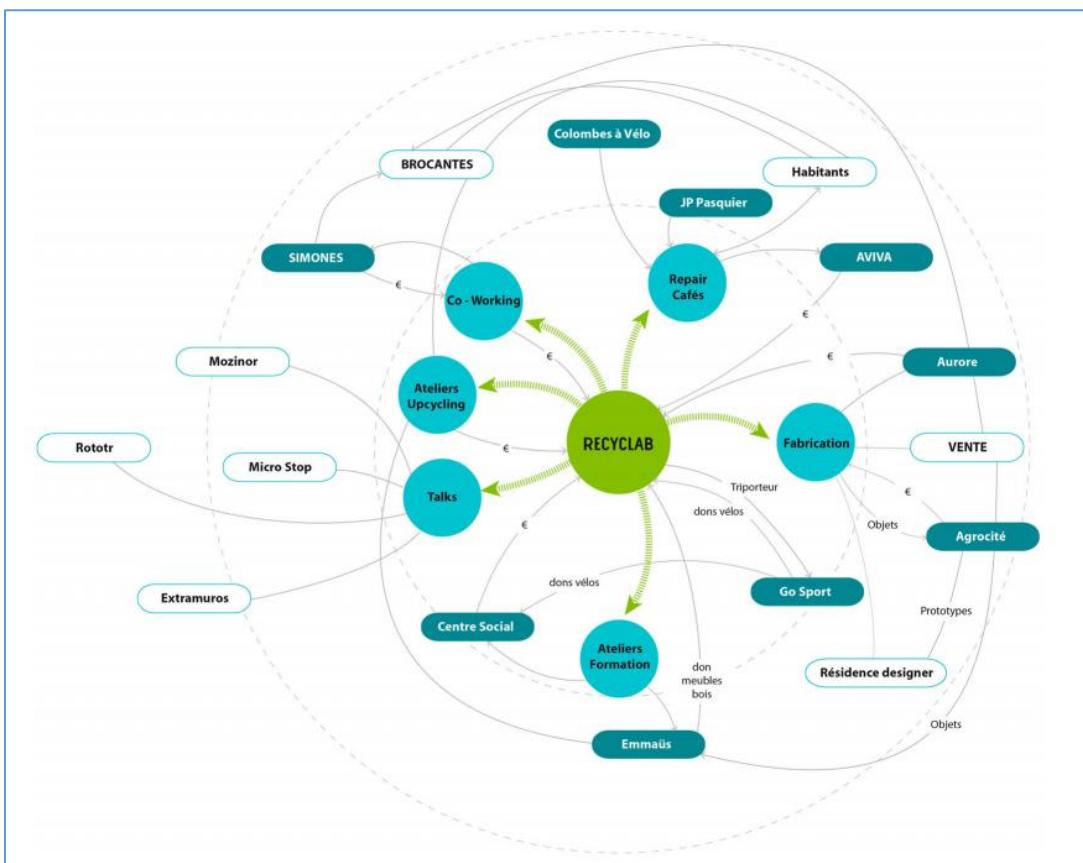
■ : Liens théoriques (l'EcoHab n'ayant pas été réalisé).

Annexe 48 : Diagrammes des réseaux d'acteurs des différentes unités de R-Urban

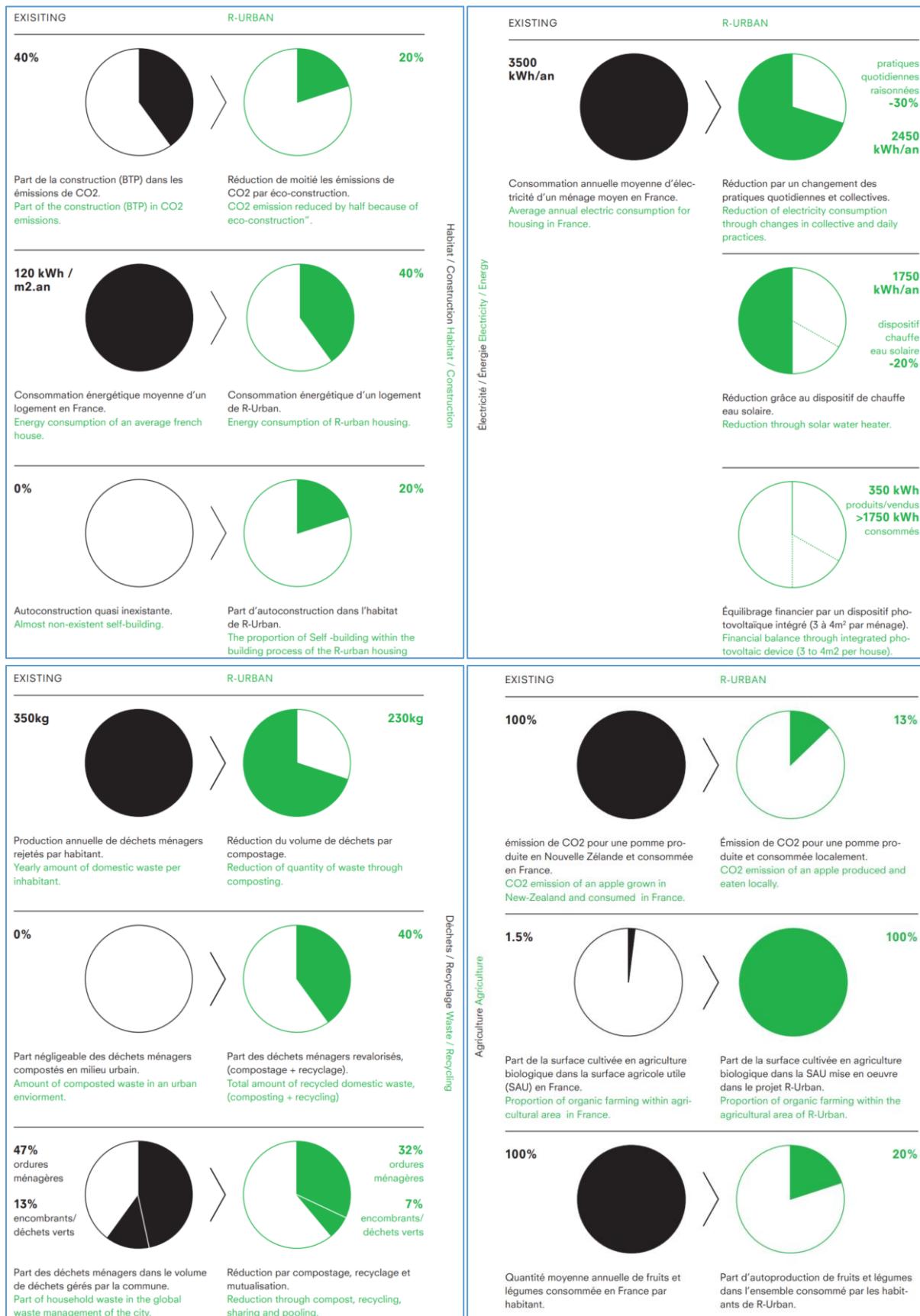
➤ Réseaux d'acteurs de l'unité AgroCité



➤ Réseaux d'acteurs de l'unité RecycLab



Annexe 49 : Objectifs d'amélioration de paramètres et de pratiques plus écologiques

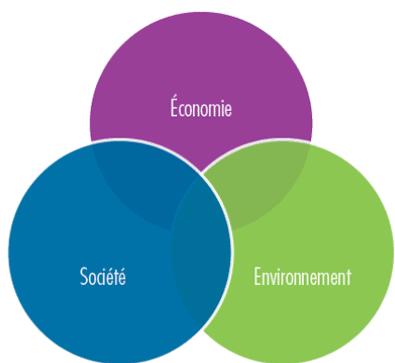




Annexe 50 : Modèle des trois sphères imbriquée de René Passet

Les deux approches de la soutenabilité

Soutenabilité faible :
hypothèse d'indépendance et de substituabilité entre sphères économique et environnementale



Soutenabilité forte :
le système économique est dépendant des sphères sociale et biophysique, avec substituabilité limitée entre les sphères

