HAUTE ECOLE
Lucia de Brouckère

HAUTE ECOLE LUCIA DE BROUCKERE

Enseignement Supérieur Agronomique

Approche Thermodynamique de l'Intégration du Bâti Traditionnel Bruxellois dans les Cycles Biogéochimiques

Etude de cas portée sur l'îlot schaerbeekois formé par les rues Renkin, Rubens, Royale-Sainte-Marie et la place Lehon

GOOR Florian

Promoteur externe : M. Gauthier CHAPELLE
Promoteur interne : M. Christophe COUILLIEN
Rapporteuse : Mme. Valérie PENNINCKX

Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du titre de
Bachelier en Gestion de l'Environnement Urbain

Année académique 2016-2017

« Pour les gens qui veulent bâtir un modèle de société en croissance infinie sur une planète déjà surexploitée, le mot utopie signifie l'illusion d'un rêve impossible à réaliser qui ne s'applique pas à leurs projets.

Pour nous qui cherchons à construire un nouveau modèle de société durable, dans une symbiose avec notre environnement naturel, le mot utopie veut dire simplement, un possible qui n'a pas encore été expérimenté. »

Luc Schuiten

Je tiens à remercier ici, tous mes professeurs, toutes les personnes qui sont citées dans ce travail, ainsi que mes proches. Je voudrais aussi remercier tout particulièrement ceux ayant participé aux relectures. Leurs remarques et corrections ont été prises en compte et m'ont permis d'enrichir utilement mon travail.

Table des matières

Table des matières **3**

Glossaire des acronymes **7**

1. Introduction **8**

2. Base théorique. **13**

a. Approche thermodynamique des sphères et des cycles biogéochimiques. 13

b. Résumé des principaux cycles biogéochimiques. 19

I. Le cycle du carbone 19

II. Le cycle de l'oxygène 23

III. Le cycle de l'eau 24

IV. Le cycle de l'azote 25

V. Le cycle du soufre 30

VI. Le cycle du phosphore 32

VII. Le cycle des cations biogènes 33

VIII. Conclusion 34

c. Le métabolisme urbain bruxellois 36

I. Bilan global : les flux totaux 37

II. Historique des systèmes d'évacuation. 39

d. La taille des organisations humaines : le nombre de Dunbar. 40

3. Les eaux urbaines et le biogaz selon Joseph Országh **41**

a. L'eau en ville 42

I. Les eaux grises 42

II. Les eaux noires ou eaux vannes 42

b. Le biogaz 42

c. La maison péri-urbaine de Joseph Országh 42

d. Conclusion 47

4. Le digesteur au parc Maximilien **47**

5. Visite de la StEp nord **48**

6. Etude de cas portée sur l'îlot schaerbeekois formé par les rues Renkin, Rubens, Royale Sainte-Marie et la place Lehon. **49**

a. Historique 49

I. Historique urbanistique de Schaerbeek 49

XIVe au XVIIe siècle : le hameau de Schaerbeek 49
XVIIIe – XIXe siècles : La Ville-Faubourg de Schaerbeek 51
1. Le démantèlement, sous le régime hollandais, de l'enceinte de Bruxelles, entre 1818 et 1820. 51
2. L'entreprise urbanistique du « tracé royal » initié en 1827. 52
3. Le développement du réseau ferroviaire 53
4. Les mouvements migratoires 54
La seconde moitié du XIXe siècle : renforcement des développements urbanistiques 54
1. L'affirmation du pouvoir communal 54
2. L'influence léopoldienne 55
3. Influence hygiéniste 55
4. Entre 1860 et 1900, le quartier se densifie très fort. 55
La première moitié du XXe siècle 55
L'assainissement du vieux village : 55
La seconde moitié du XXe siècle 56
1990 : La politique des contrats de quartiers 56
b. Plan de situation de l'îlot. 57
c. Optimisation des flux à l'échelle de l'îlot et de la maison, calquée sur la base théorique. 57
I. Le cycle de l'eau 57
1. L'eau des toitures 57
2. L'eau du réseau routier. 58
3. Citerne VS bassin d'orage. 59
4. Citerne et puits dans l'étude de cas 60
5. Analyse biochimique du cycle de l'eau dans l'étude de cas 64
6. Optimisation du cycle à l'échelle de la maison et de l'ilot. 69
7. Estimation de la production hydroélectrique 74
8. Conclusion et remarques 74
II. La phytocénose 75
1. Phytocénose existante de fait 76
a. Serre à semis phytocénotique 76
Cucurbitacées 81

Brassicacées 81
Chenopodiacéess 81
Solanacées 81
Astéracées....82
Caprifoliacées....82
b. Le Jardin d'ornement 84
c. Le potager....89
2. Phytocénose des possibles 91
a. Combles phytocénotiques 91
b. Haies en voirie 92
c. Chapiteau en intérieur d'ilot 102
3. Et si on vivait dans la phytocénose ?....102
III. Etude sur l'évaluation de la production de déchets fermentescibles par habitant de l'îlot. 105
1. Construction du protocole....105
2. Récolte de données....106
3. Traitement des données....106
4. Conclusion de l'étude 109
IV. Le digesteur-décanteur-éolienne-château d'eau 111
1. L'éolienne à axe vertical et le château d'eau. 112
2. Le digesteur entouré d'un décanteur cylindro-conique. 113
3. Situation de la structure dans l'îlot. 113
4. Exportation vers les agrosystèmes. 113
7. Conclusion générale 115
Bibliographie....119
a. Livres, ouvrages et articles papiers....119
b. Documentaires 120
c. Conférence 120
d. Webographie 120
I. Documents PDF en ligne 120
II. Wikipédia (*Titre de l'article*, lien, Date de consultation) 121
III. Youtubographie (*Titre de la vidéo*, lien, Date de consultation) 121

IV. Autres articles internet 122

Table des figures **124**

Annexes **128**

Annexe 1 : Chiffres clés du schéma et renvois aux explications techniques du rapport 128

Annexe 2 Echangeurs de chaleur dans les égouts (Vivaquoi) 128

Annexe 3 Cartes des réseaux de distribution et d'évacuation d'eau (Vivaquoi) 128

Annexe 4 Rapport de stage en valorisation agricole des boues et composts de Basse-Wavre. 128

Annexe 5 Simulation de l'effet de serre, pouvoir calorifique de l'eau et latence d'enthalpie. 128

Annexe 6 Rapport de stage en aquaponie (IRMW) et rotation/association de cultures (Redouté-Peiffer). 128

Annexe 7 Les Associations Au Potagers, Synthèse De Quatre Tableaux 128

Annexe 8 Le Jardin Tri-varié, l'Îlot Triangulaire et les Cristés 128

Annexe 9 Plans de communautarisation d'une maison de la rue Renkin dans l'îlot 128

Annexe 10 Coupe schématique de l'îlot comprenant les haies en voirie, le cycle au sein des maisons et le digesteur-décanteur-éolienne-château d'eau. 128

Annexe 11 L'AUTOPARTAGE - Tous les avantages de la voiture sans les inconvénients 128

Annexe 12 Plan de l'îlot remanié 128

Annexe 13 De la douche aux WC, au jardin: des chercheurs créent un réseau local de recyclage d'eau (article de wedemain.fr) 128

Annexe 14 La dépopulation autographique – Scénarisation de la réduction du parc automobile suite à l'automatisation 128

Annexe 15 Recensement démographique de l'îlot 128

Annexe 16 La méthode Jean Pain, le biogaz et l'entropie selon Joseph Országh 128

Annexe 17 VERS UNE PRODUCTION DE « CARBURANT SOLAIRE » - Une photosynthèse « artificielle » pour recycler le CO2 128

Glossaire des acronymes

ABP : Agence Bruxelles Propreté

ATP : Adénosine TriPhosphate

DAO : Dessin Assisté par Ordinateur.

EH : Equivalent Habitant, unité de calibrage des StEp, répondant à une charge organique dans l'eau usée, produite par un habitant durant une certaine période de temps.

GES : Gaz à Effet de Serre.

IBW : Intercommunale du Brabant Wallon

MO : Matière Organique, en moyenne la MO représente 90% de la MS

MOF : Matière Organique Fraiche

MS : Matière Sèche

PAC : Pompe A Chaleur, dispositif permettant de récupérer la chaleur dans le sens inverse de l'entropie grâce à des transitions de phase d'un fluide caloporteur, typiquement de l'eau glycolée. Mais l'entropie générale ne peut qu'augmenter, un réfrigérateur fonctionne avec une PAC, mais réchauffe forcément plus la pièce qu'il ne refroidit l'intérieur du réfrigérateur, suit à la consommation d'électricité du compresseur entrainant la transition de phase.

PE : performance énergétique.

PEB : performance énergétique des bâtiments.

PV : Photovoltaïque.

RBC : Region de Bruxelles Capitale

RDC : rez-de-chaussée.

SDB : salle de bain.

StEp : Station d'Epuration.

STEP : Station de Transfert d'Energie par Pompage.

TCS : techniques culturales simplifiées (on cherche à remplacer le labour mécanique et les engrais par un travail du sol biologique avec des cultures intercalaires).

ZAD : Zone A Défendre, concept militant d'occupation d'une zone en opposition à un projet de construction.

1. Introduction

Ce travail est divisé en deux parties principales, une base théorique qui traite du service écosystémique dit « de soutien » : la raison d'être des écosystèmes, soit des cycles intégrés dans des sphères. Ces cycles sont qualifiés de structures dissipatives par les thermodynamiciens. Cette base théorique sera ensuite appliquée au métabolisme bruxellois. L'autre partie concerne l'aspect pratique de mon travail, basé sur des visites et une étude de cas portée sur l'îlot bruxellois dans lequel j'habite cette année. En fait, nous allons faire un zoom du système solaire jusqu'à ma maison.

La base théorique cherchera à allier les connaissances concernant les cycles biogéochimiques de l'ouvrage *La synthèse écologique* de Paul Duvigneaud, chimiste et biologiste de formation qui s'est spécialisé en écologie durant sa carrière académique à l'Université Libre de Bruxelles et le livre *thermodynamique de l'évolution* de François Roddier, astrophysicien ayant beaucoup enseigné la thermodynamique et qui étudie la biologie depuis sa retraite. J'ai lu plusieurs fois leurs travaux et j'ai donc tenté, dans le cadre de ce travail, de combiner les deux approches.

J'ai intégré dans ce travail des extraits (en printscreen) d'une version PDF de *La synthèse écologique.* C'est une version de la digithèque de l'ULB, celle de 1984. J'ai aussi beaucoup consulté le livre (épuisé) dans sa version papier de 1980, qui appartient à ma mère. Les numérotations de pages référencées à « *La synthèse écologique p.*» dans les légendes des illustrations, sont celles de la version de 1984.

Le choix d'allier une approche thermodynamique aux cycles biogéochimiques est lié au fait que le rôle des cycles est de dissiper l'énergie du système Terre. Je me suis ensuite focalisé sur Bruxelles car Paul Duvigneaud avait déjà développé la notion d'un *« métabolisme de l'écosystème bruxellois »* dans sa synthèse. Le site du Centre Paul Duvigneaud (un centre de documentation), présente d'ailleurs la biographie de Paul Duvigneaud en mentionnant :

« Il ne faut [surtout] pas oublier (…) ses études sur l'écosystème urbain dont il fut le premier, vraisemblablement, à expliquer le fonctionnement. »[1]

Nous verrons que depuis, d'autres travaux ont suivi, notamment le doctorat d'Aristide Athanassiadis, ingénieur architecte de l'ULB, qui a réévalué toute une série de flux à l'échelle de la ville de Bruxelles. Ces flux reflètent le passage et la perturbation des cycles par l'écosystème urbain. C'est la raison pour laquelle, je les analyse dans ce travail.

Je terminerai cette base théorique par une réflexion plus éthologique, inspirée des travaux de l'anthropologue Robin Dunbar, qui s'est intéressé à la taille idéale des communautés humaines en fonction de données anthropologiques et neuropsychologiques. Il en estime le

[1] ANONYME (Centre Paul Duvigneaud), *Paul Duvigneaud - Sa carrière scientifique*, En ligne, http://www.centrepaulduvigneaud.be/qui-sommes-nous/paul-duvigneaud, consulté le 6/07/2017

nombre à environ 150 individus. Je m'en suis librement inspiré dans ma réflexion au sujet de la cohésion sociale des îlots. C'est loin d'être anodin, je suis convaincu qu'une ville communautarisant sa population en fonction de cela sera bien moins dépendante des centres d'incarcération et d'internement, des homes pour les vieux, des crèches pour les bambins, car tous les exclus seraient pris en charge par les communautés. Je reparlerais de mon utopie urbaine plus loin dans l'introduction.

Après la base théorique, je parlerai de mes visites, à commencer par celle chez Joseph Országh, professeur à la retraite de l'université de Mons-Hainaut qui m'a littéralement ouvert les yeux sur l'irrationalité du système de distribution et d'épuration actuel de l'eau. Or nous verrons dans la base théorique que le cycle de l'eau, c'est le cycle le plus fondamental à maitriser pour réussir à contrôler tous les autres, c'est un peu comme l'Anneau du Seigneur des anneaux, c'est *« le Cycle pour les gouverner tous »*. Nous parlerons ensuite rapidement du bio-digesteur du parc Maximilien, à deux kilomètres de chez moi, qui a été inauguré ce mois d'aout 2017. Il a été installé par Yves Bertrand, ingénieur civil de l'UCL, qui m'a aidé à estimer la production de biogaz à l'échelle de l'îlot de mon étude de cas. Je peux aussi remercier ici Stephan Kampelman qui m'a aidé à établir le protocole pour estimer la production de déchets alimentaires à l'échelle de l'ilot.

Nous arrivons donc tout naturellement sur mon étude de cas portée sur l'îlot dans lequel je vis et plus particulièrement sur ma maison. Ce choix s'est avéré très pratique pour limiter les déplacements et m'a aussi été inspiré lors de la projection d'une ancienne vidéo, filmée par mon père, où l'un de mes grands frères, âgé à l'époque d'une dizaine d'années, y présente notre maison tennoodoise[2] pour une conférence scolaire. Dans une approche biomimétique, très chère à l'un des promoteurs de ce travail[3], j'ai imaginé la ville comme un organisme multicellulaire, les îlots comme des cellules, et les maisons comme des complexes protéiniques de la membrane cytoplasmique. Donc la ville est un organisme multicellulaire, et chacune des cellules est formée d'un groupe de 150 individus.

Je dois aussi vous dire ici que plusieurs réflexions présentées dans ce travail m'étaient déjà venues en 2012, je suis retombé sur des dessins Sketchup (logiciel de DAO de Google) et un texte de 11 pages intitulé « le quartier résilient » présentant déjà plusieurs idées qui seront développées dans ce travail. À l'époque j'abandonnais mon année d'économie à Solvay. Je n'avais pas été très satisfait de ces études, j'avais déjà lu le rapport « Les limites à la croissance[4] » pour mon TFE de rhétorique, dans sa version de 1972, celle dont le titre avait été mal traduit en français par « Halte à la croissance ? »

[2] Adjectif se rapportant à Saint-Josse-ten-Noode

[3] CHAPELLE G., *Le vivant comme modèle - La voie du biomimétisme*, Edition Albin Michel, Paris, 2015

[4] MEADOWS, Donnella, MEADOWS, Dennis, RANDERS, Jorgen, BEHRENS III, William, *« Rapport sur les limites de la croissance »*, Fayard, 1972, 314 p.

A cette époque je comprenais aussi que la crise des subprimes était une conséquence directe du pic pétrolier[5]. Conscient de tout cela j'étais pour une décroissance économique de 3-5% par an, mais dans la faculté d'éco il n'y avait pas beaucoup d'écho à ce discours. Aujourd'hui, 5 ans après, il me semble évident que l'on est parti pour connaitre une décroissance à deux chiffres dans la décennie à venir, et que de toutes façons, la certitude qui ressort des modèles des systémiciens, c'est que plus tard ça arrivera, pire ce sera, car à force de tirer sur l'élastique, il finira par rompre brutalement !

Quoiqu'il en soit, mes études en gestion de l'environnement urbain m'ont permis de crédibiliser et de travailler plus sérieusement ces premières réflexions autour d'un « quartier résilient ». L'étude de cas présentée dans ce travail portera donc sur un îlot. Plus grand-chose de la version de 2012 n'est resté d'ailleurs, à part le fait de faire un espace commun et de récupérer l'eau des douches pour les toilettes (c'est assez évident comme idée, et moi qui adore chanter dans ma douche, je pourrai en profiter sans culpabiliser !)

Pour en revenir à mon étude de cas : l'îlot schaerbeekois formé par les rues Renkin, Rubens, Royale Sainte-Marie et la place Lehon – l'ilot est en photo de couverture – une photo qui m'a valu une interpellation policière. J'avais profité des échafaudages sur l'église Saint Servais en rénovation, pour aller prendre quelques photos un dimanche matin.

Figure 1 Photos prises par l'auteur le 18 juin 2017 au soleil levant

A propos de la partie historique de l'étude de cas, comme nous avons dû faire un historique du quartier de la place de la Reine dans le cadre du cours d'Atelier d'Aménagement Urbain donné par Claire Neuray, qui portait sur la rénovation de la place de la Reine située à seulement 900m de l'étude de cas, je n'ai pas plus approfondi la partie historique que dans l'atelier, je l'ai juste intégré et j'y ai incorporé les remarques apportées par l'un des promoteurs de ce travail.

[5] L'augmentation des prix du pétrole, en faisant augmenter les prix dans l'alimentaire par complémentarité, a empêché le remboursement des crédits par substitution dans le panier de consommation, suite à la demande inélastique de ces biens-là : c'est plus important de nourrir les enfants que de rembourser l'emprunt.

Concernant les plans en annexe[6], cela faisait des années que je cherchais à me procurer les plans des égouts. Les gens du secteur me répondaient souvent qu'il était impossible de se les procurer pour des raisons de sécurité. Mais finalement, ce n'est pas si compliqué. J'ai découvert qu'il existe une plateforme appelée le KLIM-CICC (Point de Contact fédéral Informations Câbles et Conduites) visant à éviter qu'un entrepreneur ne fore dans une conduite de gaz ou ne sectionne des câbles, etc. Il suffisait donc d'avoir un certain statut pour obtenir ces plans, et celui de mémorant en gestion de l'environnement urbain a été suffisant. Mon propriétaire, Vincent Yzerbit, m'a procuré les plans de la maison et j'ai pris contact avec l'architecte qui a rénové la maison il y a 8 ans, Béatrice Vanhille, pour récupérer les DWG (fichiers AutoCAD, le logiciel de DAO qui a servi à faire les plans de ce travail).

La partie « plans » a représenté, en nombre d'heures, un tiers du travail car, malgré le cours de DAO, nous ne sommes pas accoutumés - comme les étudiants en architecture - à jouer avec une série d'outils indispensables pour les rendus PDF. J'ai donc rencontré quelques difficultés dans cet exercice, mais cet apprentissage me sera très utile, car j'ai d'autres projets qui nécessiteront des plans. Notamment une machine agricole low-tech dont l'idée m'est venue durant mon stage en valorisation agricole des boues d'épuration et compost municipaux l'année dernière, sur le site de Basse-Wavre. Quand j'ai postulé pour ce stage, c'était déjà dans une idée d'intégration dans les cycles. Ces structures de traitement des eaux et déchets verts sont en effet indispensables dans le contexte actuel, notamment pour exporter la matière organique vers les agrosystèmes. Mais ce qui est développé dans ce travail, ce sont des solutions préventives en amont. On considère la gestion des déchets et des effluents comme quelque chose de coûteux, alors que la gestion en amont peut limiter ces coûts et produire aussi de l'énergie et des ressources.

J'ai aussi visité la StEp Nord, là où sont traitées les eaux de l'étude de cas. Je connais bien l'épuration des eaux, d'une part grâce au stage, d'autre part car nous avons eu un cours de Technique d'Epuration et Gestion des Déchets donné par Sophie Liégeois et Xavier Nicolay. Il était prévu au départ que j'explique le fonctionnement de la StEp Nord, mais ce volet ne sera pas approfondi dans le cadre de ce travail car je dépasserais le nombre de pages autorisées. Je retiens surtout de cette visite que la StEp Nord ne produit qu'un tiers de son énergie (par l'hydroélectricité, le bio-gazage des boues et les panneaux solaires sur le toit), ce qui n'est pas, en soi, un modèle pérenne. Néanmoins, j'ai trouvé ces structures vraiment passionnantes à étudier, notamment par la multidisciplinarité qu'elles requièrent, ce qui est une des spécificités de notre bachelier aussi.

Dans l'étude de cas j'ai beaucoup réfléchi à la communautarisation des biens, via l'abolition de certains droits de propriété comme celui d'une voiture individuelle, et l'établissement d'espaces communs en intérieur d'ilot en retravaillant les parcelles cadastrales Dans une société où l'on ne cesse de remettre en question les services publics, ceux-ci pourront-ils dans le futur encore assurer nos demandes de sécurité ? Et plutôt que de voir des sociétés

[6] Annexe 3

privées assurer notre sécurité, les habitants pourraient aussi avoir leur rôle à jouer. Le renforcement de petites communautés au niveau des quartiers ou des îlots pourrait apporter une partie de la solution. Je me réfère ici aussi au cours d'Histoire du Paysage Urbain de Christophe Couillien, où nous avons étudié les utopies urbaines de Charles Fourier ou de Robert Owen. Charles Fourier n'a-t-il pas imaginé des phalanstères peuplés de 2000 habitants ?

Ces idées relèvent peut-être de l'utopie, mais une utopie au sens de Luc Schuiten, une utopie féconde tournée vers un futur souhaité. Pas cette fausse utopie capitaliste et libérale, qui ne relève pas de l'utopie, mais plutôt de croyances plus vieilles que l'anarchisme, de connaissances moins rationnelles que l'anthropologie, et surtout moins scientifiques que la thermodynamique ou la biogéochimie. C'est donc une utopie tout compte fait très réaliste qui sera développée dans ce travail, bien plus que la croyance qui consiste à espérer que le système actuel pourra encore perdurer sans une remise en question radicale de notre modèle de développement. Croire que l'argent fiduciaire reposant sur des codages informatiques, du papier, et une dette toujours croissante, pourra me permettre de nourrir mes enfants, c'est assez suicidaire. D'autant que les dettes financières ne comptabilisent pas la dette écologique. Le système est concrètement en faillite, seule la confiance en la monnaie permet de retarder sa chute, qui comme déjà dit, ne pourra qu'être plus brusque à mesure qu'on la retardera.

Bref, je vais clôturer cette introduction en posant deux questions que je me propose d'étudier dans la suite de ce travail et auxquelles je répondrais dans la conclusion de ce travail :

- Dans quelle mesure pourrions-nous nous passer des réseaux de distribution et d'évacuation d'eau dans les maisons bruxelloises ou à l'échelle de l'îlot urbain bruxellois ?
- Quelles mesures prendre concrètement à l'échelle de la région ?

Car au-delà de l'utopie créative, je peux aussi avoir les pieds bien sur Terre…

2. Base théorique.

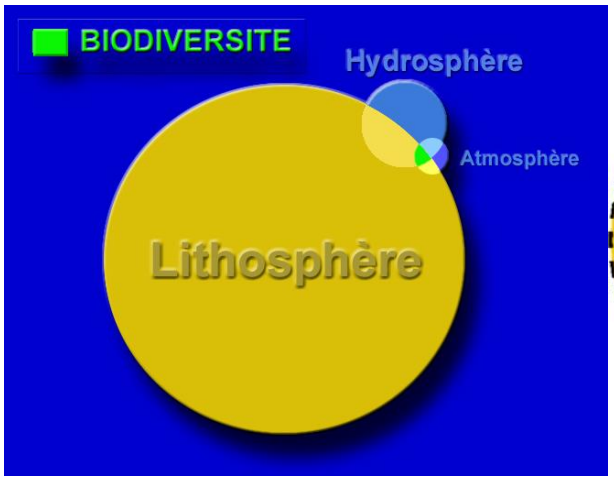
a. Approche thermodynamique des sphères et des cycles biogéochimiques.

« *A l'origine, des cycles chimiques se seraient formés, dissipant l'énergie de plus en plus efficacement. La vie serait apparue lorsque, produisant leurs propres catalyseurs (enzymes), des cycles dits autocatalytiques se sont reproduits. Protégés à l'intérieur d'une bulle d'acide gras, ces cycles auraient donné naissance aux premières cellules procaryotes (bactéries). Des symbioses de procaryotes auraient plus tard donné naissance aux cellules eucaryotes. Celles-ci auraient ensuite formé des organismes multicellulaires sous forme de plantes, de champignons ou d'animaux.* » (Roddier F., *Thermodynamique de l'évolution*, 2012, p.75)

« ***La biosphère*** *fonctionne comme une machine thermique. Elle reçoit de la chaleur du Soleil. Celui-ci se comporte comme une source chaude à température absolue proche de 6000°K. Le ciel nocturne se comporte comme une source froide à une température absolue proche de 3°K. La biosphère peut ainsi produire du travail mécanique avec un rendement atteignant presque 100%. Elles le fait en partie grâce à l'intermédiaire de cycles de réactions chimiques.* » (Roddier F., *Thermodynamique de l'évolution*, 2012, p.175)

Dans cette entrée en matière par François Roddier, tout est dit ! Il parle ici de la **biosphère** au sens de Vladimir Vernadski, qui englobe l'ensemble des êtres vivant **ET** leur milieu, donc en gros l'écosystème global. Mais je préfère la qualification de cet ensemble d'**écosphère**, car cela se calque mieux à la notion d'**éco**système, ce dernier est par définition constitué d'un biotope minéral et d'une biocénose vivante. Le biotope est séparé en un édaphotope (le sol), un climatope (l'air) et un hydrotope (l'eau)[7], à l'échelle globale l'édaphotope c'est la **lithosphère**, le climatope global c'est l'**atmosphère** et l'hydrotope global c'est l'**hydrosphère**. La partie vivante de l'écosystème est donc quant à elle qualifiée de biocénose, que l'on peut séparer en une phytocénose (les plantes) et une zoocénose (les animaux), sans oublier les consommateurs finaux composés de bactéries et de champignons). Au sens de Pierre Theilhard de Chardin et Marcel Florkin, la **biosphère** constitue uniquement la biocénose globale ou l'holobiome[8], et je préfère cette définition car elle se calque mieux à la notion d'écosystème global, qui est d'ailleurs bien illustrée par ce schéma de la lithosphère ci-dessous à gauche, tiré de Wikipedia, où l'on voit que la biocènose en verte, est toute petite en terme de masse par rapport à la lithosphère, l'atmosphère et l'hydrosphère qui la constituent.

[7] La synthèse écologique p.6
[8] La synthèse écologique p. 3 et 4



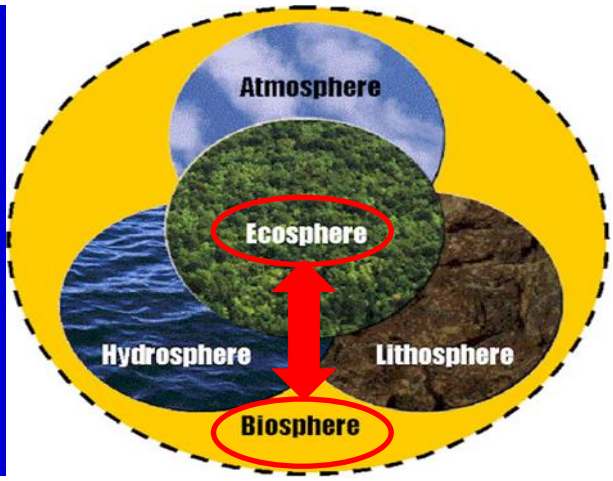


Figure 2 A gauche un schéma des sphères en termes de masse, issu de la page Wikipédia de la lithosphère[9]

Figure 3 A droite un schéma présentant une erreur (selon moi, il faut inverser écosphère et biosphère.[10])

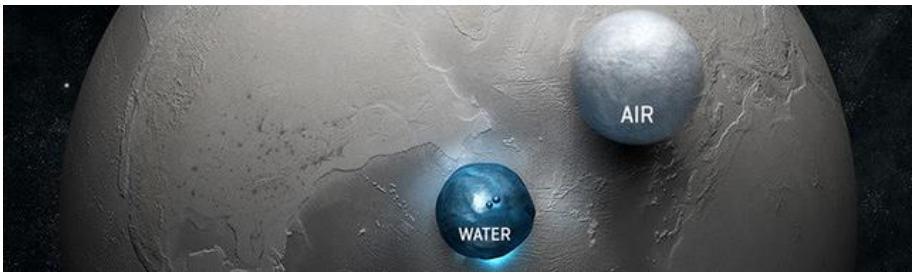


Figure 4 Cette illustration de Félix Pharand-Deschênes (concept de Adam Nieman), représente les sphères en terme de volume et non de masse.[11]

L'ensemble lithosphère, atmosphère et hydrosphère est parfois qualifié de **géosphère**[12], géo veut dire la Terre au sens de la planète entière, pourtant la géologie s'est historiquement concentrée sur l'étude de la lithosphère et des structures internes de la Terre (noyau interne et externe, manteau et croûte terrestre) notamment suite à la découverte de la tectonique des plaques. Vernadski a quant à lui séparé la biosphère en une biogéosphère terrestre et une biohydrosphère océanique, donc je qualifierais de **géosphère,** uniquement la partie minérale ne comprenant pas l'atmosphère ni l'hydrosphère, mais comprenant la lithosphère et le reste du centre de la Terre.

Concernant les cycles qui traversent ces sphères, nous avons vu que le cycle moteur de la machine thermique, c'est évidemment le cycle de l'eau, qui est permis dans une coquille vide de l'**héliosphère** appelé la zone habitable, la zone où l'on peut trouver de l'eau à l'état liquide et où il est donc permis des transitions de phase nécessaires à l'établissement du cycle. Mars se trouve aussi dans cette zone, mais nous verrons pourquoi la planète n'est pas

[9] https://fr.wikipedia.org/wiki/Lithosph%C3%A8re consulté le 06/07/17. Par Lamiot en licence libre.
[10] La source est introuvable tellement le schéma a été copiée/collée sur le net…
[11] ANONYME (rédaction notre-planete.info), *Cartographie de l'air sur Terre : une petite bulle à préserver*, notre-planete.info, 2014, En ligne, https://www.notre-planete.info/actualites/3908-carte-air-eau-Terre-bulle, consulté le 24/07/2017
[12] Définition du Larousse

habitable d'ici peu. Au passage, notons que la zone habitable, en raccourci : ZH, est qualifiée par les astrophysiciens d'écosphère, nous voyons donc qu'il n'existe pas de consensus concernant toutes ces définitions.

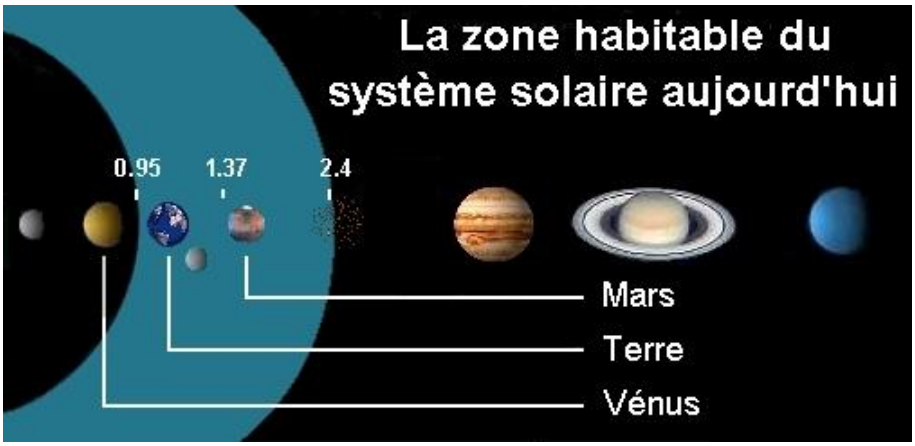


Figure 5 Zone habitable du système solaire, entre 0,95 et 2,4 UA (unité astronomique, 1 UA = distance Terre-Soleil = 150M de Km)[13]

Les courants et les précipitations sont indispensables à l'oxygénation des océans et à la base de la vie en milieu terrestre, où l'évapotranspiration permet les cyclisations d'éléments minéraux via les montées de sève, permettant ensuite la photosynthèse et le cycle du carbone, qui sera en bonne partie le moteur des cycles de l'azote, du soufre, du phosphore, etc. On a clairement une cascade thermodynamique de dissipation de l'énergie, autrement dit de production d'entropie. Ces cycles sont animés à court et moyen termes par l'**héliosphère**, la zone d'influence de cet énorme réacteur à fusion nucléaire qu'est notre Soleil. Mais à long terme l'implication du réacteur à fission nucléaire de la **géosphère**, fonctionnant avec la désintégration de l'uranium cette fois, et plus communément appelé « énergie géothermique », est essentiel à l'existence de cycles à l'échelle **géo**logique via la dérive des plaques et l'activité volcanique, cette dernière est par ailleurs une source fondamentale de la formation de l'atmosphère ancestrale. On a donc là les deux réacteurs nucléaires essentiels au fonctionnement du monde et sans lesquels nous n'existerions pas.

Le réacteur nucléaire interne à la **géosphère** du système Terre, est essentiel à la fusion d'un noyau de fer entouré d'une **asthénosphère**, le noyau agissant comme un gigantesque aimant, et comme une levée de bouclier face au vent solaire ionisant, la **magnétosphère** nous protège de l'érosion de l'**atmosphère** par l'**héliosphère**, cette **magnétosphère** est donc essentielle à la vie terrestre (la vie océanique pourrait probablement perdurer, ou pas, peut-être que l'eau martienne s'est érodée de cette façon). Au passage je ne donne pas cher de l'espérance de vie d'une colonie martienne, qui développera rapidement des mutations cancéreuses face au souffle permanent de cette gigantesque bombe H qu'est notre Soleil, car Mars n'a pour ainsi dire pas d'activité géothermique et sa magnétosphère est donc très

[13] http://www.astrosurf.com/luxorion/bioastro-recherche-planetes-habitables.htm consulté le 06/07/2017

faible. Les images ci-dessous sont extraites d'une vidéo de la chaîne Youtube de la NASA[14], la première image montre le champ magnétique terrestre global nous protégeant du vent solaire, la deuxième est une illustration d'un ensemble hétérogène de « parapluies magnétiques » sur Mars, et la troisième présente une modélisation de l'érosion de l'**atmosphère** martienne par le vent solaire.

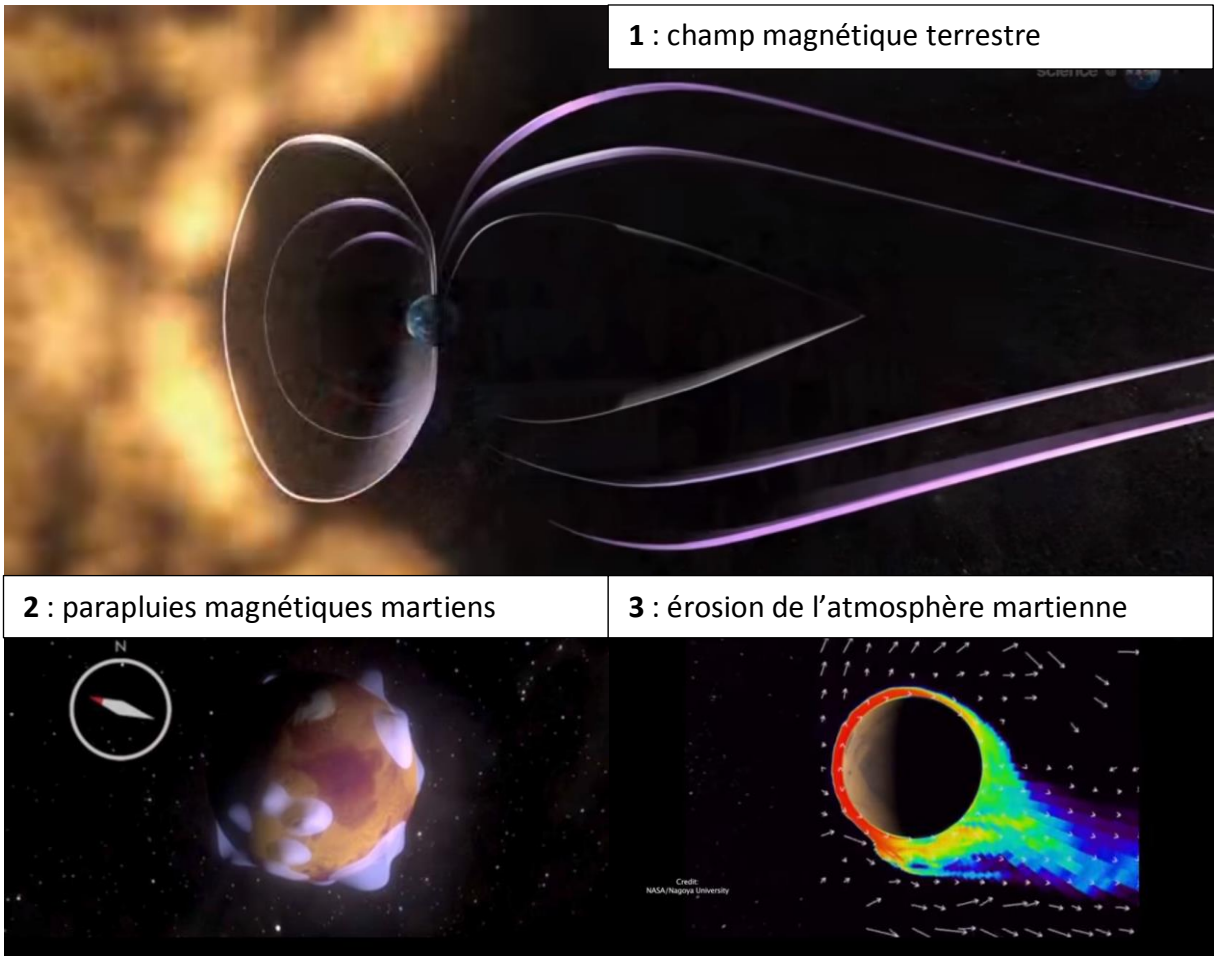


Figure 6 Images tirées d'une vidéo Youtube de la NASA expliquant l'érosion atmosphérique[15]

En revenant sur Terre, il ne faut pas oublier de préciser que la géosphère lunaire aurait un rôle important dans le maintien de l'axe de la Terre et dans l'attraction des astéroïdes, deux facteurs de déstabilisation du climat, la Lune permet donc plus de stabilité climatique sur Terre. En se rapprochant encore on peut préciser qu'entre la **magnétosphère** et l'**atmosphère** nous avons l'**exosphère**. Du haut vers le bas, l'**atmosphère** est stratifiée en une thermosphère (ou ionosphère, où se déroulent les aurores boréales, une réaction entre des résidus de vent solaire ionisant et les premières molécules de l'atmosphère), une mésosphère, une stratosphère et une troposphère, cette dernière est par ailleurs l'endroit où se déroule la vie, c'est donc en fait de cette partie de l'**atmosphère** que l'on parle depuis

[14] ScienceCasts: Colliding Atmospheres - Mars vs Comet Siding Spring https://www.youtube.com/watch?v=2R4yj7DtQbM&feature=youtu.be consulté le 06/07/2017
[15] Ibid

le début. On peut aussi rappeler le fait que la stratosphère accueille la couche d'ozone, produit minéral mais provenant du vivant (au départ produit par la phytohydrogénèse : les cyanobactéries ou algues bleues ayant commencé à enrichir en oxygène l'atmosphère primitif), en reflétant les UV du soleil, cette couche permet la vie en milieu terrestre, autrement dit elle permet l'existence de la **biogéosphère**, dans laquelle nos organismes sont très accessoirement compris.

Je pense qu'il faut finir ce point en rappelant que sans le ciel nocturne à 3°K, sans la source froide du système dont nous parlait François Roddier au début, et bien rien de tout cela ne serait possible. Et qu'il est important de noter que les sources d'énergie du système sont nucléaires et que toutes les énergies qui animent la **technosphère**, des énergies fossiles aux renouvelables en passant par le nucléaire, elles sont toutes inscrites dans ce flux dissipatif naturel. Après avoir médité plusieurs mois sur ces questions et étant sensibilisé à la question climatique depuis bien longtemps, je pense qu'en augmentant l'effet de serre, nous n'allons pas du tout dans le sens de la vie cherchant à dissiper de plus en plus efficacement l'énergie. Car bien que la **technosphère** dissipe de plus en plus efficacement de l'énergie, elle augmente l'entropie interne au système Terre en augmentant l'effet de serre. Nous gardons plus d'énergie solaire dans le système Terre au lieu de chercher à diminuer son entropie interne puisque nous déstabilisons les cycles qui cherchent à évacuer cette énergie.

J'ai finipar faire mes propres schémas reprenant les sphères car ça fait des années que je gribouille de temps à autre des schémas de ce type et que je n'en ai pas trouvé qui me convenaient.

Figure 7 Montage de l'auteur à partir de différentes photos retouchées, schématisant l'héliosphère, la zone habitable, la magnétosphère, la géosphère lunaire et l'écosphère terrestre.

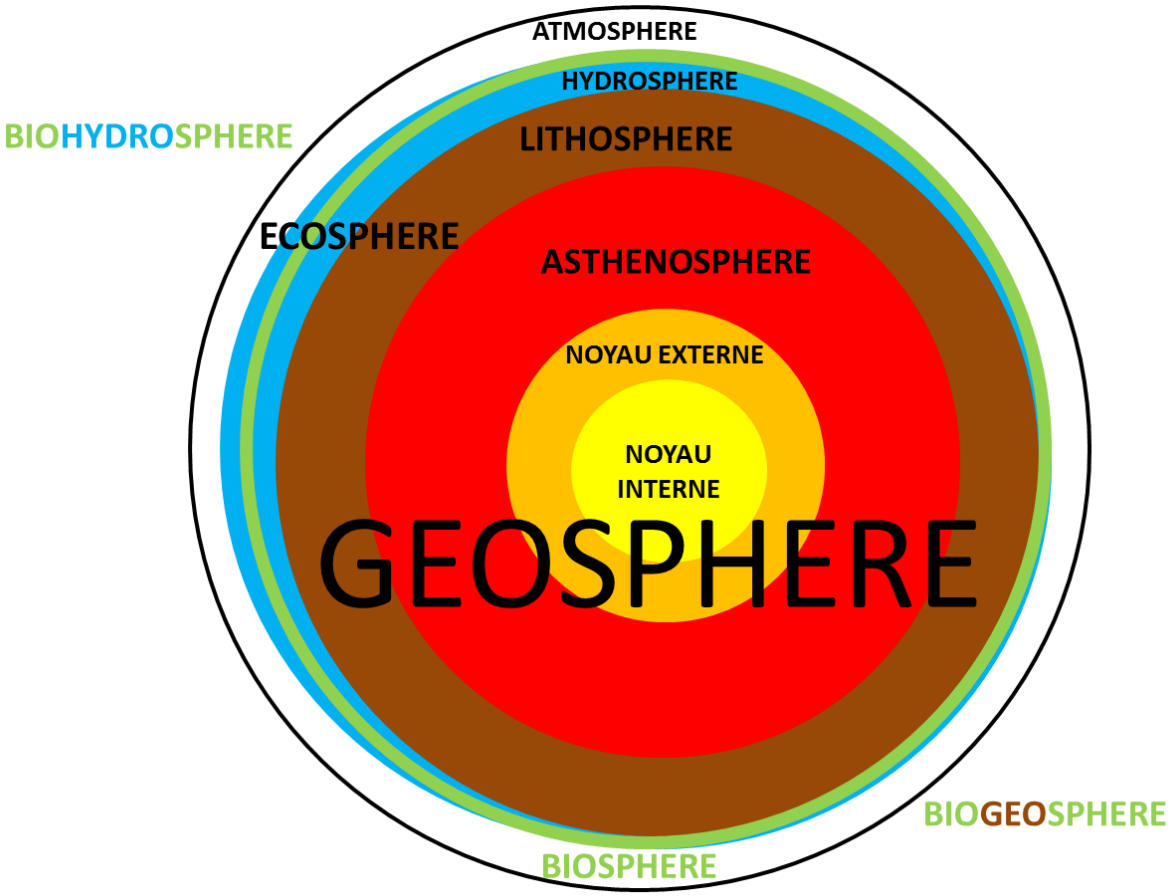


Figure 8 Dessiné par l'auteur sur PowerPoint, ici l'écosphère comprend la biosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la lithosphère. Et la géosphère comprend le noyau, l'asthénosphère et la lithosphère. La lithosphère est donc entre les deux.

Je termine ce chapitre sur la question de l'entropie de la matière, dont parle beaucoup Nicholas Georgescu-Roegen dans son livre « La décroissance – Entropie – Ecologie – Economie» (1979) Nouvelle édition (1995) en nous proposant de méditer cet extrait de la page 69:

« Les lois actuelles de la physique et de la chimie n'expliquent pas complètement la vie. Cependant l'idée que la vie puisse violer une loi naturelle n'a pas de place dans la science. Néanmoins, comme on l'a remarqué depuis longtemps - et plus récemment dans l'exposé remarquable d'Erwin Schrödinger (1944, pp. 69-72), Qu'est-ce que la vie ? - la vie semble échapper à la dégradation entropique à laquelle est soumise la matière inerte. En réalité, tout organisme vivant s'efforce sans cesse de compenser sa propre dégradation entropique continuelle en assimilant de la basse entropie (néguentropie) et en rejetant de la haute entropie. Manifestement, ce phénomène n'est pas contraire à la Loi de l'Entropie qui stipule seulement que c'est l'entropie du système total (l'environnement et l'organisme) qui doit augmenter. Tout est en règle aussi longtemps que l'entropie de l'environnement augmente plus que l'entropie compensée de l'organisme.

Tout aussi important est le fait que la Loi de l'Entropie est la seule loi naturelle dont la prédiction n'est pas quantitative. Elle ne spécifie pas de combien sera l'accroissement à tel

moment à venir ou quelle configuration entropique particulière surviendra. C'est pourquoi il existe dans le monde réel une indétermination entropique qui permet non seulement à la vie de se développer selon une infinité de formes, mais encore à la plupart des activités d'un organisme vivant de jouir d'une certaine marge de liberté (NGR 1971b, p. 12). Sans cette liberté, nous ne serions pas en mesure de choisir entre manger des haricots ou de la viande, entre manger maintenant ou plus tard. Nous ne pourrions pas non plus chercher à appliquer des plans économiques (à tous les niveaux) selon notre propre choix.

C'est aussi en raison de l'indétermination entropique que la vie n'est pas sans importance pour le processus entropique. Il ne s'agit pas là de vitalisme mystique, mais d'une affaire de faits bruts. Certains organismes ralentissent la dégradation entropique. Les plantes vertes emmagasinent une partie du rayonnement solaire qui autrement serait immédiatement dissipée en chaleur, en haute entropie. C'est pourquoi nous pouvons aujourd'hui brûler de l'énergie solaire préservée de la dégradation il y a des millions d'années sous forme de charbon ou depuis un plus petit nombre d'années sous forme d'arbres. Tous les autres organismes, au contraire, accélèrent la marche de l'entropie. Sur cette échelle, l'homme occupe la position la plus élevée ; d'où tous les problèmes d'environnement. »

(Georgescu-Roegen N., « La décroissance - Entropie – Écologie – Économie » (1979) Nouvelle édition (1995), p.69)

b. Résumé des principaux cycles biogéochimiques.

Toutes les représentations de molécules ci-après proviennent de Wikipédia, car cette encyclopédie libre a formalisé la chimie d'une façon pratique et uniforme. C'est aussi de plus en plus le cas pour les classements phylogénétiques : on se fie aveuglement à la fiche Wikipédia d'une espèce pour nos herbiers car c'est propre, uniforme et que cela traduit les dernières recherches phylogénétiques.

I. Le cycle du carbone

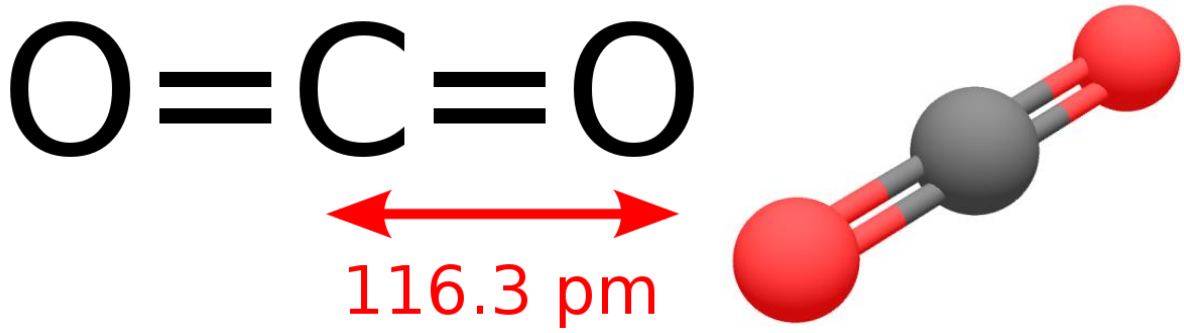


Figure 9 Molécule de CO2, le carbone à l'état minéral dans le cycle.[16]

Le macrocycle géochimique du carbone, un structure dissipative de l'énergie solaire, est principalement permis grâce à deux microcycles biochimiques, d'une part le cycle de Calvin (phase sombre de la photosynthèse au sein des chloroplastes) qui fixe le carbone minéral en

[16] https://fr.wikipedia.org/wiki/Dioxyde_de_carbone consulté le 08/07/2017

potentiel chimique organique, alors que le cycle de Krebs (respiration aérobie au sein des mitochondries) brûle les molécules organiques, ce sont donc des microcycles biochimiques à l'échelle d'organites issus d'endosymbioses ancestrales avec des bactéries primitives, qui permettent l'existence du macrocycle géochimique du carbone d'exister.

L'atmosphère primitive était essentiellement composée d'H_2O, de CO_2 et de H_2S. Ensuite la biogénèse de la planète a permis l'enrichissement de l'atmosphère en oxygène et la sédimentation océanique du carbone en carbonate de calcium qui a lui-même permis d'en séquestrer d'énormes quantités sous forme de roches calcaires. Quand le milieu terrestre fut colonisable, les forêts de fougères du Carbonifère en ont encore séquestré d'énormes quantité sous forme de charbon, puis l'apparition des champignons capables de dégrader la lignine a permis de garder ce carbone dans le cycle[17], via leurs mitochondries et donc le cycle de Krebs, et il ne se forme plus de charbon depuis. La lignine serait un déchet de l'arbre en croissance selon Francis Hallé, qui utiliserait cet excrément comme élément de support.[18]

La sédimentation de carbone océanique a continué pour produire du pétrole et du gaz (les deux ont la même géogénèse), mais de façon moindre. Cette sédimentation est parfois considérée comme une anomalie dans le cycle, mais les mouvements géologiques finissent par les faire affleurer et des champignons et bactéries sont capables de les digérer[19] quand ils ne dégazent pas simplement dans l'atmosphère ou après digestion par la Terre via l'activité volcanique. Par exemple les ressources du golfe persique se sont formées dans l'océan Thétys et les mouvements géologiques les ont concentrées dans cette zone aujourd'hui. Dans tous les cas on est face à des processus extrêmement lents et minoritaires à l'échelle du cycle.

Le dégazage brusque que nous produisons via la combustion massive de ces ressources par la thermo-industrie (la technosphère) ne peut qu'être dommageable aux écosystèmes. On sait que la sortie de l'âge glaciaire a eu du bon en termes de bio-productivité, mais durant cette période le CO2 atmosphérique augmentait 100 à 300 fois moins vite que la hausse actuelle. Normalement nous avons passé le pic interglaciaire il y a 1000 ans et la planète devrait se refroidir, mais au mieux le prochain âge glaciaire ne se déroulera pas, ce qui est clair selon Michel Crucifix de l'UCL, « *absolument aucun doute la dessus, la concentration en CO2 maintenant est beaucoup trop élevée pour rentrer en glaciation* »[20], au pire le réchauffement climatique a enclenché - ou risque d'enclencher - des phénomènes bien plus inquiétants suite au dégazage des clathrates de la cryosphère, l'enrayement du puits de carbone hydrosphérique avec l'acidification des océans, et la combustion de certains biomes

[17] Chapelle G., *Le vivant comme modèle - la voie du biomimétisme*, p. 66
[18] Episode 10 : Les excréments des plantes https://www.youtube.com/watch?v=3MzJYy3EPGY consulté le 08/07/2017
[19] 11ième principe du vivant selon Hoagland & Dodson, voir Chapelle G., *Le vivant comme modèle - la voie du biomimétisme*, p.91
[20] LOUVIGNY A., *La Terre aurait déjà dû commencer sa période de glaciation*, RTBF – société, 2017, En ligne, https://www.rtbf.be/info/societe/detail_la-terre-aurait-deja-du-commencer-sa-periode-de-glaciation?id=9540971, consulté le 20/07/2017

terrestres donc de la biosphère (comme les incendies des forêts boréales qu'on observe depuis deux ans en Sibérie ou au Canada…). Le taux de CO2 pourrait se mettre à grimper même sans notre intervention et il va sans dire que dans une ère géologique à 1000ppm, nous n'y serons probablement pas les bienvenus. D'ailleurs, on ne l'appellera pas l'anthropozoïque, elle n'aura pas de nom, puisque l'espèce aura disparu.

En rapport avec le cycle, j'ai mené des petites expériences avec des cloches enrichies de CO_2 et irradiées avec des lampes IR[21] au labo de Dominique Gallot de l'institut Meurice. J'ai conduit ces expériences en parallèle au cours d'écotoxicologie de Françoise Mullie durant le premier quadrimestre de cette année. J'ai malheureusement perdu les photos et les données suite au vol de ma tablette. Je n'avais pas répété suffisamment de fois l'expérience pour avoir des résultats fiables, mais j'ai néanmoins pu constater que la cloche enrichie de CO2 se réchauffait moins vite, mais se refroidissait aussi plus lentement. C'est l'effet tampon du CO2 responsable de l'effet de serre, c'est grâce à cela qu'il ne fait pas trop chaud au soleil et pas trop froid la nuit. Mais cela signifie aussi que les émissions d'aujourd'hui n'ont probablement pas des conséquences immédiates sur le réchauffement climatique. James Hansen estime que le réchauffement actuel est conséquence des émissions des années 70, il y aurait un « climate lag » de 40 ans[22]. Nous en reparlerons dans la partie sur le cycle de l'eau, qui est la principale source d'absorption de chaleur du réchauffement, le principal gaz à effet de serre c'est l'eau, et il est assez clair que la réaction des cycles à cette injection de carbone sera plutôt de l'ordre des millénaires puisque les cycles océaniques absorbent la majeure partie du réchauffement et fonctionnent à cette échelle de temps.

[21] Protocole en annexe 5, mais à refaire je changerais le protocole.
[22] MARSHALL A, *Climate change : the 40 year delay between cause and effect,* Skeptical Science, 2010, En ligne, https://skepticalscience.com/Climate-Change-The-40-Year-Delay-Between-Cause-and-Effect.html, Consulté le 10/08/2017

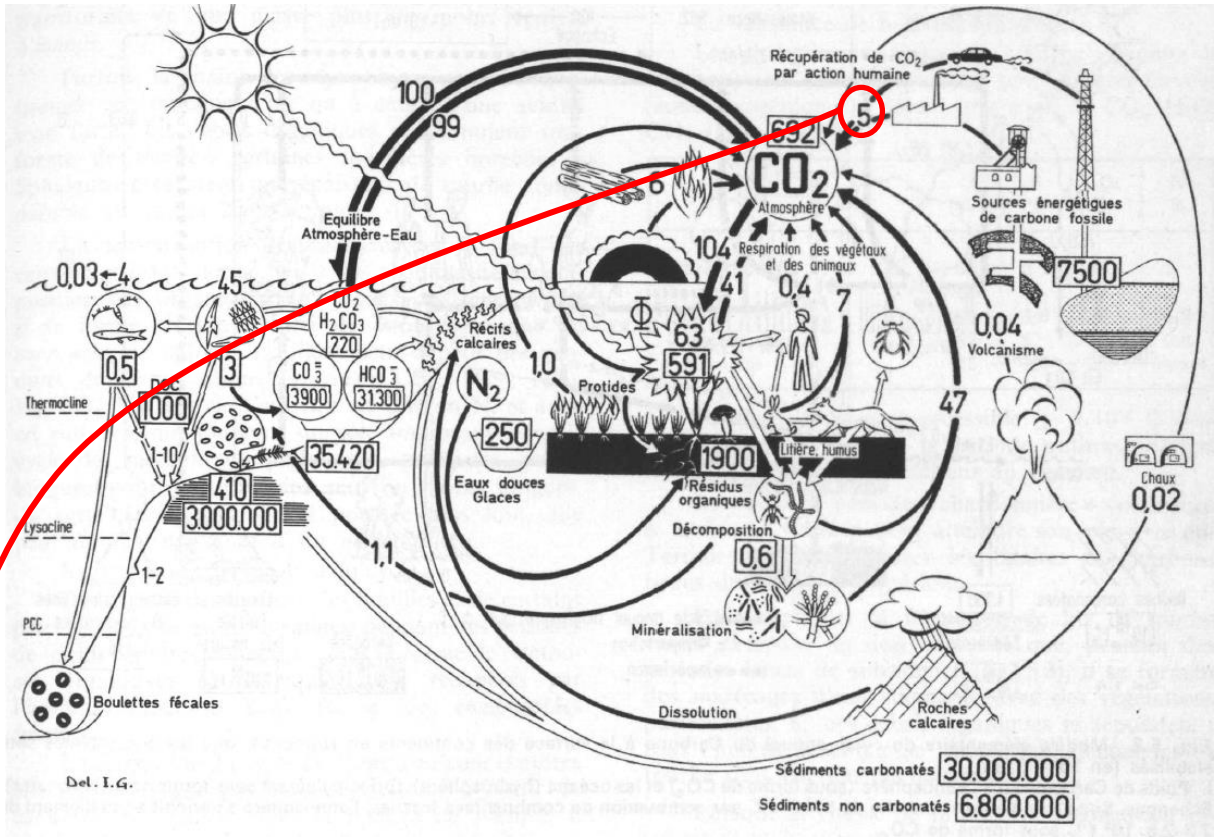


Fig. 5.1 Cycle du Carbone dans le monde. Carbomasses (encadrées), en 10^9tC. Flux du Carbone, en 10^9tC/an. Valeurs d'après Scope 13, 1978. (Pour explications, voir texte.)
Les flèches noires correspondent au cycle court : Carbone mobile et constamment remis en circulation.
Les flèches blanches correspondent au Carbone qui se fixe pendant des périodes très longues : sédiments calcaires, pétrole, houille.

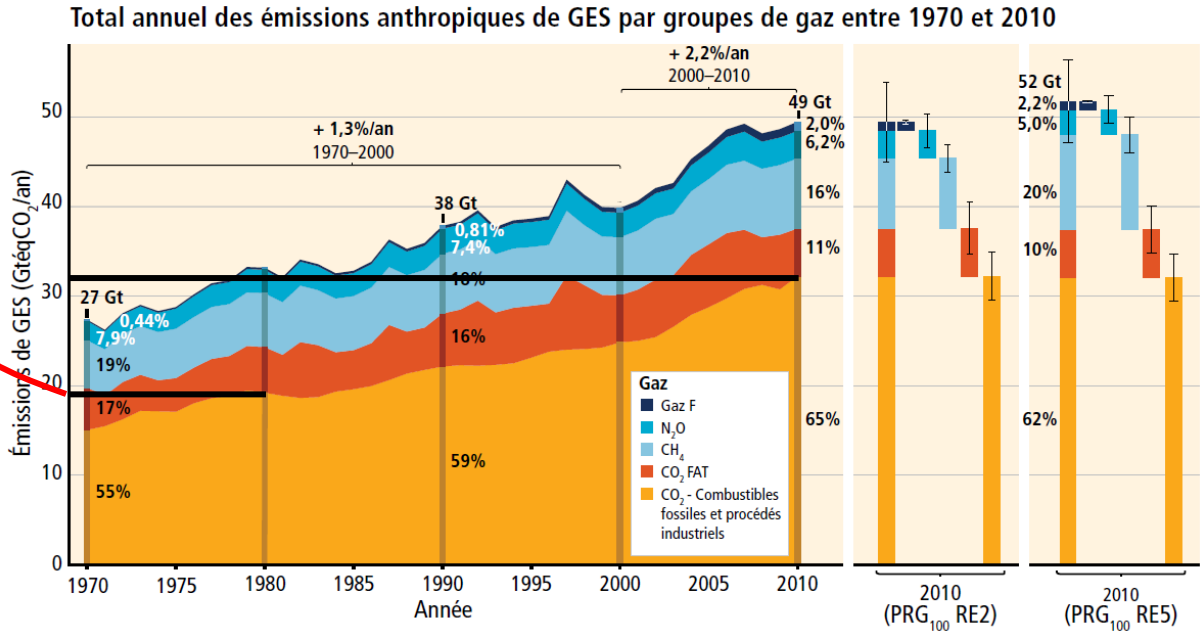


Figure 10 Au dessus la synthèse écologique p. 191. En dessous le résumé à l'intention des décideurs du rapport de synthèse du GIEC de 2014, p.5. En rouge, entre les données du GIEC et l'estimation de Paul Duvigneaud, la différence d'un facteur 4 sur les émissions de carbone aux alentours des années 80 correspond au rapport de masse atomique entre le CO_2 et le C, soit 3,66[23].

[23] Masse atomique du CO_2 = 12+16+16 = 44 et 44/12 = 3,66.

II. Le cycle de l'oxygène

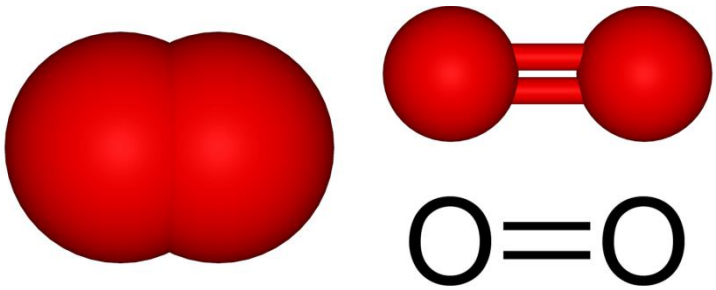


Figure 11 L'oxygène sous sa forme minérale le dioxygène https://fr.wikipedia.org/wiki/Dioxyg%C3%A8ne consulté le 08/07/2017

Le dioxygène a enrichi l'atmosphère avec l'apparition de la photosynthèse par les algues bleues ou cyanobactéries, il y a 2,4 milliards d'années. L'hydrosphère s'est alors enrichie en oxygène (**phase 2**), au point que ce déchet de la photosynthèse ait fini par engendrer l'extinction de masse de La Grande Oxydation il y a environ 2,4 Ga (milliards d'années).

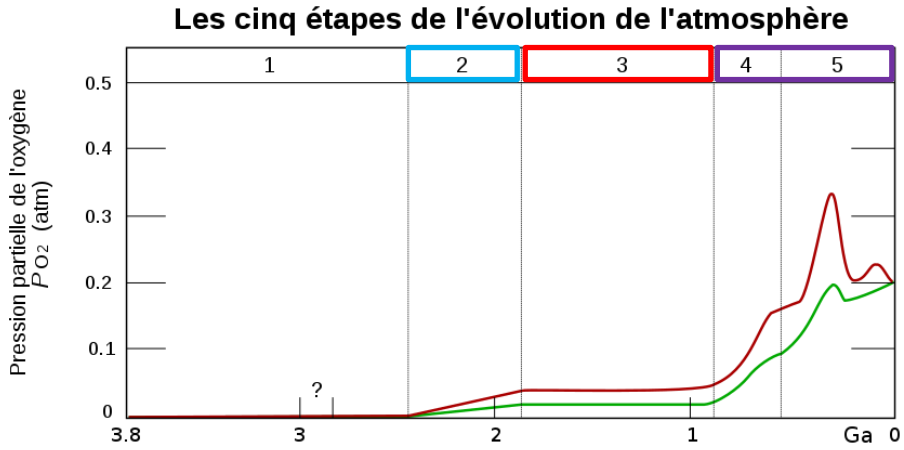


Figure 12 « *Évolution de la concentration en dioxygène de l'atmosphère terrestre. Limite haute en rouge et basse en vert. Échelle horizontale : temps en milliards d'années.* ». Ariel Provost en licence libre.[24]

Quand les océans ont été saturés, l'oxygène a dégazé mais a été absorbé par l'oxydation de la lithosphère, notamment du fer, et par la constitution de la couche d'ozone (**phase 3**). C'est seulement ensuite que l'atmosphère s'est enrichie d'oxygène et a fluctué pour composer aujourd'hui 20,8% de l'atmosphère (**phase 4 et 5**).

Il faut retenir que le vivant s'est adapté en utilisant ce déchet comme une ressource[25] et la respiration aérobie est apparue via des bactéries de « *la classe des Alphaprotéobactéries* (qui) *est l'un des cinq groupes du phylum des Protéobactéries* »[26]. Plus tard, dans l'évolution, certaines de ces bactéries ont fusionné avec des eucaryotes pour former les mitochondries, des organites cellulaires disposant de leur propre ADN qui nous ont permis de respirer le dioxygène atmosphérique, selon la théorie de l'endosymbiose de Lynn Margulis de 1966.

[24] https://fr.wikipedia.org/wiki/Grande_Oxydation consulté le 10/08/2017

[25] 11ième principe du vivant selon Hoagland & Dodson, voir Chapelle G., *Le vivant comme modèle - la voie du biomimétisme*, p.91

[26] https://fr.wikipedia.org/wiki/Alphaproteobacteria consulté le 08/07/2017

Vérifiée par le séquençage génétique depuis, cette endosymbiose a eu lieu il y a environ 2 milliards d'années. Concernant les cyanobactéries, elles ont aussi fait une endosymbiose avec des eucaryotes photosynthétiques pour former leurs chloroplastes.

III. Le cycle de l'eau

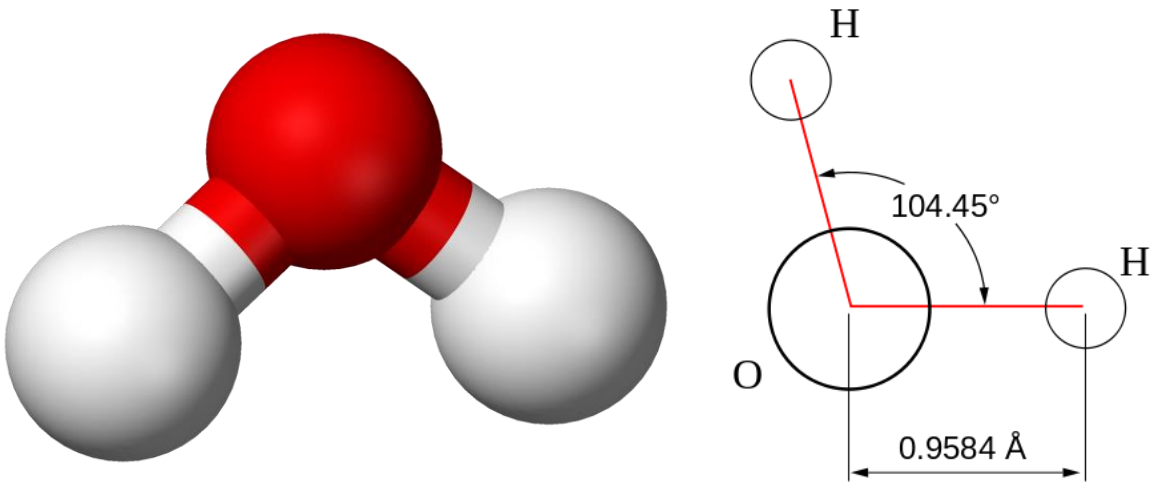


Figure 13 L'eau https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau consulté le 08/07/2017

Organiquement lié aux deux cycles précédents, ce n'est néanmoins pas dans les processus de photosynthèse et de respiration que l'essentiel du cycle se passe et bien que l'évapotranspiration des plantes brasse aussi d'importantes quantités d'eau (50x plus que la photosynthèse), ce n'est là encore, pas l'essentiel du cycle de l'eau. La transmission la plus importante de cette machine à vapeur se passe dans les océans, et ce moteur fonctionne à l'énergie solaire et brasse aussi beaucoup d'air. On peut rappeler que l'énergie éolienne et hydroélectrique n'est que du rayonnement solaire transformé en mouvement et destiné à rayonner sous forme de chaleur. C'est de l'énergie solaire augmentant son entropie.

L'essentiel de l'énergie solaire est dissipé par le cycle de l'eau activant des cellules de convection océaniques et atmosphériques. Le cycle du carbone et de l'oxygène en dépendent, particulièrement en milieu terrestre, car il est impossible d'envisager une biogéosphère sans précipitation. C'est clairement le cycle de soutien aux autres cycles. Impossible d'envisager la vie sans lui. Il est possible seulement si des transitions de phase sont possibles. Il nécessite donc, inévitablement, de l'eau à l'état liquide. La NASA envisage par exemple un cycle de l'eau sous la calotte de glace du satellite de Jupiter nommé Europe, une vie sans lumière basée sur l'énergie géothermique comme autour des fumeurs noirs[27].

Rappelons ici que 90% du réchauffement sur Terre est absorbé par le pouvoir calorifique de l'eau (l'hydrosphère), que 6% est absorbé par la chaleur latente d'enthalpie de fonte de la glace (le dégel de la cryosphère), 3% par le sol (la lithosphère), et que seul 1% du

[27] DYCHES P., *Europa's Ocean May Have An Earthlike Chemical Balance*, nasa.gov, 2016, En ligne, https://www.nasa.gov/feature/jpl/europas-ocean-may-have-an-earthlike-chemical-balance, consulté le 24/07/2017

réchauffement sert effectivement à réchauffer l'atmosphère. Le réchauffement de l'atmosphère continuera donc encore longtemps suite à la vaporisation/fusion de l'eau des océans, autrement dit, suite aux précipitations[28]. James Hansen estime le décalage entre le forçage actuel du réchauffement, et le réchauffement mesuré de l'atmosphère, à 40 ans. Le réchauffement actuel qui nous parait déjà inquiétant, est en fait la conséquence des émissions durant les années 70[29]. Et les cellules de convection océaniques ayant un temps de cycle qui est plutôt de l'ordre du millénaire, l'inertie du réchauffement pourrait, en fait, être encore beaucoup plus longue que prévu. Nous avons enclenché un phénomène qui nous dépasse largement.

La variation d'enthalpie (ΔH), traduit l'énergie nécessaire à un changement de composition ou d'état. Elle est positive durant la photosynthèse, la fusion ou la vaporisation de l'eau (réaction endothermique). Elle est négative durant la respiration, la liquéfaction ou la solidification de l'eau (réaction exothermique). Dans une chaudière à condensation, on récupère la chaleur latente de liquéfaction de l'eau, par exemple. Cela peut être contre intuitif car quand il fait chaud et qu'il pleut, la sensation de froid provient du fait que le pouvoir calorifique de l'eau liquide va absorber beaucoup de calories, notamment par vaporisation. Mais les nuages qui se transforment en pluie, cela dégage une chaleur latente d'enthalpie de liquéfaction, c'est indéniable.

C'est dans ce point que l'on pourrait le plus aisément parler de thermodynamique théorique de façon plus approfondie, mais le travail est déjà fort conséquent donc ce ne sera pas creusé plus que ça. C'est d'ailleurs pour cela que j'ai donné comme titre à ce travail *« Approche thermodynamique »* et non *« Analyse thermodynamique de l'intégration du bâti traditionnel bruxellois dans les cycles biogéochimiques »*.

IV. Le cycle de l'azote

Le cycle de l'azote n'est pas le plus simple à comprendre. Selon moi, c'est sans doute le plus compliqué. Mais je suis relativement à l'aise avec, notamment grâce aux multiples analyses biochimiques de l'eau de l'aquaponie de l'institut Meurice que j'ai dû réaliser durant mon stage cette année. Et aussi grâce au cours d'écologie de Valérie Penninck et Yannick Mwape.

Pour commencer, rappelons que le réservoir d'azote est atmosphérique : 78% de l'atmosphère en est composé, mais c'est du diazote minéral très stable difficilement assimilable. Pour casser la triple liaison qui lie ces deux atomes d'azote entre eux et les lier avec de l'hydrogène ou de l'oxygène, pour le transformer en composé organiquement assimilable par la biocénose, il faut beaucoup d'énergie, soit une forte variation d'enthalpie positive (ΔH élevé).

---

[28] Messages clés du 5ème rapport du GIEC https://www.youtube.com/watch?v=4UhYWkLv1FA&t=1251s Consulté le 08/07/2017

[29] MARSHALL A, *Climate change : the 40 year delay between cause and effect,* Skeptical Science, 2010, En ligne, https://skepticalscience.com/Climate-Change-The-40-Year-Delay-Between-Cause-and-Effect.html, Consulté le 10/08/2017

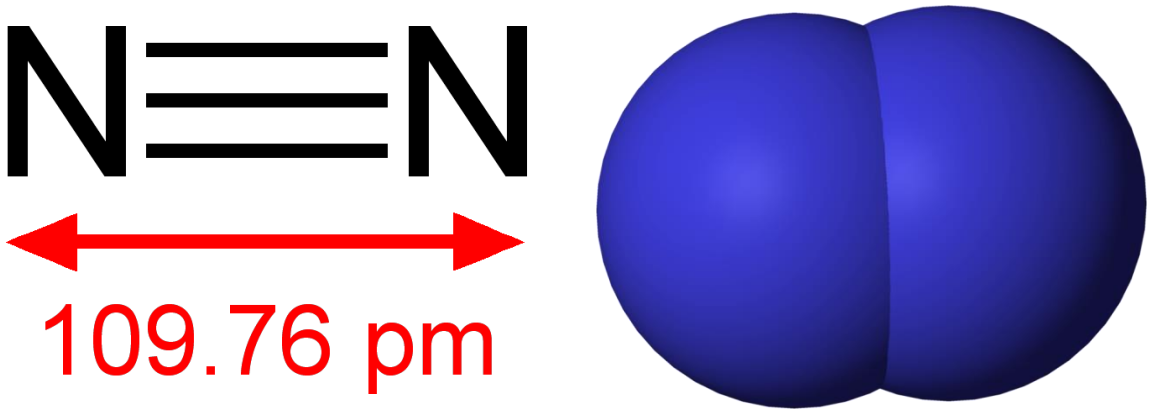


Figure 14 Forme minérale de l'azote, le diazote https://fr.wikipedia.org/wiki/Diazote consulté le 09/07/2017

La foudre est une source d'oxydation de l'azote, elle produit des NO_X à une hauteur de 1 à 10 kg/ha/an[30]. C'est donc le cycle de l'eau qui permet, en partie, l'introduction d'azote organique dans le cycle interne à la biocénose.

Mais notre principale source d'azote pour l'agriculture provient d'un processus thermo-industriel lourd bien connu de tous les chimistes, appelé le processus Haber-Bosch, développé par les scientifiques allemands Fritz Haber et Carl Bosch, consistant en l'hydrogénisation du diazote atmosphérique, entendez par là la production industrielle d'ammoniac.[31]

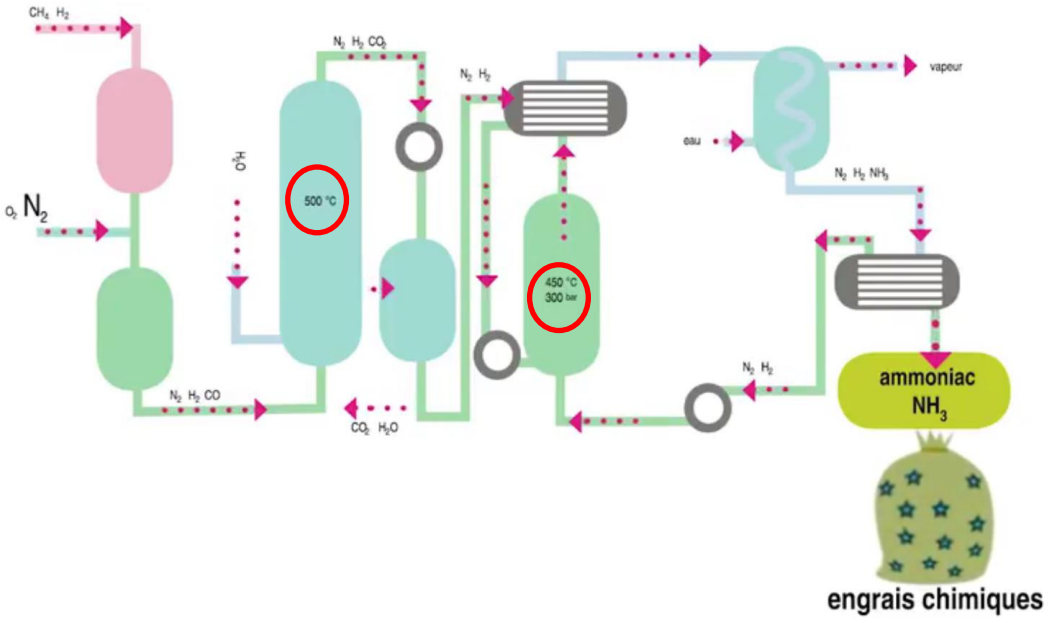


Figure 15 Ecologie cycle biogéochimique https://www.youtube.com/watch?v=nhMEbUqQ53A consulté le 09/08/2017

[30] Duvignaud p63

[31] L'ammonia**que** est une solution aqueuse d'ammonia**c**, qui est en phase gazeuse à pression et température ambiante. Ayant une bonne affinité avec l'eau, à faible concentration l'ammoniac en solution ne dégaze pas.

Cette production a explosé très vite après son invention en 1909, dans tous les sens du terme, car l'ammoniac sert à faire de l'explosif (l'explosion, c'est la variation d'enthalpie, mais dans l'autre sens !). Souvenons-nous qu'avant Haber-Bosch, nous récupérions le salpêtre qui affleurait dans les caves, suite aux infiltrations de l'urine des passants et des chevaux dans les rues, pour faire de la poudre noire.

Après les guerres mondiales industrielles, il fallait continuer de faire tourner les usines, alors on a remplacé les chevaux par des tanks, les haies par des barbelés. Comme le rappellent Claude et Lydia Bourguignon que j'ai déjà eu l'occasion de voir plusieurs fois en conférence, l'homme est en guerre constante contre la Nature, et c'est loin d'être seulement métaphorique. Beaucoup de produits phytosanitaires proviennent ainsi du complexe militaro-industriel : c'est aussi le cas pour le glyphosate et le 2,4D, produits après l'invention de l'agent orange.

Enfin, revenons à l'ammoniac.

Pour commencer, il faut produire du dihydrogène par vaporeformage du gaz naturel :

$CH_4 + H_2O \rightleftharpoons CO + 3\ H_2$

Ensuite, on fait réagir le dihydrogène avec l'azote atmosphérique :

$N_2 + 3\ H_2 \rightleftharpoons 2\ NH_3$

C'est plus compliqué que cela mais retenons que l'ammoniac peut ensuite servir à faire des engrais chimiques comme le nitrate d'ammonium (NH_4NO_3), le nitrate (NO_3) c'est simplement de l'ammoniac oxydé. Cela consomme donc du gaz naturel directement, et le processus nécessite, à deux reprises, des températures autour des 450°C (**voir ronds rouges dans le schéma de la figure 15**). Ce procédé est donc fort énergivore et rejette beaucoup d'émissions. Aujourd'hui, le cycle est considéré comme saturé. Il y a trop d'azote partout, sauf dans nos champs.

On commence même à observer un phénomène d'eutrophisation des océans, des marées d'algues, particulièrement dans l'hémisphère nord, car le cycle de l'eau finit par tout ramener à l'océan : c'est la source de sédimentation géologique, autrement dit, la grande poubelle de notre planète. Paul Duvigneaud brandissait déjà cette menace en 1980, alors que tout le monde disait que le procédé Haber Bosch nous permettait d'éviter la famine.

L'*enrichissement exagéré des continents en azote* (9 millions de t/an selon DELWICHE 1970) *peut être le danger le plus grave qui menace l'homme*, d'autant plus que peu s'en rendent compte. Déjà, une résistance aux engrais azotés minéraux industriels se manifeste chez certains groupes d'agriculteurs pratiquant l'« *agriculture biologique* » (voir p. 267). Il faut espérer que l'homme utilisera au mieux les dénitrifiants et recherchera des solutions technologiques réduisant les dangers dus à l'excès de N.

Figure 16 La synthèse écologique p.199 et 200

Nous constaterons aussi, dans notre étude de cas, que les nappes aquifères contiennent beaucoup trop d'azote et qu'elles draineront encore durant des décennies, voire des siècles, la pollution emmagasinée ce dernier siècle. Il y a donc là un problème majeur dont, à mon avis, on a pas fini de parler !

Quand Paul Duvigneaud parle des dénitrifiants, il parle de bactéries, elles sont notamment utilisées dans les stations d'épuration pour diminuer le taux de nitrates en relâchant l'azote dans l'atmosphère sous forme d'N_2. Ce processus est expliqué dans le schéma suivant. Soulignons la contradiction de « relâcher » de l'azote alors qu'il faudrait plutôt chercher à le conserver dans les sols puisque cela nous a coûté beaucoup d'énergie de le synthétiser… Toutes les couleurs dans le schéma suivant sont des renvois vers le texte rajouté par l'auteur pour le rendre plus intelligible. Les valeurs dans le schéma ne sont pas à jour, c'est donc un schéma de principe, qualitatif et non quantitatif.

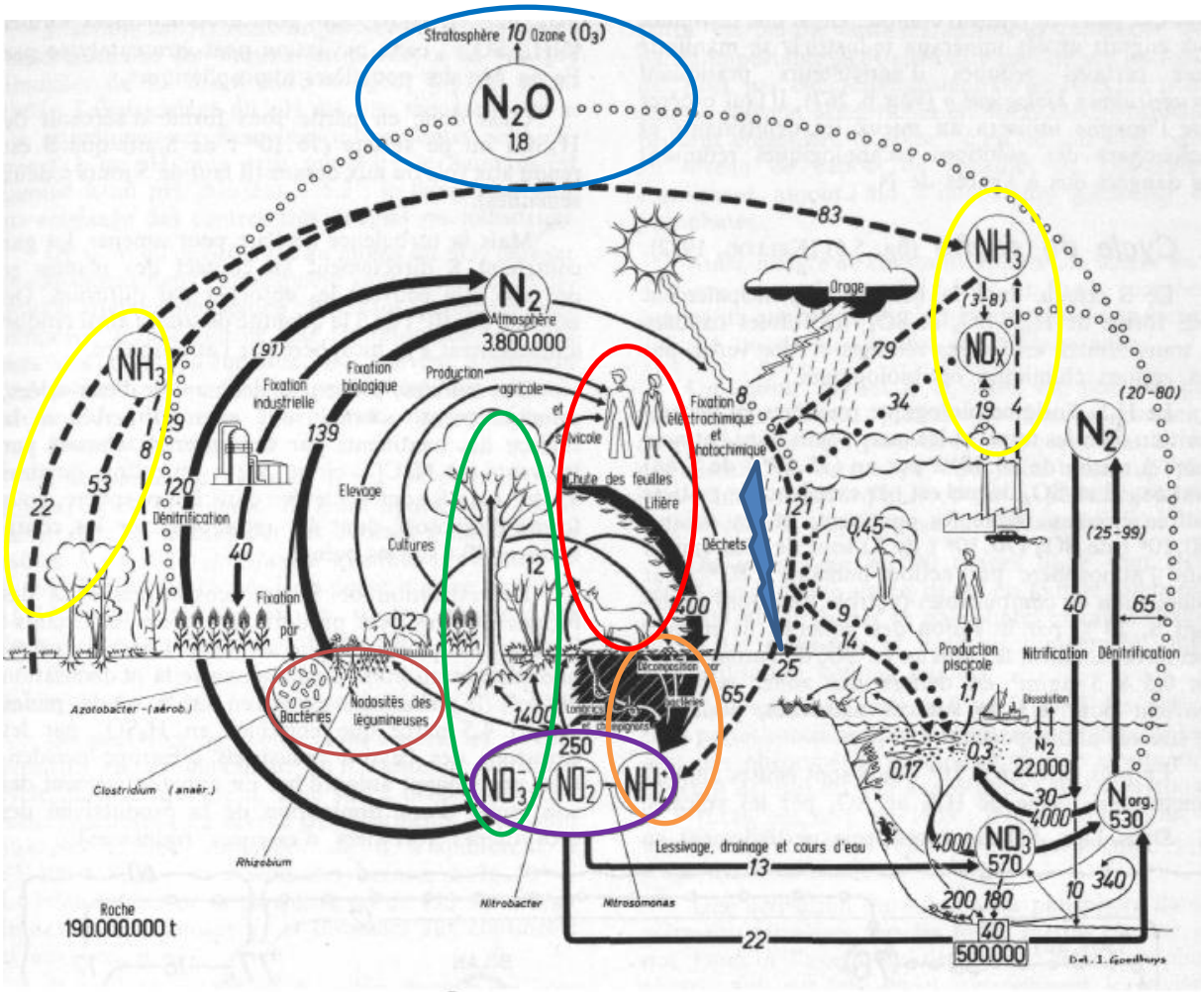


Figure 17 La synthèse écologique p. 199

Une partie de l'azote atmosphérique rentre dans le cycle par photochimie (soleil) et électrochimie (foudre).

Une autre partie rentre dans le cycle via des bactéries fixatrices d'azote, les plus emblématiques sont celles du genre *Rhizobium* dans les nodules des légumineuses (les plantes de la famille des Fabacées). Elles sont en symbiose avec ces dernières et fixent l'azote en l'échange de sucre, c'est donc grâce au cycle du carbone qu'il est synthétisé.

La forme azotée la plus assimilable par les plantes est le nitrate (NO_3). L'azote est essentiel à la production des protéines végétales des producteurs primaires.

A mesure que la biomasse sera assimilée par les consommateurs de la chaine trophique, l'azote va se concentrer de plus en plus car le carbone sera brûlé par la respiration, on parle d'un rapport carbone/azote (C/N), qui va donc diminuer. Tous ces consommateurs rejetteront des déchets azotés (urine et excréments).

Lorsque la matière organique est dégradée, les organismes qui dégradent en dernier les matières organiques, ceux qui se nourrissent d'urine et d'excréments, rejettent de l'ammoniac via l'uréase, une enzyme qui permet de digérer l'urine, très présente chez certaines bactéries comme *Proteus mirabilis*, *Ureaplasma urealyticum* ou *Helicobacter pylori.*

$(NH_2)_2CO + H_2O \rightarrow CO_2 + 2\ NH_3$

Ensuite, apparaitront des bactéries spécifiques, qualifiées de chimiolithotrophes. Elles oxydent l'hydrogène de l'ammoniac comme nous oxydons l'hydrogène des chaînes carbonées. Celles du genre *Nitrosomonas* vont consommer le NH_4^+ pour rejeter du NO_2^-, et celles du genre *Nitrobacter* vont consommer le NO_2^- pour rejeter du NO_3^-, des formes oxydées de l'azote.

Le cycle est alors bouclé et peut recommencer.

Mais les rejets d'ammoniac par l'uréase peuvent dégazer et l'oxydation peut se dérouler directement dans l'atmosphère.

En situation anaérobie, les bactéries de la dénitrification vont utiliser l'oxygène des nitrates pour respirer, et rejeter du N_2 dans le meilleur des cas, sinon des oxydes nitreux (NO_X) voire du protoxyde d'azote (N_2O), ce dernier est néfaste pour le climat comme pour la couche d'ozone.

Je n'ai pas trouvé d'études concernant les potentiels rejets de protoxydes d'azote par les StEp, mais beaucoup d'études attestent que l'excès d'azote dans les océans et les

fertilisations mal conduites dans les champs sont responsables de tels rejets. Et concernant les océans, la situation n'est pas près de s'améliorer.[32]

En conclusion à ce point sur le cycle de l'azote, je dirais que je suis assez désolé de constater que beaucoup considèrent le processus Haber-Bosch comme une avancée majeure du siècle dernier, alors qu'il a surtout favorisé une agriculture de flux, déstabilisant fortement le cycle de l'azote, avec toutes les conséquences préjudiciables que cela engendre. La majorité de l'ammoniac synthétisé par Haber-Bosch n'a pas servi à nourrir une population croissante, puisqu'il s'est retrouvé soit dégazé par les dénitrifiants, soit à polluer les nappes phréatiques et les océans, parfois sans jamais avoir été assimilé par une plante, les pertes par ruissèlement/lixiviation peuvent aller jusqu'à 50%. Le taux de carbone dans les sols des agrosystèmes, qui joue un rôle tampon sur la rétention des éléments minéraux, s'est fortement réduit ces dernières décennies pour de multiples raisons (labour profond et terres à nu en hiver, herbicides, arrachage des haies et combustion de ces dernières, fertilisation minérale plutôt que des amendements organiques (fumier), érosion, etc.…). La conséquence de tout cela est que les agrosystèmes sont devenus des passoires au lieu d'être des éponges, nécessitant toujours plus d'engrais. Il y a trop d'azote partout, sauf dans nos champs. Nous constaterons, dans la suite de ce travail, que concernant les villes, la situation n'est pas plus réjouissante. Du tout à l'égout d'hier aux StEp d'aujourd'hui. Joseph Országh qualifiera les StEp d'incinérateur, on cherche à y brûler l'azote au lieu de chercher à le réintégrer dans les agrosystèmes. Bien sûr, la situation est moins pire qu'hier où tout allait directement dans l'océan et au moins, l'on récupère aujourd'hui le phosphore. Mais il reste du chemin à faire.

V. Le cycle du soufre

Le cycle du soufre peut aussi s'avérer complexe, notamment dans les processus anaérobies. Nous n'approfondirons pas cet aspect dans ce chapitre. Nous retiendrons cependant que la source du soufre provient en partie de la dissolution de la roche-mère dont on parlera plus en profondeur dans la partie concernant les cations biogènes, et qu'une partie du cycle est aussi atmosphérique et a comme source l'activité volcanique, la combustion de la biomasse ou encore le dégagement d'H_2S en situation de décomposition anaérobie. Le soufre est nécessaire à la formation de trois acides aminés (la cystine, la cystéine et la méthionine). L'homme est encore une fois venu y mettre son grain de sel, car la combustion des énergies fossiles est responsable d'importants rejets soufrés. Heureusement, ces rejets ont fortement diminué grâce à un meilleur raffinage et aux filtres catalytiques, en réponse au problème des pluies acides, si bien qu'il est de plus en plus souvent nécessaire de fertiliser les champs avec du souffre alors que cela n'était pas nécessaire auparavant[33].

Du point de vue climatique, les sulfates ont un effet sur la formation des nuages et les éruptions volcaniques sont corrélées avec une augmentation de l'obscurcissement

[32] BOSSY D., Pourquoi l'océan perd-il son azote ?, Futura Science – Planète, 2013, En ligne, http://www.futura-sciences.com/planete/actualites/oceanographie-ocean-perd-il-son-azote-44948/, consulté le 24/07/2017
[33] « Le soufre, ça compte » https://www.youtube.com/watch?v=XNmjBS2V1os consulté le 10/07/2017

planétaire (je n'aime pas trop le terme et je préfère parler d'atténuation ou d'effet réfléchissant, les anglais parlent de « global dimming »). Le soufre exerce donc un effet refroidissant. En faisant des calculs de coin de table avec un climatologue sur un forum, un internaute avait estimé l'effet refroidissant global engendré par les trainées de condensation des avions et les smog-fog, entre -0,07 et -0,3°C. Je ne retrouve plus la discussion et ne peux donc pas référencer la source, mais dans le documentaire Arte, « *les apprentis sorciers du climat* », il est question de -1°C[34] de refroidissement dû à cette cause...

Dans notre étude de cas, la question qui nous intéresse est la désulfuration du biogaz pour le nettoyer de l'H_2S corrosif pour les moteurs ou les chaudières. Il existe deux voies principales pour ce faire : soit par précipitation du soufre grâce à l'ajout de chlorure de fer directement dans le substrat. Le soufre est alors évacué avec le digestat. Ou par oxydation du gaz via un filtre soit biologique (il est digéré par des microorganismes tels que *Thiobacillus* ou *Sulfolobus*)[35], soit catalytique, de la simple limaille de fer suffit à le fixer sous forme de FeS_2, le même disulfure de fer que celui de la pyrite. Je ne sais pas quelle est la voie la plus intéressante pour la valorisation agricole, mais dans une perspective de cyclisation, il serait plus pertinent de privilégier la voie la moins toxique pour l'agriculture.

[34] Pierre Oscar Lévy « *les apprentis sorciers du climat* » (France, 2015, 1h24mn) - Coproduction : ARTE France, Artline Films disponible sur https://www.youtube.com/watch?v=v8OjADLwGhw

[35] DU BIOGAZ AU BIOMETHANE REVUE TECHNIQUE https://www.aile.asso.fr/wp-content/uploads/2012/11/revue-technologie-en-francais.pdf VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (AUSTRIA), Institute of Chemical Engineering - Research Divison Thermal Process Engineering and Simulation

VI. Le cycle du phosphore

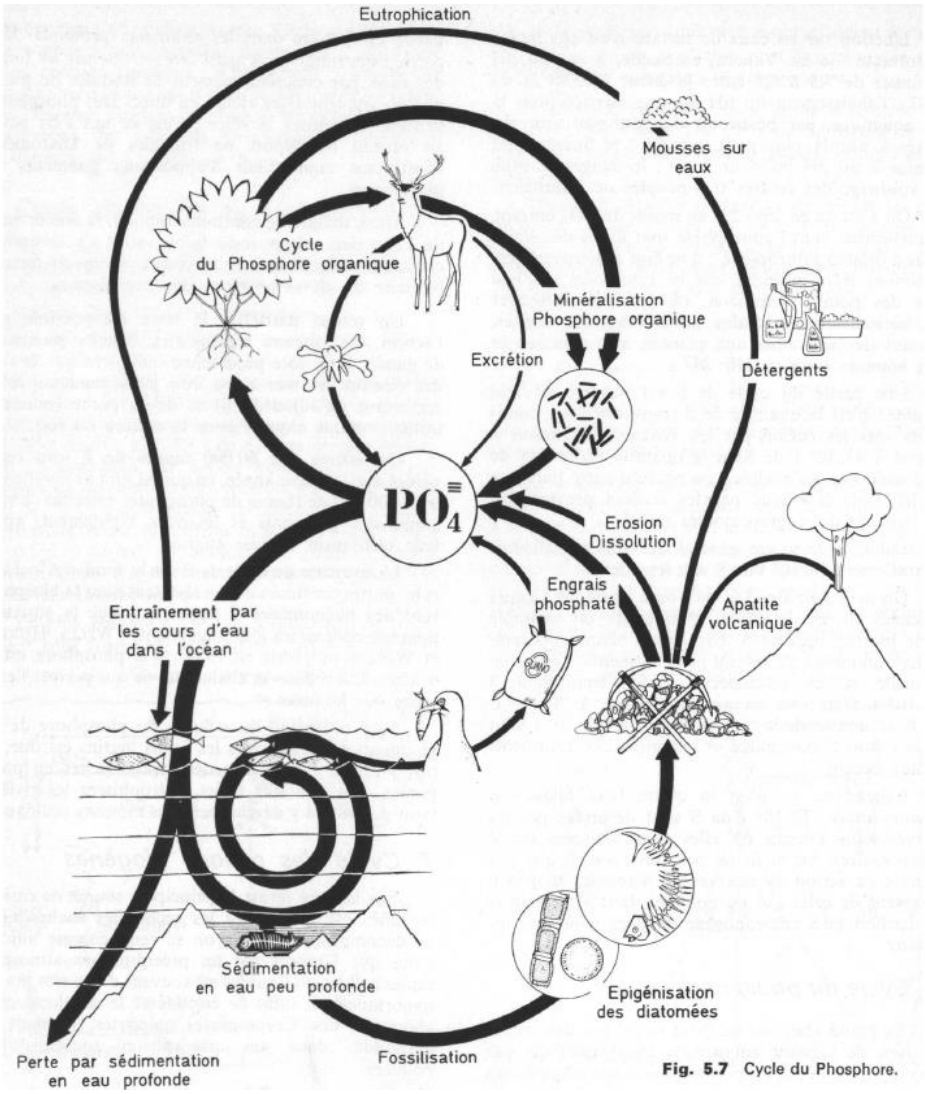


Figure 18 La synthèse écologique p. 202

Le cycle du phosphore ne connait pas de phase gazeuse, au contraire des cycles précédents. Il est assimilable sous forme de phosphates et est essentiel à la transmission d'énergie par une molécule bien connue des biologistes appelée l'ATP (adénosine triphosphate). Elle permet de transformer l'énergie solaire en énergie potentielle chimique par la phytocénose d'une part, via l'ATP synthase (phase claire de la photosynthèse, la fixation du carbone dans les chaînes carbonées se fait durant la phase sombre, via le cycle de Calvin comme déjà dit). D'autre part il est aussi essentiel à la combustion métaboliquement assimilable de ces chaines carbonées par la zoocénose, via, cette fois, la phosphorylation oxydative (cycle de Krebs). Le phosphate est donc, très clairement, une partie des couverts permettant à tous les organismes vivant de manger, on pourrait dire que les trois phosphates de l'ATP, ce sont les trois dents d'une fourchette.

Le phosphate est aussi essentiel à l'armature de l'ADN, permettant le transfert d'information pouvant perpétuer les cycles par la reproduction. Il est aussi essentiel à l'armature des

vertébrés car il est très présent dans les os. Il se cycle via les excrétions et via la mort des organismes. Globalement, il y a un mouvement de flux du phosphate, de la biogéosphère vers la biohydrosphère où il peut finir par sédimenter, mais une partie peut revenir sur terre via les migrations de certaines espèces, comme les saumons permettant de fertiliser les forêts canadiennes via les excrétions des grizzlis et autres ursidés, ou les déjections d'oiseaux se nourrissant dans les mers et se soulageant sur les terres. L'homme exploite le guano dans les zones d'accumulation de ces déjections, et depuis moins longtemps, il exploite aussi le phosphate minéral.

Le phosphore minéral est une ressource limitée au même titre que les énergies fossiles, le pic d'Hubert pourrait survenir d'ici 2035[36]. Mais comme pour les énergies fossiles, il vaut mieux réduire notre consommation avant le pic pour éviter d'aggraver les problèmes environnementaux. Alors que cet élément est censé être très peu mobile, son accumulation via l'érosion, l'utilisation dans les lessives et le « tout à l'égout » provoquent l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques. Ce phosphate minéral a pour origine la sédimentation, donc les cycles géologiques lents, il est naturellement présent dans les roches et la phytocénose le mobilise grâce aux acides racinaires, ce point sera développé dans le chapitre suivant.

VII. Le cycle des cations biogènes

Les cations biogènes, ce sont les K, Ca, Mg et Na. Ils sont naturellement présents dans le sol, ce sont les acides racinaires qui vont dissoudre la roche pour pouvoir les pomper (quant aux acides racinaires, ils proviennent de bactéries de la rhizosphère qui vont le produire en échange de sucres fournis par les plantes, comme les *Rhizobium* le font pour l'azote chez les légumineuses). Les acides carboniques apportés par la pluie peuvent aussi les rendre disponibles. Une chose intéressante à souligner, c'est que ces échanges expliquent la formation de certaines argiles : la phytocénose pompe ces cations de la roche mère en solution (l'edaphotope dissout dans l'hydrotope) pour les cycler dans la biocénose, et ce qui reste dans le sol a tendance à cristalliser pour former des argiles. Les molécules d'argile et d'humus étant négatives, elles peuvent se lier sur du Ca^{++} via la glande calcique (ou glande de Morren) des vers de terre anéciques (les gros vers de terre gris qui font des galeries verticales) pour former, via leurs excréments (les turricules), un complexe argilo-humique sous la litière, ayant des capacités de rétention tout à fait intéressantes pour l'eau et les éléments minéraux. On dira en terme pédologique que la *structure* du sol est excellente, notamment grâce aux galeries des vers le transformant en éponge. D'ailleurs si vous mettez un turricule de vers de terre dans un verre d'eau, vous constaterez qu'il ne se désagrège pas[37].

[36] "*Très probable que le pic soit atteint dans les 20 prochaines années*" (Servigne P, « *nourrir l'Europe en temps de crise* » p.45, Editions Nature & Progrès, Jambes, 2014, 192 p. qui lui-même cite Cordell, D. et al; (2009). *The story of Phosphorus : global food security and food for thought.*" Glob. Environ. Change n°19, p. 292-305.

[37] C'est ce qu'expliquait Claude Bourguignon durant sa conférence à Louvain-la-Neuve le 24/09/2015. Sur le thème de la formation et du fonctionnement d'un sol ? Une belle démonstration qui m'a laissé ébahi.

VIII. Conclusion

En réalisant ce travail, j'ai compris combien le cycle de l'eau était à la source ou animait indirectement les autres cycles mais aussi que les autres macrocycles géochimiques sont, à leur tour, animés par des microcycles biochimiques au sein des cellules. Je pense qu'il faudrait rajouter à la synthèse de Paul Duvigneaud, les cycles de Krebs, Calvin, et probablement d'autres dont je n'ai pas connaissance, car j'ai constaté que bien qu'Hans Adolf Krebs ait publié l'étude de son cycle en 1957[38], son nom n'est jamais cité dans le PDF de la synthèse écologique de Paul Duvignaud. Au travers de mes lectures, j'ai aussi compris que les cycles qui dissipent l'énergie solaire sont rapides, alors que ceux qui dissipent l'énergie géothermique sont extrêmement lents. Ils n'en sont pas moins importants pour autant, car ils sont pour bonne partie à la source du renouvellement minéral de la lithosphère terrestre.

Il reste que nos activités humaines ont, de tous les côtés, fortement perturbé la totalité des cycles en les saturant. Soit la sédimentation s'occupera de réguler le tout avec des conséquences fâcheuses sur les écosystèmes océaniques, soit on se dirige vers un nouvel équilibre probablement plus bio-productif, mais induisant de telles modifications des biotopes que la capacité des biocénoses à s'adapter sera mise à mal. Il est communément admis que nous sommes déjà dans la 6^{ième} extinction de masse, et que celle-ci risque bien de rentrer en phase d'auto-entretien[39]. Il faut aussi reconnaître qu'en ce qui concerne les dynamiques entre le changement du biotope suite au réchauffement climatique notamment, et les changements de la biocénose, les modèles ne sont nulle-part. Des boucles de rétroaction positives[40] pourraient rendre ces fluctuations plus brusques que ce que les modèles nous laissent croire. Mes lectures me poussent à penser qu'il est déjà bien trop tard pour éviter des fluctuations importantes vers un nouvel équilibre. La question maintenant, c'est la vitesse de ces fluctuations déterminant nos capacités d'adaptation.

Il y a 20 ans, les experts préconisaient une réduction des émissions de GES de l'ordre de quelque pourcents par an. En 2017, je pense qu'il faut une décroissance à deux chiffres des émissions et qu'il est impossible que cela ne soit pas couplé avec une décroissance économique, du moins dans les pays riches où le taux d'émissions par habitant est plusieurs fois supérieur à celui des habitants des pays en voie de développement.

---

[38] https://fr.wikipedia.org/wiki/Hans_Adolf_Krebs consulté le 10/07/2017

[39] Gerardo Ceballosa, Paul R. Ehrlichb, and Rodolfo Dirzo "*Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines"* Mai 2017. Article du monde http://www.lemonde.fr/biodiversite/article/2017/07/10/la-sixieme-extinction-de-masse-des-animaux-s-accelere-de-maniere-dramatique_5158718_1652692.html

[40] Effet de fonction exponentiel traduisant l'emballement d'un phénomène asymptotique en abscisse, souvent suivi d'un effet de fonction logarithmique visant un équilibre asymptotique sur l'ordonné, un rééquilibrage que l'on appelle alors « boucle de rétroaction négative ».

Le modèle World-3 de l'équipe Meadows[41] prévoit une décroissance à deux chiffres pour la décennie qui vient, selon le scénario « business as usual », et il est curieux d'observer que la contrainte première à cette décroissance sera climatique[42], alors que le réchauffement n'est même pas intégré dans ce modèle. Coïncidence collapsologique. Il est essentiel que cette décroissance arrive le plus vite possible, car plus tard elle arrivera, pire elle sera. Ce n'est pas pour autant qu'elle sera pénible à vivre ou rimera avec désolation. Cuba a subit une décroissance à deux chiffres suite au blocus américain et à l'effondrement de l'URSS. Or, il y a eu très peu de violence et une transition rapide vers une agriculture sans intrants[43]. Mais Cuba est un pays avec 4,8 armes à feu pour 100 habitants, trois fois moins qu'en Belgique. Une décroissance à deux chiffres dans un pays où tout le monde est armé comme les USA (112,6 armes à feu pour 100 habitants)[44] prendrait, probablement, une autre allure…

Je vais conclure cette partie en abordant le risque de guerre souvent imprégné dans l'imaginaire de l'effondrement. Mais la réalité c'est que la guerre est un excellent moyen d'éviter l'effondrement, rien de tel qu'une bonne guerre pour faire tourner les usines n'est-ce pas ? Je pense plutôt que cet effondrement augure la paix plutôt que la guerre. Nicholas Georgescu-Roegen aurait dit, sur son lit de mort en 1994, alors que nous sortions de la première guerre du golfe : « *la croissance c'est la guerre, la décroissance c'est la paix* »[45]. Je pense qu'il a raison, à condition qu'elle soit corrélée avec un démantèlement du complexe militaro-industriel. Il serait plus intéressant de récupérer cette ferraille qui, il faut le rappeler, sert essentiellement à brûler du pétrole et dissiper de la matière donc à augmenter l'entropie interne au système, il serait en effet, tellement plus intéressant de recycler cette ferraille pour d'autres usages…

On pourrait par exemple construire du matériel low-tech pour l'agriculture ou « réserver » ces métaux pour les énergies renouvelables. On a aussi des bombes au phosphore blanc qui servent à asphyxier et bruler les syriens, ce phosphore devrait être destiné à d'autres usages dont on a parlé dans l'un des points précédents. Concernant l'arsenal nucléaire, je suis contre l'énergie nucléaire (sauf solaire et géothermique), mais utiliser nos centrales une

[41] MEADOWS, Donnella, MEADOWS, Dennis, RANDERS, Jorgen, BEHRENS III, William, « Rapport sur les limites de la croissance », Fayard, 1972, 314 p.

[42] Selon moi c'est le mouvement de désinvestissement dans l'industrie fossile qui a le potentiel de provoquer une forte décroissance dans les années à venir, couplé au fait que les énergies renouvelables deviennent concurrentes aux fossiles , car une réalité que peu de gens perçoivent, c'est que l'industrie du renouvelable n'a pas les capacités de s'auto-entretenir, les procédés nécessaires à la production du ciment des éoliennes, du silicium des panneaux photovoltaïque, l'extraction des métaux nécessaires, ils sont souvent intrinsèquement liés à la thermo-industrie du charbon. Et concernant les métaux, ils sont parfois très limités.

[43] Faith Morgan, real. *The Power of Community – How Cuba survived Peak Oil* (documentary), The Community Solution[SM], 2006, 53min. Disponible en français sur Youtube sous le titre « Comment Cuba survécut en 1990 sans pétrole » https://www.youtube.com/watch?v=KEF19NV_3SE consulté le 09/07/2017. Ce documentaire serait à l'origine du mouvement des villes en transition par Rob Hopkins, il a aussi marqué Pablo Servigne, il a fait partie de ce qu'il appelle les « *Oh my god points* » dans sa prise de conscience de la situation.

[44] https://fr.wikipedia.org/wiki/Estimation_du_nombre_d%27armes_%C3%A0_feu_par_habitants_par_pays consulté le 09/07/2017

[45] Décroissance : Hommage à Nicholas Georgescu-Roegen, https://www.youtube.com/watch?v=DQsGlv38XWc consulté le 24/07/2017

dernière fois en vue de fissionner l'uranium des bombes A, et même le plutonium via le MOX[46], ça d'accord, si ça peut éviter que ça finisse en guerre nucléaire… Ce dernier point ne sera pas développé, il m'est arrivé de m'intéresser à l'hiver nucléaire, mais je n'ai pas trop envie de réfléchir aux conséquences que ça aurait sur les cycles. Enfin voilà quelques voies à explorer.

c. Le métabolisme urbain bruxellois

La notion de métabolisme urbain a probablement été introduite pour la première fois par Paul Duvigneaud. Le métabolisme bruxellois est donc peut-être aussi le premier métabolisme urbain à avoir été étudié dans l'histoire de l'écologie (!). Le beau schéma qui suit révèle une série de flux, mais les données sont à prendre avec des pincettes. Par exemple les 138*10^6t de précipitation, ce sont celles de l'année 1977 uniquement. Le flux intrant de biomasse est estimé « *très approximativement* » par Duvigneaud et Denaeyer. Mais c'est le plus stylisé des schémas représentant le métabolisme bruxellois et le plus chouette à analyser aussi, c'est clairement le plus didactique.

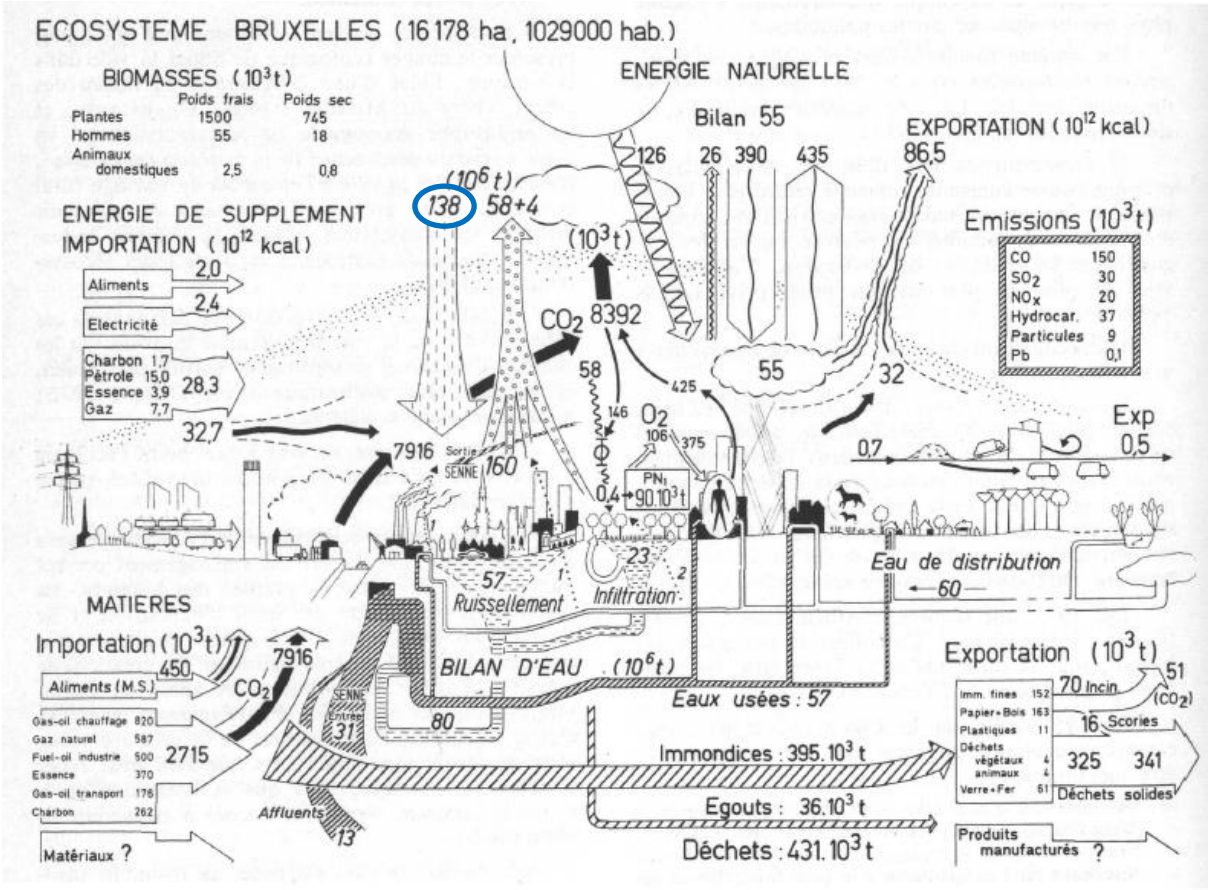


Fig. 6.15 L'écosystème urbs. Structure et métabolisme de l'écosystème Bruxelles (d'après Duvigneaud et Denaeyer, 1976-1979, modifié). (Pour explications, voir texte.)

Figure 19 La synthèse écologique p.300

[46] « *Le MOX veut dire Mixed OXide, et est un mélange uranium-plutonium, qu'on peut faire avec du plutonium militaire* » (Jean-Marc Jancovici, échange de mail)

Depuis, les données du métabolisme ont été réévaluées, notamment en 2010 par Aristide Athanassiadis, un ingénieur architecte du service BATir de l'ULB qui en a fait son doctorat et avec qui j'ai eu l'occasion de discuter. Mais aussi par Vincent Calay de l'IGEAT (ULB). Sur la page suivante, nous avons un schéma qui a été fait pour le compte de Bruxelles Environnement, il a été élaboré par BATir (le département des ingénieurs architectes de l'ULB, le BAT est l'acronyme de Building, Architecture and Town planning), l'ICEDD : l'Institut de Conseil et d'Etude en Développement Durable et ECORES : une organisation d'innovation durable. Ce schéma reprend les meilleures mises à jour que j'ai trouvées dans le cadre de mes recherches, il date de 2014. Il est décrit comme suit dans le rapport final sur le *Métabolisme urbain de la région Bruxelles –Capitale*[47], le détail des flux est en annexe[48].

I. Bilan global : les flux totaux

« Le bilan des flux totaux entrants, internes et sortants regroupant l'ensemble des flux représentatifs de la RBC (énergie, eau et matières) est développé dans ce point et illustré dans la figure suivante. Comme l'illustre ce bilan global de flux, le métabolisme de la RBC est linéaire ce qui signifie que la région dépend fortement des territoires extérieurs – qui vont bien au-delà de son « hinterland » - pour des matières premières et des produits manufacturés, mais aussi pour la gestion de déchets et de pollution atmosphérique. En effet, il convient de souligner que les flux internes ne représentent qu'une infime partie des flux entrants et sortants. Ce bilan global illustre bien le besoin de basculer vers une économie circulaire ou de boucler de manière durable les flux urbains. Ce bilan permet également de cibler certaines priorités pour réduire l'impact environnemental de la RBC. Il permet par exemple de visualiser directement que nous consommons environ 20x plus d'énergie que nous en produisons. »[49]

« L'élaboration de ce bilan repose sur de multiples sources de données ainsi que, pour certains flux, sur de nombreuses hypothèses et estimations. Il en résulte que la précision des données présentées dans ce bilan est très variable selon les flux et que certaines quantifications doivent être considérées avant tout comme des ordres de grandeur. » (Bruxelles Environnement).[50]

Les bulles de couleurs dans le schéma sont rajoutées par l'auteur. On voit directement qu'il pleut 2 fois plus sur la ville que ce que nous consommons d'eau, or nous allons voir que l'eau de pluie est la plus simple à potabiliser qu'il soit. On voit aussi que les cours d'eau sortant sont 225% plus gros suite à l'imperméabilisation, ou encore que nous rejetons 3693Kt équivalent CO2, un chiffre qui doit être réduit à zéro en quelques décennies. Je rappelle ici que se focaliser sur l'optimisation du cycle de l'eau est la chose la plus fondamentale qui soit pour maitriser tous les autres cycles, c'est le cycle pour les gouverner tous. Voilà donc les lignes directrices pour la suite du travail.

---

[47] Ecores, ICEDD, BATir (ULB), *Métabolisme de la Région de Bruxelles-Capitale : identification des flux, acteurs et activités économiques sur le territoire et pistes de réflexion pour l'optimisation des ressources*, 2015, 305p.
[48] Ibid, p.58 Annexe 1
[49] Ibid, p.57
[50] http://www.environnement.brussels/tmp-etat-de-lenvironnement/environnement-pour-une-ville-durable/focus-metabolisme-urbain-bilan-des mis à jour le 23/08/2016, consulté le 12/07/2017

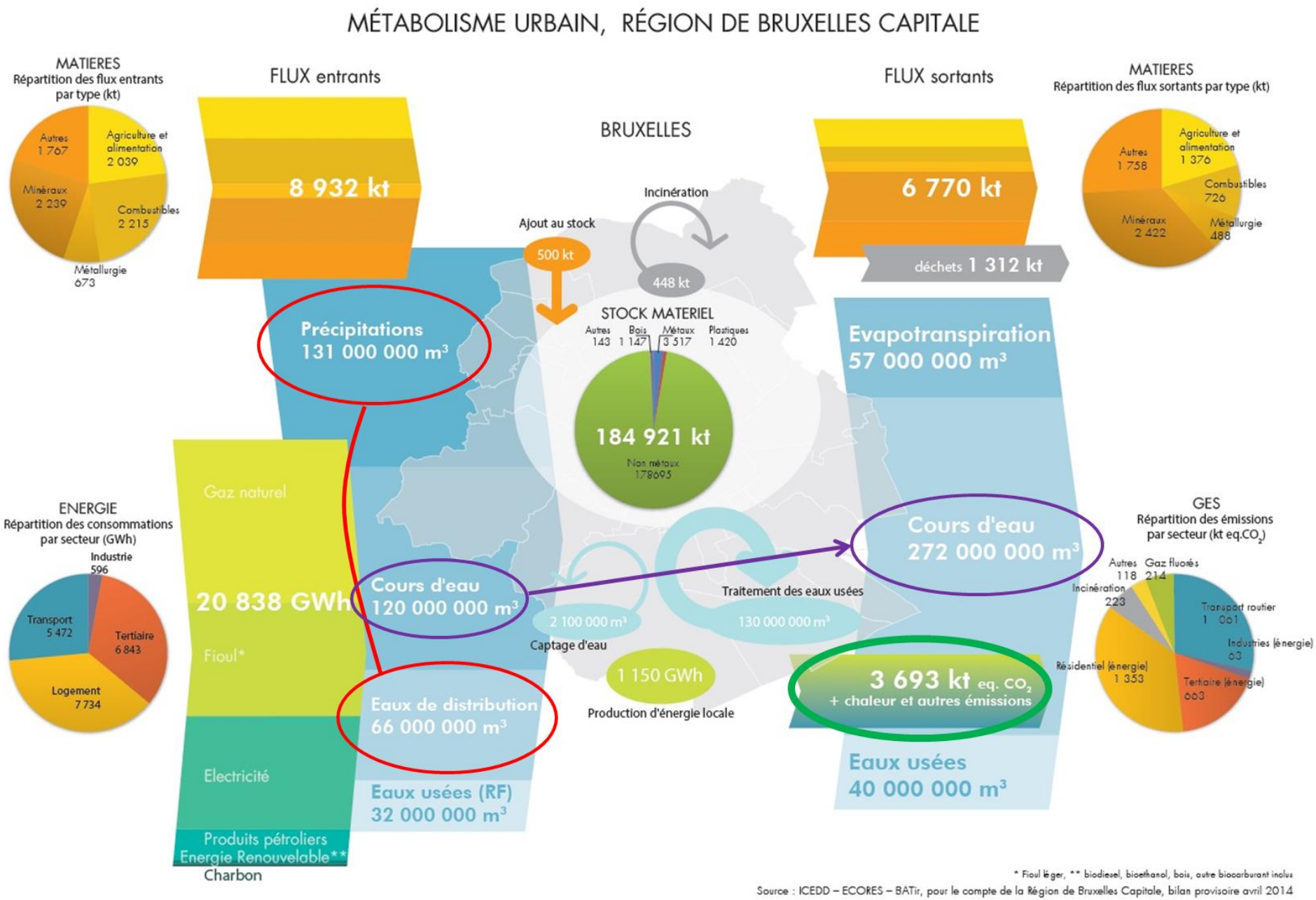


Figure 20 Source : ICEDD-ECORES-BATIR pour le compte et avec la contribution de Bruxelles Environnement 2014

II. Historique des systèmes d'évacuation.

« *Une solution concrète c'est remettre du carbone dans les sols, c'est-à-dire arrêter de gaspiller la matière organique, ce que fait notre société depuis un peu plus d'un siècle. Jusqu'alors, les gens ne le savent plus mais jusqu'au 19ième les gens étaient paillés comme les vaches : les paysans mettaient de la paille dans les rues puis les gens jetaient leurs pots de chambre par la fenêtre, puis après tout ça, c'était ramassé, c'était remis dans les champs. C'était ce qu'on appelait « pailler les rues », et les paysans avaient leurs rues d'ailleurs, puis ils se bagarraient à la fourche hein, fallait pas venir lui piquer son fumier. Et ensuite on a inventé le tout à l'égout puis on a séparé complètement avec les stations d'épuration. Il n'y a plus de retour à la terre, c'est-à-dire que la terre qui nous nourrit n'a pas ce retour de matière organique donc il va bien falloir qu'on remette en route le cycle du carbone* » (Claude Bourguignon)[51]

Malgré mes recherches, je n'ai pas trouvé d'attestation historique de ce paillage des rues à Bruxelles. C'est sans doute un peu punk comme vision, mais j'aime beaucoup cette idée de considérer la ville comme une étable où le bétail humain est en stabulation, cela permet de bien comprendre qu'il faut exporter le fumier vers les champs. Du reste, même si les StEp brûlent le carbone et l'azote, elles permettent tout de même de récupérer le phosphore, le soufre et les cations biogènes pour la valorisation agricole via les boues d'épuration, c'est donc comme qui dirait « moins pire », mais nous devons viser le « mieux » et nous verrons que « mieux » c'est un réseau sans égouts, les égouts comme les StEp sont des réponses à des problèmes à court terme (épidémie, eutrophisation), or une planification à long terme de l'intégration dans les cycles, serait bien plus bénéfique à la durabilité de la ville.

A Bruxelles comme dans la plupart des villes du vieux continent, ce sont des inondations et des épidémies de peste et de choléra au début du XIXe siècle qui ont encouragé le mouvement hygiéniste, et les travaux de voûtement de la Senne ont commencé en 1867 sous l'impulsion du bourgmestre Jules Anspach[52], nous verrons que l'urbanisation de notre îlot décrit dans l'étude de cas s'est faite à la même époque, et que le Maelbeek a même été voûté avant la Senne ! Nous verrons aussi dans la suite du travail que la nappe phréatique de notre étude de cas est ultra polluée par un excès d'azote et de phosphate, qui doit probablement provenir d'une part de l'époque où il n'y avait pas de réseau et où les chevaux sillonnaient les rues, et d'autre part des lixiviations du réseau d'égout en brique.

Ce réseau est actuellement en cours de rénovation à l'échelle de la région pour le rendre plus imperméable et tenter aussi d'en récupérer la chaleur via des PAC. Ce fut la raison de ma visite chez Olivier Broers de Vivaqua qui cherche à installer dans ce nouveau réseau, des PAC standardisées de la taille de la maison typique bruxelloise (6m de largeur de façade, la maison de l'étude de cas en fait 5,5m), pour récupérer la chaleur de l'eau du réseau d'évacuation car elle est à température relativement stable toute l'année[53].

[51] https://www.youtube.com/watch?v=qqUvvjm1ZLY consulté le 12/07/2017
[52] Note personnelle de la visite du musée des égouts le 10/04/2017
[53] Voir annexe 2

d. La taille des organisations humaines : le nombre de Dunbar.

L'anthropologue Robin Dunbar a calculé à partir de données sur les peuples primitifs, que la capacité sociale de l'homme était limitée approximativement à des groupes de 150 individus. Au-delà de ce nombre, il faut passer à des modes d'organisations plus structurés.

Je me suis interrogé sur la pertinence d'extrapoler cette réflexion a la dimension du quartier pour y stimuler des modes de relations à taille humaine, qui permettraient de mieux prendre en compte les besoins et les relations entre les habitants. Cela pour encourager des formes de solidarités plus spontanées au niveau du quartier, pour favoriser la sécurité grâce à une forme de contrôle social spontané et bienveillant, pour réduire le sentiment d'insécurité et augmenter la sécurité objective de façon à réduire l'intervention des forces de l'ordre, pour stimuler l'entraide et les relations intergénérationnelles.

J'ai donc trouvé intéressant d'introduire cette approche anthropologique basée aussi sur la neuropsychologie dans ce travail.

« Le nombre de Dunbar est le nombre maximum d'individus avec lesquels une personne peut entretenir simultanément une relation humaine stable. Cette limite est inhérente à la taille de notre cerveau impliqué dans les fonctions cognitives dites supérieures, le néocortex.

Ce nombre est estimé par l'anthropologue britannique Robin Dunbar à 148 personnes et a une valeur admise en pratique de 150 personnes.

Ce nombre provient d'une étude publiée en 1992 par le chercheur Robin Dunbar. Dans cette étude, il analyse la taille du néocortex de différents primates et la compare au nombre d'individus de leurs groupes respectifs. Il a ainsi extrapolé ses résultats afin de déterminer un nombre maximum pour la taille d'un groupe d'humains. Ce nombre ne devrait donc théoriquement pas dépasser 150 individus. Au-dessus de ce nombre, la confiance mutuelle et la communication ne suffisent plus à assurer le fonctionnement du groupe. Il faut ensuite passer à une hiérarchie plus importante, avec une structure et des règles importantes (on le voit par exemple à l'échelle d'un pays et de son gouvernement).

Dunbar indique par ailleurs que le langage que nous avons collectivement développé joue un rôle important dans notre capacité à entretenir des relations sociales avec environ 150 personnes. En effet, le fait de pouvoir parler à plusieurs individus simultanément permet d'établir des rapports efficaces et durables entre nous tous. En l'absence d'un tel outil de communication collective, chacun d'entre nous passerait la moitié de son temps à entretenir individuellement chacun de ses liens sociaux.

Différentes études ont retrouvé des résultats proches du nombre de Dunbar dans le comportement des utilisateurs de réseaux sociaux sur Internet » (Wikipédia)[54]

[54] https://fr.wikipedia.org/wiki/Nombre_de_Dunbar Consulté le 10/08/2017

Que ce soit dans le monde de l'entreprise, dans les communautés paysannes, et même dans la taille des compagnies militaires, déjà du temps de l'armée romaine, toutes les organisations humaines semblent respecter approximativement ce nombre.

J'ai donc imaginé dans ce travail que les îlots du métabolisme urbain devraient être redécoupés en « *tribus* » d'approximativement 150 individus, avec un espace commun propre à chaque « *tribu* ». Chacune formant une cellule de l'organisme multicellulaire qu'est la ville. C'est de l'urbanisme biomimétique, ou du biomimétisme urbanistique, c'est selon. Il me parait évident que les centres d'internement ou d'incarcération, les homes ou encore les crèches, deviendraient bien moins nécessaires. Que l'intergénérationnalité qui y règnerait assurerait bien plus de sécurité. Je me souviens d'une anecdote dans notre maison familiale à Saint-Josse, où l'on a connu plusieurs cambriolages. L'un de ces cambriolages a pu être évité grâce à une voisine très âgée qui était éveillée à 5 heures du matin et qui a alerté la police en voyant les voleurs fracturer notre porte. Ce meme[55], montrant que les mémés sont plus efficaces parfois que les caméras de surveillance, me permet de conclure ce point, avec un petit clin d'œil pour ma vieille voisine.

Figure 21 Poland's Surveillance Tech: Grandma TX-4000 - http://knowyourmeme.com/photos/1208986-meanwhile-in consulté le 24/07/2017

3. Les eaux urbaines et le biogaz selon Joseph Országh

J'ai pris le train pour Mons le 22 mai 2017, pour aller rendre visite à un grand monsieur dans le monde de la gestion alternative de l'eau. Joseph Országh est un professeur à la retraite de l'université de Mons-Hainaut et il vit dans une maison indépendante du réseau de distribution et d'évacuation de l'eau. Je vais développer sa vision concernant l'eau et la ville, pour ensuite vous présenter sa maison et son jardin en péri-urbain.

[55] Un meme est une illustration humoristique destinée à buzzer sur les réseaux sociaux, alliant une ou plusieurs images, avec un message écrit simple et percutant.

a. L'eau en ville

Joseph Országh estime que les normes du réseau sont bien trop élevées, qu'il n'est pas nécessaire d'avoir un réseau d'eau potable, car les systèmes domestiques de potabilisation de l'eau de pluie produisent une eau de meilleure qualité à moindre coût, et que les autres usages ne nécessitent pas une eau potable. Si chacun avait son système d'épuration et des gourdes pour en avoir toujours sur soi, on n'aurait pas besoin d'un réseau d'eau potable.

Pour Országh, il faudrait des arrêtés régionaux plus stricts concernant les citernes et inciter leur valorisation en continuant d'augmenter le prix de l'eau du réseau. Il faudrait aussi instaurer des arrêtés imposant durant les transferts de propriété, deux raccords à l'égout en vue d'un réseau séparatif, comme on le fait déjà pour les sols pollués. Car le tout-à-l'égout c'est pire que le tout-à-la-poubelle, les stations d'épuration étant des incinérateurs, notamment des matières azotées via la dénitrification.

I. Les eaux grises

Joseph Országh préconise des bassins de photo-épuration solaire pour les eaux grises, le décantât de savon serait envoyé dans les eaux noires, et l'eau claire décantée alimenterait ensuite soit l'agriculture périurbaine, soit les pièces d'eau de parcs de loisirs - voire les zones humides des réserves naturelles pour les oiseaux migrateurs.

II. Les eaux noires ou eaux vannes

Országh préconise une règlementation concernant les chasses d'eau, dans le but d'en charger le réseau qui servirait à asperger les centres de compostage, dans des bassins d'imprégnation (des grandes toilettes sèches) qui digéreraient aussi les matières cellulosiques en fin de vie, comme le papier journal. Un grand avantage de cela est que le compost monte à 60-70°C ce qui permet d'hygiéniser l'engrais, prêt en 3-4 mois pour une valorisation agricole.

b. Le biogaz

Selon Joseph Országh, le décantât du digesteur est un produit trop réduit, il contient trop de nitrate d'ammonium qui est un engrais chimique dont on a déjà parlé avec le cycle de l'azote, or il faut du carbone pour transformer le sol en éponge grâce à l'humus. De plus, nettoyer le biogaz du sulfure d'hydrogène qui détruit les générateurs est compliqué, et le fait qu'il soit composé pour un tiers de dioxyde de carbone diminue fortement son pouvoir calorifique. À cela je répondrais qu'une matière réduite est plus simple à exporter vers les champs, et que nettoyer le sulfure d'hydrogène n'est pas si compliqué selon Yves Bertrand. Mais l'idée d'augmenter la teneur en carbone des sols est importante et elle est aussi défendue par Claude Bourguignon. Mais on peut le faire d'autres façons, comme les cultures intercalaires en TCS ou l'agroforesterie.

c. La maison péri-urbaine de Joseph Országh

L'eau de la toiture est récupérée dans une citerne, qu'il faut calibrer à 160l/m² de projection horizontale de la toiture pour avoir une bonne résilience face aux fluctuations climatiques.

Figure 22 Photo prise par l'auteur du toit de la maison de Joseph Országh.

Cette eau est ensuite filtrée par un filtre 10µm puis soit par un filtre à 0,4µm, soit par un appareil d'osmose inverse (osmoseur) ; leurs prix varient de 50 à 200€ et permettent de potabiliser l'eau. L'eau de pluie, étant déjà très pure, est très simple à potabiliser : elle décante dans la citerne ou dans un pré-décanteur pour faciliter l'entretien (résidus de la gouttière, poussières atmosphériques), puis elle est simplement filtrée. Les membranes de l'osmoseur tiennent 4 à 6 fois plus longtemps qu'avec l'eau du réseau qui est 3 fois plus chargée, surtout en calcaire (nous analyserons ces différents types d'eau dans l'étude du cycle de l'eau dans l'étude de cas). Ces membranes coûtent 25 à 80€ et tiennent 8 à 12 ans avec l'eau de pluie, contre 2 à 3 ans avec l'eau du réseau. Schématiquement, le dispositif d'épuration est semblable au système PLUVALOR ci-dessous, longuement décrit sur le site eautarcie.org, le site de Joseph Országh.

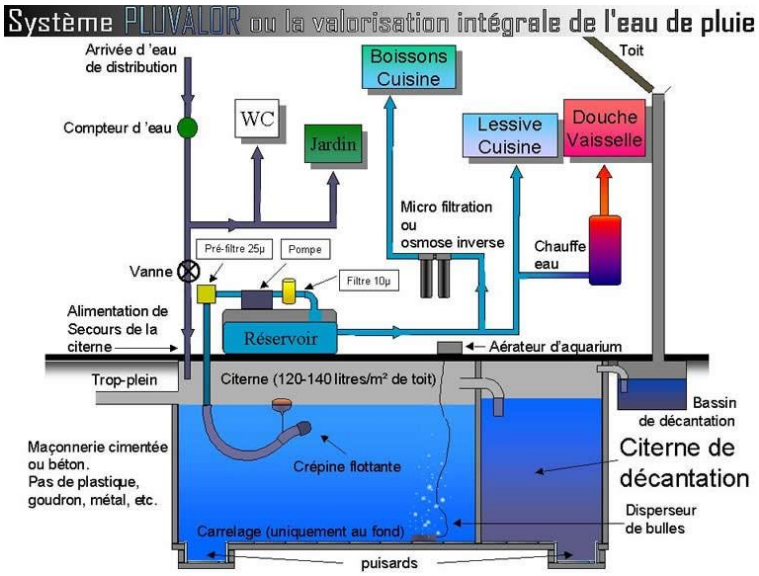


Figure 23 Système PLUVALOR de valorisation intégrale de l'eau de pluie.[56]

[56] http://www.lamaisonduplombier.com/eau-humus-et-developpement-durable/pluvalor-recuperer-et-valoriser-integralement-l-eau-de-pluie/ consulté le 28/07/2017

Figure 24 Photos prises par l'auteur. À gauche les filtres et l'osmoseur sous l'évier, à droite les trois robinets.

L'eau qui sort du filtre 0,4µ a une conductivité de 30-40µS/cm[57], la même que l'eau de la citerne à peu de chose près, car les minéraux ne sont pas filtrés ; le filtre sert essentiellement à débarrasser des micro-organismes, sauf les virus trop petits, **celle qui sort de l'osmoseur** est à 3-4µS/cm : c'est la même chose que l'eau du réseau déminéralisé du laboratoire de l'IRMW[58] sur le campus du CERIA. Je pensais qu'il n'était pas bon de boire de l'eau déminéralisée, mais nous n'assimilons pas les minéraux de l'eau sauf en jeûne total, car nos aliments sont bien plus chargés en minéraux que l'eau.

Ces eaux sont donc potables et d'excellente qualité, celle du filtre à 0,4µm est équivalente à de la Spa Reine, et celle de l'osmose inverse à de la Mont Roucous. **L'eau qui sort du robinet normal** est simplement l'eau de la citerne filtré à 10µm. On ne tombera pas malade en en buvant un verre mais il y a des risques, donc on la réserve pour la vaisselle, la douche et l'entretien de la maison. Au passage, l'eau de pluie ne contenant pas d'ions positifs réagissant avec les détergents et les savons, elle mousse mieux et permet des économies à ce niveau aussi, ce point sera mieux développé dans les analyse d'eau de l'étude de cas. Après utilisation, l'eau passe dans une fosse en anaérobie (une ancienne fosse septique devenue inutile car Joseph Országh utilise une toilette à litière ou toilette sèche), puis par une fosse aérobie avec un bulleur d'aquarium.

[57] L'électro-conductivité en µSiemens/cm, on l'appelle aussi la conductance et c'est l'inverse de la résistance qui se mesure en ohm (Ω). Une eau distillée est quasi parfaitement isolante et a donc une conductance nulle, les appareils indiquent 0µS/cm alors qu'une eau très chargée en ions comme l'eau de mer aura une conductivité qui monte jusqu'à 50.000µS/cm.

[58] Institut de Recherches Microbiologiques Jean-Marie Wiame

Figure 25 Photos prises par l'auteur. À gauche l'ancienne fosse septique, à droite la fosse en aérobie.

L'eau est ensuite pompée vers un lit de gravier (photo 1 et 2 ci-dessous) rempli d'iris (photo 3), puis vers un étang de jardin (photo 4). Ce système n'est pourtant plus celui que recommanderait Joseph Országh aujourd'hui, car les pompes et le bulleur consomment de l'énergie, il préconiserait de simplement arroser le potager avec cette eau - il est très adepte de solutions simples aux problèmes complexes.

Figure 26 Photos prises par l'auteur. Système d'épuration de Joseph Országh, pour explication voir texte.

Concernant les matières fermentescibles, les photos ci-dessous illustrent la toilette à litière sèche : les broyats ligneux fixent les matières fécales comme la litière en forêt, et ce processus est sans odeur. Mais derrière cette belle carte postale, j'ai quelques réserves car j'ai été scout et on en a vu des vertes et des pas mûres autour de nos belles feuillées. Cela demande de l'éducation de passer à ce système, car il nécessite des rotations courtes et une bonne utilisation de la litière. Aussi, Joseph Országh préconise-t-il de ne surtout pas séparer les urines des matières fécales, c'est le mélange des deux qui produit un engrais équilibré, mais d'expérience, c'est encore plus compliqué à gérer quand on mélange les deux. Il reste que ce système produit un engrais d'excellente qualité en deux ans, tout est digéré et cela sent le mycélium des champignons. Des champignons qui, entre temps, auront aussi produit des antibiotiques naturels.

Figure 27 Photos prises par l'auteur. Le cycle des matières fécales

On laisse l'andin recouvert de paille pour le protéger du soleil, ce qui tuerait les champignons. Il peut ensuite être valorisé au potager, qui permet une quasi autonomie concernant les légumes. Le verger quant à lui produit la moitié de l'apport en fruits. Aujourd'hui, Joseph Országh n'est plus très adepte des andins et soutient le fait qu'un compostage de surface permet de limiter les pertes tout en activant la vie du sol, donc son travail biologique, ce qui permet une aggradation de sa structure et une liaison de l'humus

avec l'argile. Cela demande toutefois la planification d'une gestion de rotation et il n'a plus la force de beaucoup travailler au potager. C'est sa femme qui s'attèle à retourner le compost.

d. Conclusion

Cette visite m'a encore, un peu plus, ouvert les yeux sur l'irrationalité du système de distribution et d'évacuation des eaux. Globalement, je suis donc d'accord avec tout ce qui a été développé, même à propos du biogaz. Mais je me dis que, puisque l'on perd déjà naturellement en charge fermentescible dans des réseaux d'égouts trop vastes, réduire le carbone en amont avant de l'envoyer dans les réseaux – cf. l'hypothèse de mon travail dans la suite du document -, est la stratégie la plus pertinente. L'approche est néanmoins différente : je cherche à rendre un îlot complètement indépendant des réseaux, bien qu'il faille exporter de la matière vers les agrosystèmes. L'îlot est trop densifié pour permettre une autonomie alimentaire complète, mais pas assez densifié pour assurer une efficience en termes de chauffage. Tout est question de point de vue et d'équilibre mais au sein des villes, c'est loin d'être évident, la situation véritablement idéale ce serait des villes forêts ayant une empreinte égale à leurs surfaces et permettant de subvenir à tous les besoins de leurs populations : les cités végétales de Luc Schuiten en somme. C'est l'établissement de ce que j'appellerais l'urbs-agro-système ou l'agro-urbi-système, car aujourd'hui les agrosystèmes et les écosystèmes urbs forment plutôt un écopaysage au sens de Paul Duvigneaud, je parlerais dans la suite de ce travail de l'étude d'un agrourbipaysage (agro-urbi-paysage).

Concernant ma gestion des eaux grises, j'ai expliqué à Joseph Országh que je les utilisais pour les chasses d'eau : il a trouvé cela intéressant. Mais je n'ai pas été jusqu'au bout de ma réflexion qui sera développée dans la suite et qui consiste à utiliser la chaleur de la surverse pour maintenir le digesteur à température avec un décanteur cylindro-conique autour, et à utiliser l'eau décantée pour arroser les plantations en intérieur d'îlot et les haies en voirie. Depuis cette visite, ma réflexion a évolué. Je pense qu'avec une bonne gestion des eaux grises via des citernes domestiques d'eau grise, on peut très bien oublier l'idée d'un réseau séparatif, toutes les eaux qui sortent de la maison pourraient être noires.

4. Le digesteur au parc Maximilien

Ce digesteur a été installé par Yves Bertrand, ingénieur civil de l'UCL ayant une longue expérience dans le biogaz et qui m'a aidé à estimer la production de biogaz à l'échelle de l'îlot. Le parc se situe à 2km de l'étude de cas. D'une capacité de 3m³, il est destiné à digérer le fumier du bétail de la ferme pédagogique du parc. C'est donc un digesteur à vocation plutôt éducative, il produira tout de même du gaz pour cuisiner.

Figure 28 à gauche de digesteur en cours d'installation, à droite le fumier. Photos prises par l'auteur.

5. Visite de la StEp nord

C'est à la StEp nord que vont les eaux de mon étude de cas, je l'ai donc visitée le 11 avril 2017 avec un groupe de seniors. J'ai beaucoup de photos et j'ai bien compris son fonctionnement grâce au cours d'épuration des eaux et à mon stage de l'année dernière[59], mais en gros elle consomme trois fois plus d'énergie qu'elle n'en produit (via l'hydroélectrique, le biogaz et des panneaux PV sur le toit), donc ce n'est pas un modèle soutenable. Comme tout ce qui est préconisé dans ce travail vise à être totalement indépendant des stations d'épuration, je ne développerai pas davantage ce chapitre, d'autant que je suis déjà à la limite de pages autorisées.

Figure 29 Photo prise par l'auteur. Le monsieur qui nous a fait visiter la StEp nous montre le résultat des boues après pressage.

[59] Annexe 4

6. Etude de cas portée sur l'îlot schaerbeekois formé par les rues Renkin, Rubens, Royale Sainte-Marie et la place Lehon.

a. Historique

Ce point est en grande partie une retranscription du rapport pour le cours d'Atelier d'Aménagement Urbain donné par Claire Neuray[60], qui concernait la Place de la Reine située à 900m de notre étude de cas. La partie historique de ce dernier a été rédigée par Alice Ahrend et moi-même. Les corrections et remarques de Christophe Couillien, l'un des promoteurs de ce travail, ont aussi été incorporées par rapport à la version originale du cours d'atelier, notamment concernant les cartes historiques, dans le but de mieux illustrer l'évolution urbanistique du quartier.

I. Historique urbanistique de Schaerbeek

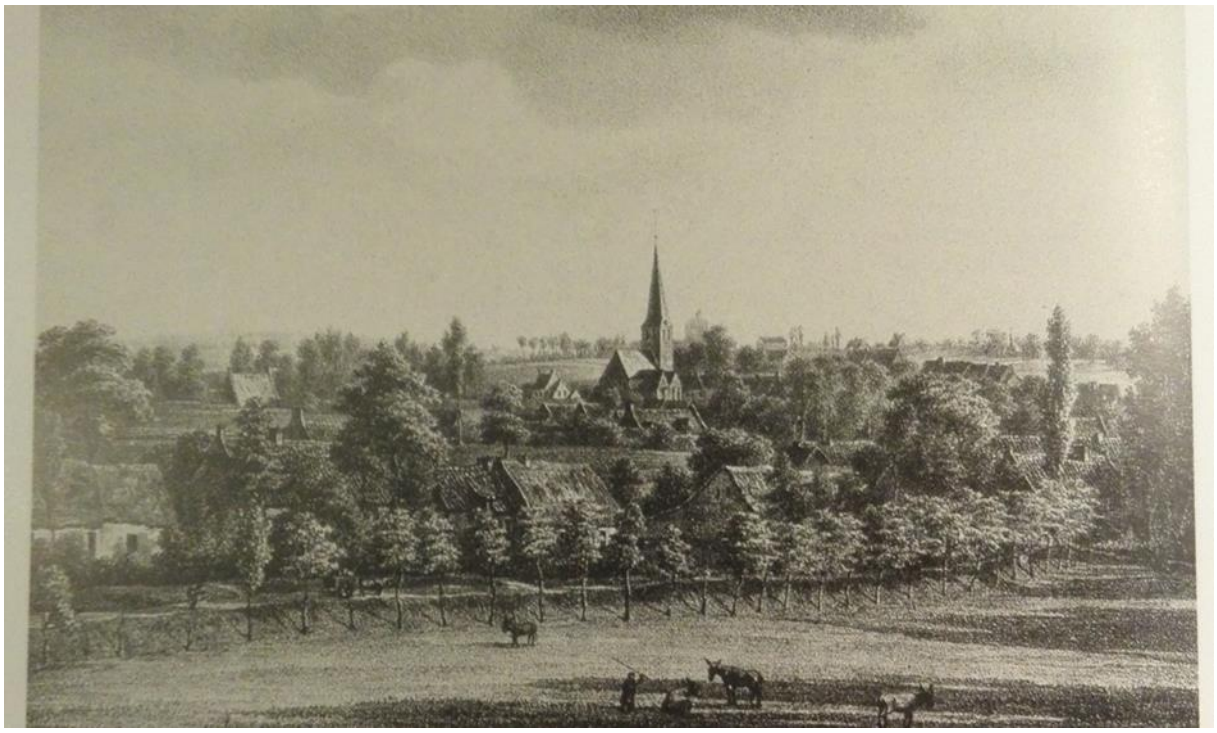


Figure 30 Lithographie de G.P Vanden Burggraaff selon un dessin d'Alexendre II Boëns du hameau de Schaerbeek à la fin du XVIIIe[61]

XIVe au XVIIe siècle : le hameau de Schaerbeek

Entre le XIVe et le XVIIe siècle, Schaerbeek est un petit hameau situé à l'extérieur de la seconde enceinte de Bruxelles, intégré dans la franchise de cette dernière (situation de dépendance administrative et juridique par rapport à Bruxelles). Lors de la construction de

[60] AHREND A., DE MAHIEU M-G., GOOR F., HAUBRUGE K., LALANDE F., LOROY E., O'DONOHU M., ROELANDT M. et USKOKOVIC E., Atelier d'aménagement urbain : Analyse, diagnostic et scénarios de réaménagement de la place de la Reine, 2016/2017, 74p

[61] DENHÆNE Gwendolyne, *Naissance du Faubourg de Schaerbeek : Histoire et images*, ASBL Patris - Patrimoine de Schaerbeek, 2002, 64p.

cette enceinte, au XIVe siècle, la porte de Schaerbeek est implantée au bout de la rue de Schaerbeek, nommée actuellement rue Josaphat.

Les ressources économiques de cette entité proviennent de l'activité agricole, qui est essentiellement tournée vers les produits maraîchers, fruitiers et céréaliers. Les maraîchers de Schaerbeek transportent leurs cultures à dos d'ânes pour les vendre en ville(en échange de l'octroi). A cette époque, les territoires de ces petits noyaux villageois appartiennent à quelques puissantes abbayes.

Schaerbeek est alors un village dont les coteaux sablonneux sont semés de sablières, de jardins légumiers, de vignobles, de pâturages et de petits vergers plantés de cerisiers - plus précisément des griottiers utilisés longtemps pour la Kriek. Ce passé rural est bien illustré par la devise de la commune « Pertinax » sed « Fructifer », gravée devant l'hôtel communal, qui signifie « Obstiné » et « Fertile ». On peut y lire « *Obstiné » comme l'âne « Fertile » comme la terre sur laquelle poussent les cerisiers.*

Figure 31 Photo prise par l'auteur. La devise gravée sur le muret de la corbeille de fleurs devant l'hôtel de ville.

XVIIIe – XIXe siècles : La Ville-Faubourg de Schaerbeek

Figure 32 Carte de Ferraris 1777 d'après BruGIS.

Au XVIIIe – XIXe siècles, Schaerbeek évolue progressivement du noyau villageois à caractère fort rural au puissant faubourg densément peuplé. Dès 1792, Schaerbeek est détachée de Bruxelles et devient une commune autonome, l'essor du développement urbanistique schaerbeekois est alors favorisé par plusieurs éléments:

1. Le démantèlement, sous le régime hollandais, de l'enceinte de Bruxelles, entre 1818 et 1820.

Cette déconstruction des limites de la ville va entraîner le développement des quartiers périphériques. Les fortifications sont alors remplacées par des boulevards. Ces boulevards sont aussi des lieux d'agréments et viennent alors s'y installer les bourgeois et les aristocrates. A Schaerbeek, les anciennes fortifications se situaient au niveau de l'actuel boulevard du Botanique.

On voit d'ailleurs clairement que cette urbanisation résulte plutôt d'une croissance de la ville de Bruxelles, plutôt que du développement du village de Schaerbeek, qui conserve lui son caractère rural.

Figure 33 Carte de Vandermaelen 1846-1854 d'après BruGIS.

2. L'entreprise urbanistique du « tracé royal » initié en 1827.

La rue Royale, la rue des Palais et l'avenue de la Reine constituent le « tracé royal » qui relie le palais royal de Bruxelles au château de Laeken.

En ce qui concerne la rue Royale, elle part de la place Royale, longe le Parc de Bruxelles pour aboutir en ligne droite à la porte de Schaerbeek. Au-delà, elle se prolonge jusqu'à l'église royale Sainte-Marie. Cette dernière, érigée entre 1846 et 1853 par les architectes Van Overstraeten puis Hensotte, vient fermer la perspective de la rue Royale. L'embellissement de la ville a été, tout au long du XIXe siècle, la règle d'or des urbanistes. C'est ainsi que la rue Royale Sainte-Marie sera prolongée, en 1862, jusqu'à l'hôtel communal qui clôt la perspective.

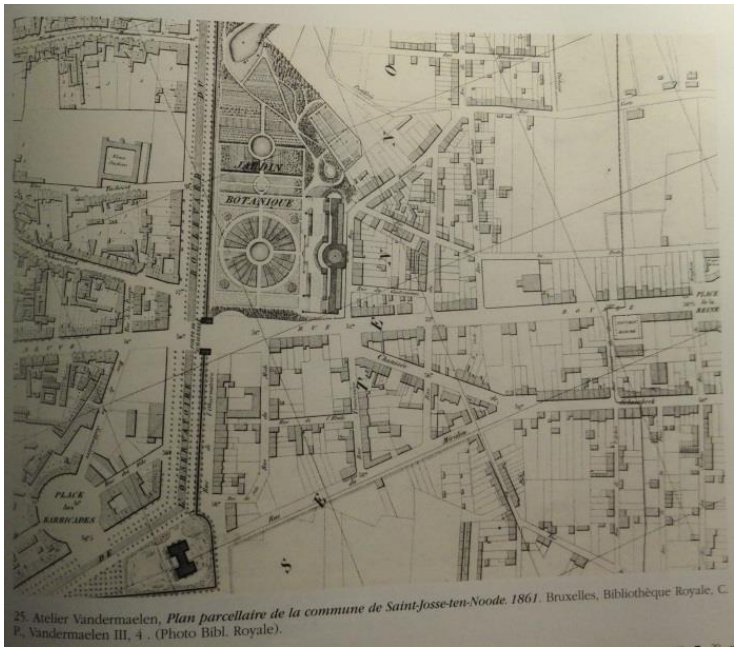
C'est en 1828 que le roi Guillaume décrète ce percement de la rue Royale depuis la porte de Schaerbeek jusqu'à la place de la Reine. Schaerbeek se trouve ainsi, avec le démantèlement des remparts, en liaison directe avec la ville de Bruxelles.

Ce « tracé royal » jouit d'un haut prestige et est bordé dès son origine par le Jardin Botanique. Ce n'est donc pas étonnant qu'on y voit fleurir de nombreux hôtels de maîtres et de beaux exemples d'architecture patricienne de style néo-classique, caractérisés par des

façades en enduit clair, de larges entrées, des soubassements à bossages en pierre bleue, des encadrements de baies, des balcons et des corniches aux décors moulurés.

Ainsi par exemple, sur la chaussée de Haecht, au n°147, se trouve, en intérieur d'îlot, le château Eenens, construit en 1826 pour un marchand drapier. De style néo-classique, cette résidence, agrandie vers 1860 de deux ailes latérales, fut acquise par la Commune dans les années 1950. Elle abrite aujourd'hui la Maison des arts avec les services culturels de la commune. De l'ancien parc ne subsiste qu'un petit jardin d'ordonnance classique.

La réalisation de l'extension de la rue Royale orientée vers l'ancien noyau villageois, donnera lieu à de nombreuses rues adjacentes, formant ainsi progressivement le faubourg de Schaerbeek.



25. Atelier Vandermaelen, *Plan parcellaire de la commune de Saint-Josse-ten-Noode. 1861*. Bruxelles, Bibliothèque Royale, C. P., Vandermaelen III, 4 . (Photo Bibl. Royale).

Figure 34 Plan parcellaire de l'atelier Vandermaelen de 1861, le nord est à droite, le cercle c'est le jardin botanique[62]

3. Le développement du réseau ferroviaire

En 1835, la première ligne ferroviaire belge « Bruxelles-Malines » est inaugurée, comptant parmi ses gares une gare schaerbeekoise située à proximité du canal pour faciliter le transport de marchandises et, plus tard, en 1841 la première Gare du Nord sur l'actuelle place Rogier, pour le transport de personnes. Ces deux gares vont fortement augmenter la valeur des terrains environnants et stimuler leur urbanisation. Par ailleurs, la ligne redescendant vers Schuman va aussi structurer le développement durant les décennies qui suivront, en formant une rupture qui cloisonnera l'urbanisation de cette partie de la ville, c'est très clair sur les cartes du DLG (Dépôt de la guerre et topographie, ancien IGN) à la page suivante, le chemin de fer forme comme une nouvelle enceinte digitée.

[62] DENHÆNE Gwendolyne, Naissance du Faubourg de Schaerbeek : Histoire et images, ASBL Patris - Patrimoine de Schaerbeek, 2002, 64p.

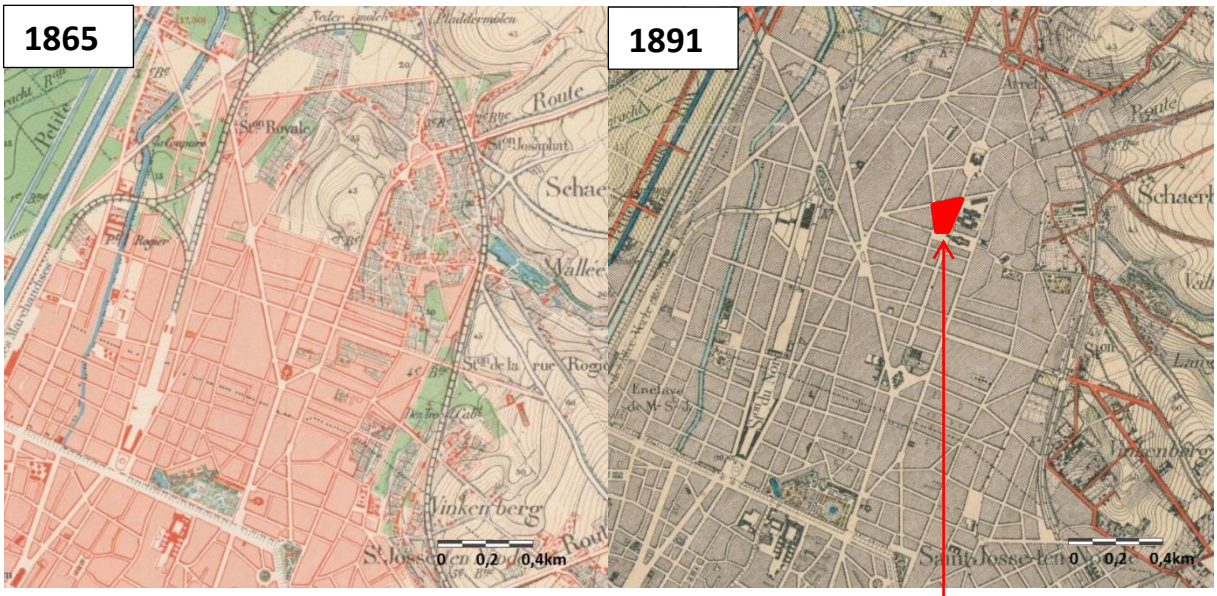


Figure 35 Carte du Dépot de la Guerre (xxxxi-3) de 1865 et 1891 d'après Cartesius

On doit aussi noter ici que c'est entre 1865 et 1891 que l'ilot de notre étude de cas est apparu.

4. Les mouvements migratoires

La situation socio-économique jouera également un rôle prépondérant dans le développement urbanistique du faubourg de Schaerbeek. Le développement industriel extraordinaire que connaissent la Belgique et sa capitale va engendrer de l'exode rural. Bruxelles va connaître une situation de surpopulation en raison de l'attrait qu'elle exerce sur une main-d'œuvre provenant de la Belgique entière. La nouvelle classe bourgeoise qui s'enrichit va préférer investir dans les faubourgs avoisinant Bruxelles, dont Schaerbeek.

La seconde moitié du XIXe siècle : renforcement des développements urbanistiques

Comme on vient de le voir avec les cartes du Dépôt de la Guerre, c'est dans la seconde moitié du XIXe siècle que les tracés des rues de l'îlot de notre étude de cas seront fixés et bâtis. Différents éléments vont engendrer le développement de Schaerbeek et des mutations urbaines au sein de la commune :

1. L'affirmation du pouvoir communal

Progressivement, les pouvoirs politiques communaux vont règlementer les conditions de développement urbanistiques, ce qui va conduire à des développements moins anarchiques. Dans un premier temps, ce sont principalement les particuliers qui tracent les rues, en y mettant des terrains en vente. Mais à partir de 1865, la commune prend le relais. Ce n'est toutefois qu'en 1899 qu'elle dresse un plan d'ensemble pour la transformation des parties rurales en quartiers nouveaux, englobant l'ensemble de son territoire.

2. L'influence léopoldienne

C'est l'influence parisienne d'Haussmann qui va pousser le bourgmestre Jules Anspach à faire voter des lois qui lui permettront d'entreprendre des travaux d'envergure. Bruxelles voit se réaliser le voûtement de la Senne et la percée des boulevards centraux. A Schaerbeek, les réalisations des boulevards Lambermont et Wahis ainsi que du parc Josaphat sont issues de ces plans. L'hôtel communal est bâti, en bout de perspective de la rue Royale Sainte-Marie, en 1885-1887. L'axe Royal est quant-à-lui prolongé à partir de l'hôtel communal pour rejoindre la gare de Schaerbeek voyageurs.

3. Influence hygiéniste

Les nouvelles exigences en matière d'hygiène génèrent plusieurs transformations dans le quartier. D'abord, entre 1863 et 1865, le Maelbeek est voûté sur le territoire de Schaerbeek.

Ensuite, le commerce vivier devant désormais se dérouler dans des lieux couverts, des halles, spécialement conçues pour accueillir les marchands de volaille et les légumiers, sont érigées en 1865 par l'architecte Hensotte, à l'angle de la place de la Reine et de la rue de la Constitution. Ces halles, ravagées par un incendie en 1898, furent reconstruites en 1901. Elles connaissent un franc succès, surtout à partir du moment où elles sont desservies par les trams et tramways vicinaux ; elles resteront en activité jusqu'en 1920 puis, après des années sans affectations, seront transformées en salle de spectacle (inauguration en 1997).

4. Entre 1860 et 1900, le quartier se densifie très fort.

Toute une série de petites entreprises s'installent dans le périmètre, à proximité de la gare Rogier et de la vallée du Maelbeek dont elles utilisent l'eau. Aujourd'hui, on trouve de nombreuses traces des entreprises qui se sont développées à cette époque en intérieur d'îlot. Seule l'entreprise de distillerie Fovel est toujours en activité. Par ailleurs, des commerçants, artisans et maraîchers s'installent le long des voies d'accès et de la sortie de la ville - principalement chaussée de Haecht, place de la Reine, rue Josaphat et rue des Coteaux. Le développement des trams et tramways vicinaux permet et stimule par ailleurs le développement commercial de ces artères.

Au recensement général de 1846, Schaerbeek couvre une étendue de 884 hectares dont 694 sont cultivés. Avec la suppression de l'octroi et de ses barrières, en 1866, Schaerbeek se retrouve vraiment aux portes de la ville et va connaître un développement urbain très important : De 1800 à 1899, elle va passer de 1.131, à 64.583 habitant, pouvons-nous lire dans l'ouvrage de Bouvier J. « *L'Hôtel communale de Schaerbeek. Une maison, une mémoire.* » 1887-1987, Bruxelles, Crédit Communal, 1987, 48 p., p.25-26

La première moitié du XXe siècle

L'assainissement du vieux village :

Suite à la décision du collège, en 1896, l'ancien village de Schaerbeek sera transformé par la création d'une voirie monumentale - l'avenue Louis Bertrand - dans l'axe de la nouvelle église Saint-Servais construite entre 1871 et 1876. Le long de cette artère une architecture

de qualité est encouragée par la création d'un concours. C'est ainsi qu'on y retrouve de nombreuses maisons de style Art Nouveau et Eclectique, réalisées par des architectes renommés. Cette nouvelle voie, inaugurée en 1905, permet de relier la chaussée de Haecht et le centre de Schaerbeek aux boulevards de ceinture et à un vaste parc public -le parc Josaphat- inauguré en 1902.

A cette époque, la Commune désire déplacer le chemin de fer de ceinture qui constitue un véritable obstacle au développement des quartiers. Elle l'inscrit dès lors dans une tranchée creusée jusqu'à la place Verboeckhoven. En 1914, les travaux de déménagement du chemin de fer se terminent, faisant place aux nouvelles avenues Paul Deschanel et Voltaire. Le passage à niveau et les passerelles de l'avenue Rogier sont supprimés. Toute une série d'immeubles à appartements et de maisons sont alors édifiés dans les styles art nouveau, art déco et moderniste, le long de la prestigieuse avenue Paul Deschanel et dans les rues environnantes, notamment les rues Van Hove et Roelandts.

Malheureusement, le cœur du quartier n'est quant à lui pas composé d'un habitat de grande qualité (rues Van Dyck, Philomène, l'Olivier, Josaphat). La croissance démographique rapide de la commune n'a en effet pas généré que des bienfaits... Au début du siècle, les rues l'Olivier et Van Dyck ont même la triste réputation de renfermer les impasses les plus insalubres de la commune.

La seconde moitié du XXe siècle

La 2ième moitié du XXe siècle sera marquée par une urbanisation accrue soumise aux spéculations immobilières dans la capitale. Schaerbeek n'échappera pas à ces grandes mutations et va progressivement connaître une dégradation du tissu urbain. La reconstruction du quartier Nord figure parmi les exemples criants de la « bruxellisation », qui annoncera aussi des autoroutes consommatrices d'îlots par dizaines.

Heureusement, un courant de contestation se développe à partir des années 60 et poussera les pouvoirs publics à favoriser la réhabilitation et la rénovation d'îlots.

1990 : La politique des contrats de quartiers

Au début des années 90, Schaerbeek initiera différentes politiques visant notamment :

- La revitalisation des quartiers anciens (y compris celui du quartier Nord) ;
- La création et le développement d'équipements et d'infrastructures culturelles et sportives ;
- La promotion du patrimoine architectural et urbanistique ;
- L'élaboration d'un plan communal de déplacement ;

Dans l'ensemble, ces différentes politiques sont encore d'actualité et/ou sont en cours de réalisation.

b. Plan de situation de l'îlot.

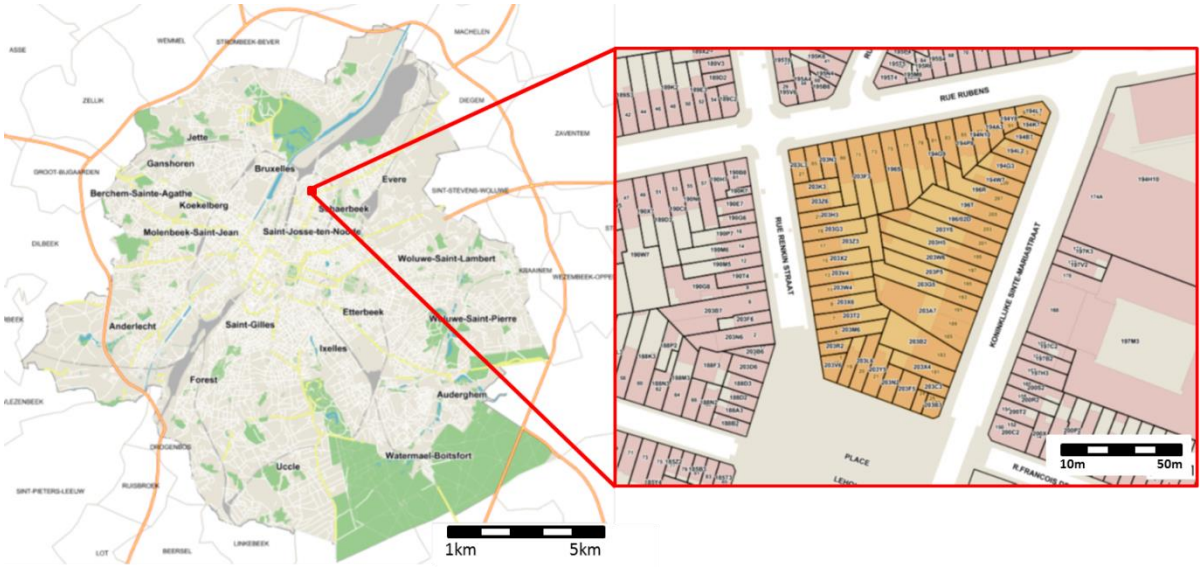


Figure 36 L'ilot est donc situé à Schaerbeek, cartes tirées de BruGIS

Géolocalisation selon Google Earth :

50°51'55,33''N 4°22'18,46''E 37m d'altitude

Les plans du réseau de distribution et d'évacuation de l'eau sont en annexe[63].

c. Optimisation des flux à l'échelle de l'îlot et de la maison, calquée sur la base théorique.

Nous allons commencer par parler du cycle de l'eau, car c'est le cycle de soutien aux autres cycles, particulièrement via l'activation de la phytocénose par irrigation. Nous parlerons ensuite tout naturellement des plantes, les plantes qui nous nourrissent et nous amènent à produire des déchets. Nous terminerons par la valorisation de nos déchets dans le but de réintégrer ces derniers dans les cycles. Je peux déjà préciser ici que ces déchets peuvent être de deux types, les fermentescibles et les ligneux. Les fermentescibles peuvent produire du biogaz et les ligneux de la chaleur, ce sont les fonctions du bio-digesteur et du compost Jean Pain.

I. Le cycle de l'eau

L'eau météorite en ville, que l'on appelle communément l'eau de surface ou de ruissèlement, peut être divisée en deux catégories : l'eau des toitures et l'eau des voiries.

1. L'eau des toitures

L'eau des toitures est d'excellente qualité, très facile à potabiliser, elle est alors de meilleure qualité que celle du réseau. Elle peut être utilisée pour tous les usages (voir visite chez Joseph Országh). C'est donc une richesse à exploiter entièrement, et nous verrons que les

[63] Annexe 3

toitures ne suffiront pas à satisfaire tous nos besoins. Il faudra donc augmenter les surfaces de récupération et les volumes de stockage d'une part, et diminuer notre consommation d'autre part. Cette eau peut permettre d'optimiser la production de biomasse en période de sécheresse, tout en limitant le phénomène d'îlot de chaleur urbain grâce à la chaleur latente d'enthalpie absorbée par l'évapotranspiration des plantes, mais pour cela il faut beaucoup de végétation. Je développerai cet aspect dans le point concernant la phytocénose.

Pour réhabiliter un maximum de citernes, il faut soutenir voire accroître le bonus/malus en supportant d'autant plus la taxation progressive de l'eau du réseau de distribution, et en subventionnant l'installation et la réhabilitation des citernes d'eau de pluie, car la plupart des maisons bruxelloises du XIXème en sont équipées. Il faut y puiser un maximum d'eau pour l'usage domestique en période de pluie, et l'économiser en période de sécheresse, pour l'arrosage en période de canicule. Ce bonus/malus doit être répercuté sur les propriétaires et non les locataires, qui n'ont aucun intérêt à investir dedans. En somme les propriétaires devraient systématiquement prendre en charge ces investissements et bénéficier de subventions pour installer ou réhabiliter les citernes ou isoler les maisons.

On peut aussi noter ici que l'utilisation d'eau de pluie annihilera les dégâts engendrés sur les plomberies par la pollution calcaire de l'eau du réseau. En somme le réseau actuel gaspille d'énormes quantités d'eau suite aux fuites engendrées par la pollution calcaire, sans parler des dégâts aux appareils ménagers.

2. L'eau du réseau routier.

Actuellement l'eau du réseau routier draine de nombreux polluants très dilués (huile de moteur, particules de moteur érodé, déchets sauvages, etc.) qui ne sont même pas traités durant les déversements d'orages en période de saturation des StEp, alors que ce sont bien ces eaux de ruissellement qui sont à la source de cette saturation du réseau… En attendant la mise en place d'un réseau séparatif permettant de traiter ces eaux différemment (une simple décantation suffit à récupérer les métaux lourds, le sable et les huiles, pas besoin de traitement biologique, l'eau est très peu chargée), on peut envisager de reconvertir les bassins d'orages et le canal de Bruxelles à cet effet. Le canal ressemble fort à un grand décanteur à flux horizontal en somme et l'on contribue même à cette décantation en draguant le canal qui, quelque part, est le plus grand bassin d'orage de Bruxelles. Mais le plus fondamental est avant tout de réduire la place de la voiture individuelle en ville et de la remplacer progressivement par des voitures électriques en libre-service (un moteur électrique, récupérant l'énergie au freinage, s'érode beaucoup moins qu'un moteur à explosion et limitera les problèmes de pollution dus aux métaux lourds. On peut en outre utiliser des huiles, patins de freins, et tous autres objets susceptibles de s'éroder, en utilisant des matériaux biodégradables : ces technologies se développent ou se redécouvrent).

Du reste on doit chercher au maximum à injecter ces eaux dans les nappes via des surfaces perméables, des puits d'infiltration ou l'irrigation de zones humides, l'idée étant de ralentir

au maximum leur évacuation vers la mer pour accroitre notre résilience climatique (voir encore visite chez Joseph Országh).

3. Citerne VS bassin d'orage.

Le bassin d'orage de Flagey a coûté 25.511.950 € pour une capacité de 33.000 mètre cube[64], ce qui nous fait 773,1€ le mètre cube. Si on avait offert 773,1€ le m³ de citerne aux riverains du bassin d'orage (en gros ceux qui habitent dans la zone que j'ai grisé entouré en gras sur la carte ci-après), n'aurait-on pas pu combler pour tout ou partie le problème des inondations ? Cette zone abrite plusieurs dizaines de milliers d'habitants, il doit bien y avoir plusieurs milliers de maisons, et chacune d'elles peut stocker plusieurs mètres cubes d'eau, donc la réponse approximative est très probablement « oui», mais l'évaluer précisément pourrait faire l'objet d'un travail entier - d'autant qu'il y a des difficultés à gérer ces citernes.

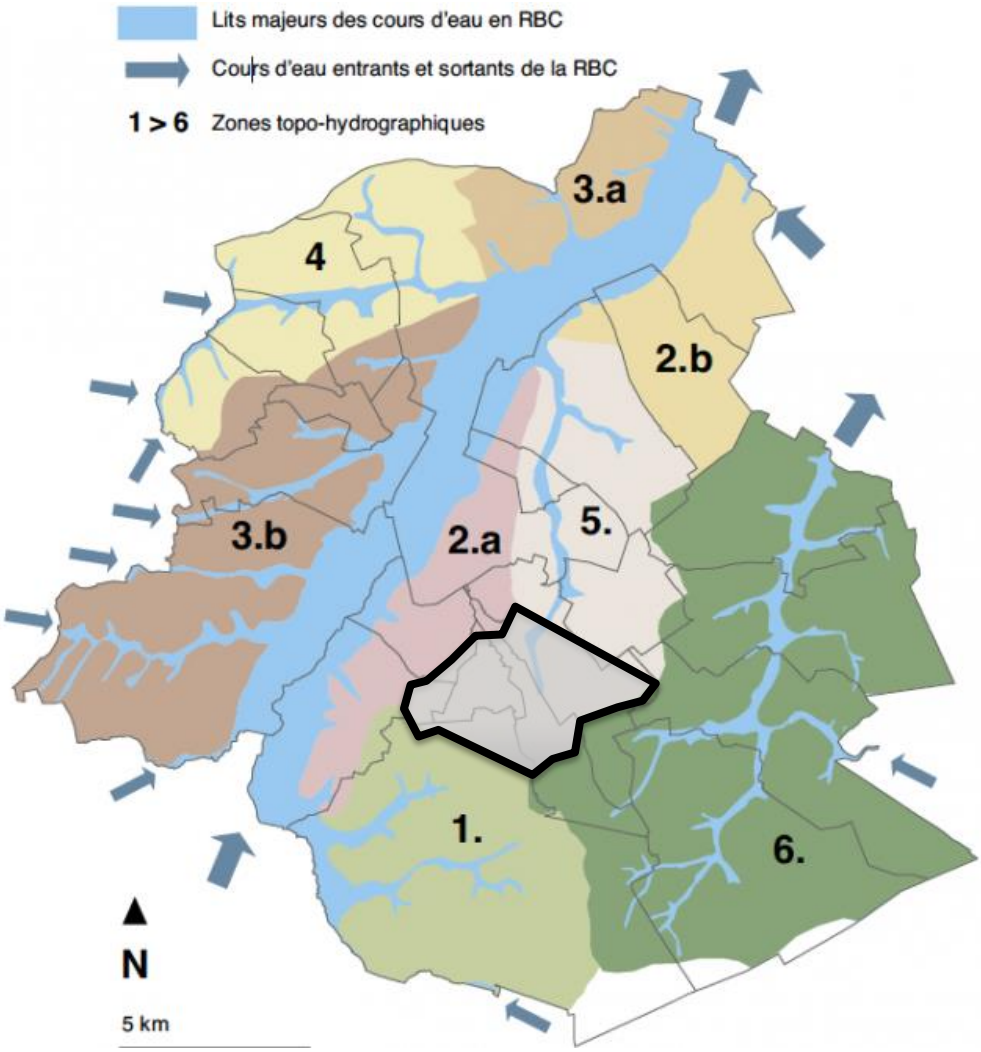


Figure 37 Proposition des bassins versants de la région réalisée par Kevin De Bondt – VUB[65]. La zone grisée entourée en gras représente approximativement l'eau s'écoulant vers le bassin d'orage de Flagey, elle a été rajoutée par l'auteur.

[64] http://www.borges.be/photo/LUIS/place_flagey/index.htm consulté le 26/07/2017

[65] Kevin De Bondt (Earth System Science VUB), "*Un avenir durable pour nos enfants les Bruxellois*" in Bruxelles en Mouvements, "Voix d'eau", périodique édité par IEB, n°247-248, avril-mai 2011, numéro spécial, pp 28-30

Reste que, pour avoir posé la question à Olivier Broers de Vivaqua, ce n'est pas si simple : ces citernes devraient être vidées avant l'arrivée d'un orage pour que ce soit efficace… Cela dit, il existe déjà un système d'alerte sous forme de SMS est envoyé pour alerter de l'arrivée d'un orage à ceux qui ont garé leurs voitures dans le parking au-dessus du bassin d'orage de la place Flagey. Un tel système ne pourrait-il pas être mis en place pour actionner des pompes visant à vider les citernes des particuliers préalablement à l'arrivée d'un orage ? Cela se développe, notamment via des logiciels RTC pour gérer le réseau en « Real Time Control », connecté à des radars pour voir l'arrivée d'une pluie et actionner des pompes dans le réseau. Mais ces technologies ne sont pas encore au point, et selon Olivier Broers, ça pourrait arriver de mon vivant…

Pour l'anecdote, j'ai vécu à côté de l'hôpital d'Ixelles, dans ce bassin problématique : la citerne de 3m³ de la maison avait été comblée de remblais quelques années auparavant suite à des problèmes d'humidité dans la cave ; pour 2319,3€ elle aurait évidemment pu être imperméabilisée - d'autant qu'en réalité on compte plutôt 1000€/m³ selon Olivier Broers.

4. Citerne et puits dans l'étude de cas

Dans notre étude de cas, la maison que j'habite actuellement se situe au nord du bassin versant 2.a dans la carte de la page précédente, il est décrit comme tel par Kevin De Bondt :

«La topographie est très marquée, la pente générale du versant est relativement forte : comme en témoignent les distances réduites entre la vallée et la ligne de crête. De nombreuses sources alimentaient de petits ruisseaux perpendiculaires à la Senne dans plusieurs Communes (Forest, Saint-Gilles, Bruxelles-Ville, Saint-Josse, Ixelles et Schaerbeek). »[66]

La maison dans laquelle je vis, en plus d'avoir une citerne, dispose aussi un puits ! Cela signifie qu'en cas d'excès d'eau, on pourrait encore réduire l'eau qui arrive à la station d'épuration, en vidant la citerne dans le puits pour qu'elle aille directement dans la nappe phréatique. Mais ce dispositif ancien, datant d'une époque où nous n'étions pas connectés à un réseau de distribution, n'est pas possible partout, car dans les bas de vallées il se transformerait en puits artésien[67] et inonderait les caves.

[66] Ibid.

[67] Sous le niveau piézométrique de la nappe phréatique, là où les sources jaillissent, si le sol est imperméable (un peu comme en ville) et que vous le forez jusqu'à la nappe, l'eau jaillit alors naturellement, c'est ce que l'on appelle un puits artésien, c'est donc une forme de source artificielle.

Figure 38 Photos du puits prises par l'auteur

La citerne et le puits étaient indiqués sur les plans, mais non dessinés, j'ai donc pris les mesures avec mon télémètre laser, un mètre déroulant de 5m, une **corde lestée d'une brique** pour mesurer la profondeur du puits, car le laser dans l'eau indique n'importe quoi et avec **une bouteille attachée au fil**, plus **un petit pot** pour échantillonner l'eau. J'ai aussi eu besoin d'une **lampe de poche** car on n'y voyait rien. Le puits fait 1m de diamètre pour **8,81m de profondeur (!)** et quand je l'ai mesuré il y avait 1,61m d'eau dedans, donc on avait 5,65m³ de volume libre disponible.

La citerne quant à elle (ci-dessous), était pleine au moment de la photo car non-exploitée ; elle est donc étanche puisque au mois de mai, il n'avait plus plu depuis plusieurs semaines. Sa capacité est de 1,49m x 2,3m x 1,17m = 4,01m³. Entretemps on l'a pas mal exploité pour le potager avec la sècheresse qui a perduré jusqu'en juin. Mais maintenant fin juillet elle est bien remplie à nouveau. On peut rappeler ici l'importance de grands volumes de citerne pour accroitre la résilience, 160l/m2 de surface de toiture projetée selon Joseph Országh.

Figure 39 Photo de la citerne prise par l'auteur.

Le puits a donc de absorber 1,41 vidange de la citerne en prévision d'orages, mais il me semble qu'il diminue avec le déficit hydrique des dernières semaines. Mesurer le niveau à la fin de l'hiver aurait été intéressant (mesure prise début mai), car il y a une fluctuation

annuelle du niveau piézométrique des nappes en Belgique : globalement elles se remplissent l'hiver pour se vider l'été. Mais la Belgique est en fait en situation de sécheresse depuis 11 mois, depuis juillet 2016 selon l'IRM[68], alors que le printemps 2016 avait enregistré un excès hydrique dont on reparlera plus tard... Enfin bref on peut calculer la capacité de la maison à 'boire' un orage. Dans le paragraphe suivant je remplacerais les termes *zone imperméabilisée* par *bouche*, *citerne* par *estomac* et *puits* par *vessie*, pour rendre les mathématiques plus amusantes.

La projection au sol de la bouche de la maison, en comptant le pavement dans le jardin bien qu'un peu perméable, fait 92,87 m². Elle a une capacité dans l'estomac et la vessie cumulée de 9,66m³, à jeun elle peut donc absorber un orage de 104 l/m² et arriverait donc à avaler un orage centennal selon le graphique ci-dessous ! (À titre comparatif, M. Guildo Petrucci nous a dit, durant sa conférence au CIVA le 1er octobre 2014, que le bassin d'orage de la place Flagey était calibré pour des orages bidécennaux (ou vicennaux), mais aurait déjà débordé deux fois depuis son inauguration en 2008, changements climatiques obligent).

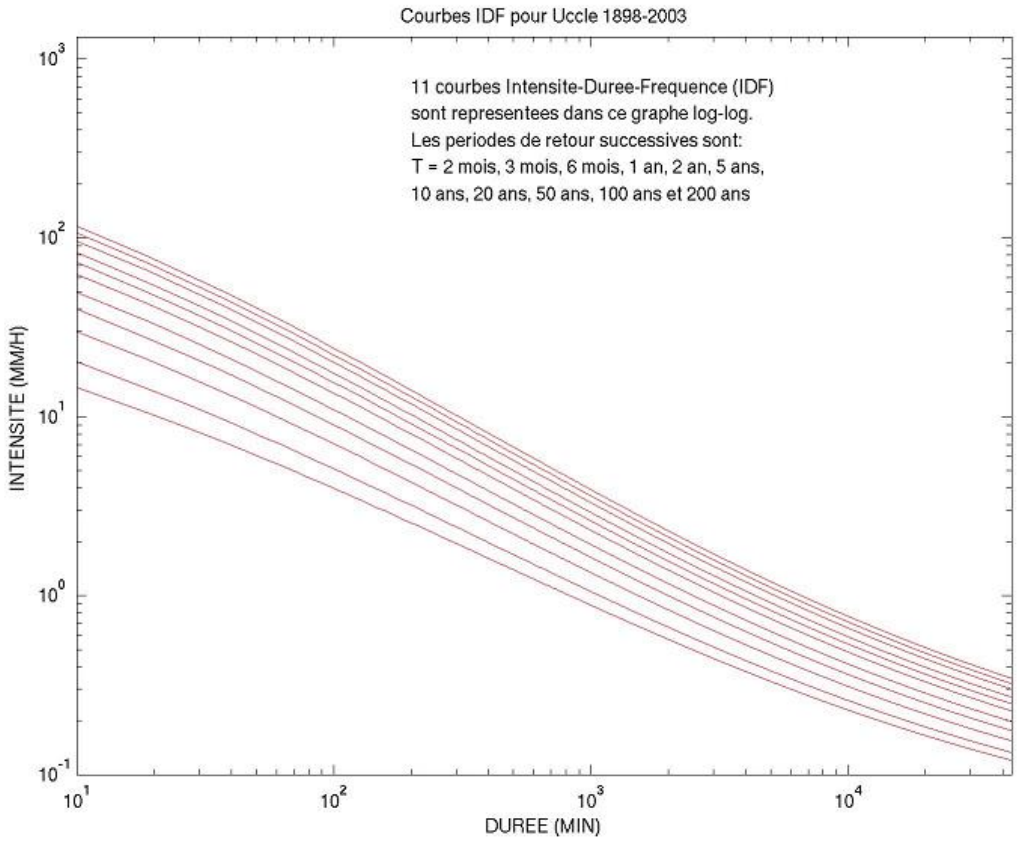


Figure 40 l'intensité de l'orage est en mm/h, un mm de pluie est équivalent à un l/m². Source [69]

[68] https://www.meteo.be/meteo/view/fr/123766-Cette+annee consulté le 26/07/2017

[69] BROUYAUX, François, TRICOT, Christian, *Etude en support au « Plan Pluies » pour la -Région de Bruxelles-Capitale*, IRM pour le compte de l'IBGE, 2006, 69 p. En ligne, http://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/STUD_2006_PlanPluie_RBC_Annexe2

Une chose intéressante à faire serait de siphonner l'estomac dans la vessie et mesurer la vitesse à laquelle le niveau baisse dans la vessie, en gros le débit de soulagement de la maison lorsqu'elle urine. On ne le voit pas bien sur les photos, mais le fond de la vessie est du sable drainant (du Bruxellien certainement, puisque le quartier comptait plusieurs sablières avant que ce ne soit urbanisé)[70].

Parenthèse géologique, ce sable provient donc du Bruxellien, dans l'étage[71] Lutétien supérieur durant l'époque Eocène dans notre ère : le Cénozoïque. Cette étage date d'il y a 45 millions d'années, le niveau des océans était alors bien plus élevé car nous suivions l'optimum de l'Eocène, marqué par un épisode de réchauffement brusque appelé le PETM (Paleocene Eocene Thermal Maximum) qui s'est déroulé 11 millions d'années avant le Bruxellien. Je ne sais pas sous combien de mètres d'eau se serait trouvée la maison à cette époque, mais il n'y avait pas de glace sur Terre, et je viens de lire qu'on retrouve des dents de requin dans ce sable ![72] …

J'ai eu l'idée d'ouvrir les chambres de visite dans la cave durant l'orage de la nuit du 19-20 mai 2017, seulement les cellules orageuses ont bien arrosé l'est et l'ouest de la capitale, mais il n'a quasiment pas plu à Schaerbeek. Deux mois après jour pour jour, j'ai réitéré l'expérience avec le front orageux qui a traversé le pays durant la nuit du 19- 20 juillet 2017. Je l'ai suivi via les radars de l'IRM, il se déplaçait à une vitesse approximative de 35km/h du sud-est en vers le nord-ouest (vent dominant) et a commencé à devenir particulièrement actif en passant sur la capitale (image radar au milieu ci-dessous).

Figure 41 Radar de l'IRM https://www.meteo.be/meteo/view/fr/123361-Radar.html consulté le 20/07/2017

L'idée c'était donc de voir la surverse de la citerne pleine s'écouler vers les égouts par les chambres de visite. Si vous regardez dans les plans de la maison, vous en trouverez deux, une dans la petite pièce sous le palier du RDC, et une autre dans la cave à charbon. On voit encore quelques restes de fèces, mais l'orage a bien tout nettoyé. Quand j'avais ouvert la chambre de visite en mai, c'était comment dire, quelque peu moins ragoûtant…

[70] Voir historique, point a de ce chapitre .
[71] Subdivision des époques géologiques.
[72] DE WAVRIN Hellin, *ORIGINES DES SOLS, DU RELIEF*, En ligne, http://www.kauwberg.be/origine.htm consulté le 26/07/2017

Figure 42 à gauche l'eau s'écoulant sous le palier, à droite sous la cave à charbon. Photos prises par l'auteur.

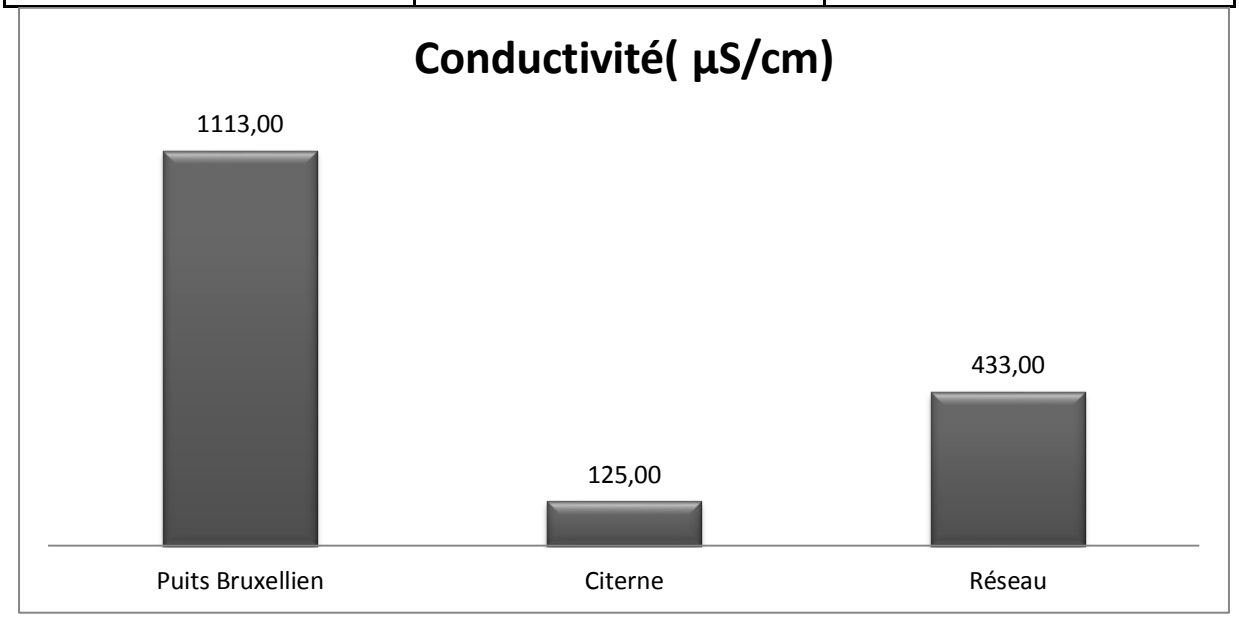
On peut noter sur la photo ci-dessus à droite, des affleurements de salpêtre sur l'évacuation d'eau : ce sont les petits poils blancs. On constate évidement que cette eau est fort limpide ; dans le point sur l'optimisation du flux, nous verrons que cette eau sera stockée directement dans les combles, pour servir d'abord aux douches, puis restockée dans une citerne intermédiaire destinée aux toilettes. L'avantage de la stocker dans les combles aussi, c'est qu'on peut l'avoir à un bar de pression au RDC dans l'idée de la potabiliser avec l'osmoseur, sans même nécessiter de pompe, ce serait encore mieux que chez Joseph Országh. L'eau potabilisée devrait ensuite être stockée dans une (petite) citerne hygiénisée dans le sol, pour la maintenir bien au frais comme de l'eau de source.

5. Analyse biochimique du cycle de l'eau dans l'étude de cas

J'ai analysé les eaux du puits, de la citerne et de distribution avec le pH-mètre et l'EC-mètre de mon frère aquariophile (l'EC-mètre mesure l'électro-conductivité en µSiemens/cm, on l'appelle aussi la conductance et c'est l'inverse de la résistance qui se mesure en ohm). Pour comparaison, une eau distillée est quasi parfaitement isolante et a donc une conductance nulle, les appareils indiquent 0µS/cm et un pH un peu acide autour des 5,5 suite aux acides carboniques, alors qu'une eau chargée d'ions comme l'eau de mer aura une conductivité qui monte jusqu'à 50.000µS/cm et un pH autour des 8.

Figure 43 à gauche le pH-mètre, à droite l'EC-mètre, avec leurs flacons de calibrage respectifs. Photos prises par l'auteur.

	Conductivité	pH
Eau du puits	1113 µS/cm	7,1
Eau de la citerne	125 µS/cm	6,8
Eau de distribution	433 µS/cm	7,3



On voit directement que l'eau de la citerne, issue de l'eau de pluie, est très douce, alors que l'eau du puits s'est chargée de minéraux du sol par lixiviation et est donc bien plus chargée en ions ; l'eau de distribution est entre les deux, mais elle a le pH le plus élevé, probablement car elle provient pour partie de roches karstiques riches en calcaire du tournaisien, mesurables par le GH. On verra cela en détails plus loin..

J'ai profité de l'acquis de mon stage pour mesurer les paramètres biochimiques au labo, où j'ai beaucoup travaillé avec Ruben Werquin pour faire les courbes d'étalonnage colorimétrique à partir de solutions standardisées des molécules qui nous intéressaient dans l'aquaponie. Pour plus d'explications, voir le rapport de stage[73] (en gros cela permet de mesurer les concentrations de différents éléments).

On a fait la coloration avec la mallette pour aquarium Sera Test, l'évaluation de l'absorbance au spectromètre Hach DR/4000U et l'encodage de cette dernière dans un tableau Excel avec les équations des droites d'étalonnage ; le tout est très fiable, on a eu des r^2 de 0,99 minimum pour les courbes d'étalonnage. Voici les résultats des analyses :

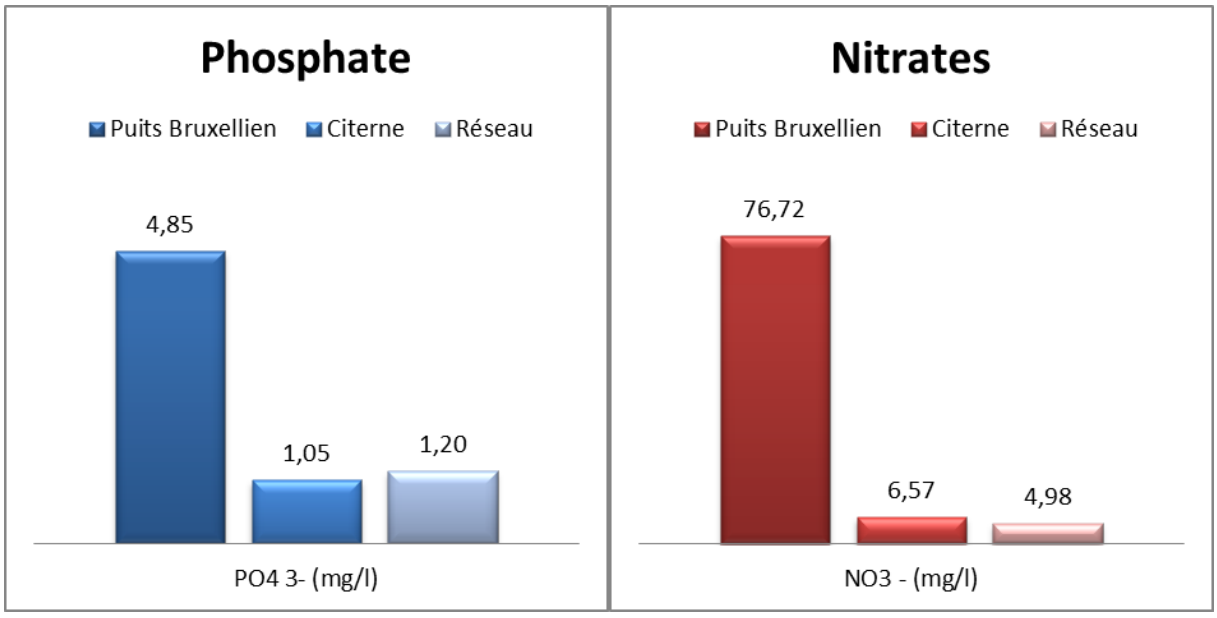
[73] Annexe 6

Figure 44 Coloration de l'eau à gauche. Evaluation de l'absorbance à droite.

	PO_4^{3-} (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	NO_2^- (mg/l)	Fe (mg/l)
Puits Bruxellien	4,85	0,00	76,72	0,00	0,00
Citerne	1,05	0,00	6,57	0,04	0,02
Réseau	1,20	0,00	4,98	0,00	0,00

Le nitrite (NO_2) de la citerne provient probablement des NOx de l'atmosphère, résultat des moteurs à combustion, ou peut-être aussi d'urine en provenance de la toiture végétalisée.

Le taux de fer m'étonne par contre : on n'en avait jamais à l'aquaponie, de plus les descentes d'eau sont en zinc donc pas de fer de ce côté-là ; probablement qu'il y a de la ferraille au fond de la citerne (un vieux seau ?) ; concernant les nitrates et phosphates, on va en parler plus en profondeur tout de suite.



En examinant les deux graphiques à la page précédente, on voit immédiatement que le puits est extrêmement chargé (bien trop), la nappe est polluée par plus d'un siècle d'urbanisme en rupture avec les cycles. Selon cette carte de la directive nitrate, les nappes dépassent

rarement les 50mg/l de nitrates, on est ici à 76,72 mg/l, la nappe est donc fortement chargée. Cet excès a probablement commencé à l'époque où nous n'avions pas d'égouts suite aux déjections animales ou humaines : les chevaux ont longtemps sillonné les rues, notamment pour tirer les tramways, et ce jusqu'à la fin de la première moitié du XXe siècle. D'ailleurs des anciennes écuries destinées à cet effet, *Les Ecuries van de Tram*, se trouvent à l'intersection entre la rue Rubens et la rue Royale Saint Marie. Une autre source peut provenir des lixiviations du réseau en brique trop perméable, ou encore des retombées d'NOx causées par les moteurs à combustion depuis le début de la deuxième moitié du XXe siècle.

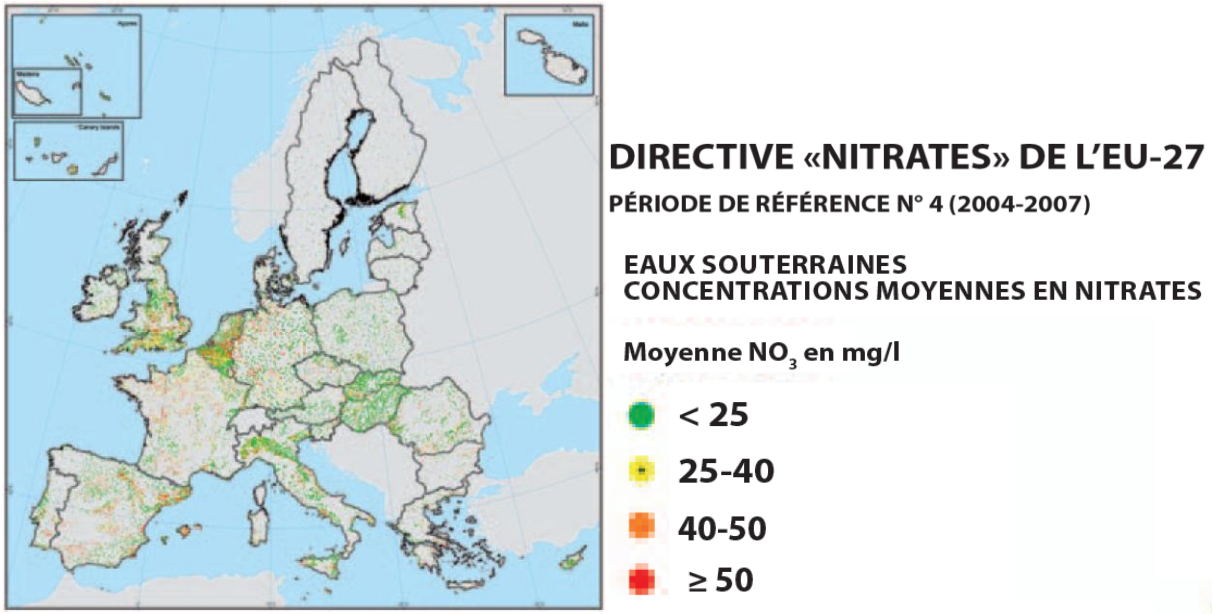


Figure 45 Extrait de la directive nitrate[74]

La norme de potabilité concernant les nitrates est à 50mg/l[75], donc l'eau du puits n'est pas potable du point de vue biochimique. L'eau de pluie est quant à elle pour ainsi dire potable du point de vue biochimique, mais il y a les 0,04 mg/l de nitrites qui posent problème (les nitrites sont extrêmement toxiques, comme le CO, ils se fixent à l'hémoglobine à la place de l'oxygène). Pour y remédier, il suffit d'oxygéner l'eau pour la bio-filtrer ensuite, afin que les *Nitrobacter* transfroment les nitrites en nitrates. Pour finir en la filtrant à 10µ, 0,4µ et en la passant à l'osmoseur à un Bar, elle est alors de meilleure qualité que celle du réseau.

[74] Sources: DG Environnement, rapports des États membres sur la mise en œuvre de la directive «Nitrates».
Système de coordonnées de référence: ETRS89 projection azimutale équivalente de Lambert
Cartographie: JRC, 05/2009
© EuroGeographics pour les limites administratives
© Droits de reproduction: JRC, Commission européenne
Créé à partir d'ELISA (European Land Information System for Agriculture and Environment — système européen d'informations géographiques pour l'agriculture et l'environnement)

[75] JOUANNEAU B ; BARATA W., *Qu'est-ce que l'eau de pluie ?*, En ligne, http://autonomie.eaudepluie.free.fr/eau_pluie.htm consulté le 26/07/2017

La mallette Sera Test permet aussi de mesurer la dureté totale (GH) qui traduit la concentration en ions Ca++ et Mg++, et la dureté carbonatée (KH) qui traduit la concentration en ions carbonates (CO_3^{2-}) qui a un rôle tampon sur le pH et l'empêche donc de fluctuer. Ils sont exprimés en degré allemands qu'il faut multiplier par 1,78 si l'on veut avoir les degrés français (1°dGH = 1,78 °TH et 1°dKH = 1,78 TAC), mais on va laisser en degrés allemands c'est bien comme ça. C'est une titrisation et non une coloration donc nous n'avons pas besoin du spectromètre, il suffit de compter un nombre de gouttes avant un changement de couleur de la solution, le résultat est un peu plus approximatif.

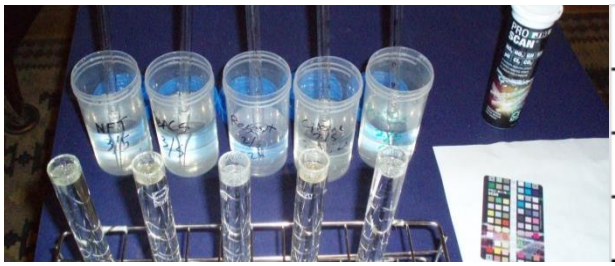
	dGH	dKH
Puits Bruxellien	24-29	8,5
Citerne	<3	<2
Réseau	22	14,5

On voit que l'eau du réseau, bien qu'ayant des paramètres biochimiques semblables à ceux de la citerne, a ici beaucoup plus de Ca^{++} et Mg^{++}, ce qui explique la différence de conductivité mesurée au début de l'analyse. Par ailleurs, il est important de noter que ces cations réagissent avec les anions du savon (acide stéarique $C_{18}H_{36}O_2$) pour former des stéarates de calcium ou de magnésium (voir réaction ci-dessous), ce qui empêche la formation de mousse tant que toute la dureté n'a pas réagi : utiliser l'eau de pluie pour l'entretien a donc aussi l'avantage de réduire considérablement votre facture de savon – par ailleurs le savon est une matière organique biogazable, on en reparle plus tard.

$C_{18}H_{36}O_2 + CaOH = Ca(C_{18}H_{35}O_2) + H_2O$

$C_{18}H_{36}O_2 + MgOH = Mg(C_{18}H_{35}O_2) + H_2O$

J'ai aussi fait un test avec les bandelettes JBL ProScan, avec des réactifs dans des mousses qui changent de couleur, après quoi on prend la bandelette en photo avec une application de Smartphone qui donne des concentrations, mais c'est très peu fiable en comparaison avec les mesures précédentes : cela exagère les nitrites de 0,27mg/l et les nitrates de 48mg/l ce qui renvoie vers des produits JBL pour réguler le taux de nitrites des aquariums. Reste qu'on a des mesures du Cl_2 et du CO_2 qu'on n'avait pas dans les autres tests.



	Cl2	CO2
Puits Bruxellien	0	<15
Citerne	0	20
Réseau	0	20

Figure 46 Analyse avec JBL ProScan. Photo prise par l'auteur.

Concernant le Cl_2, je n'ai pas de remarque à faire, bien que normalement il devrait y en avoir dans l'eau de distribution. Concernant le CO_2, je pense qu'il est calculé en fonction du KH et du pH, car le CO_2 dissout est sous forme de carbonate voire de bicarbonate, en fonction du pH, mais puisque le pH et le kH étaient hyper approximatifs sur les bandelettes, ce n'est probablement pas très pertinent…

Par ailleurs j'ai aussi laissé mes échantillons dans le jardin durant 23 jours, pour voir le développement d'algues. L'eau du puits étant celle qui sans étonnement a connu la plus forte eutrophisation, j'en conclu que l'eau de la nappe pourrait servir aux bioréacteurs dans les combles dont on parlera plus tard. Concernant le non développement d'algues dans l'eau du réseau comparativement à l'eau de la citerne, il est possible que ce soit dû à la présence de chlore n'ayant pas été détecté par l'analyse ProScan, ou un effet de la dureté peut-être.

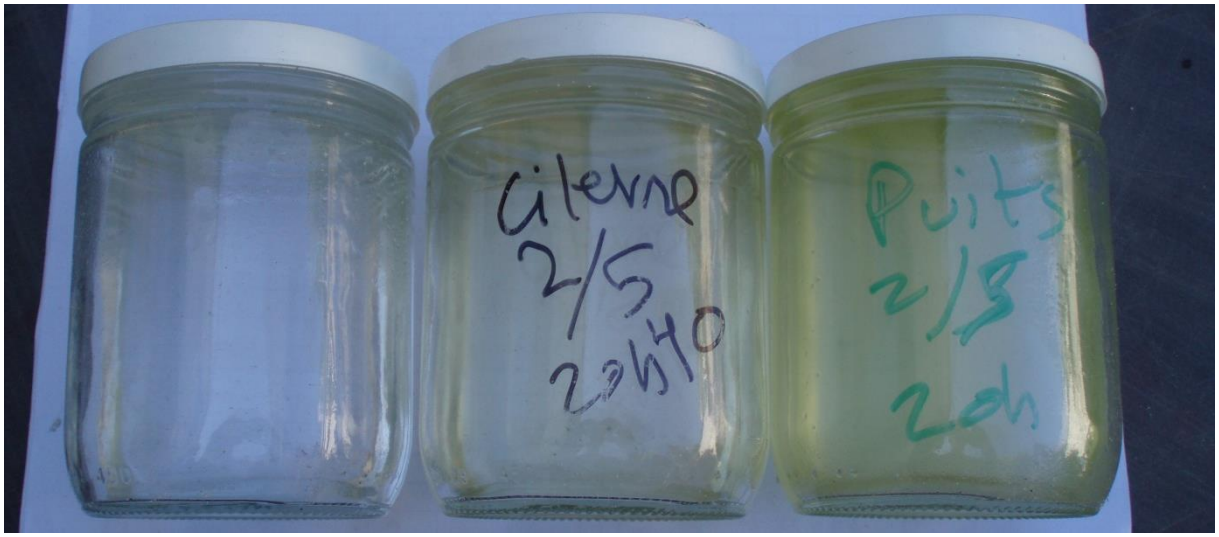


Figure 47 : photo prise le 25 mai par l'auteur, à gauche l'eau du réseau, aucun développement d'algues, à droite l'eau du puits en eutrophisation.

6. Optimisation du cycle à l'échelle de la maison et de l'ilot.

Comme déjà répété, le cycle de l'eau c'est celui qui active les autres cycles, on a notamment vu qu'il transporte pas mal d'éléments, donc on doit commencer par optimiser ce flux si on veut s'intégrer dans les cycles biogéochimiques. On doit aussi s'inscrire au maximum dans la chute gravitaire de l'eau, aller dans le sens inverse de l'entropie en activant des pompes ne devrait se faire qu'en dernier recours, nous allons donc mettre beaucoup de volume de citerne dans les combles de la maison.

J'ai décidé d'installer des citernes supplémentaires de part et d'autre des murs des façades, car mon intuition me dit que c'est structurellement le plus sûr, mais cela doit être vérifié par un ingénieur architecte agréé. Ces citernes sont donc en dessous des gouttières et des pannes sablières, ce sont des décanteurs à flux horizontal, l'eau passe d'abord par un dégrillage millimétrique entre la gouttière et la citerne extérieure (citerne PRIMAIRE dans le plan) en vue d'éviter d'encrasser le système avec des feuilles, gravats, restes de nids d'oiseau, etc. Elle décante ensuite dans la citerne extérieure sur une longueur de 5,5m, pour

ensuite passer le **filtre de 10µm** entre la citerne extérieure et la citerne intérieure. La citerne intérieure (citerne SECONDAIRE dans le plan) est moins longue car les murs mitoyens empiètent dessus, l'eau y décante sur une longueur de 5,2m, pour finir par en sortir via un deuxième **filtre de 0,4µm**. De là elle peut soit être pompée via des pompes éoliennes vers d'autres citernes dans les combles, des citernes ayant pour but d'accumuler des calories pour les sanitaires et l'entretien, soit être amenée vers un tube de 10m de hauteur dans la cheminée, ayant pour but de potabiliser l'eau avec un osmoseur au RDC ou dans la cave selon les cas, il faut un bar de pression pour l'osmoseur, dans notre étude de cas il faut donc l'installer dans la cave car la maison est plutôt petite. Cette eau potable peut être stockée ensuite, bien au frais dans une citerne dans le sol.

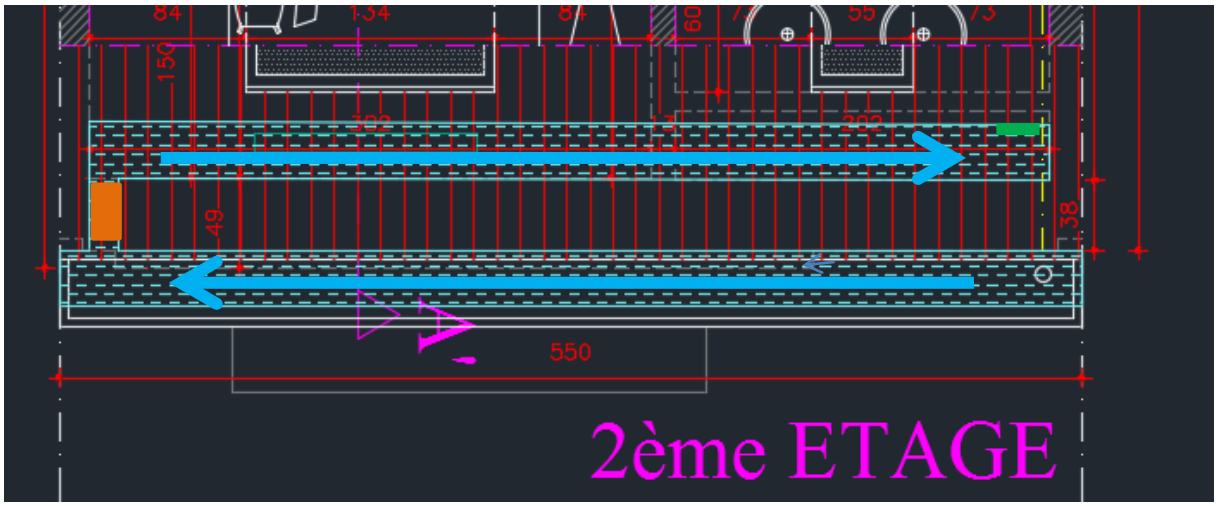


Figure 48 Les flèches représentent le flux dans les citerne/décanteurs à flux horizontaux. Extrait du plan de Béatrice Vanhille, remanié par l'auteur.

Concernant l'entretien du système, il faudrait profiter de prévisions très humides pour profiter de l'excès d'eau pour purger les décanteurs et décrasser les filtres. Ce système n'est pas évident à entretenir, voilà pourquoi à l'échelle de l'îlot, j'imagine que les combles devraient être communautarisés pour être gérés par des techniciens spécialisés, car vous verrez que l'on va aussi y mettre des bioréacteurs d'algues et des plantations d'ananas, d'avocatier ou de bananiers. C'est la raison pour laquelle il n'y a plus d'escaliers vers les combles dans le plan, et qu'il y a des portes dans les murs mitoyens.

Ces bioréacteurs pourraient servir à épurer la nappe phréatique aussi (l'eau du puits), on va parler de « phyto-épuration », ce qui peut produire de l'énergie. En somme les StEp en général utilisent la zoocénose microbiologique, et les chimiolithotrophes, pour épurer l'eau, alors qu'en utilisant la phytocénose on peut produire de la biomasse en plus. Pour pomper cette eau, je me dis qu'en plus des éoliennes low-tech, un système remontant l'eau en se pendant à une corde au lieu de descendre les escaliers, serait certainement aussi très efficace en plus d'être amusant. Les gosses adoreraient tellement cela qu'il faudrait sans doute les calmer… « *Maxence arrête ça maintenant, va dans ta chambre !* ».

Les surverses serviraient simplement à arroser les voiries ou les jardins, ou pourraient même servir à monter des charges, donc en soi, on peut laisser Maxence s'amuser…

Analysons maintenant l'optimisation du flux consommé par le ménage. Pour ce faire nous allons commencer par analyser la consommation d'eau des ménages en Belgique.

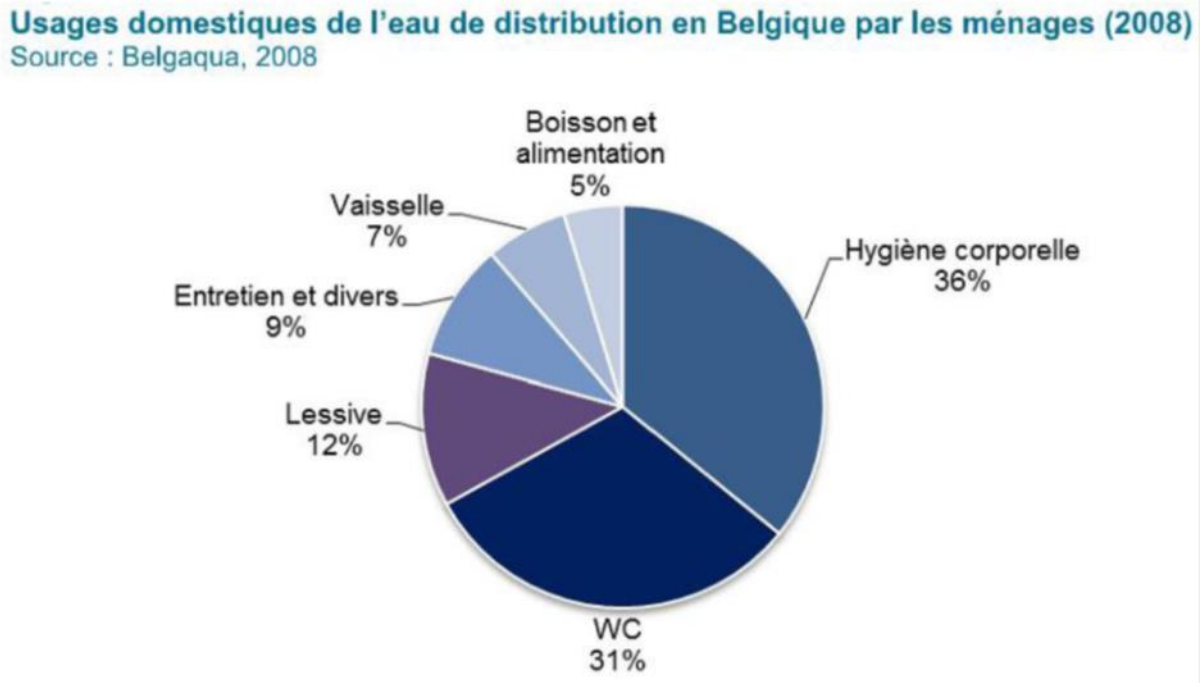


Figure 49 Graphique tiré du cours de "technique d'épuration" de Sophie Liégeois.

Dans le sens des aiguilles d'une montre, on commence avec le 5% de « boisson et alimentation », il provient de la citerne d'eau potable dans le sol et est transformé en transpiration et en urine après utilisation. Dans les plans, j'ai retiré la toilette du deuxième pour la transformer en douche, et mis une deuxième toilette au pallier entre le premier et le RDC. Donc l'hygiène corporelle se passe au deuxième, les WC en dessous. L'idée c'est d'utiliser l'eau des douches pour les toilettes via une citerne d'eau grise savonneuse intermédiaire, elle est au plafond du palier du rez+1 dans le plan. Il me semble que les eaux de la lessive (12%) peuvent servir à « entretien et divers » (9%) : nettoyer la voiture, les sols. Il faudrait essayer. Pour finir l'eau de la vaisselle contient de la graisse ayant un pouvoir méthanogène très puissant, et peut servir à évacuer d'autres matières fermentescibles, je pense aux déchets alimentaires du broyeur dont on parlera bientôt, vers le digesteur dont on parlera plus tard. Ce dernier digérera donc les eaux des toilettes et de la vaisselle. Tout l'un dans l'autre, on pourrait donc réduire la consommation d'eau de 40% (31% WC + 9% Entretien et divers), qu'elle provienne du réseau ou des citernes.

Avec 78,5m² de toiture imperméable (56,5m² des deux pans projetés de la toiture + 22m² de toiture plate), et une pluviométrie annuelle de 852,4mm par an - donc de 2,33mm par jour - on a en moyenne 183l d'eau par jour, ce qui ne permet pas de satisfaire la consommation

actuelle puisque le belge consomme en moyenne de l'ordre de 112l/pers/jour[76] et que l'on vit en moyenne à quatre par maison. Mais simplement avec les systèmes de récupération des douches et de la lessive pour les toilettes et l'entretien divers, on passe de 112 à 67,2l/pers/jour (↘40%) soit 268,8l/jour pour le ménage entier : on peut donc réduire de 68% notre consommation d'eau du réseau en récupérant l'eau de pluie des toitures uniquement (183l/268,8l=68%). Probablement qu'avec des économiseurs d'eau on pourrait encore augmenter cette part, reste que nous n'arriverons jamais à l'autonomie totale, d'autant que cette maison devrait abriter plus que 4 individus pour en diminuer son empreinte écologique.

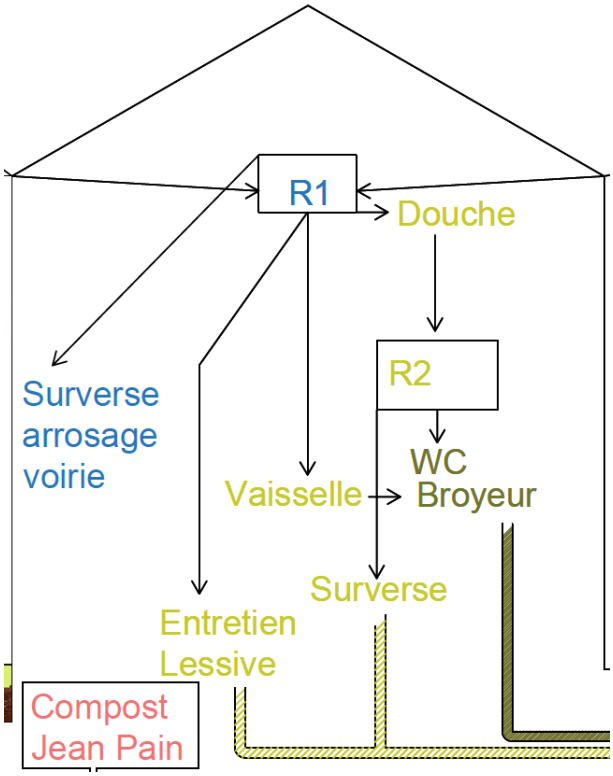


Figure 50 Coupe ultra schématique de la maison. Dessinée par l'auteur.

Le but ici n'est pas seulement d'économiser de l'eau, il est aussi de charger au maximum l'eau qu'on commence à souiller, dans le but d'optimiser le fonctionnement du bio-digesteur dont on parlera plus tard. La miniature schématique ci-dessus[77] explique le fonctionnement simple du système, on a le réservoir du haut (R1) et le réservoir intermédiaire d'eau des douches (R2). L'eau qui va produire du biogaz, c'est uniquement celle des toilettes et du broyeur de déchet alimentaires, celle en vert foncé. L'eau grise non chargée en vert clair, sert à maintenir le digesteur tiède si elle est chaude, car les bactéries méthanogènes sont mésothermes. Elle peut aussi servir à simplement arroser la phytocénose si elle est froide. Cela implique que les habitants ne peuvent qu'utiliser des produits d'entretien respectueux de l'environnement.

[76] Cours de Technique d'Epuration.
[77] Issue de l'annexe 10

Il sera nécessaire de tirer la chasse le moins souvent possible, avec une chasse économe pour charger au mieux l'eau, et tous les déchets alimentaires fermentescibles serviront à augmenter la charge de l'eau de la vaisselle, tout devant être broyé pour optimiser le fonctionnement du bio-digesteur.

À Stockholm durant notre voyage scolaire l'année dernière, nous avons visité deux éco-quartiers, nommés Hammarby et Royal Sea Port, on avait deux systèmes radicalement différents concernant la gestion des déchets fermentescibles, ce qui m'a amené à faire ce choix qui est différent des deux autres.

A Hammarby, ils avaient une collecte par air pulsé, donc sans eau, via des sacs en papier. La dame que l'on voit ci-dessous nous a confié que ces déchets encrassaient le système de tubes (contrairement aux PMC et aux papiers, les sacs alimentaires se déchirent et encrassent tout), reste que les ingénieurs qui géraient ces déchets aimaient bien travailler avec un produit non immergé, car ils avaient un produit qu'ils pouvaient bien calibrer pour la dilution avant biogazage.

Figure 51 A gauche les sacs, à droite les poubelles. Photos prises par l'auteur à Stockholm en mai 2016.

Au Royal Sea Port chaque appartement est équipé d'un broyeur après lequel l'effluent va vers le réseau d'égouts. Seulement, la politique de la ville de Stockholm est de centraliser tout le réseau vers une super-StEp high-tech à 1000.000 EH, un peu comme la StEp nord de Bruxelles, donc le produit broyé perd en charge fermentescible dans le réseau, ce qui rejette des GES : du CO_2 et du méthane qui aurait pu être valorisé. Voilà pourquoi je préconise plutôt une politique de réduction de la charge fermentescible le plus en amont possible via un biogazage local, d'autant que nous verrons dans le point concernant l'évaluation de la production à l'échelle de l'îlot, qu'une gestion locale implique mieux les citoyens au traitement des déchets.

Donc pour finir ce point, on peut rappeler que les eaux légèrement souillées par le ménage sont utilisées pour l'arrosage de la phytocénose dont on parlera bientôt, et que les eaux très souillées sont, elles, envoyées vers le digesteur, dont on parlera après la phytocénose.

7. Estimation de la production hydroélectrique

Avec une surface de toiture projetée de 56,5m² à 10m de haut (par rapport au sol de la cave) et une pluviométrie annuelle de 852,4mm par an[78], donc de 2,33mm par jour, on a 131,645l par jour. On a donc 12914 joules produits par jour selon la formule Ep=m.g.h[79], et avec un générateur avec un rendement de 75%, ça donne 0,0027kW.h/jours. L'énergie hydroélectrique produite par la pluie est donc négligeable à l'échelle de la maison.

Dans l'idée d'utiliser les citernes des combles comme une réserve pour une STEP (à ne pas confondre avec StEp, voir glossaire) on a en gros 11 m³ de citerne, toujours avec la formule Ep=m.g.h et un générateur avec un rendement de 75%, ça nous donne :
11000*9.81*10*0.75 = 809325 J on a 0,225kwh, à peine de quoi réchauffer une pizza…

Nous verrons dans la suite du travail, que j'ai installé au milieu de l'ilot, un château d'eau de 200m³ à une hauteur de 20m : on est à 200000*9.81*20*0,75 = 2,925x10^{7}J, ce qui donne 8,25 KWh ! Et là on peut faire une petite « pizza party » dans l'espace commun… ou faire fonctionner mécaniquement le digesteur/décanteur qui se trouve en dessous, sans la perte de rendement du générateur, on à 11 KWh de travail mécanique disponible à cet effet quand il n'y a pas de vent, car les brasseurs/racleurs du digesteur/décanteur fonctionnent avec l'énergie éolienne en temps normal. On en reparlera dans la suite du travail.

Nous voyons donc que le stockage d'électricité en STEP n'est intéressant qu'avec beaucoup de dénivelé et de volume : cela n'a pas de sens à l'échelle de la maison, peu à l'échelle de l'ilot - pour vous donner une idée la Tesla Modele S a une batterie de 100kWh, près de 10 châteaux d'eau... À l'échelle du métabolisme bruxellois on pourrait jouer entre des réservoirs d'eau dans la forêt de Soignes, là où se trouve le point le plus haut de Bruxelles (125m d'altitude) et le point le plus bas : le réservoir du canal (15-20m d'altitude), on pourrait peut-être faire quelques chose d'un peu plus intéressant en termes de STEP, mais bonne chance pour convaincre l'opinion d'aller raser des arbres pour cela !

8. Conclusion et remarques

Stocker l'eau en hauteur a donc l'avantage de pouvoir alimenter la maison de façon gravitaire, j'ai donc installé une citerne de 11 m³ dans les combles, car selon Joseph Országh, il faut prévoir 160l/m² de projection de toiture pour calibrer les citernes, soit 9,04m³ de citerne, sans parler des toitures plates qui font 22m² nécessitant 3,52m³ supplémentaires, on a donc besoin de 12,56m³. Le surplus des toitures plates peut aller directement dans la citerne du jardin qui fait 4m^3.

[78] https://www.meteo.be/meteo/view/fr/360955-Normales+mensuelles.html consulté le 17/05/2017
[79] Ep = énergie potentielle en joules ; m = masse en Kg ; g = constante gravitationnelle de 9,81m/s² ; h = hauteur en mètres.

L'eau des deux réservoirs qui reposent sur la charpente, a pour fonction de pomper les calories de la toiture transformée en serre tropicale grâce aux effluents gazeux de la chaudière à condensation, qui sont encore à 45/50°C (on en reparle dans le point qui suit concernant la phytocénose). L'eau est donc préchauffée à partir des airs viciés, avant d'être chauffée par des panneaux solaires et/ou la chaudière. Le principal besoin en eau chaude c'est celui des douches, qui se trouvent juste en dessous.

Du reste on doit noter que ces réservoirs ont un autre grand avantage, celui de ne pas devoir attendre les pompiers en cas d'incendie. S'ils sont structurellement cohérents, car dans une mise en pratique concrète, il faudrait s'assurer le concours d'un ingénieur en stabilité pour vérifier que tout cela tienne.

Pour finir, nous avons vu que nous pouvons aisément réduire de plus de deux-tiers la consommation d'eau du réseau à l'échelle de la maison, mais rappelez-vous qu'il tombe deux fois plus d'eau sur Bruxelles que nous en consommons avec le réseau (voir le point sur le métabolisme bruxellois). Je me dis donc que ce n'est pas assez. C'est la raison pour laquelle j'ai installé un chapiteau entre le château d'eau au milieu de l'îlot et les gouttières des façades des jardins. J'ai aussi installé des arcades au-dessus des voiries entre les gouttières des façades des voiries. Le tout permet d'augmenter significativement la quantité d'eau récoltée, donc d'assurer une autonomie totale, tout en régulant mieux l'intermittence du cycle pour irriguer la phytocénose dont on parlera maintenant.

II. La phytocénose

En introduction à ce chapitre, je vais faire un rappel sur l'importance de la phytocénose dans l'activation des cycles, pour ensuite décrire la phytocénose de la maison et du jardin : la phytocénose existante de fait. Je finirais par imaginer la phytocénose des possibles pour optimiser l'intégration du bâti dans les cycles.

Pour rappel, la biocénose de l'écosphère, la biosphère selon la définition de Marcel Florkin ou Pierre Teilhard de Chardin, peut être séparée en deux : d'une part les **producteurs primaires photosynthétiques ou photoautotrophes**, et d'autre part les **consommateurs de premier ordre, deuxième, troisième, etc. ou chimiohétérotrophes**. Nous reparlerons du cas des **chimioautotrophes** dans un autre chapitre, et notamment, des **consommateurs finaux** de la chaine trophique, **les consommateurs de dernier ordre**.

Pour simplifier, on peut parler d'une **phytocénose** et d'une **zoocénose**, toutes deux inscrites dans les cycles. La **zoocénose** consomme des sucres et rejette des éléments minéraux qui nourrissent la **phytocénose** qui, elle, produit des sucres. Les deux sont donc inscrits dans les mêmes cycles du carbone, de l'eau et de l'oxygène par l'intermédiaire de microcycles biochimiques : **le cycle de Krebs pour la zoocénose (respiration qui rejette du carbone)** et **le cycle de Calvin pour la phytocénose (photosynthèse qui fixe du carbone)**, mais il faut préciser qu'il arrive aux plantes de consommer leurs propres sucres. Les **chimioautotrophes** quant à eux, se nourrissent d'ammoniac et de nitrites, ils sont primordiaux au cycle de

l'azote, mais nous les réaborderons plus tard quand nous parlerons du compost Jean Pain et du digesteur.

1. Phytocénose existante de fait

Je vais ici parler de plantes mais je vais commencer par présenter la serre - un peu particulière - que j'ai conçue et construite pour digérer nos effluents gazeux. Je continuerai ensuite sur les semis que j'y ai réalisés, puis je terminerais sur le jardin que j'ai aménagé avec un de mes colocataires.

a. Serre à semis phytocénotique

J'ai réfléchi sur la manière d'intégrer directement au bâti des **serres phytocénotiques** visant à consommer les effluents gazeux des cheminées et airs viciés des aérations de la **zoocénose**. J'ai donc dessiné, avec des chutes de bois qui trainaient dans la cave de la maison, la serre la plus grande possible (voir croquis ci-dessous), puis, je l'ai construite concrètement (voir photos ci-dessous). Elle est située sur le toit de la SDB du premier palier de la maison - une toiture végétale en *Sedum acre*.

Figure 52 Photos prises par l'auteur. *Sedum acre* de la toiture végétale.

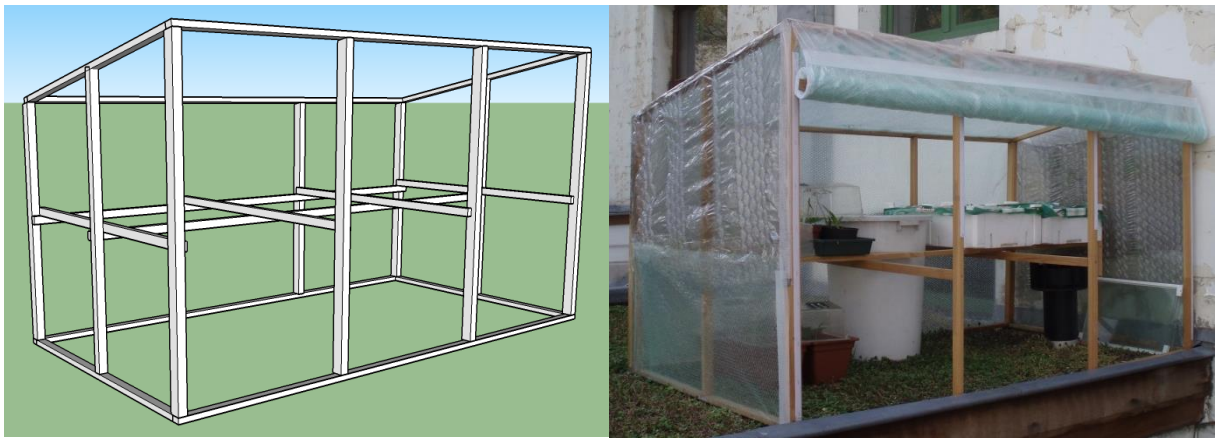


Figure 53 Dessin et photos de l'auteur. La serre phytocénotique.

La serre phytocénotique englobe tout simplement la cheminée de l'aération, car se connecter à la cheminée de la chaudière représentait un défi technique trop compliqué. L'air de la cheminée de la chaudière à condensation doit être autour des 45-50°C et est bien plus chargé en CO_2. Je pense que l'on devrait développer une urbiculture absorbant des effluents urbains à forte concentration de CO_2, notamment pour se préparer à des scénarios climatiques extrêmes tout en stimulant la régulation du réchauffement. Certaines plantes supportent de très fortes teneurs de CO_2 et sont par ailleurs très productives avec des rendements photosynthétiques tout à fait remarquables, comme la spiruline utilisée pour séquestrer le carbone. Cela ne doit cependant pas être une justification compensatoire pour exploiter les ressources fossiles : on arrive à un stade où les algues envahissent les récifs coralliens morts suite aux acides carboniques, et les dérives des permis de polluer subventionnées par le marché du carbone sont humainement et écologiquement dramatiques.[80]

Reste que je suis convaincu que cette urbiculture a le potentiel de produire des bananes ou des ananas en plein hiver, comme le font les islandais avec la géothermie. Mais après avoir discuté avec notre professeur de gestion des effluents gazeux, Xavier Nicolay, qui n'a jamais entendu parler de tels systèmes, j'ai envoyé des mails à des experts internationaux sur le

[80] MILLER, Amy, réal. *La ruée vers le carbone* (documentaire), Kinosmith inc., 2012, 52min.

métabolisme urbain comme Marina Alberti de l'*University of Washington* ou Xuemei Bai de *l'Australian National University* dont m'avait parlé Aristide Athanassiadis de l'ULB. Ces mails sont restés sans réponse. D'après Xavier Nicolay, on aurait surtout un problème de volume, il faudrait des énormes serres…C'est sans doute la raison pour laquelle ce concept n'a jamais été expérimenté.

Il faut tout de même noter les expériences de réacteurs d'algues pour produire de la spiruline ou du biocarburant avec nos effluents de cheminées. Le sujet ne sera pas approfondi ici, mais Ruben Werquin, avec qui j'ai travaillé sur les paramètres biochimiques durant mon stage[81], pense lancer une production de spiruline expérimentale dans la serre aquaponique de l'institut Meurice, sur notre campus du CERIA.

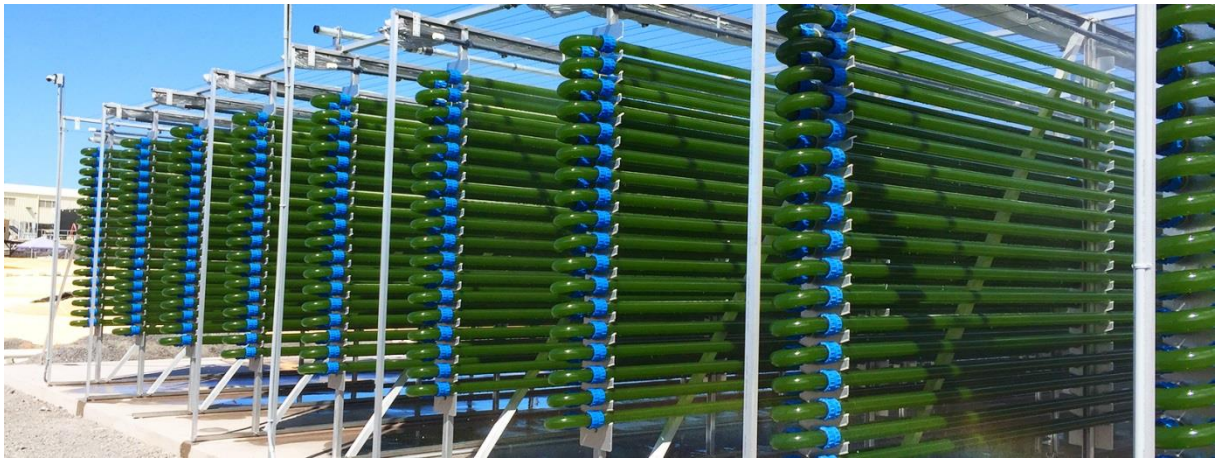


Figure 54 le Phyco-Flow™ est un photobioréacteur tubulaire développé par l'entreprise anglaise Varicon Aqua[82]

Revenons à ma petite expérimentation. J'ai isolé la serre avec du film à bulle, principalement issu du déménagement. La serre récupère l'eau de pluie via une vielle poubelle et se ferme à une hauteur variable avec un système de velcros[83] acheté dans le commerce et que j'ai agrafés ou collés (j'ai utilisé beaucoup d'agrafes et de ruban adhésif et quelques vis. L'essentiel du budget se résume à ça…). Cela a pour but d'isoler la serre pour l'hiver… On remarque d'ailleurs que quand elle est fermée, elle gonfle (!).

[81] Rapport de stage en annexe 6
[82] http://www.variconaqua.com/products-services/phyco-flow/ consulté le 25/07/2017
[83] Invention bio-inspirée du fruit de la bardane, mais ayant probablement une empreinte écologique plus élevée que les lacets en cuir nous dit M. Chapelle. Reste que c'est quand même plus pratique pour ma serre.

Figure 55 Photos prises par l'auteur du système de fermeture à hauteur variable.

Autour du même concept, on peut citer la SerreViable du parc Maximilien (photos ci-dessous en haut à gauche), faite de bouteilles plastiques récupérées. C'est mieux que du recyclage conventionnel, car on réutilise la matière directement donc on ne dépense pas d'énergie à la transformer.

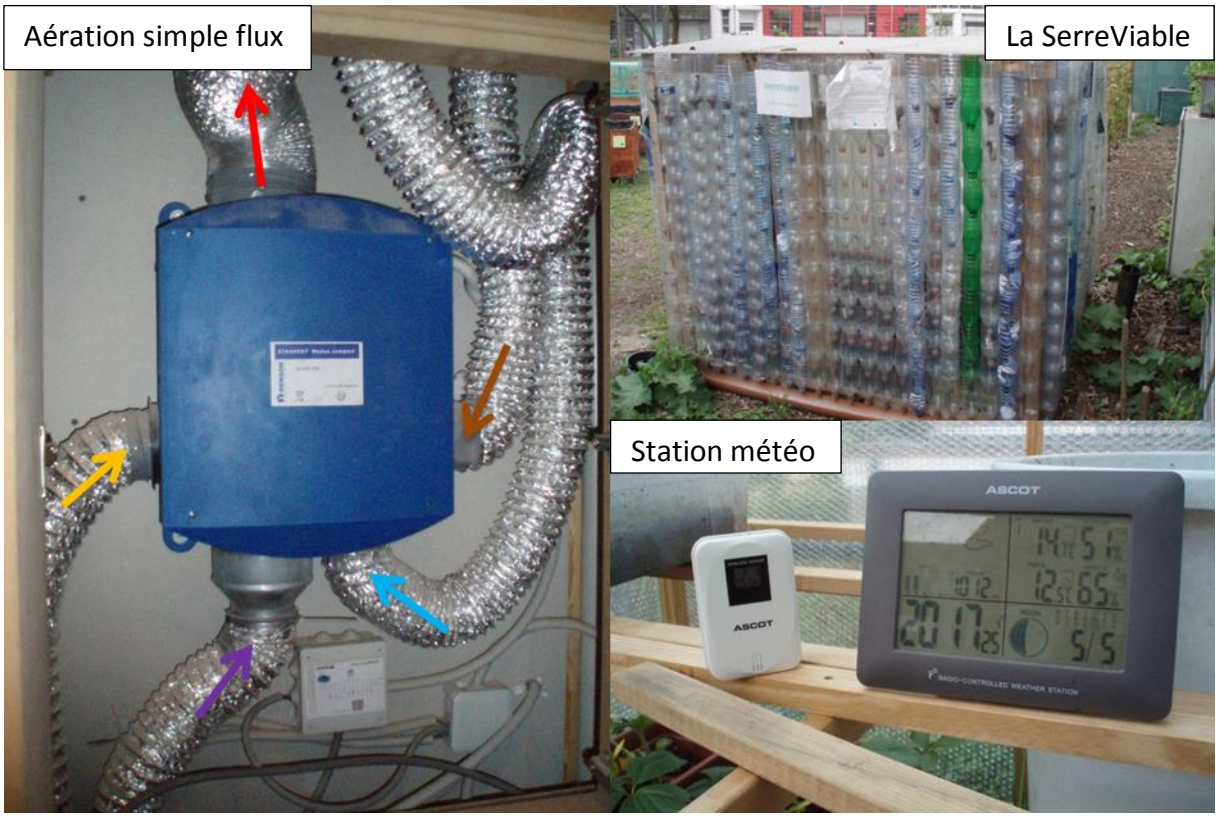


Figure 56 Photos prises par l'auteur, pour explications voir texte.

Ma **serre phytocénotique** est alimentée par une aération simple flux (l'objet bleu en haut à gauche) qui puise de l'air dans la **SDB du premier palier**, dans la **toilette du premier palier**, dans la **cuisine du RDC** et dans la **buanderie de la cave**. C'est un air théoriquement **chargé d'humidité et souillé par nos métabolismes zoocénotiques**.

Figure 57 Photos prises par l'auteur de l'aération du deuxième étage.

Un deuxième extracteur d'air est aussi présent dans les combles. Il pompe **l'air des toilettes et de la SDB** du deuxième étage, **pour la rejeter à l'extérieur via la toiture**. Nous reparlerons des combles plus tard dans la phytocénose des possibles.

Je n'ai pas mesuré si la concentration de CO2 était plus grande dans la serre, mais par contre j'ai profité des nuits fraîches des 19 et 20 avril 2017 pour mesurer, avec ma station météo, la différence de température entre les minima extérieurs et intérieurs, supposée ne pas être influencée par la chaleur du soleil et l'effet de serre, donc juste par la chaleur de l'aération. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

	Min 19/04	Min 20/04	Moyenne
t° in (serre)	5,1°C	5,8°C	5,45°C
t° out (extérieure)	2,5°C	2,4°C	2,45°C

On constate donc une différence moyenne de 3 degrés imputable à l'influence de l'aération ! Ce n'est pas grand-chose, mais je suis certain qu'avec une isolation mieux conçue et une meilleure inertie thermique, on peut obtenir des résultats biens plus prometteurs. Par exemple, on pourrait faire circuler l'air de la chaudière à 40-45°C dans une réserve d'eau dans la serre, pour qu'elle absorbe les calories et puisse les diffuser la nuit (car la chaudière ne fonctionne pas la nuit), ou pour y stocker les eaux grises de la douche supposées chaudes. Mais pour ces dernières, j'ai prévu d'autres usages, développés dans la partie sur le **bio-digesteur**. Je tiens à préciser que chercher à avoir beaucoup de chaleur dans les **serres phytocénotiques,** a uniquement un but productif, pour augmenter les degrés-jours[84] et donc la précocité des semis (car c'est une serre à semis). Mais un système plus sérieux et efficace pourrait s'envisager pour l'installation de plantes pérennes tropicales sans dépenser d'énergie, à l'instar des 4 chaudières des serres de Laeken.

Je vais donc vous présenter la phytocénose de cette serre à semis en tant que telle, en d'autres termes, les plantes que j'y ai semées. Le tableau qui suit reprend les différentes espèces et variétés de semences et leurs pourcentages de germination. Les photos illustrent la germination de certains semis et la reprise des fraisiers.

[84] Les plantes et les ectothermes grandissent en fonction du produit des jours et des degrés.

Espèce (et origine)	Pourcentage de germination
Cucurbitacées	
Cucurbita maxima « Jaune Gros de Paris » (Kokopelli)	2/6=33%
Cucurbita maxima « Gold Nugget » (Kokopelli)	3/6=50%
Cucurbita maxima « Rouge Vif d'Etampes » (Kokopelli)	5/6=83%
Cucumis sativus (Concombre de chez Ecoflora dont j'ai récupéré les graines en 2016)	1/6=17%
Cucumis melo (Melon français dont j'ai récupéré les graines il y a 3 ans)	1/6=17%
Cucurbita pepo (Courgette de chez Ecoflora dont j'ai récupéré les graines en 2016)	2/6=33%
Brassicacées	
Brassica oleracea var. botrytis (Choux fleur dont j'ai récupéré les graines l'année dernière, il vient de chez Semailles je pense)	5/6=83%
Brassica rapa subsp. Pekinensis (Choux Chinois des Jardins de Pomone)	2/6=33%
Chenopodiacéess	
Chenopodium quinoa var. temuko (Kokopelli)	4/6=66%
Chenopodium quinoa var. colorado black shelly 25 (Kokopelli)	2/6=33%
Chenopodium quinoa var. mint vanilla (Kokopelli)	1/6=17%
Solanacées	
Solanum lycopersicum (tomates cerises	4/6=66%

rondes de je ne sais plus où, mais elles donnent bien, très productives, non-hybridées et goûtues)	
Solanum lycopersicum (tomates cerises ovales de je ne sais plus où, mais elles donnent bien, très productives, non-hybridées et goûtues)	5/6=83%
Solanum lycopersicum (énormes tomates jaunes du marché de Flagey, variété ancienne mais qui n'a pas donné grand-chose l'année dernière)	2/6=33%
Capsicum (Graines provenant de longs piments rouges venant de chez Nos Pilifs, premier année on verra ce que ça donne)	1/6=17%
Astéracées	
Calendula officinalis (Souci des jardins de chez Semailles)	5/6=83%
Caprifoliacées	
Scabiosa atropurpurea (Scabieuse Pourpre de chez Semailles)	0/6=0%

Figure 58 Photos des semis, prises par l'auteur.

Figure 59 Les fraisiers (*Fragaria*) proviennent du Jardin Ernest Cambier et de l'Institut Redouté Peiffer.

Mon colocataire Antoine Rener a aussi lancé plusieurs semis. Je les cite pour compléter la liste mais je n'en ai pas relevé les taux germinatifs.

- 18 *Lactua sativa* (Laitue à couper d'Amérique, Semailles)
- 6 *Petroselinum crispum* (Persil Géant d'Italie, Semailles)
- 3 *Solanum lycopersicum* (tomate orange « Russian Persimmon » Kokopelli)
- 3 *Solanum lycopersicum* (tomate-cerise rouge « Zuckertraube » Kokopelli)

- 2 Sweet Cherry (variété de tomate cerise hybridée avec un poivron)
- 2 *Cucurbita pepo* (concombre)
- 3 *Cucumis sativus* (courgette)
- 2 *Pisum sativum* (pois)
- 4 *Phaseolus vulgaris* (haricots grimpants)

b. Le Jardin d'ornement

Avec l'aide de mon colocataire Antoine Rener, que l'on voit installer un hôtel à insecte sur la photo ci-dessous, nous avons préparé une butte pour notre potager. Nous l'avons paillé avec ce que nous pouvions. L'idée est de faire le jardin en permaculture, car cela demande très peu d'investissement et ça fonctionne très bien. Je présenterai et décrirai ci-dessous le potager et les associations de plantes de mon jardin après en avoir répertorié les plantes pérennes. La visite s'effectue dans le sens des aiguilles d'une montre, en partant du Nord-Est.

Figure 60 Photo du jardin prise de la toiture végétale, la visite se fait dans le sens de la flèche bleue.

Figure 61 à gauche *Hedera elix* (Lierre grimpant) et à droite *Rosa canina* (Eglantier).

Figure 62 *Syringa vulgaris* (Lilas commun)

Figure 63 à gauche *Ligustrum ovalifium « aureum »* (Troène de Californie panaché) et à droite *Rhododendron ponticum.*

Nous avons aussi des spontanées et reliquats de l'ancien potager, sans parler du gazon. En voici une liste rapide non exhaustive.

Figure 64 à gauche *Chelidonium majus* (Grande chélidoine) et à droite *Tropaeolum majus* (Grande capucine)

Figure 65 à gauche *Fallopia japonica* (Renouée du Japon) et à droite *Hyacinthoides non-scripta* (Jacinthe des bois)

On y trouve aussi des pissenlits *(Taraxacum sp.)*, orties (*Urtica* sp.) et boutons d'or (*Ranunculus arvensis)*, ainsi qu'un chou de Bruxelles en graine (*Brassica oleracea* var. gemmifera) et un chou romanesco en fleur (*Brassica oleracea* var. botrytis). Les floraisons sont décalées pour éviter l'hybridation.

Figure 66 à gauche un chou de Bruxelles en graine (*Brassica oleracea* var. gemmifera) et à droite un chou romanesco en fleur (*Brassica oleracea* var. botrytis).

J'ai aussi planté des tubercules de topinambours (*Helianthus tuberosus*) en février, au pied du rhododendron et du troène, car leur floraison tardive qui percera les deux pérennes donnera de l'effet fin de l'été (j'ai essayé dans des bambous et du buddleia l'année dernière, avec succès). La floraison du rhododendron sera donc suivie de celle des topinambours, qui le traverseront de leurs 2m50 de hauteur, et accumuleront alors dans le sol une réserve calorique en cas de besoins. Ce n'est pas qu'une plante ornementale, c'est aussi une plante accroissant la résilience alimentaire en cas de famine. Je ne compte donc pas récolter les tubercules, ils resteront dans le sol pour le cas où - d'autant qu'il y a la renouée du japon qui envahit la zone, et que le caractère invasif des topinambours lui fera concurrence.

Figure 67 à gauche un topinambour (*Helianthus tuberosus*) qui pointe son nez à la mi-mai, aujourd'hui fin juillet ils ont bien dépassé mon mètre nonante. À droite ma banque de graine.

Petite parenthèse concernant la récolte de graines. Je produis des graines depuis 3-4 ans et j'ai constitué une banque de graines. J'ai beaucoup d'hybrides, ce n'est pas très professionnel, mais ce ne sont pas des connaissances simples à acquérir. Les plantes se métamorphosent tellement quand elles montent en graine que ça demande des années de

pratique. Cette expérience me pousse à recommander le fait que chaque îlot devrait avoir une grainothèque dans l'espace commun qui sera évoqué plus tard, et les ilots devraient coopérer entre eux pour gérer les hybridations. Le patrimoine génétique est la chose la plus inestimable à mes yeux, je suis très fier de cette banque de graines et elle vaut plus que mon compte en banque (en même temps ça ce n'est pas très compliqué), et quand je vois les adeptes du mouvement survivaliste investir leur monnaie dans de l'or ou de l'argent, ça me fait beaucoup rire, car pour moi c'est comme le papier, l'argent ne se mange pas, que l'on parle de la monnaie ou du métal.

Du reste, j'ai aussi, en pot, une consoude (*Symphytum officinale*) qui avait un peu soif le jour de la photo, et des cornouillers sanguins (*Cornus sanguinea*) ce sont des boutures des cornouillers qui se trouvent autour du kiosque du parc Josaphat. Je les ai tressés en igloo, car le cornouiller, comme le saule, est utilisé pour faire de la vannerie. À côté de cela j'ai aussi planté, avec l'aide d'amis, 4000 saules des vanniers pour des projets en vannerie vivante, mais ça ce n'est pas dans le jardin… Nous les avons plantés sur la friche Josaphat et la ZAD de la maxi prison de Haren. Malheureusement tout est mort avec la sècheresse historique de ce printemps… L'année dernière j'avais lancé une plantation expérimentale de patates en bi-varié dans le but d'étudier la valorisation des boues et compost au-delà de la période de mon stage[85]. Cette expérimentation aurait agrémenté ce travail, seulement ce printemps-là, l'excès d'humidité et l'invasion de limaces ont tout décimé. Les gens qui ne réalisent pas que le climat est déjà bien dérèglé sont complètement déconnectés de la terre.

Figure 68 à gauche la consoude assoiffée (*symphytum officinale*), à droite l'igloo en cornouiller (*Cornus sanguinea*).

[85] Voir rapport de stage en annexe 4

c. Le potager

Concernant les associations de plantes, j'ai, dans le cadre de mon stage, croisé dans un tableau 4 sources différentes pour évaluer la crédibilité de ces associations. J'ai eu le regret de constater qu'il n'existe que très peu de consensus et beaucoup de contradictions dans la littérature. Ce tableau est en annexe[86], et il a le mérite d'évaluer la pertinence d'étudier, pour la créditer ou la démentir, telle ou telle association. Je renvoie aussi le lecteur vers mon jardin tri-varié (en annexe aussi[87]) qui pourrait être utilisé à cette fin également. Pour moi, il est essentiel d'investir dans la recherche fondamentale sur ce sujet, car je suis convaincu que l'étude des relations interspécifiques et le développement des push-pull[88] notamment, ont bien plus d'avenir que le développement des OGM.

Dans mon étude de cas j'ai fait un test d'association choux fleur/ pommes de terre (occurrence de 4 pour la concordance des sources : l'intérêt de les associer est donc hautement probable), dont je présente les photos ci-dessous. J'en ai juste planté les germes, comme le faisait mon défunt grand-père pendant la guerre. Je suis curieux des résultats. J'ai disposé autour 6 choux fleurs et 4 soucis des jardins (ces derniers attirent les syrphes mangeurs de pucerons). Il y a aussi des capucines en périphérie pour attirer les pucerons. En plus de donner un cadre agréable, ces fleurs sont comestibles et leurs couleurs et leurs odeurs attirent les mellifères.

Figure 69 Association chou-fleur/patates/soucis develloppée à partir du tableau.

[86] Annexe 7
[87] Annexe 8
[88] Association de trois plantes : une plante à cultiver, une plante ayant un effet répulsif (push) pour un ravageur de la plante à cultiver et qui sera intercalé dans la culture, et une plante ayant un effet attractif (pull) pour ce ravageur et qui sera plantée en périphérie de la culture.

Pour continuer la visite de mon jardin, on a sur la butte centrale, en partant de la maison vers le fond du jardin, d'abord des salades sous cloche et des persils géants d'Italie, ensuite mes patates/choux fleur/soucis, et pour finir les « trois sœurs » (courgette et courge Rouge Vif d'Etampes / haricots nains et grimpants / maïs), entourées de capucines et de boutons d'or. (Voir plan en annexe pour visualiser[89]).

Figure 70 à gauche les laitues à droite les persils géants d'Italie.

Figure 71 Les trois sœurs.

Sur la bande plus étroite contre le mur, j'ai planté des tomates et des Quinoa Tumeko.

Figure 72 Tomates et Quinoa Tumeko

[89] En annexe 9 le plan A0 de la maison,

Enfin, pour terminer ce chapitre sur le jardin, signalons que nous disposons d'un sol déjà bien noir (ce qui signifie qu'il est riche en humus), d'un compost en palettes et de fumier de cheval (sac orange contre le compost). Nous réaborderons ces sujets dans le point concernant le digesteur. On peut remarquer aussi dans la photo du compost ci-dessous, que la renouée se plaît bien derrière ce dernier.

Figure 73 Compost en palette, sac de fumier et renouée du japon.

2. *Phytocénose des possibles*

Ce point-ci n'est pas basé sur du concret, je vais mettre un maximum de plantes partout où c'est possible car la phytocènose amorce les autres cycles biogéochimiques. L'idée c'est clairement ici de se diriger vers la cité végétale, en l'occurrence ce sera plutôt la ville-forêt, je travaille aussi sur l'architecture végétale comme j'ai pu déjà vous en parler avec les cornouillers ou les saules, j'ai aussi d'autres expérimentations en cours un peu plus innovantes, mais je n'aurais pas la place pour en parler ici.

a. Combles phytocénotiques

De ma petite expérience de serre phytocénotique dans le point précédent, j'en conclu que des serres vérandas pourraient être installées sur toutes les toitures plates et que les tuiles des toitures pourraient être remplacées par des tuiles en verre pour que les combles jouent aussi ce rôle de serre. Cela augmenterait fortement la PEB. Le meilleur isolant transparent, c'est du plastique compartimenté et gonflé d'argon ou de krypton, à la place de la fibre de roche ou de verre souvent utilisée pour isoler les combles. Il faut compartimenter pour

limiter les structures dissipatives[90] de convection du gaz et de ce fait améliorer l'isolation. On pourrait aussi utiliser de l'aérogel de silice, un isolant translucide considéré comme la matière la plus isolante au monde et qui commence à être commercialisé.

Figure 74 Tuiles en verre proposées par soltechenergy[91], structures gonflables proposées par M2B[92] et aérogel de silice proposé par Enersens[93]

Dans le plan j'ai aussi installé des réacteurs d'algues dans les combles pour y faire buller l'air de la chaudière, l'effluant de la PAC du compost dont on parlera plus tard, pourrait aussi y être envoyé dans le but d'augmenter la teneur en CO2 et l'effet de serre. La toiture devient une pré-chaudière se nourrissant des airs viciés. J'y ai aussi mis des bananiers, des avocatiers et des ananas, puisque l'ambiance y serait tropicale. Etant donné les difficultés de maintenance de telles installations, les combles sont comme déjà dit précédement, communautarisés pour y permetre la maintenance par des techniciens compétents, sans devoir passer par les espaces privatifs, voilà pourquoi il y a des portes sur les cotés mitoyens dans le plan. Du reste, un système de bâches réflechissantes pourrait être déroulé ou déplié sur le toit, en cas de canicule par exemple.

b. Haies en voirie

Je n'ai pas fait de situation existante de fait, car elle n'était pas très glorieuse, mais on a principalement des robiniers faux-acacias, en très mauvais état, voici un petit échantillon de ce qu'on peut y trouver de mieux...

Figure 75 Arbres morts en voirie. Photos prises par l'auteur.

[90] « Structure qui ne subsiste que si elle est alimentée par un flux permanent d'énergie, les structures s'auto-organisent à la manière des transitions de phase continues » (RODDIER F., *thermodynamique de l'évolution*, p.208)

[91] http://www.soltechenergy.com/en/ consulté le 27/07/2017

[92] https://www.m2bgonflable.com/ consulté le 27/07/2017

[93] *Aérogel de silice : le plus isolant des super-isolants enfin commercialisé !*, Techniques de l'ingénieur, 2013, En ligne, https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/aerogel-de-silice-le-plus-isolant-des-super-isolants-enfin-commercialise-10175/ consulté le 27/07/2017

Pour introduire le concept de haies en voirie, je vais commencer par développer le potentiel espace libéré par les voitures automatiques en auto-partage. Le 21 mars 2014, Xavier Tackoen de Bruxelles Mobilité nous a présenté l'étude prospective « Mobil2040 » sur le campus du CERIA. La région de Bruxelles Capitale perdrait la surface du bois de la cambre en voitures parquées 95% du temps. Je suis aussi tombé sur une étude du bureau de recherche 6T, dont le communiqué de presse date lui du 21 mars 2013, il se trouve en annexe[94] et il y est dit que *«Chaque voiture d'autopartage remplace 9 voitures personnelles et libère 8 places de stationnement.»*

Les chiffres donnés ci-dessus nous donnent des indications sur les *taux d'utilisation* des véhicules, mais on a vu dans notre cours de mobilités donné par Christian Yerlès, que le *taux d'occupation* des voitures à Bruxelles étaient lui de 1,2 pers/véhicules, donc si les voitures en auto-partage (carsharing) sont en plus gérées par des applications optimisant le covoiturage (carpooling) grâce à la conduite automatique, c'est 97% du parc automobile qui peut devenir inutile (10% des voitures sont utiles, disons que le covoiturage automatique arrive à optimiser le taux à 4 personnes par véhicules (1,2/4=0,3) 70% du parc automobile restant est inutile, on arrive donc à 97% du parc inutile). J'ai peut-être fait des erreurs de calculs, mais l'ordre de grandeur est là. J'ai mis en annexe, un contexte scénarisant cette réduction.[95]

En outre, Luc Schuiten rappelle dans ses conférences, que les voitures pèsent près d'une tonne pour transporter 75Kg, et que les moteurs thermiques ont un rendement de l'ordre de 10-30%, donc le rendement général est de l'ordre du pourcent aussi. On parle souvent de l'efficacité du moteur en lui-même, mais on oublie de parler de l'inefficacité d'utilisation, or on est dans l'ordre des dixièmes de pour mille d'efficacité si on couple le tout. Cette industrie pourrait littéralement disparaitre, sans même que cela ne diminue notre confort de mobilité, il augmenterait même considérablement : plus aucun embouteillage évidement.

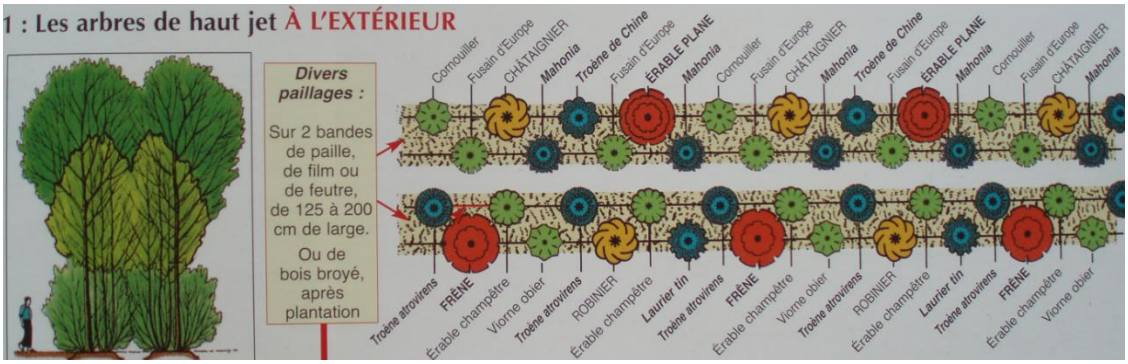


Figure 76 Haies larges : déjà des petits bois allongés. Photo de la p.59 de l'ouvrage *Planter des haies* de Dominique Soltner[96]

[94] Annexe 11
[95] Annexe 14
[96] SOLTNER D., *Planter des Haies*, 10e édition 2015 mise à jour, Collection Science et Techniques Agricoles, Bressuire, 2015, 128p.

Dans mon étude de cas, j'ai mis quelques places de park-sharing aux abords de la place Lehon[97], mais tout le reste ce sont des plantations d'arbres en haies, car le droit à la voiture individuelle est aboli. Vous trouverez ci-dessous, une proposition de coupe de la voirie, à partir de deux haies larges. Dominique Soltner suggère d'y planter des frênes et des érables planes en haut jet, mais les forestiers ne plantent plus de frênes suite à la chalarose (*Chalara fraxinea*) un champignon qui est en train d'en décimer tous les peuplements. J'ai un peu taillé les pieds des haies, afin de libérer de l'espace pour des pistes cyclables. Entre les deux, nous avons une chaussée pour les Chenillards de Luc Schuiten, ce sont des petites voitures urbaines, légères, automatiques et en libre-service, qui s'imbriquent[98] pour accroitre l'aérodynamique. Ce type de mobilité remplacerait les voitures individuelles, comme les transports en commun.

En jaune/vert, en partant du centre, apparaissent la chaussée, les pistes cyclables et les trottoirs. Ils sont en éléments modulables pour faciliter l'entretien. Le cahier des charges doit les prévoir rigides, perméables, légers, facile à nettoyer et à recycler à basse température, et qui s'encastrent bien de façon à former un monolithe stable sans liant. Ces caractéristiques permettront une mobilité agréable et une croissance optimale des arbres. Concernant le recyclage du bitume pilé au marteau piqueur, je n'ai pas d'idées, mais pour les dalles des trottoirs, Luc Schuiten propose de les réemployer pour réaliser des œuvres d'art

[97] Annexe 12

[98] SCHUITEN L., onglet « transport » du site http://www.vegetalcity.net/ , consulté le 18/05/2017. Voir aussi la vidéo Youtube d'une modélisation 3D en tapant « Le Chenillard de Luc Schuiten » dans la recherche.

dans les coins de rue inutilisés, comme la falaise avec une cascade dans la rue des Alexiens, dans le centre de la ville.[99]

Pour l'entretien des éléments modulable de la chaussée, des pistes cyclables et des trottoirs, je préconiserais de le faire à l'automne durant la dormance des haies. Retirer les modules, les nettoyer et les remplacer s'ils sont trop abimés, travailler le sol de manière à l'égaliser et sectionner les racines problématiques. Ensuite, il faudrait élaguer les arbres pour faire un lit de broyat bien plat et réinstaller les modules dessus. Je pense que le broyat, en favorisant les mycorhizes et en provoquant une faim d'azote, diminuera l'affleurement des racines en surface et donc l'occurrence de l'entretien. Intuitivement, je dirais qu'il faudrait le faire tous les 3-5 ans, mais seule la pratique répondra à cette question. Concernant les petites tailles régulières en vue de ne pas gêner la mobilité, on en parlera plus loin, mais celles-là se feraient une à trois fois par an.

Cette voirie n'est pas si utopiste. Voici quelques photos d'un article intitulé « *19 tunnels d'arbres magiques…* »[100] permettant d'envisager le potentiel scénographique qui casserait la monotonie du bâti traditionnel bruxellois, et nous fournirait en même temps : des matériaux utiles, de la biomasse, des odeurs agréables, de la biodiversité, une qualité de l'air et de l'eau améliorées, ou encore une diminution de l'îlot de chaleur et des inondations. Ça demande juste plus d'entretien, mais on verra que l'entretien peut être aussi perçu comme une source de biomasse utile.

The Dark Hedges en Irlande

Figure 77 Image credits: Stephen Emerson Figure 78 Image credits: Christopher Tait

[99] SCHUITEN L. http://www.vegetalcity.net/topics/jardins-verticaux/ consulté le 18/05/2017
[100] LINA D, *19 Magical Tree Tunnels You Should Definitely Take A Walk Through*, 2014, En ligne, http://www.boredpanda.com/magical-tree-tunnels/ consulté le 27/07/2017

Tunnel de fleurs de Wisteria au Japon

Figure 79 imgur.com Figure 80 mindphoto.blog.fc2.com

Oak Alley en Louisiane et Jacarandas en Afrique du Sud

Figure 81 Image credits: imgur.com Figure 82 Image credits: Exploring Light Photography

Le célèbre tunnel de l'amour en Ukraine

Figure 83 Image credits: Oleg Gordienko et amoschapple

Chemin de Bambous à Kyoto au Japon et Rue à Porto Alegre au Brésil

Figure 84 Image credits: Yuya Horikawa Figure 85 Image credits: Ian Sane

Tunnel de Sakura au Japon et Tunnel d'arbres aux Pays Bas

Figure 86 Image credits: okera japan et Lars van de Goor

Tunnel de Laburnum à Bodnant Gardens en Angleterre et le Parc Francisco Alvarado au Costa Rica

Figure 87 Image credits: Tony Shertila Figure 88 Image credits: Vytautas Šėrys

Chemin près du moulin de Halnaker dans le Sussex et Tunnel de cyprès près de la station Marconi en Californie

Figure 89 Image credits: Sam Moore Figure 90 Image credits: Michael Brandt

Puisque dans cette étude de cas j'ai suggéré de planter des haies à haut jet, des brise-vents destinés à augmenter les rendements agricoles au départ, le résultat se rapprocherait plutôt du tunnel de l'amour ou du chemin près du moulin de Halnaker dans le Sussex. Et vu du ciel, ce serait plutôt comme la rue de Porto Alegre au Brésil, mais rien n'empêche de faire d'autres types de plantations à la place des bandes de parking. L'avantage des bandes de haies, c'est qu'on augmente les chances de réussite, la rapidité d'un effet de masse et donc l'efficacité des services écosystémiques, le tout jouant un rôle dans les séparations modales piéton/cycliste/voiture. Autre avantage pour les haies, les plants sont achetés bien plus petits, voir même bouturés directement sur place, donc ça diminue les coûts.

Au-delà de leur aspect poétique, il va falloir tailler ces haies, et récupérer des feuilles et rameaux. Je préconiserais d'utiliser les soupiraux des maisons pour y stocker « *l'or vert* » au sens de Paul Duvigneaud[101], dans les caves à charbon d'une autre époque, en vue de préchauffer les maisons à la façon Jean Pain. Seulement, j'ai étudié la méthode Jean Pain[102], et je crains que du compostage tassé engendre des pertes d'azote. Il faut l'aérer, je préconiserais dès lors, de recouvrir le sol de la cave à charbon d'une plaque criblée visant à aérer le compost par aspiration (voir plan de la maison)[103], de la même façon qu'au centre de compostage de Thumaide dans le Hainaut. Il est alors moins nécessaire de retourner le compost, et on peut extraire les calories de l'air aspiré via une PAC air-eau. La chaleur générée par la PAC pourra servir au préchauffage de l'eau des circuits. Mais Jean Pain utilisait des dizaines de m³ de broyats pour chauffer une maison, donc ce ne sera qu'un appoint puisque la cave à charbon ne fait que 3,3m³. L'air vicié peut être envoyé dans les bioréacteurs des combles. Ce système concernerait les rameaux de moins de 7cm de diamètre et les feuilles qui contiennent beaucoup de protéines. Il ne faut donc pas les brûler

[101] DUVIGNEAUD P., La Synthèse Ecologique, p. 306

[102] PAIN J., PAIN I., *Les méthodes Jean Pain - Un Autre Jardin*, 8ième édition, En ligne http://massivart.free.fr/Jardin/Les.Methodes.Jean.Pain-GP.pdf consulté le 27/07/2017

[103] Comme dans le centre de compostage d'IPALLE à Thumaide que l'on a été visiter dans le cadre du cours de gestion des déchets de Sophie Liégeois

pour préserver l'azote biologiquement assimilable dans l'humus. Les sections plus grosses que 7cm de diamètre peuvent servir à faire du bois de chauffe en cas de vague de froid ou du matériel de construction, car il est moins riche en azote.

Concernant le potentiel de production de biomasse, il est, selon Olivier Baudry, notre professeur de dendrologie urbaine qui travaille notamment avec l'AWAF, l'association pour l'agroforesterie en Wallonie et à Bruxelles, très variable en fonction des cas. Mais on peut espérer une production de 8 tonnes de MS à l'hectare, la réduction drastique du parc automobile urbain pourrait permettre une production de près de 1000 tonnes de MS par an à l'échelle de Bruxelles, de quoi chauffer plusieurs milliers de logements. Mais c'est aussi très compliqué à estimer et cela peut encore varier en fonction de l'isolation, des autres appoints au chauffage, de l'habitude de vie ou encore de la densification de l'habitat.

On notera dans le plan de la maison, au niveau de la cave à charbon, un compteur d'eau et une chambre de visite pour les égouts. Je préconiserais dès lors de vidanger le digestat du bio-méthaniseur au centre de l'îlot dont on parlera après, de le vidanger par les caves à charbon des maisons ayant un compost mûr, dans le but de le mélanger pour fixer l'ammoniac du digestat dans l'humus. Cette gadoue sera directement valorisable en agriculture, nul besoin de l'envoyer jusqu'à la STEP nord. Le réseau de ce quartier devra être isolé du reste du réseau, et la chambre de visite la plus basse, indiquée à -4,27 sur le plan Vivaqua, à l'intersection des rues Renkin et Rubens, pourra être réhabilité en fosse, pour que la gadoue puisse y être pompée et exportée par des agriculteurs vers les agrosystèmes.

Figure 91 Chambre de visite de la cave à charbon. Photos prises par l'auteur.

Le compteur d'eau de distribution entouré dans la photo de la page précédente, devrait être rehaussé ou déplacé dans une autre pièce, et la descente d'eau noire à gauche n'existerait plus puisque l'eau serait envoyée vers le digesteur en intérieur d'ilot. Par contre, elle repasserait du centre de l'ilot vers le collecteur de la rue en passant par le dessous de la maison, dans l'idée de le mélanger avec du compost mûr pour fixer l'azote du digestat avant valorisation agricole. Car il faudra bien exporter de la matière organique vers les champs.

Pour revenir à nos voiries, elles seraient recouvertes d'arcades à la manière de la Galerie de la Reine pour éviter qu'elles soient impraticables par grand vents comme le bois de la cambre (voir la photo-ci-dessous de la maison communale de Schaerbeek). On notera aussi (voir la partie concernant l'eau) que la surface du toit ne suffit pas à collecter notre consommation. Donc, avoir plus de surface de collecte imperméable nous permet d'être plus autonomes. Les haies en voiries serviraient ensuite à absorber le surplus d'eau grise après décantation autour du biodigesteur (le décantat va dans le biodigesteur (voir plan), et l'eau grise décantée n'étant pas très polluée, servirait pour l'arrosage). En considérant la fertilisation, la régulation de l'apport en eau et le contrôle de la température grâce à l'arcade, je pense qu'on peut augmenter significativement la bio-production de ces haies.

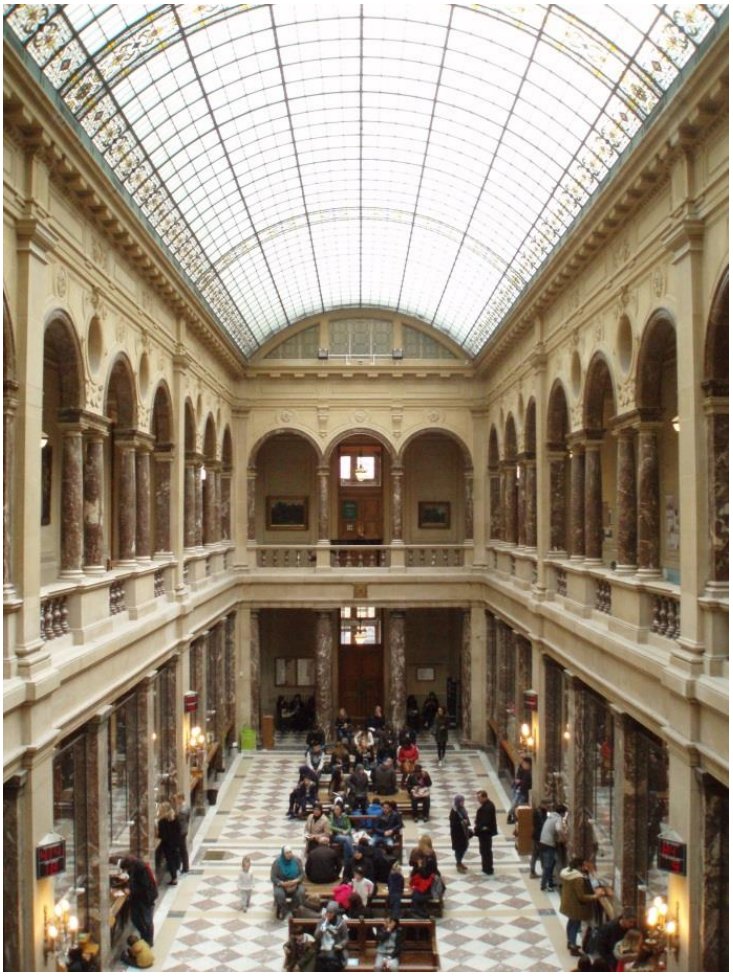


Figure 92 Arcade dans la maison communale de Schaerbeek. Photo prise par l'auteur.

Je suis tombé en ce mois de juillet 2017, sur un article[104] présentant un système de gestion de l'eau en cours d'installation dans un ilot en rénovation à Lünen en Allemagne. Le dispositif baptisé *Energieallee* ici-bas, est fort semblable à ce qui est présenté dans ce travail. Cela me conforte dans la pertinence de ces idées puisque le système est considéré comme innovant. Je vous invite à lire l'article en annexe 13, l'ilot est en rénovation pour le moment.

Figure 93 L'allée de l'énergie (Crédit : DR)[105]

Je peux aussi citer ici, la « maison-serre » de Marie Granmar et Charles Sacilotto, qui se trouve dans la banlieue de Stockholm[106]. J'en avais entendu parler l'année dernière, elle a été une source d'inspiration pour les idées développées ici.

Figure 94 la « maison-serre » de Marie Granmar et Charles Sacilotto.[107]

[104] CHARMEI L., *De la douche aux WC, au jardin : des chercheurs créent un réseau local de recyclage d'eau.*, wedemain.fr – planète, 09/06/2016. En annexe 13
[105] Ibid
[106] Mr Mondialisation, *Ce couple vit dans une « maison-serre » écologique*, 01/02/2016, En ligne, https://mrmondialisation.org/ce-couple-vit-dans-une-maison-serre-ecologique/ consulté le 27/07/2017
[107] Ibid.

c. Chapiteau en intérieur d'ilot

J'ai aussi installé un chapiteau raccordé au château d'eau et descendant vers les gouttières (voir plan[108]). Je l'ai fait pour diverses raisons, notamment pour assurer l'autonomie avec l'eau de pluie, mais cela aura des incidences fortes sur la phytocénose en intérieur de l'ilot. L'idée générale serait de faire un flux d'air allant de la voirie vers le centre de l'ilot, avec une éolienne située au-dessus du château d'eau, et qui notamment, aspirerait l'air comme suit :

Voirie -> maisons zoocénotiques -> serres phytocénotiques -> intérieur d'ilot

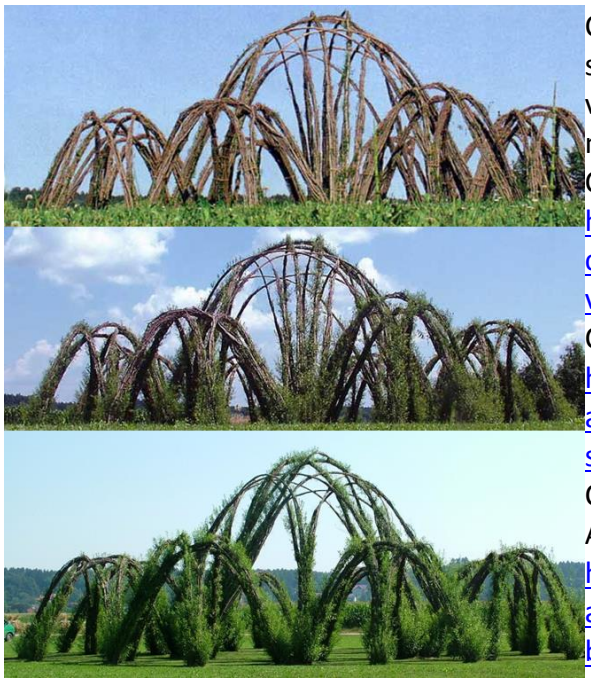
L'intérêt de ce flux, c'est que l'air le plus pur soit en voirie, là où on travaille la cardio (vélo, running), pour passer ensuite vers nos maisons qui le pollueront, puis de l'épurer avec les serres phytocénotiques avant d'arriver dans nos jardins de détente, le système transformant l'intérieur d'îlot en jardin d'hiver. Evidemment ce schéma idéal suppose un parc automobile drastiquement réduit et électrisé, comme nous l'avons déjà développé. Les PEB des façades seraient tellement plus efficaces que cela réduirait considérablement la consommation de gaz pour le chauffage et donc les rejets d'effluents, à l'image de la « maison-serre » évoquée dans la page précédente. Je ne sais pas vers quel équilibre nous mènerait cette boucle de rétroaction négative[109], mais peut-être que le volume d'effluents gazeux serait suffisamment faible pour être totalement épuré par la phytocénose du système. On serait alors parfaitement intégré dans le cycle du carbone, et on répondrait au problème du volume posé par Xavier Nicolay.

3. Et si on vivait dans la phytocénose ?

Les peuples primitifs vivaient dans les bois. Certains peuples de Papouasie vivent dans les arbres directement[110]. Dans les cités végétales de notre ami Luc Schuiten, c'est le même tableau. Je vous renvoie aussi vers mon îlot triangulaire au cœur de la phytocénose, pensé pour en étudier les associations qui l'animent[111]. L'architecture végétale n'est donc pas une utopie, puisqu'elle est déjà expérimentée, notamment par l'architecte suisse Marcel Kalberer, qui fait d'énormes structures en saule via des chantiers participatifs. Ou encore l'architecte allemand Ferdinand Ludwig, qui fusionne des platanes entre eux pour former des structures vivantes remarquables. On doit aussi citer les potentiels des figuiers (*Ficus elastica, Ficus benghalensis*), qui avec leurs lianes forment des structures remarquables, c'est d'ailleurs le figuier étrangleur qui a inspiré la technique d'architecture descendante présentée par Luc Schuiten dans son livre « *vers une cité végétale* »[112]. Dans le nord-est de l'Inde, des peuples construisent des ponts en *Ficus elastica* depuis des centaines d'années[113]. Tournons cette page pour visualiser tout cela…

---

[108] Annexe 10
[109] Effet de fonction logarithmique visant un équilibre asymptotique sur l'ordonné.
[110] CHAPELLE G., *Le vivant comme modèle - La voie du biomimétisme*, Edition Albin Michel, Paris, 2015, p.57
[111] Annexe 8
[112] SCHUITEN L., *Vers une cité végétale*, Edition Mardaga, Bruxelles, 2010
[113] *Les ponts vivants du Meghalaya,* Regard sur le monde, 15/11/2012,En ligne, http://www.regardsurlemonde.fr/blog/les-ponts-vivants-du-meghalaya consulté le 28/07/2017



Cette œuvre en saule de de Marcel Kalberer est située au Rogner Bad Blumau en Autriche, on la voit littéralement prendre vie grâce au petit montage que j'ai fait à partir de trois photos : Celle du haut provient du blog bio-création http://www.bio-creation.com/blog/architecture-vegetale/marcel_kalberer Celle du milieu du site Verde e Paesaggio : http://www.verdeepaesaggio.it/2012/03/22/marcel-kalberer-il-maestro-dellarchitettura-di-salice-a-bari-il-18-maggio/ Celle du bas du site du LAN (Laboratario Architetture Naturali) : http://www.lan-architetture.org/materiali/attachment/bau-blumau-austria/ consultés le 28/07/2017

Figure 95 Œuvre en saule de M. Kalberer en Autriche.

Les œuvres de Marcel Kalberer sont plus époustouflantes les unes que les autres, je vous invite à faire vos recherches sur internet car je n'ai pas la place pour les présenter ici.

Ferdinand Ludwig quant à lui, travaille avec des platanes qu'il visse entre eux et qui finissent par fusionner. L'œuvre présentée ici-bas, le *Plane-Tree-Cube* situé à Nagold en Allemagne, est constitué de mille platanes qui poussent depuis 5 ans sur une structure en métal démontable. D'ici 2028 les mille arbres ne devraient former plus qu'un et la structure pourra être retirée : les arbres soutiendront alors les escaliers et les passerelles.

Figure 96 Evolution du *Plan-Tree-Cube*. Montage photo de l'auteur à partir des photos du site de Ferdinand Ludwig[114].

Le figuier étrangleur est un arbre qui en parasite un autre, il arrive sur un arbre via une fiente d'oiseau par exemple, et en poussant, il envoie des lianes (des racines aériennes en fait), tout autour du tronc de la proie. En atteignant le sol, ces dernières finissent par former des troncs qui vont étrangler la proie qui finira par mourir et être mangée par les

[114] LUDWIG F., Plane-Tree-Cube Nagold, En ligne, http://www.ferdinandludwig.com/plane-tree-cube-nagold/articles/plane-tree-cube-nagold.html Consulté le 28/07/2017

champignons, un espace est alors libéré au centre de l'arbre formant cette structure très particulière, ce qui a amené Luc Schuiten à théoriser le *processus de développement des arbres tressés* dans son livre[115] disponible à la bibliothèque du campus du CERIA.

Figure 97 Photo d'un figuier étrangleur prise de l'intérieur[116]

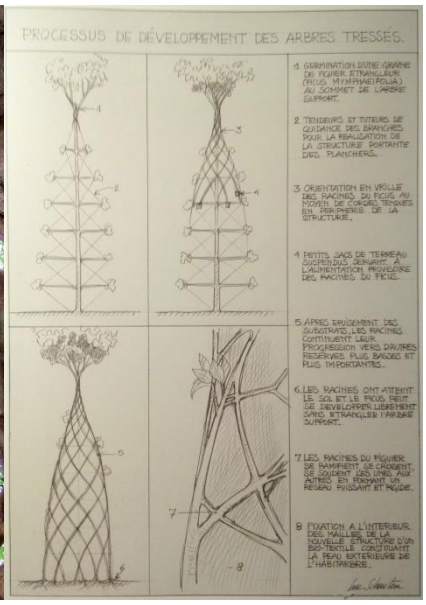


Figure 98 Photo du livre[118]

Ces ponts dans l'état du Meghalaya en Inde, le plus humide du monde[117], sont considérés comme imputrescibles car le fait qu'ils soient vivants les rend résistants aux pourritures.

Figure 99 Pont vivant du Maghalaya. Ils poussent en 15 à 20 ans[120]

[115] SCHUITEN L., Vers une cité végétale, Edition Mardaga, Bruxelles, 2010
[116] https://www.flickr.com/photos/lacuriosphere/7272651772 consulté le 28/07/2017
[117] Les ponts vivants du Meghalaya, Regard sur le monde, 15/11/2012,En ligne, http://www.regardsurlemonde.fr/blog/les-ponts-vivants-du-meghalaya consulté le 28/07/2017

Je voulais finir ce point sur les murs végétaux de Patrick Blanc, bien qu'ils soient forts à la mode car très jolis, je suis assez critique sur ce concept gourmand en engrais et dépendant d'un système d'irrigation compliqué. Imaginer des murs épurant l'eau serait déjà plus intéressant, mais peu hygiéniste. Reste qu'on peut avoir des résultats remarquables avec des plantes grimpantes enracinées dans le sol, ici-bas l'hôtel Kolya sur la chaussée de Charleroi.

Figure 100 Hôtel Kolya au numéro 100 de la chaussée de Charleroi à Saint-Gilles. Photo prise par l'auteur.

III. Etude sur l'évaluation de la production de déchets fermentescibles par habitant de l'îlot.

1. Construction du protocole

J'ai été encouragé par Stephan Kampelman à réaliser cette étude. Elle ne consiste pas seulement à évaluer la production de déchets alimentaires, elle consiste surtout à évaluer s'il y a une modification du comportement (celui de trier ses déchets alimentaires), en fonction de 3 informations différentes fournies à trois groupes-cibles :

1. Le premier groupe (Royale Sainte Marie) a été informé que leurs sacs seraient pesés pour une étude destinée à évaluer la production de biogaz en vue de diminuer la facture énergétique de l'îlot. **C'est le groupe qui voit un avantage à trier ses déchets.**

2. Le deuxième groupe (Rubens) a été informé que leurs sacs seraient pesés pour une étude destinée à simplement évaluer la quantité de déchets produite par l'îlot. **C'est le groupe qui a un intérêt neutre à trier ses déchets.**
3. Le troisième groupe (Renkin et Lehon) a été informé que leurs sacs seraient pesés pour une étude destinée à évaluer le bilan énergétique des camions qui vont parcourir 130km jusqu'à Ypres (après réflexion j'aurais dû dire 260km A/R). **C'est le groupe qui voit un non-sens à trier ses déchets.**

J'ai donc distribué les questionnaires dans toutes les boites aux lettres, tout en pesant les poubelles orange avec une balance à bagage pour les encoder dans le tableau…

Figure 101 Photos prises par l'auteur du matériel nécessaire à l'enquête.

2. *Récolte de données*

Le porte à porte est très fastidieux donc je l'ai ciblé sur la rue Royale Saint Marie, pour évaluer la quantité effective de déchets par habitant puisque c'est la rue qui devrait bien trier ses déchets. Et je ne me suis préoccupé que des maisons qui mettaient déjà des sacs oranges - un public déjà acquis ; les autres questionnaires ne visaient donc qu'à induire un changement de comportement…

3. *Traitement des données*

L'îlot compte 59 maisons réparties dans 4 rues

- 16 maisons dans la rue Rubens, avec 43,5 ménages, donc 2,72 ménages par maison en moyenne.

- 21 maisons dans la rue Royale Saint Marie, avec 45,5 ménages, donc 2,17 ménages par maison en moyenne.
- 8 maisons sur la place Lehon, avec 15 ménages, donc 1,88 ménages par maison en moyenne.
- 14 maisons dans la rue Renkin, avec 14 ménages donc 1 ménage par maison.

N.B. : J'ai compté les ménages avec les sonnettes et/ou les boîtes aux lettres. Le total est donc 118 ménages pour 59 maisons pour 210 habitants selon le service population de la commune[118], ce qui nous fait en moyenne, exactement 2 ménages par maison, 1,78 personne par ménage, donc 3,58 personnes par maison… officiellement. Que ce soit le fait de jeunes en colocation ou de sans-papiers, il y a probablement plus de monde que les 210 personnes recensées par le service population, et je pense qu'il serait nécessaire de mieux densifier l'habitat pour avoir 300 individus et pouvoir former deux groupes sociaux dans l'îlot selon le nombre de Dunbar ; je vais donc baser le calcul de potentiel de production de biogaz sur 300 individus, et j'ai dessiné deux espaces communs en redéfinissant les limites des jardins de l'ilot.

Quand on fait un calcul d'empreinte écologique, on demande des informations comme la surface de l'habitation et le nombre de personnes, le type de chauffage, les mitoyennetés, etc. Pour ces raisons, je pense clairement qu'il faut mieux densifier l'habitat bruxellois. J'ai aussi compté deux maisons vides dont une en travaux ; l'autre, au 183 de la rue Royale Saint Marie, avait un journal jauni des élections régionales de 2014 dans la boîte aux lettres, (un journal écolo&groen), mais des travaux y ont commencés à la mi-mai, après trois années d'inoccupation, et c'est évidemment une bonne chose.

Figure 102 Photo prise par l'auteur de la boîte aux lettres de la maison inutilisée.

Petite parenthèse sur les logements inoccupés : selon le collectif « piratons BXL », pour une réappropriation des logements vides, « *le nombre de SDF a (…) fortement augmenté, allant jusqu'à atteindre 5.000 personnes. Pendant ce temps le nombre de logements vides serait compris entre 15.000 et 30.000. S'il y a des SDF, ce n'est donc pas dû à une fatalité mais bien à une volonté politique de mettre la propriété privée au-dessus du droit au logement. La spéculation immobilière joue un rôle prépondérant dans ce nombre élevé de bâtiments abandonnés. En effet, en laissant volontairement des logements inoccupés, les gros propriétaires rendent l'offre virtuellement plus faible que la demande, ce qui engendre… Une hausse des loyers !* »

[118] Annexe 15

Du reste, on a aussi un snack, une boulangerie, un vendeur de châssis et deux docteurs. Concernant la production de déchets fermentescibles à proprement parler, voici les résultats sur les 3 groupes cibles : je n'ai distribué qu'une seule fois le papier de l'enquête au début, et on voit que **le groupe à qui j'ai dit que l'étude visait à diminuer leur facture énergétique s'est mis à produire plus, mais que l'entrain s'est calmé au fil des semaines ; le groupe à qui j'ai dit que les camions parcouraient 130km ont diminué leur production mais s'y sont remis la dernière semaine**, **et le groupe neutre à qui je n'ai pas spécifié de but à l'étude a diminué sa production**. A noter: le groupe neutre était la rue Rubens, où je n'ai réussi à peser qu'un seul sac sur toute l'étude. Il y avait bien une maison qui y produisait 3 sacs par semaine, mais c'était très mal trié et je ne les ai donc pas pris en compte.

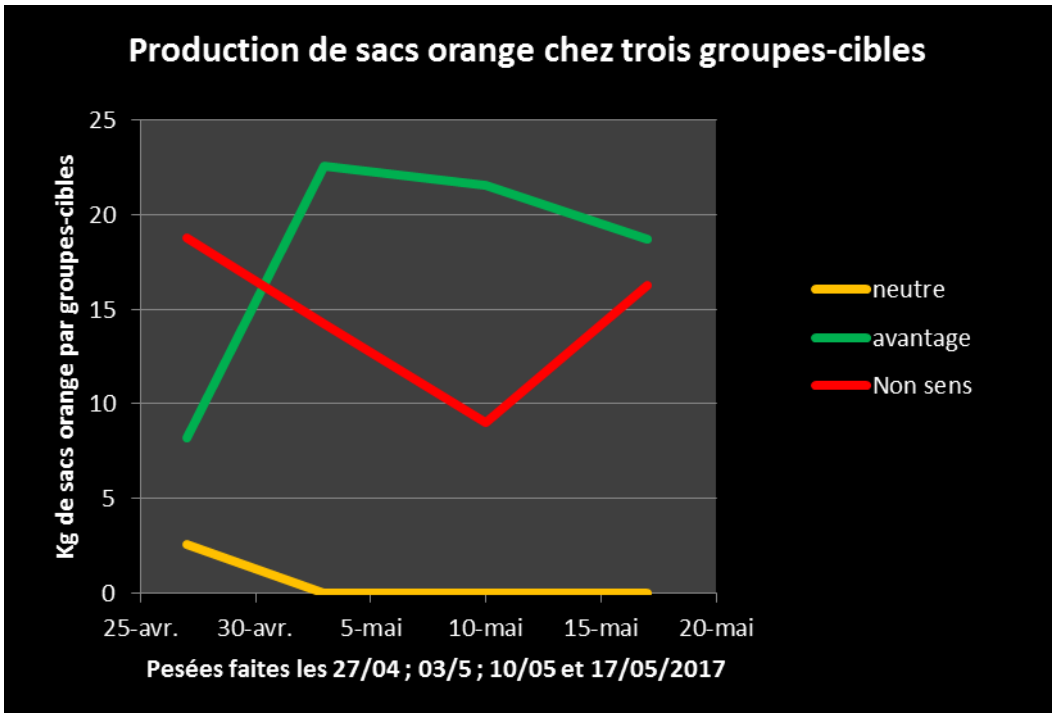


Figure 103 Résultat du traitement des données de l'enquête.

Sans surprise on voit que les gens se soucient plus de leurs déchets s'ils restent près d'eux (« loin des yeux loin du cœur »)… On voit aussi que les gens oublient vite, semble-t-il…

En tout et pour tout, j'ai pesé 131,71 Kg de déchets. J'ai aussi sonné à quelques portes, surtout de la rue Royale Sainte Marie, pour connaître le nombre de personnes dans les ménages, afin d'avoir une idée de la production par personne pour le potentiel de production de biogaz. On est à 1,17Kg de déchet fermentescibles par personne en moyenne générale, mais cette dernière monte à **1,28Kg** chez le groupe qui voit un avantage à produire des déchets (rue Royale Saint Marie). Je vais me référer à d'autres chiffres en lien avec la poubelle blanche, comme l'avait suggéré Stephan Kampelman, car le nombre limité d'acteurs rend les résultats peu représentatifs.

Le Soir rapporte qu'en 2012, nous produisions 260Kg de déchets ménagers par habitant et par an à Bruxelles, et que nous en recyclions 32% seulement[119]. On produit donc 260*0,68= 176,8Kg de poubelles blanches par habitant par an, et l'ABP rapporte que 40% de ces dernières sont constitués de déchets alimentaires[120] ; on a dès lors (176,8*0.4)/52 = **1,36kg** par personne et par semaine de déchets alimentaires… ce qui concorde avec mes données - et c'est bien logique qu'on en ait un peu plus, car malgré toute la bonne volonté de l'échantillon à trier ses déchets, il y aura toujours une fraction des déchets qui ne sera pas triée par inadvertance.

D'après Yves Bertrand, pour calculer la production de biogaz on a besoin de connaitre la quantité de MO, qui représente en moyenne 18% de la MOF, 1Kg de MO produit 400l de CH_4. On a vu qu'un habitant produit par semaine, 1,36Kg de déchets alimentaires, plus 1,4Kg de fèces[121], on est donc à 2,76kg de MOF, soit 0,5kg de MO. Donc chaque habitant peut produire 200l de CH_4 par semaine. À l'échelle de l'ilot, s'il est plus densément peuplé (300 habitants), on peut donc produire 60m³ de gaz par semaine, autour de 600Kwh. C'est donc loin d'être négligeable, et c'est une estimation basse, puisqu'on pourrait ajouter à cela les fèces des animaux domestiques, les huiles usagées de l'eau de la vaisselle (or ces huiles ont une teneur en MO de plus de 90%), la cellulose en fin de vie (papier journal) ou encore les tontes de gazons et les algues des bioréacteurs qui sont aussi fermentescibles.

4. Conclusion de l'étude

Concernant l'étude sur les trois groupes-cibles, je me dis qu'un petit budget permettrait de faire une étude scientifiquement valable, sur une plus longue période de temps, en passant plus de temps à la sensibilisation pour s'assurer que les acteurs soient bien informés. Ce serait un excellent outil de communication, surtout pour soutenir des solutions alternatives auprès des politique, que de pouvoir dire : « regardez, si les gens voient un intérêt direct à trier leurs déchets, ils le font ! ». Mais je suis déjà très satisfait de ces résultats très encourageants.

Du reste, amener les sacs orange à Ypres est une idée fort peu sensée. En faisant mes recherches, j'ai tapé par erreur « déchets alimentaires Ittre » sur un moteur de recherche. Cette confusion m'a amené à apprendre qu'à Ittre, on offre des poules aux citoyens pour réduire la quantité de déchets[122]. C'est déjà une solution bien plus sensée que celle décidée à Bruxelles. Il vaudrait mieux, évidemment, chercher à valoriser ces déchets plus localement : il doit bien y avoir des élevages de porcins ou de volailles qui se régaleraient de

[119] BELGA, *A Bruxelles, 260 kg de déchets par habitant et par an*, La Libre.be, 27/09/2017, En ligne, http://www.lalibre.be/light/societe/a-bruxelles-260-kg-de-dechets-par-habitant-et-par-an-51b8f1a6e4b0de6db9c80d5e consulté le 28/07/2017

[120] https://www.arp-gan.be/fr/tri/22-dchets-alimentaires.html consulté le 28/07/2017

[121] 200g de fèces par jours selon https://www.planetoscope.com/Le-corps-humain/1744-matieres-fecales-produites-par-les-humains.html consulté le 28/07/2017

[122] Rédaction RTBF, *Ittre offre des poules à ses riverains pour diminuer la quantité de déchets*, 2014, En ligne, https://www.rtbf.be/info/regions/detail_offrir-des-poules-a-ses-riverains-pour-diminuer-la-quantite-de-poubelles?id=8373793 consulté le 28/07/2017

nos déchets autour de la ville, ou alors on pourrait inciter les habitants à en avoir ou subventionner le compostage de quartier et les initiatives d'agriculture urbaine. On réduirait de facto la quantité de déchets.

Concernant le potentiel de production de biogaz à l'échelle de l'îlot, il est donc loin d'être négligeable, mais il ne suffirait pas à l'autonomie énergétique, il faudra évidemment récupérer la chaleur du soleil, du compost Jean Pain, bien isoler le bâti, etc. Aussi, il va falloir faire des choix et trouver un équilibre puisqu'il faut préserver de la MO pour nourrir le sol, les tontes de gazon, par exemple, seraient mieux utilisées en mulching pour l'aggradation humique des sols. C'est la question soulevée par Joseph Országh et qui est développée dans cet échange de mails qu'il met à disposition sur le site eautarcie.org, sous la forme d'un article suivant une formule « Questions et réponses » et titré *« La méthode Jean Pain - le biogaz et l'entropie »*. Je l'ai mis en annexe puisqu'il correspond parfaitement au sujet de ce travail[123]. Mais il faut garder en tête qu'exporter de la matière vers les champs est nécessaire, et nous avons vu que nous perdons en charge fermentescible dans le réseau d'évacuation, donc réduire cette matière en amont reste pertinent, d'autant qu'une matière concentrée diminue les transports pour exporter cette dernière.

Du reste je pense que cette méthode de production de gaz deviendra un jour plus compétitive que le gaz du réseau, puisqu'on commence à exploiter des gaz de schiste grâce aux levées de fonds publics, c'est qu'il est probable qu'avec un peu d'aide publique, le biogaz devienne compétitif. On peut aussi mentionner la découverte récente d'un catalyseur permettant de produire du CH4 par photosynthèse artificielle, ce qui est thermodynamiquement plus cohérent que de transformer du CO_2 en sucre via la photosynthèse classique, pour ensuite transformer ce sucre en CH_4 :

« Une équipe de chercheurs du Laboratoire d'électrochimie moléculaire (Université Paris Diderot/CNRS) vient de développer un procédé capable de transformer le dioxyde de carbone (CO2) en méthane (CH4) à l'aide de lumière solaire et d'un catalyseur moléculaire à base de fer. Cette découverte représente une avancée car le CO2 est une molécule particulièrement inerte, rejetée en quantité massive par les activités humaines et dont l'impact sur le changement climatique est connu. Ces résultats ouvrent une nouvelle voie vers la production de « carburant solaire » et le recyclage du CO2. Ces travaux sont publiés dans la revue Nature le 17 juillet 2017. » (Communiqué de presse[124])

Cette découverte rentre dans le biomimétisme de niveau 2, c'est-à-dire que l'on s'inspire des procédés du vivant, en l'occurrence de la photosynthèse. Le niveau 1 s'inspire des formes que l'évolution a sélectionnées. Et le niveau 3 s'inspire du fonctionnement des écosystèmes[125], c'est surtout de ce dernier qu'il est question dans ce travail. Il n'est pas dit

[123] Annexe 16
[124] Annexe 17
[125] CHAPELLE G., *Le vivant comme modèle - La voie du biomimétisme*, Edition Albin Michel, Paris, 2015 – Sous-titre : *Les trois niveaux du biomimétisme*, p. 149.

dans le communiqué de presse, si cela est bio-inspiré d'une bactérie photo-méthanogène existante, ou si on a trouvé cela nous-mêmes comme des grands, car il est probable que le vivant n'ai jamais eu un intérêt quelconque à produire du méthane par photosynthèse, car le méthane c'est principalement un déchet issu de la digestion de la zoocénose, qui finit par se dégrader dans l'atmosphère. En somme il n'est pas adapté à la pression ambiante, voilà pourquoi le vivant n'a pas d'intérêt à stocker l'énergie sous cette forme, et ce malgré son puissant pouvoir calorifique. Bien que l'on ait découvert des chaines trophiques se nourrissant du dégel des hydrates de méthane suite au réchauffement climatique : des bactéries chimiotrophes sont capables de manger le méthane en cours de fusion[126].

IV. Le digesteur-décanteur-éolienne-château d'eau

J'ai fait le croquis de cette invention dans le métro, en fait ce n'est pas une invention à proprement parler, c'est plutôt 4 inventions qui ont fusionné en une : un digesteur, un décanteur cylindro-conique, une éolienne à axe vertical et un château d'eau. Le tout vise principalement à optimiser la production de biogaz de façon purement mécanique et sans intermittence, c'est donc un low-tech. De plus il permet d'assurer l'irrigation gravitaire de la phytocénose, et l'aération de l'îlot par aspiration de l'air. J'ai aussi pensé en ce mois de juillet, à lui rajouter une centrale solaire thermodynamique à concentration, en mettant plein de miroirs sur les faîtes des toitures de l'îlot qui reflèteraient le soleil vers un même point au sommet de la structure, pour chercher à avoir des hautes températures permettant du travail utile en plus. Mais cela demanderait de remanier tous les dessins.

Ci-dessous des plans et des photos des différents éléments pour mieux visualiser :

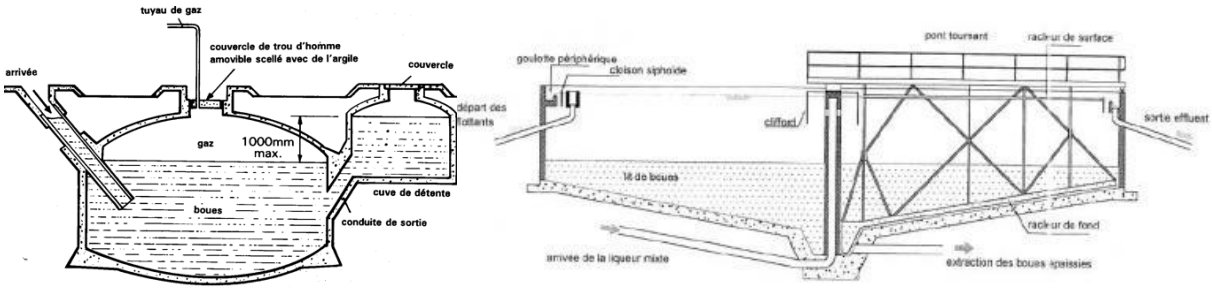


Figure 104 à gauche une coupe de digesteur, à droite une coupe de décanteur cylindro-conique[127].

[126]NOAA, *Gas hydrates are ice-like substances that form in deep-sea sediments*, En ligne, http://oceanexplorer.noaa.gov/facts/hydrates.html consulté le 28/07/2017

[127] Digesteur : http://www.fao.org/docrep/010/ah810f/AH810F13.htm Consulté le 28/07/2017
Décanteur cylindro-conique : http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/clarificateur Ibid.

Figure 105 à gauche une éolienne à axe vertical, à droite un château d'eau[128].

1. *L'éolienne à axe vertical et le château d'eau.*

L'éolienne est à axe vertical car bien qu'ayant un rendement de conversion moins intéressant, ces éoliennes diminuent les nuisances causées par les vibrations, le bruit, ou le clignotement des ombres du soleil. De plus elles sont très adaptées aux vents irréguliers, voilà pourquoi on les privilégiera en espace urbain. Ici elle actionne simplement le brasseur et le racleur du digesteur/décanteur dont on parlera dans les points suivant. Elle actionne aussi des vis d'Archimède : quand il y a trop de vent, un convertisseur de couple la freine en pompant de l'eau vers le château d'eau. S'il n'y a plus de vent, le système fonctionne à l'envers en faisant redescendre l'eau et un système de roue libre évite de perdre de l'énergie à faire fonctionner l'éolienne, s'il y a trop de vent et que le château d'eau est rempli, une surverse ramène l'eau en bas. Sinon un générateur pourrait aussi être engrené sur la boite de vitesse du convertisseur de couple.

L'éolienne permet de pomper l'eau de façon purement mécanique, ce qui est plus cohérent d'un point de vue thermodynamique, que de transformer ce mouvement en électricité et retransformer cette électricité en mouvement (Ce que font les « smart »guird avec les STEP). Donc c'est du renouvelable low-tech. Il n'y a pas de toit au château d'eau, ce qui permet d'une part de récupérer encore un peu d'eau de pluie, et d'autre part cela permet aussi une photo-épuration de cette eau, qui est déjà très peu chargée puisqu'elle est pompée dans un réservoir torique qui entoure le décanteur cylindro-conique. L'eau est stockée dans ce réservoir torique après être passée par le décanteur cylindro-conique.

L'eau est pompée par des vis d'Archimède en relais, le biomimétisme nous dit que ce mouvement rotatif n'est pas le plus efficace, il vaudrait mieux un mouvement ondulatoire

[128] Eolienne à axe verticale : https://www.espaceagro.com/energie-renouvelable/eolienne-verticale_i119342.html Ibid.
Château d'eau : http://www.rennes.maville.com/actu/actudet_-Cesson-Sevigne.-Un-chateau-d-eau-de-3-000-m3-pour-alimenter-17-000-habitants_52674-2339885_actu.Htm Ibid.

comme avec les pompes AMS [129], mais celles que j'ai trouvées sont électriques donc on a le problème du premier paragraphe précédent : une incohérence thermodynamique. De toutes manières, le brassage et le raclage se font avec des mouvements rotatifs, et donc, j'imagine qu'en passant de l'ondulatoire au rotatif on a aussi une perte. Sinon on pourrait imaginer un décanteur/digesteur complètement différent, directement inspiré du système digestif…

2. Le digesteur entouré d'un décanteur cylindro-conique.

Grace à l'énergie potentielle de l'eau pompée dans le château d'eau, on peut enclencher toute la mécanique du digesteur (brassage) et du décanteur d'eau grise (raclage) même sans vent ! Le décanteur récupère la surverse d'eau grise tiède des citernes des premiers étages des maisons. C'est l'eau qui n'a pas été utilisée dans les toilettes ou le broyeur rejetant de l'eau noire qui est-elle directement envoyée dans le digesteur. On fait décanter cette eau autour du digesteur en vue de maintenir le digesteur à une température stable, car ce sont les *archées* mésophiles de notre système digestif, et donc présentes dans les eaux noires, que l'on doit faire travailler pour produire du gaz. Ce sont ces bactéries méthanogènes qui provoquent les flatulences, celles des humains sont à l'optimum à une température de 37°C, et l'eau de nos douches est à cette température aussi. En gros il faudrait bien isoler toutes les tuyauteries, les citernes et l'installation finale si l'on veut qu'elle reste à une température stable. Ce sont en effet surtout les fluctuations de températures qui peuvent être dommageables, mais ça produira aussi du gaz à 20°C, ce sera juste plus lent. Tout ça demande évidemment la supervision d'ingénieurs agréés.

3. Situation de la structure dans l'îlot.

En regardant le plan[130], on voit que j'ai retravaillé les parcelles des jardins pour former deux espaces communs, et ce pour favoriser des dynamiques communautaires à échelle humaine. Mais il n'y a qu'un seul digesteur situé entre les deux clans en vue de stimuler une interdépendance des deux clans, pour éviter le conflit inter-clanique. En somme il serait le centre des pourparlers de paix, par les pets.

4. Exportation vers les agrosystèmes.

On sait que la ville de Bruxelles ne peut être un écosystème autonome et qu'il faut l'intégrer dans un éco-paysage que j'ai précédemment qualifié d'agrourbipaysage (agro-urbi-paysage). Le digestat doit donc être exporté vers les agrosystèmes, et on peut le fixer avec le compost mûr des caves à charbon avant exportation. On a vu que cette biomasse serait issue d'un excès d'azote et de phosphate, notamment via des bioréacteurs dans les combles, fonctionnant avec l'eau du puits. L'idée serait de nettoyer nos villes tout en produisant de l'engrais. Une fois cet engrais exporté vers les agrosystèmes, il pourrait être valorisé en agriculture, par exemple via cette planteuse de patates de ma conception que j'ai appelé *Là Pàtàtàterre*. Cette planteuse est un peu particulière, car elle nécessite une culture-

[129] Pompes à membrane ondulatoire, elles sont bio-inspirées et ont des rendements biens supérieurs aux pompes à mouvement rotatif. CHAPELLE G, *Le vivant comme modèle,* p.162
[130] Annexe 12

intercalaire (culture d'hiver en TCS), suffisamment développée pour pouvoir refermer la butte en la cousant avec. La planteuse fend le sol via un *coutre* et un *soc* (éléments de charrue), l'ouvre et endigue l'interculture avec un système de double taules, place des patates provenant de la trémie-avant (le petit récipient jaune derrière les vélos) sous la litière, les recouvre du mélange digestat/compost provenant de la trémie-arrière, taille ensuite l'interculture à bonne hauteur, déroule deux bandes de matière cellulosique en fin de cycle, et referme le tout en cousant la culture intercalaire encore enracinée, via **une machine à coudre** actionnée par la mécanique. Comme souvent avec les low-tech, toute la mécanique fonctionne en un bloc. Les bandes de papiers servent à éviter les patates vertes, car c'est un problème que j'ai déjà rencontré en cultivant des patates sans labour sous paillis. Et le carburant pourrait provenir des mollets des scouts ou des étudiants comme lors des 24h vélo.

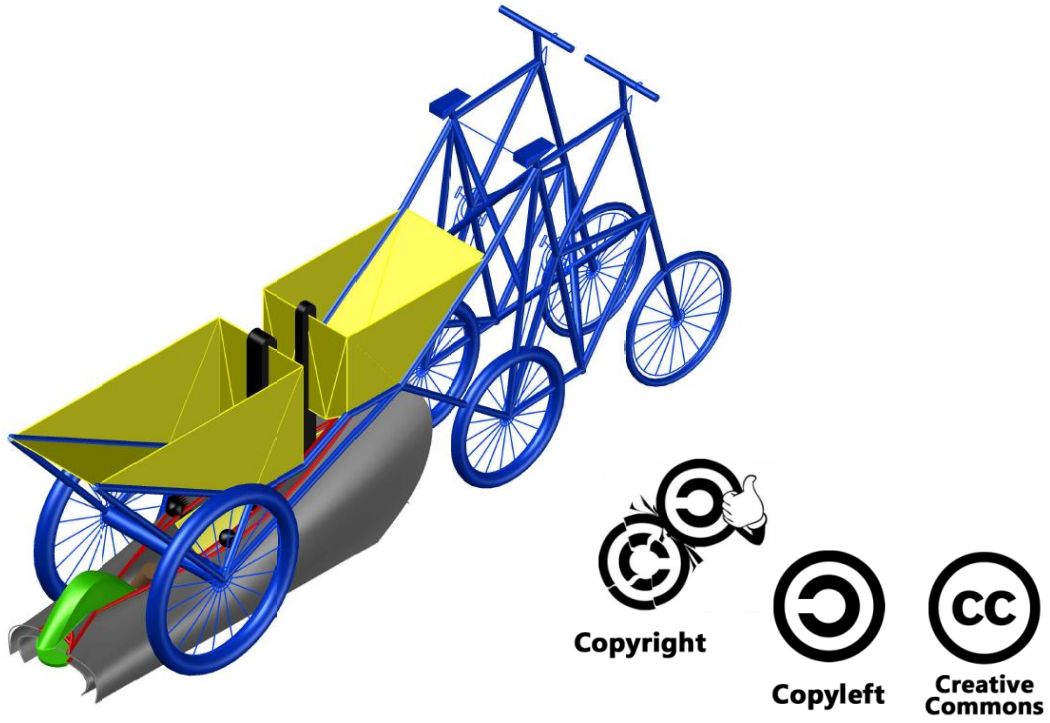


Figure 106 Dessin AutoCAD de l'auteur

Je l'ai appelé *Là Pàtàtàterre Tubulaire*, je réfléchis aussi à *Là Pàtàtàterre Pyramidale* qui serait beaucoup plus simple à construire, dans le but de la diffuser en open-source, mais cette dernière n'est pas encore dessinée. J'espère voir cette invention réalisée un jour, car l'érosion dans les champs de patates est très problématique (on déstructure profondément le sol pour buter les plants, alors que le système racinaire des patates est très peu efficace contre l'érosion, à l'instar de celui des céréales). De plus la Belgique est un gros producteur de patates, donc on a vraiment tout intérêt à développer cela ici.

7. Conclusion générale

Je me suis efforcé de baser ce travail sur une assise théorique solide, bien que j'assume l'aspect utopiste de certaines idées développées, il reste que la fondation du travail est extrêmement rationnelle et que ces réflexions reposent donc sur un canevas des plus pragmatiques. La plus grande difficulté à concrétiser ces idées consisterait en fait à convaincre tous les propriétaires d'un îlot à investir dans un tel projet.

Cela sous-tend qu'à l'échelle de la maison unifamiliale, c'est déjà beaucoup plus envisageable, et j'adorerais à terme pouvoir en faire moi-même l'expérimentation dans une maison à rénover... J'ai plusieurs idées que j'aimerais concrétiser dans le futur. Lancer une pépinière d'une part ou bien une entreprise de rénovation du bâti bruxellois. Et pour cela, j'envisage de contacter des propriétaires, ou des institutions pour trouver une maison et lancer un projet en vue d'en démontrer sa faisabilité. Des subventions seront nécessaires, bien sûr ! Mais les énergies ne manquent pas ! Donc pour répondre à la question dans l'introduction :

> *Dans quelle mesure pourrions-nous nous passer des réseaux de distribution et d'évacuation dans les maisons bruxelloises ou à l'échelle de l'îlot urbain bruxellois ?*

Concernant l'eau de distribution, nous avons vu qu'à l'échelle de la maison unifamiliale nous pouvons envisager deux tiers d'autonomie grâce à l'eau de pluie, et que l'autonomie totale est envisageable à l'échelle de l'ilot, car la surface de récupération d'eau peut être beaucoup plus grande. On peut donc imaginer une autonomie importante à l'échelle de la maison, et une autonomie totale à l'échelle de l'ilot.

Concernant l'évacuation d'eau et le réseau de gaz, les digesteurs unifamiliaux relèvent plus de l'anecdote selon Yves Bertrand. Encore une fois, l'épuration dans des espaces aménagés pour tout l'îlot, à l'image des haies en voirie, me parait plus facile que l'épuration unifamiliale. Concernant le gaz, on pourrait produire 60m³ par semaine, c'est loin d'être négligeable, et cela pourrait participer à une autonomie totale si on apprend à bien utiliser et préserver la chaleur du soleil et du compost. Ce gaz pourrait être stocké et principalement servir l'hiver, comme le bois de chauffe. On sait aussi que la ville est en excès d'azote et qu'elle nécessitera toujours des importations alimentaires. Même dans le scenario d'une urbiculture foisonnante, on peut espérer l'autonomie sur les produits maraîchers, mais moins sur l'apport calorifique (céréales et patates). On sait donc qu'une autosuffisance alimentaire est possible[131], mais il faudra toujours importer de la nourriture des champs vers la ville, donc il faudra aussi évacuer vers les champs une matière concentrée d'une façon ou d'une autre. Ce sont des cyclisations nécessaires entre l'écosystème « urbs » et les agrosystèmes autour, le tout formant l'agrourbipaysage.

[131] Autosuffisance signifie 50% d'autonomie, et c'est possible selon les calculs de Damien Foguenne dans son TFE « *une approche pour nourrir Bruxelles sans pétrole* », 2013, disponible à la bibliothèque du CERIA.

Je voudrais faire part ici de mes réserves au sujet de l'industrie du renouvelable, Gauthier Chapelle nous explique à quel point une feuille d'arbre n'a rien à jalouser à un panneau solaire, le rendement est certes moindre, mais la structure est 100% recyclable à température et pression ambiante, et l'intermittence est stockée en potentiel chimique. Si on devait substituer toute la puissance des énergies fossiles avec l'industrie du renouvelable, je suis convaincu qu'elle consommerait tous les métaux de la planète en moins de deux siècles[132], sans compter que les procédés pour extraire et transformer ces matières (métaux, silicium, béton) sont ultra dépendants des énergies fossiles. Je ne remets pas en cause le fait que c'est possible. Je pense qu'avec un petit effort on arrivera même à faire des bulldozers électriques pour continuer à raser les forêts. Mais il faut rappeler ici ce que rappelle souvent Jean-Marc Jancovici : il n'y a pas d'énergie propre, il faut réduire notre consommation d'énergie.

Y compris la biomasse, même si la photosynthèse globale fixe près de 30 fois plus d'énergie en potentiel chimique que toute l'industrie humaine n'en consomme.

Donc je suis convaincu que l'énergie issue de la biomasse, mais à un niveau modéré, a beaucoup d'avenir, « *l'or vert* » dont parle Paul Duvigneaud, et ce n'est pas pour rien que je propose de planter un maximum de haies, partout où cela est possible. C'est avant tout pour activer les cycles, donc le service écosystémique de soutien, mais aussi pour produire de la biomasse. Mais il ne faut évidemment pas sombrer dans la perversion malsaine des compensations carbones et des permis de polluer. La production de biomasse ne justifie en rien le rejet de carbone fossile. Mais il faut se rappeler que la photosynthèse terrestre fixe 10 fois plus de carbone que nous en rejetons[133], la biomasse océanique près de 20 fois plus, que l'agroforesterie permet de produire 10 à 60% de plus que des cultures agraires et forestières séparées[134]. En somme, ne nous privons pas de planter des arbres dans nos villes et dans nos champs, cela nous permettra peut-être d'éviter de raser la forêt de Soignes en cas de crise énergétique couplée à un ralentissement du Gulf Stream qui provoquerait des hivers rudes, le tout agrémenté d'un blocus russe, par exemple. Et ce scénario n'est pas tant tiré par les cheveux que ça...

Et surtout, n'oublions pas que certains arbres peuvent être comestibles. J'ai mangé un jour une feuille de tilleul à petite feuille (*Tilia cordata*), cet arbre c'est comme une très grosse salade contenant 30% de protéines en matière sèche. Toujours bon à savoir !

Quelles mesures prendre concrètement à l'échelle de la région ?

Du point de vu de la ville entière, nous avons vu qu'il tombait deux fois plus d'eau sur Bruxelles que nous n'en consommons. Il faut bien réaliser qu'un tiers de l'eau du réseau de

[132] Beaucoup moins à en regarder les réserves d'argent, d'indium, de phosphore, etc.
[133] Cet argument est souvent repris par des lobbies soutenant le permis de polluer par compensation carbone c'est pour ça que je le rappelle : le système n'absorbe pas suffisamment nos rejets de carbone fossile c'est un fait, donc il faut réduire les émissions sans concession.
[134] SOLTNER D., *Planter des haies*, p. 63

distribution bruxellois provient de la Meuse, que cette eau est bien plus difficile à potabiliser et à acheminer que l'eau de pluie qui tombe directement sur la ville. Un tiers cela correspond à ce que l'on pourrait économiser avec le système de récupération de l'eau des douches pour les toilettes. On pourrait donc économiser le coût d'une station de potabilisation de la taille de celle de Tailfer sur la Meuse !

La difficulté est donc clairement celle du stockage et de l'utilisation de l'eau de pluie par les particuliers. Une réflexion très importante m'est venue à ce propos dans ce travail, et qui vaut aussi d'ailleurs pour l'isolation des bâtiments. Pour faire en sorte que les propriétaires fassent les investissements nécessaires, **il faut faire payer les charges par les propriétaires**. C'est un point fondamental à la transition écologique. Que ce soit pour la récupération de l'eau de pluie ou pour la taxe carbone, les locataires vont subir des montées des prix alors qu'ils n'ont aucun intérêt à investir dans l'isolation ou dans des citernes d'eau dans une maison dont ils ne sont que locataires. La fiscalité doit donc continuer d'accroitre les bonus/malus entre les subventions pour investir dans des moyens qui permettent de diminuer la consommation d'eau et d'énergie, et la taxation de l'eau et de l'énergie. Mais en ciblant le même agent économique évidemment, ce qui n'est pas souvent le cas aujourd'hui.

La situation actuelle de la fiscalité ce concernant, c'est un homme ivre qui veut faire une balade à dos d'âne pour avancer dans la vie. Il passe à côté d'un pré où il y a trois ânes, alors péniblement il monte sur celui du milieu. Une fois installé sur son dos après maintes tentatives, il sort un bâton et une carotte de son sac. Il regarde alors les deux objets dans ses mains en tentant d'avoir les deux yeux ouverts en même temps, non pas sans difficultés car dans son état, lorsque l'un de ses yeux dit « *merde* » à l'autre, l'autre lui répond « *hé comment tu m'parles toi !* ». Après avoir cerné la subtilité des deux outils dans ses mains, l'homme regarde alors les ânes et réfléchit un temps en regardant dans le vide… Soudain, dans un éclair de génie, il se met à taper sur les fesses de celui de gauche avec le bâton, brandit sa carotte vers celui de droite, et se met à chanter très fort *«♪Allez ♫HU bourricot ! ♪HUps ! ♫»*.

La moralité de cette histoire c'est que la fiscalité ce concernant, elle tourne en rond. Pire, elle taxe les pauvres locataires et subventionne les riches propriétaires. Pour inciter correctement à la rénovation du bâti avec le bonus/malus, il faut user du bâton et de la carotte sur un seul âne : le propriétaire. Et là normalement il devrait s'empresser d'installer des citernes et des économiseurs d'eau partout, bien isoler la toiture, mettre du double vitrage tout ça.[135]

Je renvoie aussi vers ce qu'a dit Joseph Orzagh : les StEp sont des incinérateurs, le tout à l'égout est pire que le tout à la poubelle, et nous devrions (comme nous le faisons déjà avec les sols pollués), obliger toute passation de propriété à installer un réseau séparatif à

[135] Mon promoteur externe, Gauthier Chapelle, m'a fait lire un livre de Robert Morez pour ce travail, intitulé « mémoires d'un bourricot », et l'âne c'est l'emblème de la commune de Schaerbeek, alors je trouve ça bien en conclusion pour mettre une cerise sur le gâteau, puisque la cerise c'est l'autre emblème de la commune.

l'échelle de la maison, dans l'idée de faciliter l'installation de systèmes alternatifs de gestion des eaux dans les 10-15 ans qui viennent. Mon approche est une approche de production de biogaz en intérieur d'ilot, mais avec un réseau séparatif on peut très bien envisager d'autres approches sur l'espace public, je vais rappeler ici ce que préconisait Joseph Orzagh (qui n'aime pas le biogaz).

> *Il préconise d'inciter une règlementation concernant les chasses d'eau, dans le but de charger ce réseau qui servira à asperger les centres de compostage, dans des bassins d'imprégnation (des grandes toilettes sèches) qui digéreraient aussi les matières cellulosiques en fin de vie comme le papier journal, un grand avantage de cela c'est que le compost monte à 60-70°C ce qui permet d'hygiéniser l'engrais, prêt en 3-4 mois pour une valorisation agricole.*[136]

Son approche vise une aggradation humique des sols. Je tiens à rajouter à cela, que complémentairement à ce réseau séparatif, il faut aussi installer des citernes intermédiaires pour valoriser les eaux grises en eaux noires, et qu'en gérant bien cela, on pourrait même envisager de transformer toutes les eaux grises en eaux noires, tout en réduisant de plus d'un tiers la consommation d'eau. Si on s'en donne les moyens, je suis convaincu que Bruxelles peut réduire de moitié sa consommation d'eau du réseau, en quelques années, 5 ans tout au plus. A terme, nous avons vu qu'elle peut être indépendante des importations.

En conclusion, tous les cycles ont un rôle de transmission d'information nécessaire à la dissipation de l'énergie. Tout comme les cycles universitaires permettent la transmission de l'information culturelle, ou les cycles de la reproduction permettent la transmission de l'information génétique, le vivant comme toutes les autres structures dissipatives, évolue de façon à dissiper le plus possible l'énergie du système Terre en diminuant son entropie interne, et l'homme entrave cette dissipation en augmentant l'effet de serre.

Nous bloquons de l'énergie qui demande à être évacuée et nous augmentons de fait l'entropie interne au système Terre. D'ailleurs le réchauffement va diminuer le rendement thermique des centrales qui ont éprouvé plus de difficultés à produire de l'énergie durant la canicule de juin[137]. La transmission d'information culturelle est à la source de l'augmentation de la dissipation de l'énergie par la technosphère humaine, mais l'erreur que l'on fait, c'est de ne pas comprendre la technosphère dans le système Terre. Il faut donc transmettre une information consistant à dire que l'humanité doit être unie et ne former qu'un avec le système Terre, ce qui implique une réduction de la consommation énergétique de la techno-sphère.

[136] Renvoi vers le point « les eaux noires ou eaux vannes », p.42 de ce travail.
[137] BAARSCH F., HARE B. et SCHAEFFER M., *La canicule de juin pourrait coûter jusqu'à 12 milliards d'euros*, LaTribune, 26/06/2017, En ligne, http://www.latribune.fr/opinions/tribunes/la-canicule-de-juin-pourrait-couter-jusqu-a-12-milliards-d-euros-741676.html, consulté le 28/07/2017

Bibliographie

a. Livres, ouvrages et articles papiers

AHREND A., DE MAHIEU M-G., GOOR F., HAUBRUGE K., LALANDE F., LOROY E., O'DONOHU M., ROELANDT M. et USKOKOVIC E., *Atelier d'aménagement urbain : Analyse, diagnostic et scénarios de réaménagement de la place de la Reine*, 2016/2017, 74p.

CHAPELLE G., *Le vivant comme modèle - La voie du biomimétisme*, Edition Albin Michel, Paris, 2015

CORDELL D. et al., *The story of Phosphorus : global food security and food for thought.*" Glob. Environ. Change n°19, 2009, p. 292-305.

DENHÆNE G, *Naissance du Faubourg de Schaerbeek : Histoire et images*, ASBL Patris - Patrimoine de Schaerbeek, 2002, 64p.

DUVIGNEAUD P., *La synthèse écologique : populations, communautés, écosystèmes, biosphère, noosphère*, Doin éditeurs, 2eme édition revue et corrigée, Paris, 1980
Version manuscrite.

FOGUENNE D., *une approche pour nourrir Bruxelles sans pétrole*, TFE à la HELdB, disponible à la bibliothèque du CERIA, 2013

MEADOWS Donnella, MEADOWS Dennis, RANDERS Jorgen, *Les limites à la croissance (dans un monde fini)*, Rue de l'échiquier, Paris, 2012, 425 p.

MEADOWS, Donnella, MEADOWS, Dennis, RANDERS, Jorgen, BEHRENS III, William, *Rapport sur les limites de la croissance*, Fayard, 1972, 314 p.

MOREZ R., *Mémoires d'un bourricot – Les tribulations d'un agronome hors des sentiers battus*, Edilivre, Saint-Denis, 2016, 188 p.

RODDIER F., *Thermodynamique de l'évolution – Un essai de thermo-bio-sociologie*, Editions parole, 2012, 3e Edition, Avril 2016

SCHUITEN L., *Vers une cité végétale*, Edition Mardaga, Bruxelles, 2010

SERVIGNE P, *nourrir l'Europe en temps de crise*, Editions Nature & Progrès, Jambes, 2014, 192 p.

SERVIGNE P., STEVENS R., *Comment tout peut s'effondrer – Petit manuel de collapsologie à l'usage des générations présentes*, Editions du Seuil, Paris, 2015

SOLTNER D., *Planter des haies – Haies composées, haies d'aujourd'hui, au village, en ville, comme aux champs*, Collection Sciences et Techniques Agricoles, 10e édition mise à jour, Bressuire, 2015

b. Documentaires

FAITH Morgan, réal. *The Power of Community – How Cuba survived Peak Oil* (documentary), The Community SolutionSM, 2006, 53min.

LEVY Pierre Oscar, réal. *Les apprentis sorciers du climat* (documentaire), Coproduction : ARTE France, Artline Films, 2015, 1h24min.

MILLER Amy, réal. *La ruée vers le carbone* (documentaire), Kinosmith inc., 2012, 52min.

c. Conférence

BOURGUIGNON C., BOURGUIGNON L, *Un sol vivant pour un corps sain* (conférence), UCL, Auditoire Socrate, Louvain-la-Neuve le 24/09/2015.

d. Webographie

I. Documents PDF en ligne

ANONYME (Ecores, ICEDD, BATir (ULB)), *Métabolisme de la Région de Bruxelles-Capitale : identification des flux, acteurs et activités économiques sur le territoire et pistes de réflexion pour l'optimisation des ressources*, 2015, 305p, En ligne, http://www.environnement.brussels/sites/default/files/user_files/rap_20150715_metabolisme_rbc_rapport_compile.pdf, Consulté le 10/08/2017

ANONYME (GIEC), *Rapport de Synthèse – résumé à l'intention des décideurs*, 2014, 33p. En ligne, https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_fr.pdf, Consulté le 10/08/2017

ANONYME, *DU BIOGAZ AU BIOMETHANE REVUE TECHNIQUE*, VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (AUSTRIA), Institute of Chemical Engineering - Research Divison Thermal Process Engineering and Simulation, En Ligne https://www.aile.asso.fr/wp-content/uploads/2012/11/revue-technologie-en-francais.pdf, Consulté le 10/08/2017

BROUYAUX François, TRICOT Christian, *Etude en support au « Plan Pluies » pour la -Région de Bruxelles-Capitale*, IRM pour le compte de l'IBGE, 2006, 69 p. En ligne, http://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/STUD_2006_PlanPluie_RBC_Annexe2, Consulté le 28/07/2017

DUVIGNEAUD P, *La synthèse écologique : populations, communautés, écosystèmes, biosphère, noosphère*, Paris : Doin, 1984, c1980. Version numérique de la digithèque de l'ULB, En ligne, http://digistore.bib.ulb.ac.be/2012/i2704003513_000_f.pdf, Consulté le 28/07/2017

GEORGESCU-ROEGEN N., *La décroissance - Entropie – Écologie – Économie*, Version numérique de l'Université du Québec à Chicoutimi (1979) Nouvelle édition (1995), En ligne, http://classiques.uqac.ca/contemporains/georgescu_roegen_nicolas/decroissance/la_decroissance.pdf, Consulté le 28/07/2017

LOUVET N., *L'AUTOPARTAGE : Tous les avantages de la voiture sans les inconvénients*. En ligne, http://presse.ademe.fr/wp-content/uploads/2013/03/ena_communiquedepresse_130320.pdf, Consulté le 10/08/2017

PAIN J., PAIN I., *Les méthodes Jean Pain - Un Autre Jardin*, 8ième édition, En ligne http://massivart.free.fr/Jardin/Les.Methodes.Jean.Pain-GP.pdf, Consulté le 27/07/2017

II. Wikipédia (*Titre de l'article*, lien, Date de consultation)

Alphaproteobacteria, https://fr.wikipedia.org/wiki/Alphaproteobacteria, Consulté le 08/07/2017

Dioxyde de carbone, https://fr.wikipedia.org/wiki/Dioxyde_de_carbone, Consulté le 08/07/2017

Estimation du nombre d'armes à feu par habitants par pays, https://fr.wikipedia.org/wiki/Estimation_du_nombre_d%27armes_%C3%A0_feu_par_habitants_par_pays, Consulté le 09/07/2017

Grande oxydation, https://fr.wikipedia.org/wiki/Grande_Oxydation, Consulté le 10/08/2017

Hans Adolf Krebs, https://fr.wikipedia.org/wiki/Hans_Adolf_Krebs, Consulté le 10/07/2017

Lithosphère, https://fr.wikipedia.org/wiki/Lithosph%C3%A8re, Consulté le 06/07/17. Par Lamiot en licence libre.

Nombre de Dunbar, https://fr.wikipedia.org/wiki/Nombre_de_Dunbar, Consulté le 10/08/2017

III. Youtubographie (*Titre de la vidéo*, lien, Date de consultation)

Comment Cuba survécut en 1990 sans pétrole, https://www.youtube.com/watch?v=KEF19NV_3SE, Consulté le 28/07/2017

Décroissance : Hommage à Nicholas Georgescu-Roegen, https://www.youtube.com/watch?v=DQsGlv38XWc, Consulté le 24/07/2017

Discussion avec Claude Bourguignon ½, https://www.youtube.com/watch?v=qqUvvjm1ZLY, consulté le 12/07/2017

Episode 10 : Les excréments des plantes, https://www.youtube.com/watch?v=3MzJYy3EPGY, consulté le 08/07/2017

Le Chenillard de Luc Schuiten SD, https://www.youtube.com/watch?v=-WLJgEkFYIU, Consulté le 10/08/2017

Le soufre, ça compte, https://www.youtube.com/watch?v=XNmjBS2V1os, Consulté le 10/07/2017

Les apprentis-sorciers du climat (ARTE TV), https://www.youtube.com/watch?v=v8OjADLwGhw, Consulté le 10/08/2017

Messages clés du 5ème rapport du GIEC, https://www.youtube.com/watch?v=4UhYWkLv1FA&t=1251s, Consulté le 08/07/2017

ScienceCasts: Colliding Atmospheres - Mars vs Comet Siding Spring, https://www.youtube.com/watch?v=2R4yj7DtQbM&feature=youtu.be, Consulté le 06/07/2017

IV. Autres articles internet

ANONYME (ABP), *Déchets alimentaires*, En ligne, https://www.arp-gan.be/fr/tri/22-dchets-alimentaires.html, Consulté le 28/07/2017

ANONYME (BELGA), *A Bruxelles, 260 kg de déchets par habitant et par an*, La Libre.be, 27/09/2017, En ligne, http://www.lalibre.be/light/societe/a-bruxelles-260-kg-de-dechets-par-habitant-et-par-an-51b8f1a6e4b0de6db9c80d5e, Consulté le 28/07/2017

ANONYME (Bruxelles-Environnement), *Focus : Métabolisme urbain, bilan des flux de matières et d'énergie*, 2016, En ligne, http://www.environnement.brussels/tmp-etat-de-lenvironnement/environnement-pour-une-ville-durable/focus-metabolisme-urbain-bilan-des, Consulté le 10/08/2017

ANONYME (Centre Paul Duvigneaud), *Paul Duvigneaud - Sa carrière scientifique*, En ligne, http://www.centrepaulduvigneaud.be/qui-sommes-nous/paul-duvigneaud, consulté le 6/07/2017

ANONYME (Mr Mondialisation), *Ce couple vit dans une « maison-serre » écologique*, 2016, En ligne, https://mrmondialisation.org/ce-couple-vit-dans-une-maison-serre-ecologique/, Consulté le 27/07/2017

ANONYME (NOAA), *Gas hydrates are ice-like substances that form in deep-sea sediments*, En ligne, http://oceanexplorer.noaa.gov/facts/hydrates.html, Consulté le 28/07/2017

ANONYME (rédaction notre-planete.info), *Cartographie de l'air sur Terre : une petite bulle à préserver*, notre-planete.info, 2014, En ligne, https://www.notre-planete.info/actualites/3908-carte-air-eau-Terre-bulle, consulté le 24/07/2017

ANONYME (Rédaction RTBF), *Ittre offre des poules à ses riverains pour diminuer la quantité de déchets*, 2014, En ligne, https://www.rtbf.be/info/regions/detail_offrir-des-poules-a-ses-riverains-pour-diminuer-la-quantite-de-poubelles?id=8373793, Consulté le 28/07/2017

ANONYME (Rédaction technique de l'ingénieur), *Aérogel de silice : le plus isolant des super-isolants enfin commercialisé !*, Techniques de l'ingénieur, 2013, En ligne, https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/aerogel-de-silice-le-plus-isolant-des-super-isolants-enfin-commercialise-10175/, Consulté le 27/07/2017

ANONYME, *Les ponts vivants du Meghalaya*, Regard sur le monde, 15/11/2012,En ligne, http://www.regardsurlemonde.fr/blog/les-ponts-vivants-du-meghalaya, Consulté le 28/07/2017

ANONYME, *Matières fécales produites par les humains*, Planetoscope, En ligne, https://www.planetoscope.com/Le-corps-humain/1744-matieres-fecales-produites-par-les-humains.html, Consulté le 28/07/2017

BAARSCH F., HARE B. et SCHAEFFER M., *La canicule de juin pourrait coûter jusqu'à 12 milliards d'euros*, LaTribune, 26/06/2017, En ligne, http://www.latribune.fr/opinions/tribunes/la-canicule-de-juin-pourrait-couter-jusqu-a-12-milliards-d-euros-741676.html, Consulté le 28/07/2017

BOSSY D., *Pourquoi l'océan perd-il son azote ?*, Futura Science – Planète, 2013, En ligne, http://www.futura-sciences.com/planete/actualites/oceanographie-ocean-perd-il-son-azote-44948/, consulté le 24/07/2017

CEBALLOSA G., R. EHRLICHB P. et DIRZO R., *Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines*, Mai 2017. Article du monde en ligne, http://www.lemonde.fr/biodiversite/article/2017/07/10/la-sixieme-extinction-de-masse-des-animaux-s-accelere-de-maniere-dramatique_5158718_1652692.html, Consulté le 10/08/2017

DE BONDT K. (Earth System Science VUB), *Un avenir durable pour nos enfants les Bruxellois"* in Bruxelles en Mouvements, Voix d'eau, périodique édité par IEB, n°247-248, avril-mai 2011, numéro spécial, pp 28-30, En ligne, http://www.ieb.be/Un-avenir-durable-pour-nos-enfants, Consulté le 10/08/2017

DE WAVRIN H, *ORIGINES DES SOLS, DU RELIEF*, En ligne, http://www.kauwberg.be/origine.htm, Consulté le 26/07/2017

DYCHES P., *Europa's Ocean May Have An Earthlike Chemical Balance*, nasa.gov, 2016, En ligne, https://www.nasa.gov/feature/jpl/europas-ocean-may-have-an-earthlike-chemical-balance, consulté le 24/07/2017

JOUANNEAU B ; BARATA W., *Qu'est-ce que l'eau de pluie ?*, En ligne, http://autonomie.eaudepluie.free.fr/eau_pluie.htm, Consulté le 26/07/2017

LINA D, *19 Magical Tree Tunnels You Should Definitely Take A Walk Through*, 2014, En ligne, http://www.boredpanda.com/magical-tree-tunnels/, Consulté le 27/07/2017

LOUVIGNY A., *La Terre aurait déjà dû commencer sa période de glaciation*, RTBF – société, 2017, En ligne, https://www.rtbf.be/info/societe/detail_la-terre-aurait-deja-du-commencer-sa-periode-de-glaciation?id=9540971, consulté le 20/07/2017

LUDWIG F., *Plane-Tree-Cube Nagold*, En ligne, http://www.ferdinandludwig.com/plane-tree-cube-nagold/articles/plane-tree-cube-nagold.html, Consulté le 28/07/2017

MARSHALL A, *Climate change : the 40 year delay between cause and effect,* Skeptical Science, 2010, En ligne, https://skepticalscience.com/Climate-Change-The-40-Year-Delay-Between-Cause-and-Effect.html, Consulté le 10/08/2017

SCHUITEN L., *Jardins verticaux – 15 projets à Bruxelles*, En ligne http://www.vegetalcity.net/topics/jardins-verticaux/, Consulté le 18/05/2017

SCHUITEN L., *Le Chenillard*, En ligne http://www.vegetalcity.net/, Consulté le 18/05/2017.

Table des figures

Figure 1 Photos prises par l'auteur le 18 juin 2017 au soleil levant 10
Figure 2 A gauche un schéma des sphères en termes de masse, issu de la page Wikipédia de la lithosphère 14
Figure 3 A droite un schéma présentant une erreur (selon moi, il faut inverser écosphère et biosphère.) 14
Figure 4 Cette illustration de Félix Pharand-Deschênes (concept de Adam Nieman), représente les sphères en terme de volume et non de masse. 14
Figure 5 Zone habitable du système solaire, entre 0,95 et 2,4 UA (unité astronomique, 1 UA = distance Terre-Soleil = 150M de Km) 15
Figure 6 Images tirées d'une vidéo Youtube de la NASA expliquant l'érosion atmosphérique 16
Figure 7 Montage de l'auteur à partir de différentes photos retouchées, schématisant l'héliosphère, la zone habitable, la magnétosphère, la géosphère lunaire et l'écosphère terrestre. 17
Figure 8 Dessiné par l'auteur sur PowerPoint, ici l'écosphère comprend la biosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la lithosphère. Et la géosphère comprend le noyau, l'asthénosphère et la lithosphère. La lithosphère est donc entre les deux. 18
Figure 9 Molécule de CO2, le carbone à l'état minéral dans le cycle. 19
Figure 10 Au dessus la synthèse écologique p. 191. En dessous le résumé à l'intention des décideurs du rapport de synthèse du GIEC de 2014, p.5. En rouge, entre les données du GIEC et l'estimation de Paul Duvigneaud, la différence d'un facteur 4 sur les émissions de carbone aux alentours des années 80 correspond au rapport de masse atomique entre le CO_2 et le C, soit 3,66. 22
Figure 11 L'oxygène sous sa forme minérale le dioxygène https://fr.wikipedia.org/wiki/Dioxyg%C3%A8ne consulté le 08/07/2017 23
Figure 12 « *Évolution de la concentration en dioxygène de l'atmosphère terrestre. Limite haute en rouge et basse en vert. Échelle horizontale : temps en milliards d'années.* ». Ariel Provost en licence libre. 23
Figure 13 L'eau https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau consulté le 08/07/2017 24

Figure 14 Forme minérale de l'azote, le diazote https://fr.wikipedia.org/wiki/Diazote consulté le 09/07/2017 26
Figure 15 Ecologie cycle biogéochimique https://www.youtube.com/watch?v=nhMEbUqQ53A consulté le 09/08/2017.....26
Figure 16 La synthèse écologique p.199 et 200.....27
Figure 17 La synthèse écologique p. 199.....28
Figure 18 La synthèse écologique p. 202.....32
Figure 19 La synthèse écologique p.300.....36
Figure 20 Source : ICEDD-ECORES-BATIR pour le compte et avec la contribution de Bruxelles Environnement 2014 38
Figure 21 Poland's Surveillance Tech: Grandma TX-4000 - http://knowyourmeme.com/photos/1208986-meanwhile-in consulté le 24/07/2017.....41
Figure 22 Photo prise par l'auteur du toit de la maison de Joseph Országh.....43
Figure 23 Système PLUVALOR de valorisation intégrale de l'eau de pluie. 43
Figure 24 Photos prises par l'auteur. À gauche les filtres et l'osmoseur sous l'évier, à droite les trois robinets.....44
Figure 25 Photos prises par l'auteur. À gauche l'ancienne fosse septique, à droite la fosse en aérobie.....45
Figure 26 Photos prises par l'auteur. Système d'épuration de Joseph Országh, pour explication voir texte.....45
Figure 27 Photos prises par l'auteur. Le cycle des matières fécales.....46
Figure 28 à gauche de digesteur en cours d'installation, à droite le fumier. Photos prises par l'auteur.....48
Figure 29 Photo prise par l'auteur. Le monsieur qui nous a fait visiter la StEp nous montre le résultat des boues après pressage.....48
Figure 30 Lithographie de G.P Vanden Burggraaff selon un dessin d'Alexendre II Boëns du hameau de Schaerbeek à la fin du XVIIIe 49
Figure 31 Photo prise par l'auteur. La devise gravée sur le muret de la corbeille de fleurs devant l'hôtel de ville. 50
Figure 32 Carte de Ferraris 1777 d'après BruGIS.....51
Figure 33 Carte de Vandermaelen 1846-1854 d'après BruGIS.....52
Figure 34 Plan parcellaire de l'atelier Vandermaelen de 1861, le nord est à droite, le cercle c'est le jardin botanique 53
Figure 35 Carte du Dépot de la Guerre (xxxxi-3) de 1865 et 1891 d'après Cartesius.....54
Figure 36 L'ilot est donc situé à Schaerbeek, cartes tirées de BruGIS 57
Figure 37 Proposition des bassins versants de la région réalisée par Kevin De Bondt – VUB. La zone grisée entourée en gras représente approximativement l'eau s'écoulant vers le bassin d'orage de Flagey, elle a été rajoutée par l'auteur. 59
Figure 38 Photos du puits prises par l'auteur 61
Figure 39 Photo de la citerne prise par l'auteur. 61

Figure 40 l'intensité de l'orage est en mm/h, un mm de pluie est équivalent à un l/m². Source 62
Figure 41 Radar de l'IRM https://www.meteo.be/meteo/view/fr/123361-Radar.html consulté le 20/07/2017 63
Figure 42 à gauche l'eau s'écoulant sous le palier, à droite sous la cave à charbon. Photos prises par l'auteur.....64
Figure 43 à gauche le pH-mètre, à droite l'EC-mètre, avec leurs flacons de calibrage respectifs. Photos prises par l'auteur.....64
Figure 44 Coloration de l'eau à gauche. Evaluation de l'absorbance à droite. 66
Figure 45 Extrait de la directive nitrate 67
Figure 46 Analyse avec JBL ProScan. Photo prise par l'auteur. 68
Figure 47 : photo prise le 25 mai par l'auteur, à gauche l'eau du réseau, aucun développement d'algues, à droite l'eau du puits en eutrophisation.....69
Figure 48 Les flèches représentent le flux dans les citerne/décanteurs à flux horizontaux. Extrait du plan de Béatrice Vanhille, remanié par l'auteur. 70
Figure 49 Graphique tiré du cours de "technique d'épuration" de Sophie Liégeois. 71
Figure 50 Coupe ultra schématique de la maison. Dessinée par l'auteur. 72
Figure 51 A gauche les sacs, à droite les poubelles. Photos prises par l'auteur à Stockholm en mai 2016. 73
Figure 52 Photos prises par l'auteur. *Sedum acre* de la toiture végétale. 76
Figure 53 Dessin et photos de l'auteur. La serre phytocénotique.....77
Figure 54 le Phyco-Flow™ est un photobioréacteur tubulaire développé par l'entreprise anglaise Varicon Aqua 78
Figure 55 Photos prises par l'auteur du système de fermeture à hauteur variable. 79
Figure 56 Photos prises par l'auteur, pour explications voir texte. 79
Figure 57 Photos prises par l'auteur de l'aération du deuxième étage. 80
Figure 58 Photos des semis, prises par l'auteur.....83
Figure 59 Les fraisiers (*Fragaria*) proviennent du Jardin Ernest Cambier et de l'Institut Redouté Peiffer. 83
Figure 60 Photo du jardin prise de la toiture végétale, la visite se fait dans le sens de la flèche bleue. 84
Figure 61 à gauche *Hedera elix* (Lierre grimpant) et à droite *Rosa canina* (Eglantier). 85
Figure 62 *Syringa vulgaris* (Lilas commun) 85
Figure 63 à gauche *Ligustrum ovalifium « aureum »* (Troène de Californie panaché) et à droite *Rhododendron ponticum.* 85
Figure 64 à gauche *Chelidonium majus* (Grande chélidoine) et à droite *Tropaeolum majus* (Grande capucine) 86
Figure 65 à gauche *Fallopia japonica* (Renouée du Japon) et à droite *Hyacinthoides non-scripta* (Jacinthe des bois).....86
Figure 66 à gauche un chou de Bruxelles en graine (*Brassica oleracea* var. gemmifera) et à droite un chou romanesco en fleur (*Brassica oleracea* var. botrytis).....87

Figure 67 à gauche un topinambour (*Helianthus tuberosus*) qui pointe son nez à la mi-mai, aujourd'hui fin juillet ils ont bien dépassé mon mètre nonante. À droite ma banque de graine. 87
Figure 68 à gauche la consoude assoiffée (*symphytum officinale*), à droite l'igloo en cornouiller (*Cornus sanguinea*). 88
Figure 69 Association chou-fleur/patates/soucis develloppée à partir du tableau. 89
Figure 70 à gauche les laitues à droite les persils géants d'Italie. 90
Figure 71 Les trois sœurs. 90
Figure 72 Tomates et Quinoa Tumeko 90
Figure 73 Compost en palette, sac de fumier et renouée du japon. 91
Figure 74 Tuiles en verre proposées par soltechenergy, structures gonflables proposées par M2B et aérogel de silice proposé par Enersens 92
Figure 75 Arbres morts en voirie. Photos prises par l'auteur. 92
Figure 76 Haies larges : déjà des petits bois allongés. Photo de la p.59 de l'ouvrage *Planter des haies* de Dominique Soltner 93
Figure 77 Image credits: Stephen Emerson Figure 78 Image credits: Christopher Tait 95
Figure 79 imgur.com Figure 80 mindphoto.blog.fc2.com 96
Figure 81 Image credits: imgur.com Figure 82 Image credits: Exploring Light Photography 96
Figure 83 Image credits: Oleg Gordienko et amoschapple 96
Figure 84 Image credits: Yuya Horikawa Figure 85 Image credits: Ian Sane 97
Figure 86 Image credits: okera japan et Lars van de Goor 97
Figure 87 Image credits: Tony Shertila Figure 88 Image credits: Vytautas Šėrys 97
Figure 89 Image credits: Sam Moore Figure 90 Image credits: Michael Brandt 98
Figure 91 Chambre de visite de la cave à charbon. Photos prises par l'auteur. 99
Figure 92 Arcade dans la maison communale de Schaerbeek. Photo prise par l'auteur. 100
Figure 93 L'allée de l'énergie (Crédit : DR) 101
Figure 94 la « maison-serre » de Marie Granmar et Charles Sacilotto. 101
Figure 95 Œuvre en saule de M. Kalberer en Autriche. 103
Figure 96 Evolution du *Plan-Tree-Cube*. Montage photo de l'auteur à partir des photos du site de Ferdinand Ludwig. 103
Figure 97 Photo d'un figuier étrangleur prise de l'intérieur Figure 98 Photo du livre[118] 104
Figure 99 Pont vivant du Maghalaya. Ils poussent en 15 à 20 ans[120] 104
Figure 100 Hôtel Kolya au numéro 100 de la chaussée de Charleroi à Saint-Gilles. Photo prise par l'auteur. 105
Figure 101 Photos prises par l'auteur du matériel nécessaire à l'enquête. 106
Figure 102 Photo prise par l'auteur de la boîte aux lettres de la maison inutilisée. 107
Figure 103 Résultat du traitement des données de l'enquête. 108
Figure 104 à gauche une coupe de digesteur, à droite une coupe de décanteur 111
Figure 105 à gauche une éolienne à axe vertical, à droite un château d'eau. 112
Figure 106 Dessin AutoCAD de l'auteur 114

Annexes

Les annexes sont en N&B pour diminuer les coûts d'impression déjà forts élevés, si vous voulez les PDF en couleurs, vous pouvez contacter l'auteur par mail (flogoor@hotmail.com).

Annexe 1 *: Chiffres clés du schéma et renvois aux explications techniques du rapport*
Page 58 du PDF dans la bibliographie.

> ANONYME (Ecores, ICEDD, BATir (ULB)), *Métabolisme de la Région de Bruxelles-Capitale : identification des flux, acteurs et activités économiques sur le territoire et pistes de réflexion pour l'optimisation des ressources*, 2015, 305p

Annexe 2 *Echangeurs de chaleur dans les égouts (Vivaquoi)*

Annexe 3 *Cartes des réseaux de distribution et d'évacuation d'eau (Vivaquoi)*

Annexe 4 *Rapport de stage en valorisation agricole des boues et composts de Basse-Wavre.*

Annexe 5 *Simulation de l'effet de serre, pouvoir calorifique de l'eau et latence d'enthalpie.*

Annexe 6 *Rapport de stage en aquaponie (IRMW) et rotation/association de cultures (Redouté-Peiffer).*

Annexe 7 *Les Associations Au Potagers, Synthèse De Quatre Tableaux*

Annexe 8 *Le Jardin Tri-varié, l'Îlot Triangulaire et les Cristés*

Annexe 9 *Plans de communautarisation d'une maison de la rue Renkin dans l'îlot*

Annexe 10 *Coupe schématique de l'îlot comprenant les haies en voirie, le cycle au sein des maisons et le digesteur-décanteur-éolienne-château d'eau.*

Annexe 11 *L'AUTOPARTAGE - Tous les avantages de la voiture sans les inconvénients*

Annexe 12 *Plan de l'îlot remanié*

Annexe 13 *De la douche aux WC, au jardin: des chercheurs créent un réseau local de recyclage d'eau (article de wedemain.fr)*

Annexe 14 *Scénarisation de la réduction du parc automobile suite à l'automatisation*

Annexe 15 *Recensement démographique de l'îlot*

Annexe 16 *La méthode Jean Pain, le biogaz et l'entropie selon Joseph Országh*

Annexe 17 *VERS UNE PRODUCTION DE « CARBURANT SOLAIRE » - Une photosynthèse « artificielle » pour recycler le CO2*

ANNEXE 1

Chiffres clés du schéma et renvois aux explications techniques du rapport :

- **20.838 GWh** : consommation de flux d'importation d'énergie en RBC en 2011 (Figure 19) ;
- **349 10^6 m^3** : somme des flux d'eau entrants en RBC en 2011 (voir Figure 46 incluant les précipitations, les cours d'eau entrant, l'eau de distribution et les eaux à traiter en provenance de la Région flamande) ;
- **8.932 kt**: flux de matière importée en RBC (internationaux + interrégionaux) en 2011 (Figure 24) ;
- **1.150 GWh**: production primaire d'énergie en RBC en 2011 (Figure 19) ;
- **2 10^6 m^3** et **130 10^6 m^3 :** quantité d'eau prélevée en RBC et quantité d'eaux usées traitées en RBC en 2011 (Figure 46) ;
- **184.921 kt** : masse totale du stock matériel qui a été évalué dans le cadre de cette étude en RBC en 2011 (Tableau 36 qui inclut le stock matériel des bâtiments résidentiels, de bureaux et commerciaux, ainsi que les différents types de véhicules et d'infrastructures) ;
- **448 kt** : déchets traités par l'incinérateur en 2011 (Figure 24, cette valeur n'intervient pas directement dans l'équilibre des flux de matières puisqu'il s'agit d'une réduction de la quantité de déchets sortant du système. Cependant, les déchets issus de l'incinération sont inclus dans la quantité de déchets sortants de RBC);
- **500 kt** : ajout au stock matériel pour l'année 2011 (Figure 24) ;
- **3.693 kt** : rejet de GES en eq CO_2 en RBC en 2011 (Figure 19);
- **369 10^6 m^3** : somme des flux d'eau sortants en RBC en 2011 (Figure 46);
- **1. 312 kt** : somme de la quantité de déchets sortants de RBC en 2011 (comprenant des déchets provenant des ménages et assimilés, des parcs à conteneurs communaux, de l'économie sociale, des déchets de construction et de démolition, d'HoReCa, des STEPs, des bureaux, d'industries et d'incinération, du secteur de santé, des commerces, d'éducation et de nettoyage) – remarquons qu'une partie de ces déchets sont triés et font l'objet de flux de recirculariation (Figure 24) ;
- **6.770 kt** : flux de matériaux exportés en RBC (internationaux + interrégionaux) en 2011 (Figure 24).

ANNEXE 2

Echangeurs de chaleur dans les égouts

Ir O.Broers

VIVAQUA

ULB ECOLE POLYTECHNIQUE DE BRUXELLES

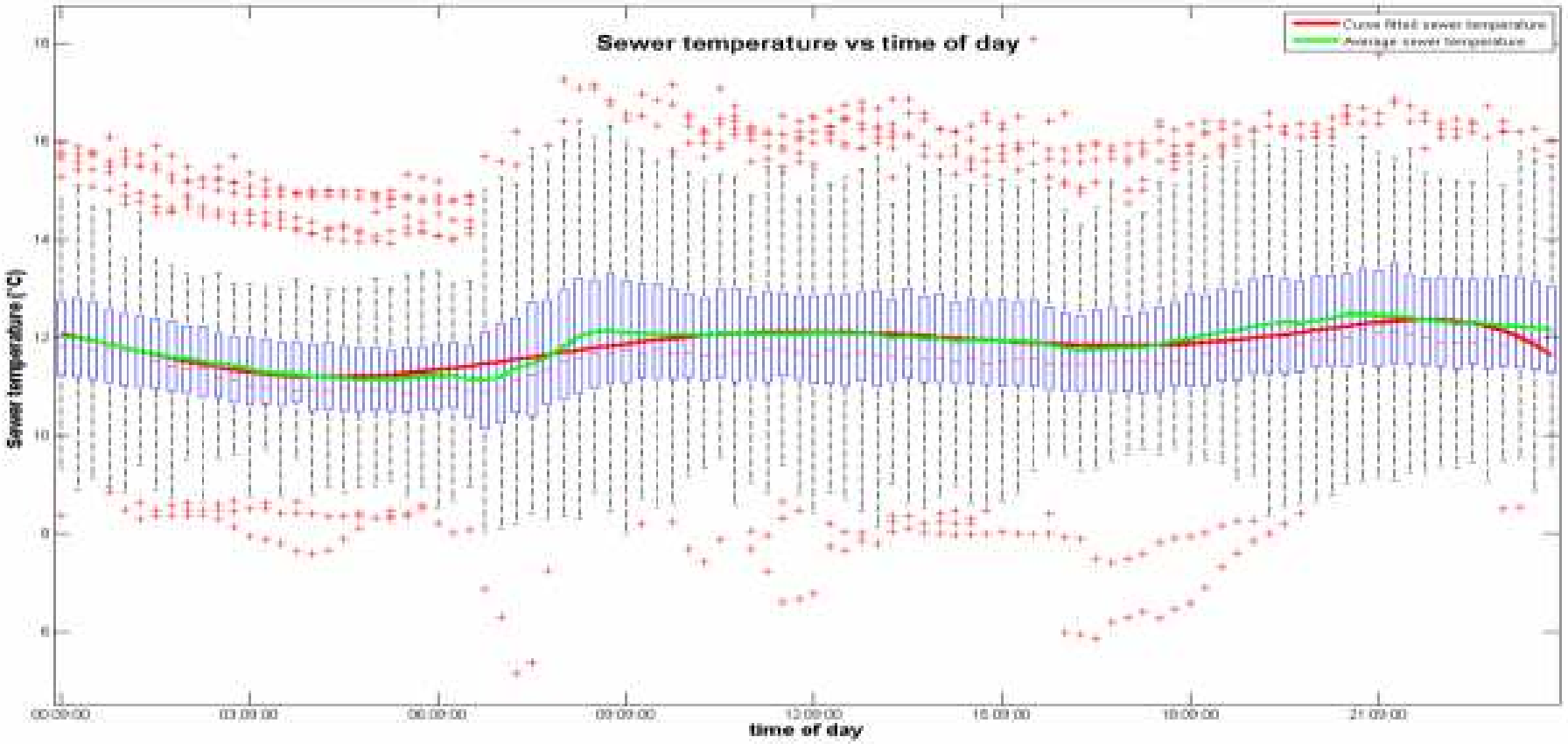


Figure 2. Average sewer temperature over a day

VIVAQUA

ULB ECOLE POLYTECHNIQUE DE BRUXELLES

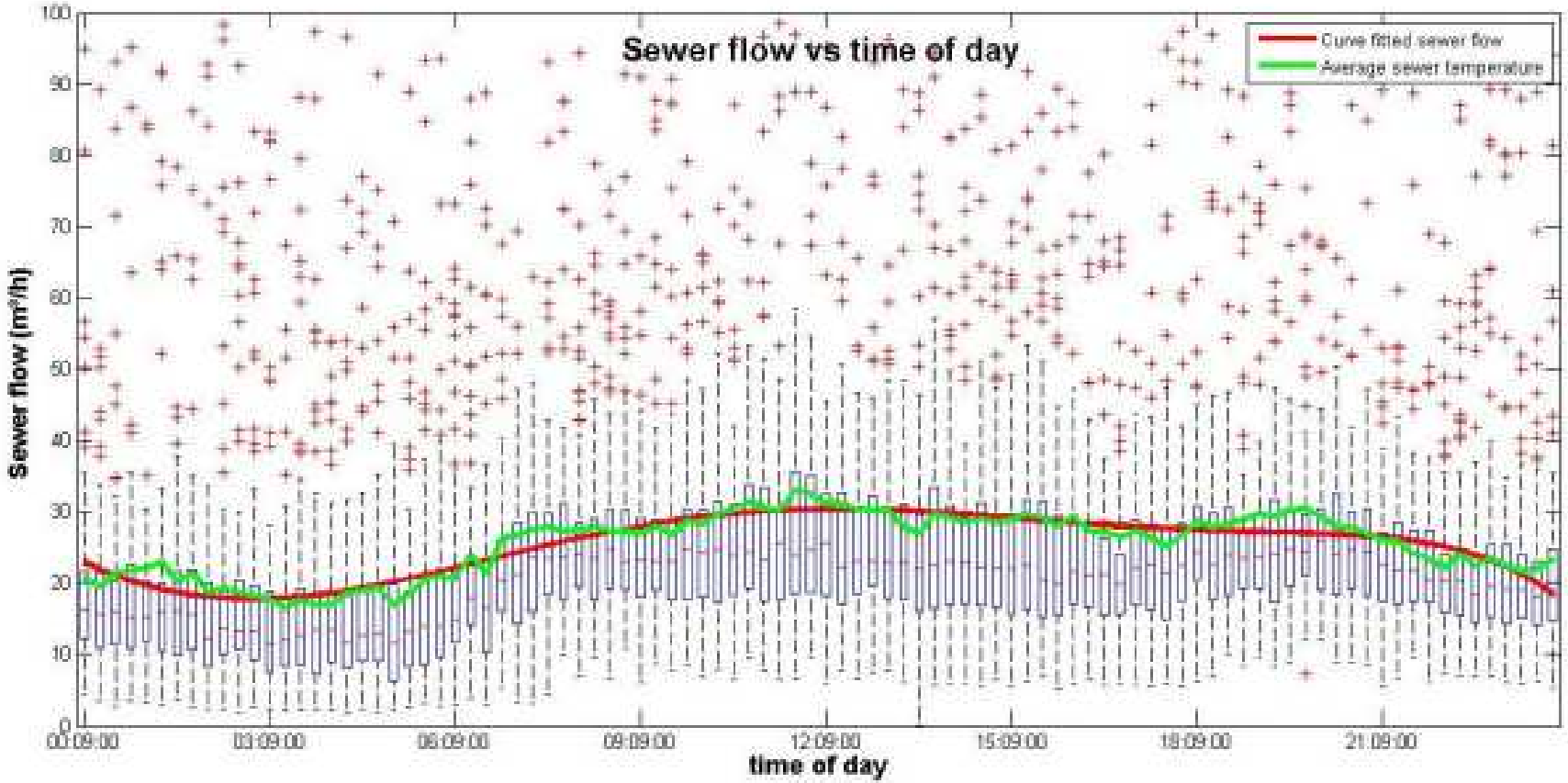


Figure 3. Average sewer flow over a day

VIVAQUA

ECOLE
POLYTECHNIQUE
DE BRUXELLES

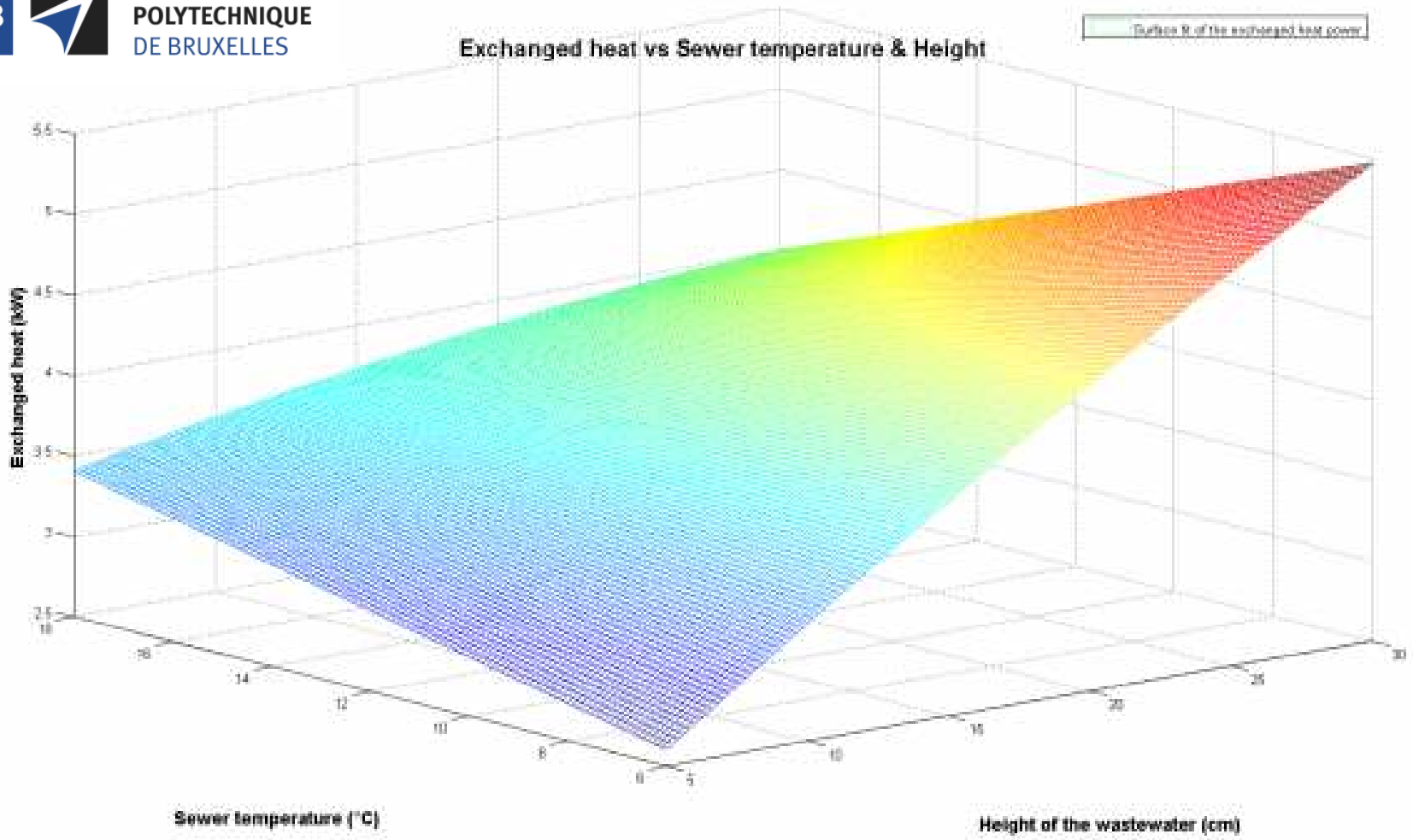


Figure 4. Exchanged heat vs the sewer temperature and height

RESULTS AND DISCUSSION

The recovered heat varies between $2{,}5 - 5{,}5\ kW$ (Figure 4), resulting in available heating power sufficient for the heating of a home of around $70\ m^2$.

ANNEXE 3

RUE RENKIN STRAAT
RUE VONDEL
FLORISSTRAAT
PLACE
COLIGNON
PLEIN
RUE VERHAS STRAAT
RUE EMMANUEL HIEL STRAAT
RUE ROYALE STE-MARIE
RUE VERWEE STRAAT
VONDELSTRAAT
RUBENSSTRAAT
RUE RUBENS
KONINKLIJKE SINTE-MARIASTRAAT
CHAUSSEE DE HAECHT
RUE VANDERMEERSCH
PLACE LEHON PLEIN
MARIASTR.
R.FRANCOIS DEGREEF STR.
RUE HANCART STRAAT
POSTSTRAAT
RUE DE LOCHT
RUE DE LA POSTE
KONINKLIJKE
RUE VANDEWEYER STRAAT
HAACHTSESTEENWEG
BUENKORFSTRAAT
AVENUE
LOUIS

VIVAQUA

Réseau Distribution
Distributie net

IMPRIME LE / GEDRUKT OP: 06/04/2017
ECHELLE / SCHAAL: 1/500
LEGENDE
Annexe à notre courrier n° / Bijlage aan onze correspondentie: Z.B.01/318.003 31745869
FORMAT / FORMAAT: A0

RUE RENKIN STRAAT

RUE VONDEL STRAAT

RUE VERHAEGEN STRAAT

PLACE COLIGNON PLEIN

RUE RENKIN STRAAT

RUE EMMANUEL HIELSTRAAT

RUE ACH. LEMAIRE STRAAT

RUE VERHAEGEN STRAAT

VONDELSTRAAT

RUBENSSTRAAT

RUE RUBENS

RUE RENKIN STRAAT

RUE VANDERMEERSCH STRAAT

RUBENSSTRAAT

CHAUSSEE DE HAECHT

KONINKLIJKE SINTE-MARIESTR.

R.FRANCOIS DEGREEF STR.

PLACE LEHON PLEIN

MARNIX STR.

RUE HANCART STRAAT

AVENUE

LOUIS

RUE DE LOCHT STRAAT

KONINKLIJKE

HAACHTSEWEG

RUE VANDEWEYER STRAAT

RUE DE LA POSTE

POSTSTRAAT

RUE VERHAEGEN STRAAT

RUBENSSTRAAT

RUE RENKIN STRAAT

CHAUSSEE DE HAECHT

BRUNFAUTSTRAAT

VIVAQUA

Réseau Assainissement
Saneringsnet

IMPRIME LE GEDRUKT OP	ECHELLE SCHAAL	LEGENDE	Annexe à notre courrier n° Bijlage aan onze correspondentie	FORMAT FORMAAT
06/04/2017	1/500	Z.B.01/318.003	31745869	A0

ANNEXE 4

HAUTE ECOLE
Lucia de Brouckère
INSTITUT HAULOT

Catégorie Agronomique
BLOC2 en **Gestion de l'Environnement Urbain**

Rapport de stage

Au sein de l'IBW, l'intercommunale du Brabant wallon

INTERCOMMUNALE
DU BRABANT WALLON

Florian GOOR

Maître-assistant responsable :
M. François Ursel

Année académique 2015-2016

Table des matières

Introduction....5
Le Stage....5
La recherche du stage....5
Analyse de l'organisation d'accueil....5
Présentation du fonctionnement de la STEP....9
Présentation du fonctionnement du compostage....9
Présentation des travaux confiés....11
Délimitation de parcelles dans un champ....11
Mélange boues/compost....11
Suivi de populations d'E Coli....13
Tests germinatifs....13
Paperasse....19
Patates....19
Evaluation de l'intérêt du stage....21
Bibliographie....24
Annexes....**Error! Bookmark not defined.**

Figure 1 Épandage de poudre sur interculture de phacélie/moutarde. Je précise tout de suite que toutes les photos ont été prises par l'auteur.

Introduction

Ce rapport de stage, de deuxième année de bachelier en Gestion de l'Environnement Urbain à la HELdB, s'est déroulé dans la « cellule valorisation des boues/compost », entre la station d'épuration (STEP) de la Dyle et la plate-forme de compostage de déchets verts, toutes deux situées à Basse-Wavre et appartenant à l'IBW, l'Intercommunale du Brabant Wallon. Le stage s'est déroulé du 29 février au 25 mars 2016, sous la directive de monsieur d'Ursel François, responsable de la cellule.

Nous avons entrepris différents tests de compostage des boues qui ont commencé à se concrétiser durant le stage, non pas sans quelques retards sur l'agenda. On parle de « cellule » de valorisation des boues/compost, mais j'ai été assez libre, j'ai pu entreprendre, suit à la lecture d'un doctorat portant sur le sujet[1], différentes expériences de mon côté, des expériences qui restent bien évidement dans le cadre du suivi des compostages.

Le Stage

La recherche du stage

J'avais déjà commencé à chercher un stage durant ma deuxième première, en espérant pouvoir le prendre de façon anticipé, ce qui n'a pas pu être fait à l'époque. Mes recherches se concentraient sur les stations d'épuration car je commençais à avoir comme idée de TFE, *l'intégration des villes dans les cyclisations biogéochimiques*, et qu'au-delà des études, l'agriculture est pour moi un milieu peu connu m'attirant beaucoup.

Après différentes demandes restées vaines dans les stations bruxelloises, je me suis concentré sur celle du BW car réputées pour la valorisation agricole de leurs boues, particulièrement celle de la vallée de la Dyle car toute rénovée, juxtaposée à la principale plate-forme de compostage du BW et accessible de la maison familiale située à Rixensart.

Analyse de l'organisation d'accueil

- L'IBW, de son nom statutaire *l'Association intercommunale pour l'aménagement et l'expansion économique du Brabant wallon*, est une SCRL, une Société Coopérative à

[1] Mme Loubna EL FELS, « Suivi physico-chimique, microbiologique et écotoxicologique du compostage de boues de STEP mélangées à des déchets de palmier : validation de nouveaux indices de maturité », sous la direction de M. Eric PINELLI et M. Mohamed HAFIDI, INP Toulouse, 2014.

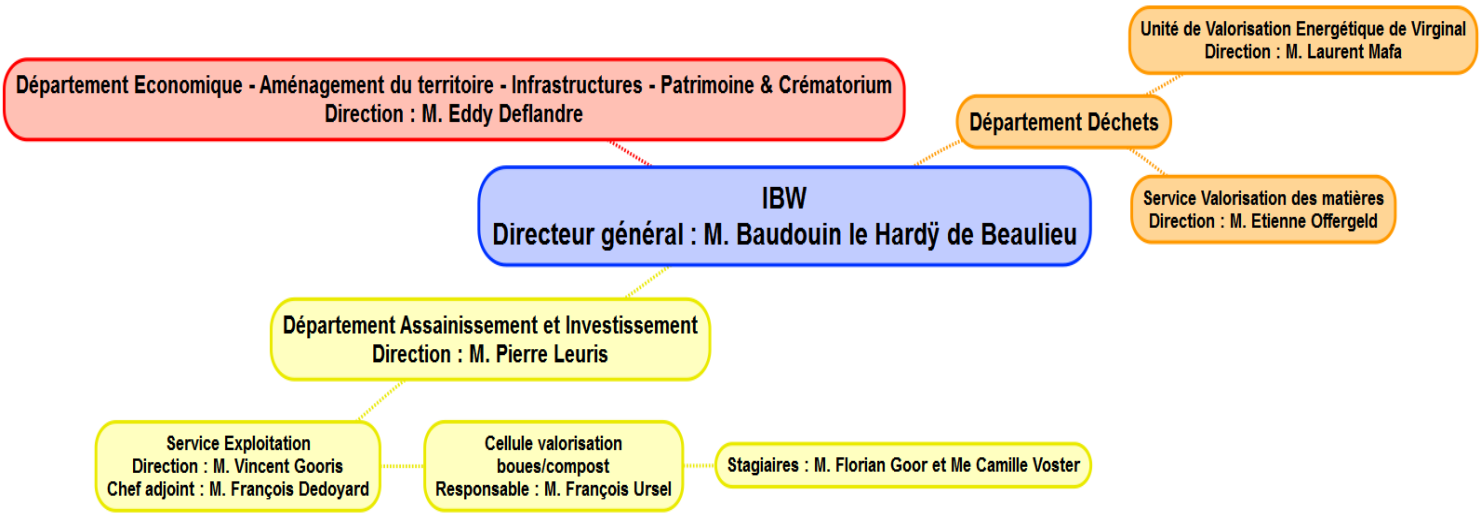


Figure 2 Schéma structurel de l'IBW fait par l'auteur

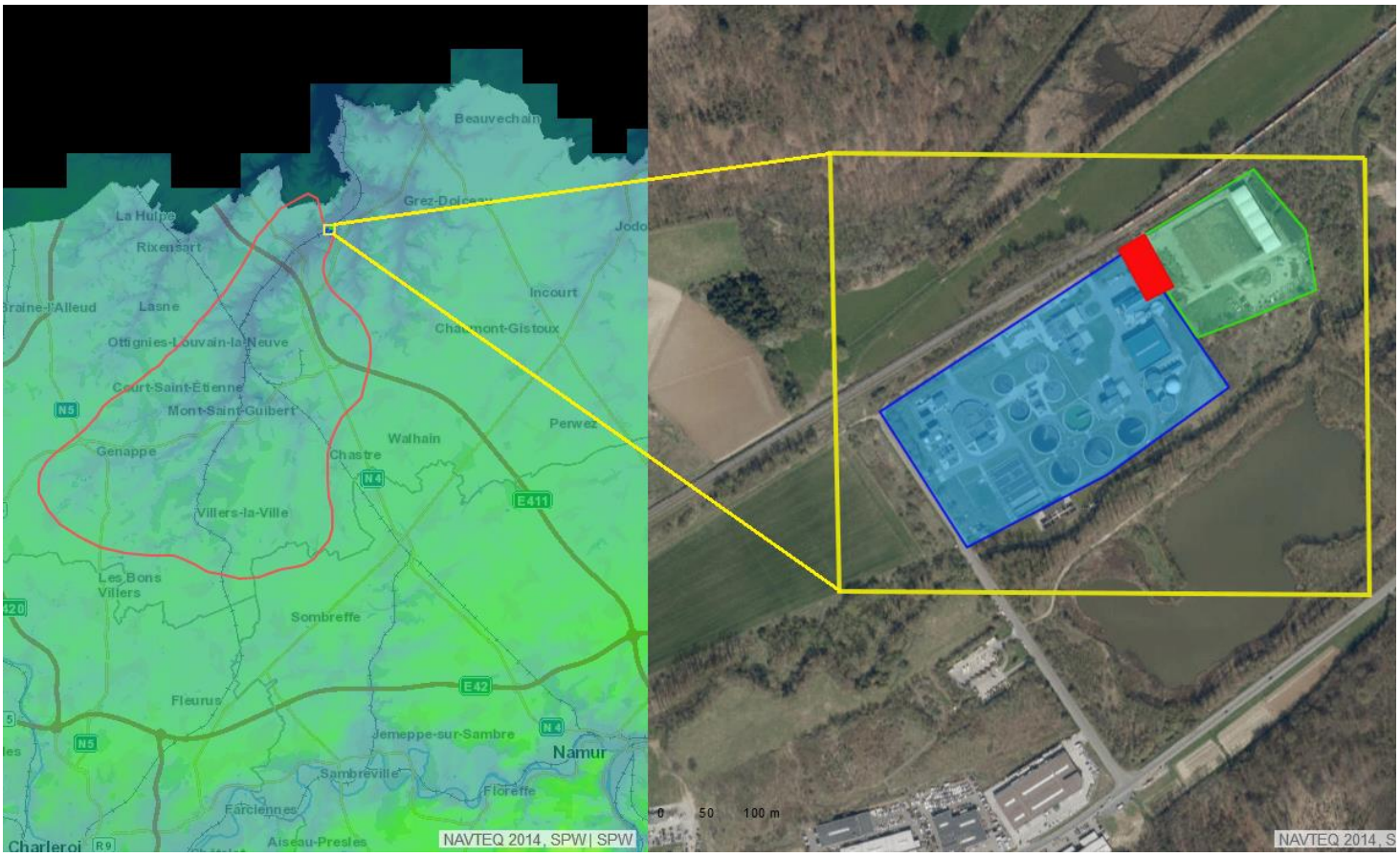


Figure 3 Plan de situation à partir du site du Géoportail de la Wallonie

Responsabilité Limitée, dont le siège social est situé au 10 Rue de la Religion à Nivelle (1400). Elle embauche 300 personnes, et est dirigée par M. Baudouin le Hardÿ de Beaulieu, son directeur général.

- L'Intercommunale est divisée en trois départements, nous étions dans la branche jaune du diagramme ci-gauche, je dis « nous » car il y avait une autre stagiaire, Camille Vosters étudiante en agronomie à Huy et issue d'une famille agricole (élevage), elle faisait un stage de troisième bachelier d'une durée de 4 mois, étant donné qu'elle était là depuis début février et que son stage finira fin du quadrimestre, son suivi des travaux demandés sera bien plus poussé. J'en profite ici pour préciser que nous travaillons sur du vivant saisonnier, de l'épandage agricole ou du suivi de co-compostage, à l'heure d'aujourd'hui il y a peu de résultats donc.
- Les deux infrastructures, **station d'épuration** et **plateforme de compostage**, sont juxtaposées sur le même site au 2 de la chaussée de Longchamp, 1300 Wavre. Et **les bureaux** de la cellule valorisation des boues/compost sont situés entre les deux. Comme la plupart des STEP elle se situe dans un zoning, à l'embouchure d'un bassin versant, en l'occurrence celui de la Dyle.
- Ce bassin, comme la plupart de ceux du BW, étant peu industrialisé, se prête bien à la valorisation agricole, car il n'y a pas ou peu d'industries lourdes donc peu de contaminations des boues, de ce fait l'IBW valorise plus de 8000 tonnes de boues livrées chez les agriculteurs par des camions, ce qui signifie plus de 90% de valorisation (94% en 2014, 97% pour 2015 si ma mémoire est bonne)[2]. Le BW est la province leader dans la valorisation agricole, beaucoup d'autres préfèrent déléguer cela à des groupes comme la SEDE (Veolia). De mon opinion j'ai la conviction que pour le suivi et la transparence, pour éviter les contaminations, le secteur public à tout intérêt à se charger de cela, d'autant plus qu'il fait le gros du travail, le plus couteux qu'est l'épuration, et que ces boues vont prendre en valeur avec le pic de

[2] Slides de présentation aux agriculteurs de François Ursel, « Valorisation des boues INTERCOMMUNALE DU BRABANT WALLON ».

Figure 4 Le biométhaniseur

Figure 5 Chaulage et séchage

	Capacité	Déchets verts traités / an	Compost produit / an
Basse-Wavre	16.600 m²	+/- 20.000 tonnes	+/- 10.000 tonnes
Virginal (Ittre)	8.500 m²	+/- 10 000 tonnes	+/- 5.000 tonnes
TOTAL:	25.100 m²	+/- 30.000 tonnes	+/- 15.000 tonnes

Table 1 issu du site officiel de l'IBW

production du phosphate minéral[3] et du gaz naturel nous permettant de synthétiser l'ammoniaque.[4]

Présentation du fonctionnement de la STEP

Je n'aurais pas le temps d'expliquer en détails ici, je vais essayer de faire vite et claire, ça commence par un traitement des eaux, puis un traitement des boues.

Traitement des eaux

Le traitement des eaux est séparé en 4 parties : les prétraitements (dessablage déshuilage), puis les traitements primaires, secondaires et tertiaires produisant des boues. Voir brochure en annexe pour plus de détails sur l'épuration des eaux.

Traitement des boues

Pour le moment les boues sont toutes dirigées vers le biométhaniseur pour être digérées, cela produit de l'énergie (CH4 brulé en cogénération pour produire de l'électricité et maintenir la chaleur du biométhaniseur). Mais l'avantage premier c'est que cela réduit de deux le rapport carbone/azote, donc les quantités de boues.

Elles seront ensuite chaulées à la chaux magnésienne puis centrifugées et, particularité de la station, séchées pour en faire de la poudre ou des pellets en fonction de l'humeur des machines et des ouvriers (le sécheur n'a pour ainsi dire pas fonctionné les trois premières semaines du stage, étant donné que la station est surdimensionnée depuis sa rénovation en 2013, surdimensionnée en vue des prédictions de croissance démographiques, ça n'a pas posé de problèmes, mais nous envisageons des alternatives au sécheur énergivore pour l'avenir (cf. compostage des boues).

Présentation du fonctionnement du compostage

Il y a deux plateformes de compostage dans le BW et celle-ci digère deux tiers des déchets verts de la province. Les déchets verts sont issus des parcs à conteneurs, des jardiniers et des espaces verts communaux. Les déchets sont déposés en début de site par les clients, puis remaniés par les buldo en deux énormes tas : les bois plus larges que 15cm de diamètre, qui seront repris par une filaire de valorisation énergétique, et les plus petits, qui seront

---

[3] Pablo Servigne, « Nourrir l'Europe en temps de crise, vers des systèmes alimentaires résilients », Edition Nature et Progrès, 2014.

[4] Matthieu Auzanneau, journaliste indépendant du monde, article « 2015 risque d'être l'année du pic pétrolier et des limites physiques de la croissance », février 2016, sur le blog http://petrole.blog.lemonde.fr

Figure 6 Peterson 6700B

Figure 7 Machine pour retourner; fixé sur un Fendt monté à l'envers

Figure 8 Refus de tamisage

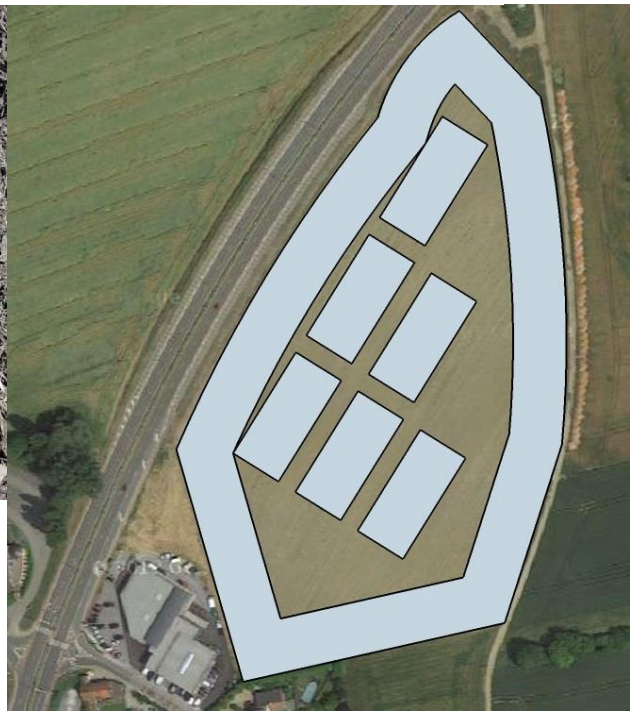


Figure 9 Parcelles delimités en champ (Google Earth)

régulièrement broyés par un Peterson 6700B, un monstre de 1000 chevaux qui est passé pour broyer l'énorme tas de déchets en moins de deux jours.

Le broyat est ensuite rajouté à l'andain par les buldo, et déplacé régulièrement pour le retourner et l'aérer. Arrivé à maturité, après 4 à 6 retournements et plus ou moins autant de mois en fonction de la météo, il est tamisé à 4cm pour les agriculteurs ou à 1 cm pour les particuliers. Les refus de tamisage partent eux en filaire de valorisation énergétique.

Présentation des travaux confiés

Délimitation de parcelles dans un champ

Nous avons délimité 6 parcelles de 24x60m (1440m²) en vue de réaliser différents tests d'épandages.

Je n'ai malheureusement pas pu assister à l'épandage des boues car il ne s'est pas fait dans les délais de mon stage, mais il devait mettre en jeux :

- des boues centrifugées, 35% de siccité
- des poudres de boue, plus de 90% de siccité
- des poudres de boues conditionnées en pellets
- du compost pur
- des poudres de boues compostées (voir détails ci-après)
- et des boues liquides à 6% de siccité, compostées (voir détails ci-après)

Mélange boues/compost

Etant donné les difficultés qu'a eues la station à conditionner en pellet les poudres, il y a des excès de poudre qui ont été en partie, lors d'un premier test, intégrées à un lot de compost destiné aux agriculteurs (déposé sur l'andain mûr et retourné deux fois). La proportion poudre/compost a été calculée pour parvenir à un équilibre NPK intéressant, car il faut savoir que les boues sont carencées en potassium, alors que le compost de déchets verts a lui du potassium en excès, d'où l'intérêt de ces types de mélanges.

L'autre test a consisté à déshydrater des boues liquides (6%) floculées avec un polymère, sur un lit de séchage en broyats posés dans des bennes. Le résultat fut très concluant, l'eau sortant des vannes des deux bennes dans lesquelles nous avons fait le mélange était assez claire, ce qui signifie que les flocs ont été retenus dans le lit de séchage. Maintenant ces

Figure 10 Prise de température du mélange boues liquides/broyat

deux mélanges vont composter pendant des mois et être régulièrement retournés, Camille fait le suivit classique (température, PH, matière sèche, etc.), moi je passerais tous les mois pour échantillonner et faire des tests germinatifs et de population d'E Coli, comme vu dans le doctorat dont j'ai parlé dans l'introduction[5], ces compostages permettraient d'hygiéniser les boues, car les actinomycètes du compost mangent les coliformes fécaux durant les montées en température.

Suivi de populations d'E Coli

J'ai pour ce faire eu l'occasion de commander chez VWR, leur fournisseur de produits et matériels de laboratoire, 90 boîtes de pétri prêtes à l'emploi pour sélectionner les E. Coli, cela revenait à moins cher que d'acheter les ingrédients séparés que j'aurais eu de toutes façons en trop grandes quantités. Le labo n'étant pas préparé pour faire de la micro-bio (stérilisation nécessaire aux UV), je pense à tout ramener à l'Institut Meurice quand les échantillonnages seront finis, seulement les boîtes prêtes à l'emploi seront périmées, ce que VWR ne m'a pas fait savoir malgré la description du test au téléphone.

Enfin ce n'est pas très grave, étant donné que je ne veux pas faire un dénombrement précis, mais juste un suivi de la population dans le temps, juste constater une diminution des pathogènes, et que je ferais tous les tests en même temps, donc elles seront toutes périmées de la même façon. Les premiers échantillons sont au surgélateur, les boîtes de pétri au frigo comme recommandé pour retarder la date de péremption, enfermées dans leur emballage stérile.

Tests germinatifs

Les tests germinatifs visent eux à mesurer la maturité du compost via leur génotoxicité, en gros leur présomption à inhiber la germination, pour ce faire j'ai préparé une petite centaine de boîtes de pétris chacune remplies de 20 graines (5 de cresson, 5 de Luzerne, 5 de laitue et 5 de navet). J'ai fait un premier test dont voici le protocole, mais c'était plus pour me faire la main, et il n'y a eu aucun résultat probant car l'incubateur est monté pas loin des 40 degrés et tout était desséché. J'en ai donc fait un deuxième plus simple par après.

[5] Mme Loubna EL FELS, « Suivi physico-chimique, microbiologique et écotoxicologique du compostage de boues de STEP mélangées à des déchets de palmier : validation de nouveaux indices de maturité », sous la direction de M. Eric PINELLI et M. Mohamed HAFIDI, INP Toulouse, 2014.

Figure 11 Préparation des boîtes et des mélanges.

Figure 12 Première expérience ratée

Premier test germinatif

Imbiber les papiers buvards et papier en microfibres de verre des 3 différentes solutions (100g de mélange, 20g de boues et 80g de compost dans 1l d'eau distillée).

100g de mélange compost/poudre de boues 90%

Le 10/03/16, posage de poudre de boues séchées sur andain (20% de poudre et 80% de compost), retourné le 11 et tamisé la semaine suivante.

Le 18/03/16 échantillon récolté en 15 endroits sur l'andain comme l'échantillon compost seul le 11, mais après une semaine de maturation, pas d'odeur particulière.

Le 22/03/16 dégagement d'une odeur de brûlé après décongélation et ouverture de l'échantillonnage.

Mélange de 25g du mélange avec 225cl d'eau distillée (10%).

Test germinatif

3ml dans boites sous filtres en microfibres (code boîte : 3ssFMF 22/3 cp) et 2 ml sur et sous filtres en papier buvard pour l'optimum d'absorption. (Code boîte : 2srFPB 22/3 cp et 2ssFPB 22/3 cp)

20 graines par boites (luzernes, cresson, navet et laitue, 5 de chaque)

80g de compost brut

Le 04/03/16, tamisage à 4cm de compost pure pour agriculteurs (opération normale).

Le 11/03/16 échantillon récolté en 15 endroits sur l'andain tamisé, odeur d'humus normale, congélation pour test.

Le 22/03/16 dégagement d'une odeur d'humus normale après décongélation et ouverture de l'échantillonnage.

Mélange de 20g du mélange avec 230cl d'eau distillée.

Test germinatif

3ml dans boites sous filtres en microfibres (Code boîte : 3ssFMF 22/3 c) et 2 ml sur et sous filtres en papier buvard pour l'optimum d'absorption. (Code boîte : 2srFPB

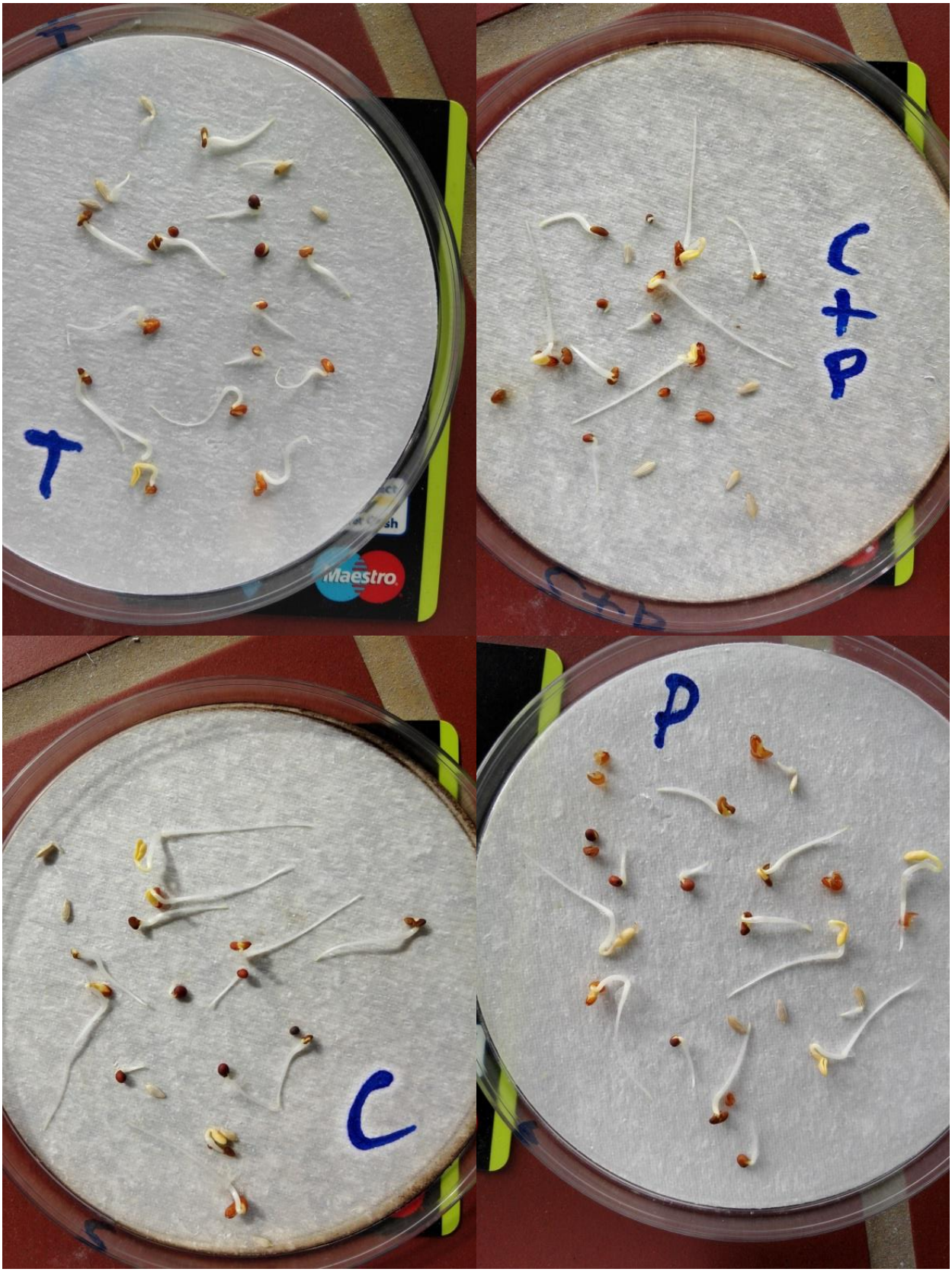


Figure 13 Test réussis, la carte bancaire servira à faciliter les mesures.

22/3 c et 2ssFPB 22/3 c) pose de 20 graines par boites (luzernes, cresson, navet et laitue et, 5 de chaque)

20g boues séchée

Le 18/03/16 échantillon récolté en 15 endroits sur le tas de poudre, odeur normale de lisier séché.

Le 22/03/16 odeur normale de lisier séché après décongélation et ouverture de l'échantillonnage.

Mélange de 5g du mélange avec 215cl d'eau distillée.

Test germinatif

3ml dans boites sous filtres en microfibres (code boîte : 3ssFMF 22/3 p) et 2 ml sur et sous filtres en papier buvard pour l'optimum d'absorption. (code boîte : 2srFPB 22/3 p et 2ssFPB 22/3 p)

20 graines par boites (luzernes, cresson, navet et laitue et, 5 de chaque)

Codes références

- Ss = sous
- Sr = sur
- FMF = Feuille micro fibre de verre
- FPB = Feuille en papier buvard
- C = compost
- C+P = compost + poudre
- P = poudre
- T = témoin (eau distillée pure)

Deuxième test germinatif

C'est le même en largement simplifié, car malgré l'échec du premier test, il m'a appris que les feuilles en microfibre de verre sont plus adaptées que le papier buvard, et qu'il était préférable de mettre la solution en-dessous du papier plutôt qu'au-dessus. Tout ça n'était pas précisé dans le doctorat. J'attends maintenant de répéter l'expérience dans le temps pour pouvoir en sortir des conclusions.

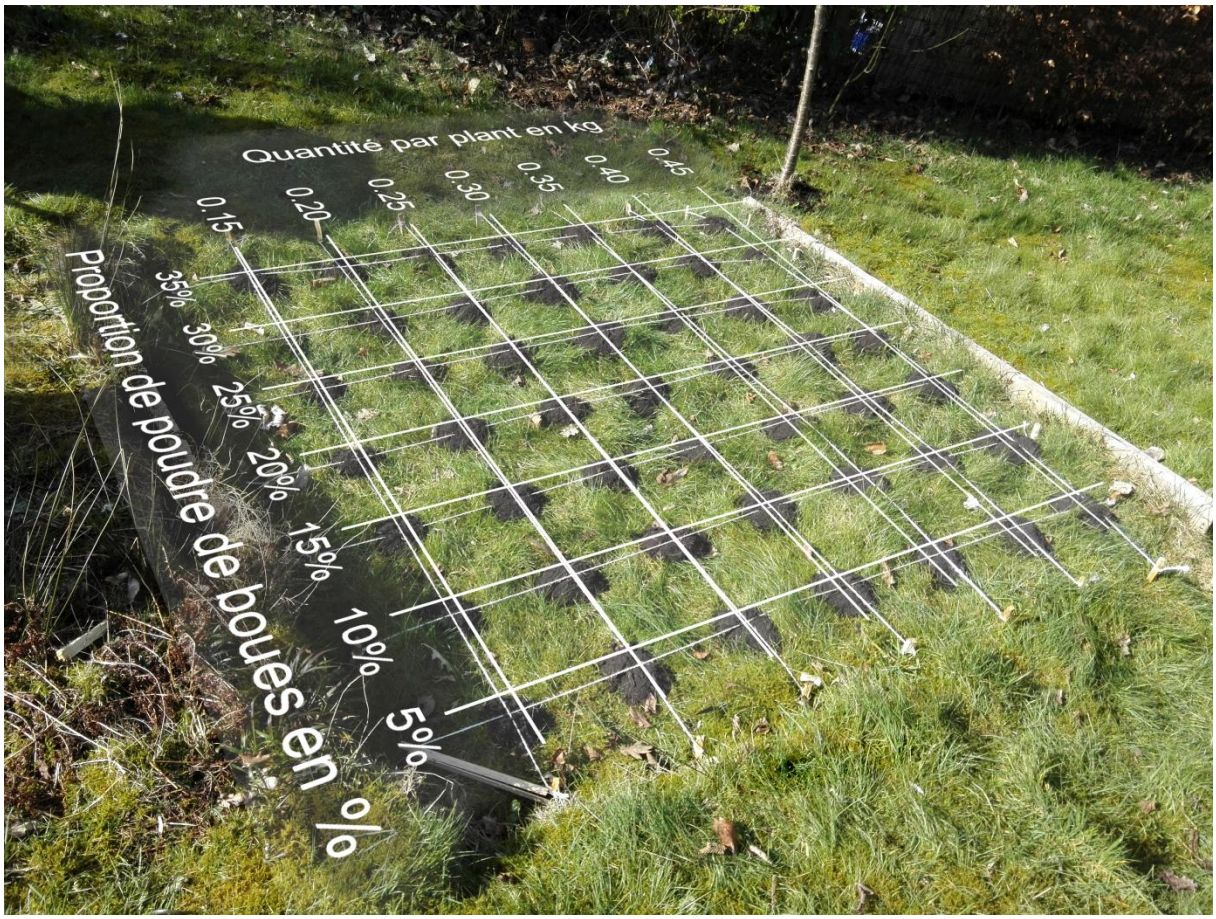


Figure 14 Test bi-varié, avec comme valeur médiane les valeurs normales d'épandage et de mélange.

Figure 15 Le potager vous dit salut bonne nuit

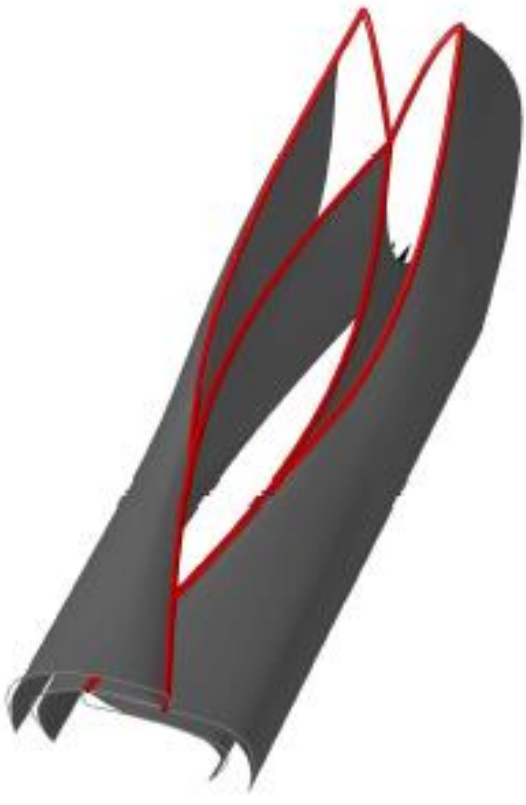


Figure 16 Esquisse de planteuse sans labour (AutoCAD)

Paperasse

J'ai aussi eu droit à un encodage de paperasse, ça je sais que ce n'est pas fait pour moi, mais l'administration est ce qu'elle est, et il faut encoder les suivis des agriculteurs dans 4 dossiers différents, tantôt informatiques, tantôt manuscrits. A vrai dire j'étais étonné que ce ne soit pas plus homogénéisé et informatisé dans un serveur central.

Patates

À côté de ça j'ai une passion pour les patates en permaculture, l'autonomie calorifique avec si peu de travail, c'est magique. Il suffit de les poser au sol, sur le gazon directement, et de les recouvrir généreusement de compost puis de paille ou de foin. C'est un débat que François a lancé une fois alors que l'on parlait de maraichage sans labour, pourquoi préférer le foin à la paille ? Alors que le foin est remplit de graines et que le rôle premier du paillage, c'est de désherber. La réponse que j'ai, à avoir manipulé les deux durant les congés de pâques, c'est que la paille est beaucoup plus légère et aura tendance à s'envoler, et le foin étant utilisé pour l'alimentation animale, il est plus riche en protéines donc en azote pour le sol.

Dans mon potager j'ai lancé plusieurs test, j'expérimente la patate sans travail du sol depuis quelques années et ça fonctionne et bien, avec beaucoup de compost du moins, ce qui n'est pas le cas de l'expérimentation bi-varié où j'ai mis les valeurs d'épandage en plein champ comme médiane aux variables. Le reste ce sont des tests avec du foin, de la paille, du compost pure ou du mélange avec 20% de poudre. J'ai été chercher mon foin et ma paille chez Emmanuel Snyers de la ferme du Woo, il fait du foin pour les manèges, il mettait des boues sur ses prairies par le passé et m'a fait savoir qu'il connaissait François de là. Aujourd'hui il est passé en bio et ne peut donc plus mettre de boues d'épuration.

Des tests de plantation mécanisée de patates dans du foin d'interculture pourrait être envisagés par des organismes de recherche, mais aucun agriculteur prendrait ce risque évidemment. Personnellement je suis en train de réfléchir à une nouvelle machine agricole pouvant accomplir cela, en voici une première esquisse ci-gauche, je mettrais les plans en open-source dans le cadre de mon TFE. L'érosion doit stopper et vite alors commencer à vouloir breveter le bazar ce ne serait pas seulement ridicule, ce serait néfaste.

Figure 17 Vapeur d'eau et de gaz carbonique dégazant de l'andain un matin de givre

Evaluation de l'intérêt du stage

C'est exactement ce que je cherchais, bien que les déplacements n'étaient pas évidents car comme beaucoup de jeunes bruxellois, je n'ai pas encore le permis et l'accès n'était pas facile (50min de vélo ou 1h de train). Du reste je n'en demandais pas mieux, d'autant plus que l'on m'a laissé faire mes trucs de mon côté dans le labo, ce qui me convenait bien.

Mes apports réels pour l'IBW ne seront mesurables que plus tard, mais de mon côté, j'ai pu en apprendre plus sur la valorisation agricole des boues/compost. Bien que nous étudions les bases de l'agronomie, j'étais perdu quand on me demandait de calculer la quantité d'azote nécessaire ou quoi, enfin bon après l'agriculture ce n'est pas l'objet de nos études non-plus.

Comme dit dans l'introduction j'ai choisi ce stage dans le cadre d'expertise, très large, de mon TFE. Il consiste en l'intégration des villes dans les cyclisations biogéochimiques, les STEP sont des nœuds fondamentaux dans ces cyclisations entre les écosystèmes urbains et les agrosystèmes. Je pense que dans l'établissement de ceintures alimentaires permettant d'accroitre la résilience des villes[6], collaborer avec les agriculteurs se fournissant dans les STEP est très intéressant, pas seulement car ils seront plus faciles à contacter et à sensibiliser, mais aussi car cela permettra de sensibiliser les populations urbaines sur la nécessité de les fournir en engrais de bonne qualité, en cherchant à éviter la contamination du réseau d'égouts collecteur, en favorisant l'utilisation de produits d'entretien biodégradables ou en diminuant la surmédication, comme l'exemple bien connu de la pilule contraceptive qui stérilise les poissons.

Des réflexions que j'ai eues avec mes lectures pour mon TFE, je ne peux qu'avoir un avis critique sur le fonctionnement des STEP et des centres de compostage, d'abord fondamentalement sur les gaspillages énormes en énergie, visible ci-gauche un matin de givre. Il faut absolument chercher à systématiquement récupérer l'énergie libérée durant les procédés d'humification diminuant le C/N, c'est ce que fait avec brio le biométhaniseur, mais réfléchir à l'intégration du compostage dans le maraichage est très important, les maraichers pratiqu(ai)ent la méthode de la couche chaude permettant, tout en compostant,

[6] L'épisode de grève des transporteurs est un exemple terrifiant de l'autonomie alimentaire des villes, dans un contexte de commerce mondialisé dénué de toute raison, en une semaine la moitié des rayons étaient vides.

Figure 18 Comment valoriser cet espace pour profiter de cette chaleur ?

Figure 19 émanations de poussières durant le chargement d'un camion

de faire chauffer la serre et de l'engraisser en CO2, pourquoi ne pas transformer les centres de compostage en centre de maraichage intensif ? On pourrait faire pousser des ananas en hiver, et cela créerait énormément d'emplois.

Ce discours est mignon, mais il ne prend évidemment pas en compte les réalités de terrain. Les ouvriers se plaignaient régulièrement du manque de place sur la dalle de compostage, et l'eau arrivant dans la STEP est bien trop diluée pour envisager faire de la biométhanisation sans passer par les process de boues-activées. Durant ce procédé l'on injecte de l'oxygène à grands coups de pompes électriques pour que les micro-organismes mangent rapidement les matières en suspension, cette injection d'oxygène, c'est la plus grande part de consommation énergétique d'une station d'épuration, jusqu'à 60%, et contradictoirement, elle fait perdre de l'énergie en brûlant les matières en suspension que l'on aurait pu récupérer par biométhanisation.

En estimant à la grosse louche, les bulldozers et les camions consomment plus de 400l de mazout par jour, leur utilisation est indispensable au fonctionnement du système, mais il serait quand même plus judicieux de chercher à rendre le système plus productif en contrepartie. À terme les biocarburants de troisième génération pourraient alimenter la flotte, mais à l'étude des écosystèmes, les matières ligneuses sont avant tout faites pour nourrir le sol. On fera probablement un tri entre tontes de gazons et tailles de haies à l'avenir, puisque l'on peut plus facilement transformer la cellulose libre de lignine en bio-carburant. Le jour où ces infrastructures seront en véritable autonomie énergétique, on aura déjà significativement accru la résilience du système face à la raréfaction des ressources.

Un regret c'est probablement de n'avoir pas pris d'adresses d'agriculteurs faisant des TCS (techniques culturales simplifiées) ou de l'agroforesterie, et c'est pas faute d'avoir demandé. J'aurais l'occasion de revoir François dans les mois à venir, j'insisterais plus.

Et pour finir sur une note critique, les émanations de poussière faisaient male à la gorge, encrassait les bagnoles, et toute cette matière passe entre les doigts du processus de cyclisation. Bien que le sécheur permette de réduire d'un facteur trois les trajets de camion car moins d'eau à transporter, il est quand même fort critiqué e interne.

Bibliographie

- Mme Loubna EL FELS, « Suivi physico-chimique, microbiologique et écotoxicologique du compostage de boues de STEP mélangées à des déchets de palmier : validation de nouveaux indices de maturité », sous la direction de M. Eric PINELLI et M. Mohamed HAFIDI, INP Toulouse, 2014.
- Slides de présentation aux agriculteurs de François Ursel, « Valorisation des boues INTERCOMMUNALE DU BRABANT WALLON ».
- Pablo Servigne, « Nourrir l'Europe en temps de crise, vers des systèmes alimentaires résilients », Edition Nature et Progrès, 2014.
- Matthieu Auzanneau, journaliste indépendant du monde, article « 2015 risque d'être l'année du pic pétrolier et des limites physiques de la croissance », février 2016, sur le blog http://petrole.blog.lemonde.fr
- http://www.ibw.be/dechets/compostage/

ANNEXE 5

Simulation de l'effet de serre, pouvoir calorifique de l'eau et latence d'enthalpie.

Ces deux expériences simples et didactiques permettent de visualiser facilement certains principes fondamentaux de la machine climatique.

Expérience 1 : L'effet de serre et le pouvoir calorifique de l'eau.

Matériel

- 3 Erlen
- 3 thermomètres pour mesurer la température de l'air dans les Erlen
- 3 agitateurs
- 3 sources d'IR
- 1 bouteille d'eau gazéifiée au CO2
- 2 bouteilles d'eau plate

Protocole

1. Mettre une bouteille d'eau pétillante et une d'eau plate au frigo. Laisser la deuxième d'eau plate à température ambiante.
2. Disposer trois Erlen sur trois agitateurs à la distance de trois sources d'IR de même puissance.
3. Disposer les thermomètres à l'intérieur des Erlen, de sorte qu'ils soient à l'ombre de la source d'IR avec un cache en plastique ou quoi.
4. Remplir chacun des Erlen à un tiers d'eau fermer les avant de démarrer les agitateurs et les sources d'IR.
5. Mesurez la température toute les minutes

Expérience 2 : Latence d'enthalpie

Matériel

- 1 Bécher
- 1 thermomètre de cuisine
- 1 agitateur-chauffeur
- 1 bouteille à température ambiante
- Et des glaçons

Protocole

Remplir le bécher d'eau et de glaçons, lancer l'agitateur-chauffeur et mesurer la température toutes les 3 minutes

Remarque

La première je l'ai déjà fait pour des petites conférences à l'école secondaire de façon plus rustique, et la seconde je l'ai vu dans un documentaire.

Florian Goor, 28/10/2016

ANNEXE 6

HAUTE ÉCOLE LUCIA DE BROUCKÈRE
Enseignement Supérieur Agronomique

RAPPORT DE STAGE

Florian GOOR

Section : Gestion de l'Environnement Urbain GEU-BLOC3

Lieu de stage : IRMW – Cellule Nutrition Santé

Date : 06/06/2017

Année académique 2016 - 2017

1. Table des matières

1. Table des matières 2
2. Introduction – choix du lieu de stage 3
3. Présentation du lieu de stage 4
4. Présentation des tâches, missions, projets réalisés 5
Aquaponie à l'Institut Meurice 5
Maintenance des deux systèmes et lancement du NFT 5
Traitement de données 6
Bilan d'énergie, d'eau et de biomasse. 7
Mosaïque potagère à l'Institut Redouté Peiffer 8
5. Présentation d'un bilan personnel 9
6. Conclusion 9
Liste de contact 10

2. Introduction – choix du lieu de stage

J'ai eu un parcours tumultueux pour trouver mon stage donc ne soyez pas étonnés des émois exprimés ici-bas, mais je tiens à commencer par dire que je n'ai aucun regrets et que j'ai fort apprécié mon stage. J'ai d'abord voulu faire un stage chez Gregory Reinbold, le garde forestier de la forêt de Soigne, j'ai fait une première demande en juin dernier, sans réponse. Ensuite j'ai présenté mon projet d'ilot triangulaire et d'endiguement de croissance végétale à Bruxelles environnement en septembre, j'ai eu un retour positif du directeur de la division espaces verts, qui m'a suggéré un lieu et des modifications à mon projet d'ilot triangulaire en vannerie vivante, j'ai donc retravaillé mes documents en fonction, et nous avons fixé un rendez-vous à son bureau pour clôturer tout ça, mais sa secrétaire m'a fait savoir sur place qu'il aurait du retard suit à une réunion importante, j'ai attendu ¾ d'heure pour qu'il n'arrive finalement jamais, j'ai donc renvoyé une lettre de motivation et mes disponibilités, avec sa secrétaire en Cc , sans réponse, deux semaines après je recommence, avec cette fois-ci une réponse de la secrétaire me promettant une réponse au retour du congé du concerné, j'ai aussi laissé des messages vocaux, mais à partir de là silence radio, impossible d'avoir une réponse. Nous somme en décembre, j'étais le premier à avoir un stage, et je me retrouve dernier sans stage la veille du blocus.

Puisque ce projet me tient réellement à cœur j'ai arrêté d'aller aux cours pour travailler pour le financer, avec un ressentiment contre le concerné qui remonte du simple fait d'écrire ces mots. Par besoin de rupture je lui ai d'ailleurs envoyé un mail lui précisant qu'il valait mieux qu'il m'envoi clairement bouler plutôt que de me laisser dans le doute, car le résultat de ce doute c'est une session ratée (alors que confiant d'avoir mon stage, en novembre, j'avais comme objectif d'atteindre la distinction cette année), du stress, des semaines de dépression, plus d'un mois de ma vie gâché, et ce mois d'aout qui vient en prime, nulle doute que des rancunes reviendront durant le mois d'aout sans excuses de sa part. Nous sommes toujours en conflit, il ne veut juste pas le voir, on a vu dans le cours de gestion des conflits que c'est la pire des postures à prendre, et je comprends parfaitement pourquoi maintenant, plus les mois passent, pire c'est. Je vais lui envoyer cette page en courrier recommandé, car je n'aime pas commérer dans le dos des gens ce n'est pas mon genre et ce n'est certainement pas la bonne posture à prendre pour clôturer un conflit.

Enfin bref fin décembre je me suis remis à chercher un stage parce que j'ai réalisé que si j'abandonnais les études j'allais me faire taper par mes parents, j'ai alors envoyé mon projet à une cinquantaine d'acteurs susceptibles d'être intéressés par l'étude des associations de plantes du jardin tri-varié (inscrit dans l'ilot triangulaire), j'ai eu pas mal de réponses positives mais seulement deux à Bruxelles, il est donc installé au jardin Latinis à Schaerbeek avec mon budget et durant mon temps libre, avec l'aide d'amis, seulement tout est mort avec la sècheresse. L'autre réponse c'est l'institut Redouté Peiffer où j'ai passé une partie de mon stage, il m'a été confié comme mission de faire douze associations/rotations de culture pour un projet éducatif de mosaïque potagère, et un tableau entrecoupant 4 sources d'associations de plantes, ce sera développé en détails dans le présent rapport. Entre temps j'avais aussi fait une demande à l'aquaponie du campus dans l'intérêt d'étudier le cycle de l'azote notamment, ou j'ai été accepté par Antoine Morthier, mon maître de stage officiel que je remercie ici sincèrement.

3. Présentation du lieu de stage

Alors j'ai été engagé comme technicien en agriculture urbaine par Antoine Morthier, conseillé en alimentation saine et durable au sein de la cellule nutrition santé de l'IRMW, l'institut de recherche de l'ancienne COCOF (commission communautaire française) aujourd'hui appelé l'SPFB (Service Public Francophone Bruxellois), comptant une série d'administrations, dont l'administration de l'enseignement et de la formation professionnelle qui nous concerne ici.

Service de l'organisation générale des sites d'enseignement
Conseiller chef de service : **Jean-Pierre JAUMOTTE**
Service enseignement
Conseillère chef de service : **Nathalie MALISOUX**
Service de la Formation professionnelle et du Transport scolaire
Conseiller chef de service: **Emmanuel BAUFAYT**
Institut de recherche WIAME (IRMW)
Conseiller chef de service : **Alain DURIEUX**

Coordinatrice : **Caroline ETIENNE**

Conseiller en Alimentation Saine et Durable : **Antoine MORTHIER**

Nous avons travaillé sur un projet de mosaïque potagère au Bon Air avec François Letor de l'institut Redouté-Peiffer et sur l'aquaponie de l'Institut Meurice avec la Haute Ecole Lucia de Brouckère, où je suis très accessoirement aussi étudiant.

4. Présentation des tâches, missions, projets réalisés

Aquaponie à l'Institut Meurice

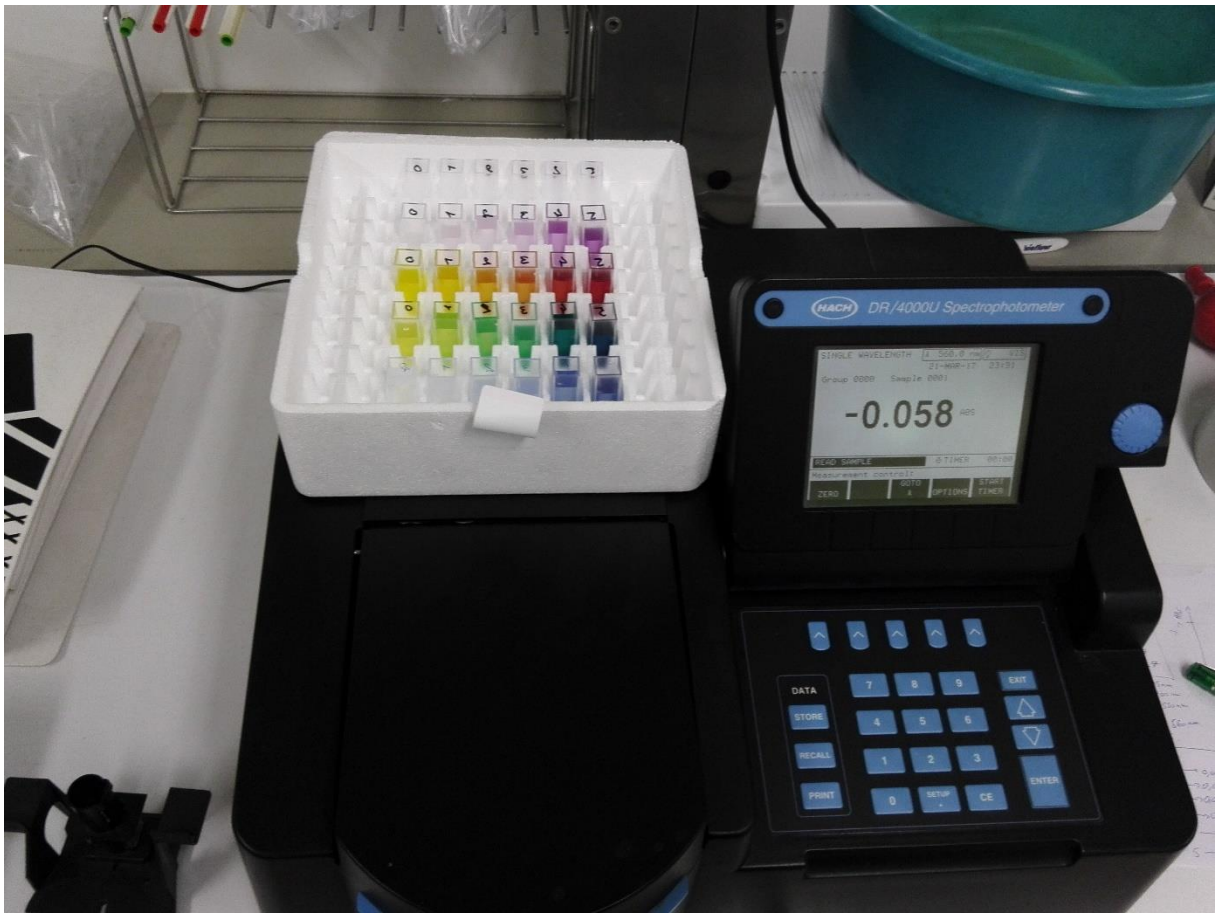
La serre a été installée durant le stage de l'année dernière (2016) avec Sébastien Funcken en stagiaire et l'aide de Damien Foguenne, donc deux anciens GEU. Depuis lors un premier système de « bac substrat » et un deuxième dit « d'eau profonde » ont été installé, les deux connectés au même bac de poisson. Et nous avons lancé le troisième système dit NFT (technique sur film nutritif) durant mon stage. On a donc en un lieu d'étude, les trois systèmes les plus représentés dans les aquaponies homemade qu'on peut trouver sur internet.

Maintenance des deux systèmes et lancement du NFT

Ici-bas à gauches vous voyez le bac substrat (billes d'argile) et le bac eau profonde (frigolite), et ici-bas à droite, vous voyez le système NFT (tubes PVC), tout est schématisé dans le document en annexe appelé « trois systèmes aquaponiques expérimentaux dans une serre ».

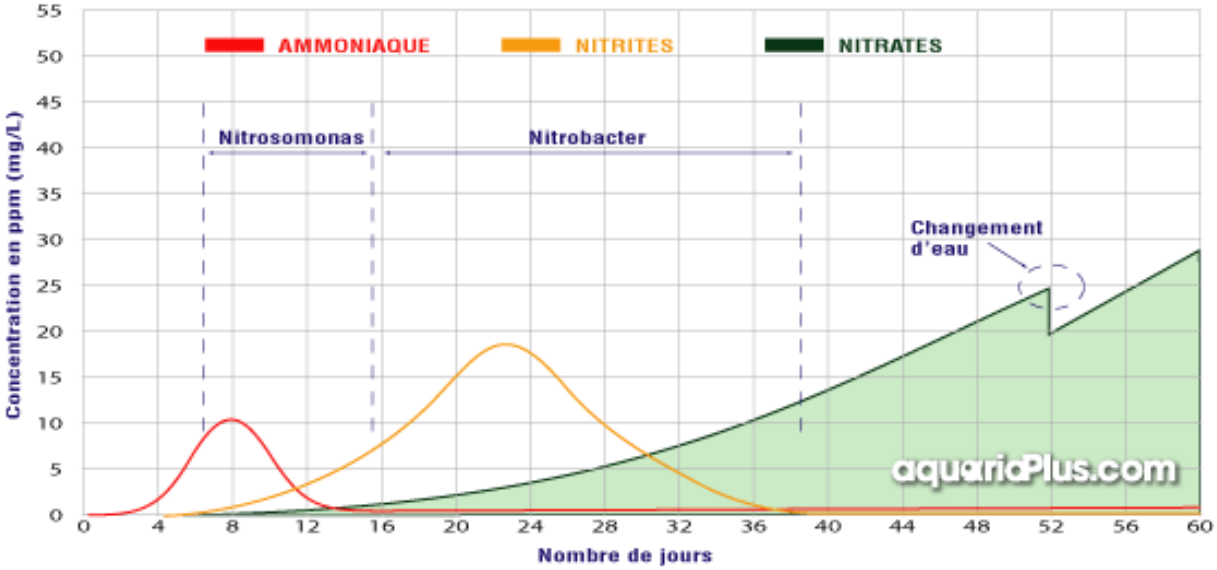
Au-delà du travail sur le terrain, j'ai passé pas mal de temps à analyser l'eau au laboratoire par colorimétrie et absorbance au spectromètre. La photo ici-bas montre le travail préalable qu'on a fait avec Ruben Werquin, on voit clairement les cuvettes remplies de solutions standards avec différentes dilutions en vue d'établir les courbes d'étalonnage qui faciliteront les analyses d'eau à l'avenir, plus c'est foncé, plus ça signifie que y'a un truc dans l'eau (le mauve c'est le fer, le rouge le nitrite ou nitrate, le vert l'ammoniaque et le bleu le

phosphate), j'ai donc fait une à deux analyses par semaine, ou plutôt deux à quatre car le système NFT est venu doubler les analyses à faire.

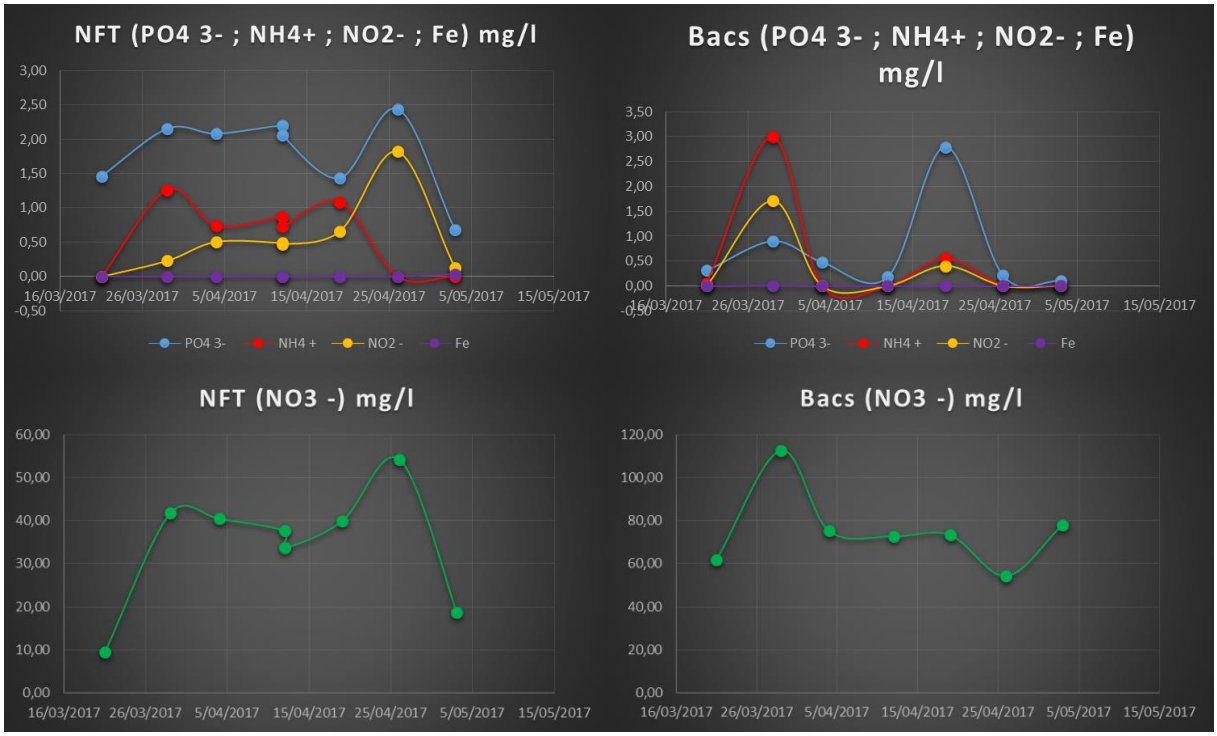


Traitement de données

Globalement les choses les plus intéressantes qui ont été tirées de ces données, c'est la réduction de l'ammoniaque en nitrite par *Nitrosomonas* et du nitrite en nitrates par *Nitrobacter*, ici-bas un graphique issue du site aquarioplus.com (tout l'aspect analyse est plus approfondi dans le document « niche écologique de la carpe » en annexe.)

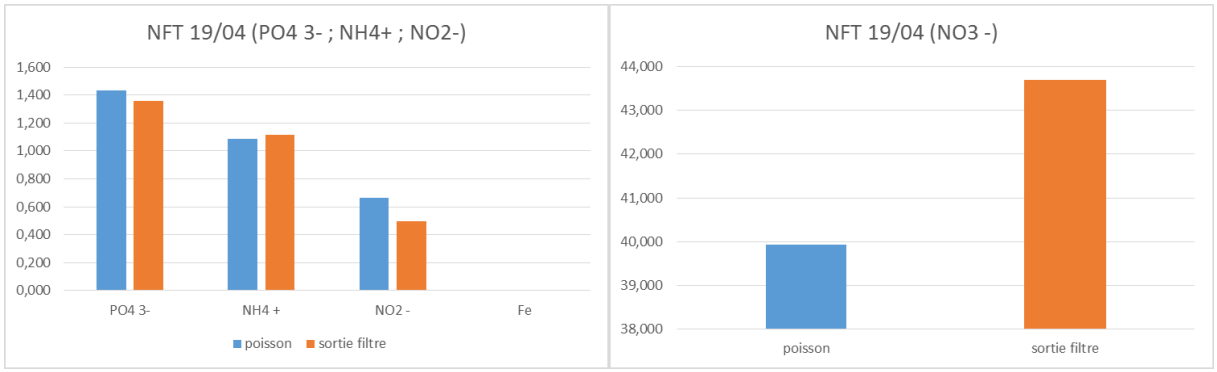


Mais dans les faits ça ne s'est pas passé comme ça, car on a eu une panne de courant, une pompe qui nous a lâchée et de plus, en aquaponie les plantes absorbent les nitrates bien plus que dans un aquarium classique ce qui diminue les changements d'eau.



Donc voilà c'est assez anarchique suit aux problèmes qu'on a connu, je suis un peu déçu, enfin bon on voit la succession ammoniaque, nitrite, nitrate dans le NFT si on fait attention.

Du reste ici on voit une analyse de l'eau du NFT le 19 avril, **en bleu c'est l'eau du bac de poissons**, en **orange l'eau en sortie de filtre**, le filtre fait augmenter l'ammoniaque, car à ce moment-là on connaissait une deuxième montée d'ammoniaque suit à la panne, mais ce qui est intéressant c'est la nette réduction du nitrite en nitrate de la première montée quelques semaines auparavant.



Bilan d'énergie, d'eau et de biomasse.

On a aussi récolté tout une série de données importante pour la maintenance de la serre (pH, electro-conductivité, température intérieur/extérieur, coupure de courant, ajout d'eau, nutrition des poissons, etc), et de cela on peut notamment extraire un bilan d'énergie, d'eau et de biomasse.

Je vais limiter ce bilan au système de BACS (substrat + eau profonde) car le système NFT étant en lancement il n'a quasiment rien produit durant la période du stage.

Le système a consommé 95,952 KWh d'électricité et 416 litres d'eau, les poissons ont consommé 1539,9 Kg de nourriture. Tout ça pour produire 6,216 Kg de légumes. Ça fait chero… Nous n'étions pas dans la période la plus productive de l'année ça c'est claire, mais comparativement pour m'amuser, j'avais planté des salades en pleine terre qu'on avait de trop, l'histoire ne dira pas que sur les 5 plantées, 4 ont été mangées par les lapins de garenne, j'ai grillagé la survivante (une laitue Lolo Verto), et alors qu'elle n'a même pas profité de la chaleur de la serre ni de l'arrosage (et il n'a pas beaucoup plus), elle est nettement plus grosse et plus verte que celle qui a poussée dans le système NFT…

Mosaïque potagère à l'Institut Redouté Peiffer

Avec Redouté-Peiffer j'ai donc dû faire 12 plans de rotations/associations de culture sur 4 ans (voir annexe) pour un projet de mosaïque potagère, et j'en ai profité pour faire un tableau d'associations entrecoupant 4 sources (voir annexe). Le projet est à but éducatif avec des jeunes du secondaire, visant donc en gros à enseigner le maraîchage biologique.

La photo ici-haut à gauche c'est celle d'une des 4 parcelles de la photo de droite.

5. Présentation d'un bilan personnel

Alors ce fut très instructif, mais les choses avancent toujours plus lentement que ce que l'on souhaite et il y a toujours des embuches. J'ai souvent eu le sentiment d'être décalé, n'étant pas du matin, j'étais très productif au moment où je devais quitter le bureau et c'était assez frustrant. J'aime beaucoup être sur le terrain, mais devant faire un compte rendu écrit systématique c'était aussi relativement contreproductif, car plus tu en fais sur le terrain, plus du dois travailler pour retranscrire au bureau, et finalement l'équilibre n'est pas évident à atteindre.

Enfin bref globalement j'en ressors grandi, j'ai dû bien plus travailler que l'année dernière où j'étais laissé à moi-même, en sois je ne suis pas mauvais quand je suis laissé à moi-même mais j'ai quand même une tendance à glander plus prononcée forcement. Reste que du fait d'avoir pu allier des objectifs inter-liés avec ceux de mon TFE, ça m'a permis d'être réellement investit dans le stage, par intérêt tout simplement.

6. Conclusion

Dans le cadre de notre formation, l'aquaponie est particulièrement intéressante pour une raison bien précise, c'est que la majorité des gens dans les villes font comme les poisons, ils chient dans l'eau ! Mais de mes connaissances du stage de 2^{ième} en valorisation agricole des boues et compost municipaux, j'ai réalisé que la nature des animaux terrestres est de chier dans de la litière c'est comme ça qu'on équilibre l'engrais, on préféra composter les boues d'épuration dans du déchet vert pour cette raison cela améliore l'équilibre NPK tout en hygiénisant avec les antibiotiques naturels des champignons du compost.

Le système aquaponique fonctionne sans litière du tout, ça me semble contre nature mais c'est très intéressant quand même, d'autant plus qu'immerger les matières fermentescibles comme le caca ou les déchet alimentaires, cela permet de produire du biogaz, alors chercher à coupler les deux me semble intuitivement très intéressant, voilà pourquoi je fais des recherches dans ce sens pour faire un suivi complémentaire entre mes deux stages et mon TFE qui cherche notamment à évaluer le potentiel de production de biogaz à l'échelle de l'ilot urbain.

Du reste pour parler des modèles agricoles de demain, de mon expérience je crois plus en la permaculture en pleine terre (qui se rapproche de ce qu'on a fait avec Redouté-Peiffer), car c'est le système le plus résilient qui soit pour la simple et bonne raison que la nature fonctionne sans nous, je pense donc que faire parallèlement à la serre aquaponique, une serre en pleine terre avec des systèmes de goute à goute sous paillis pour comparer scientifiquement les deux systèmes (bilan d'eau, énergie, etc), ce serait très intéressant, mais il faudrait trouver des ressources humaines pour mettre en place le projet.

Liste de contact

Antoine Morthier

Mail : amorthier@heldb.be

Tel : 0472/42.64.61

Jean-François Letor

Mail : jfletor@skynet.be

Tel : 0498/10.76.71

Ruben Werquin

Mail : r.werquin@mrd.ubt.be

Tel : 0498/24.93.24

Jacques Deturck

Mail : jdeturck@spfb.edu.brussels

Tel (secrétariat -> Mme Rosseels 02/526.75.51 (crosseels@spfb.edu.brussels).

ANNEXE 7

Les Associations Au Potagers, Synthèse De Quatre Tableaux

Mauvaise association
Bonnne association
Sources contradictoires
Le nombre signifie l'occurrence des sources, plus il est elevé, plus c'est fiable.

	ail	aspêrge	aubergine	betterave	carotte	céleri à cote	céleri-rave	chicorées	chou	chou-fleur	chou-rave	concombre	cornichon	courgette et patissons	cresson	echalotte	epinard	fenouil	fève	fraisier	haricot nain	haricot à rame	laitue	mache	mais	melon	navet	oignon	panais	persil	pissenlit	poireau	pois	pomme de terre	potiron	radis	tomate
ail		F		2	3				2	2	2								1	3	3	3	2								2		3	F			3
aspêrge				3				1				2	2	1		1					1		1					F		3		2	2	1			2
aubergine					1																3	3	2											3		1	
betterave					F	4	4		4	3	4					1	F				1	2	3		1			3	1			F		1		1	2
carotte						1	1	1	F	F	F	1	1			3	2	1	1	1	4	3	4		1		1	4	3			4	4	1		4	3
céleri à cote									3	3	1	4	4	3		1		2			3	2	F	1	1		1	1		2		3	3	F		1	4
céleri-rave									4	3	1	4	4	3		1		2	1		3	2	F	1	1		1			2		4	2	F		1	3
chicorées									F	F	F	1	1	1	1		1	1			1	1					F					1	1			1	
chou												3	3	3	1	2	2	3		3	3	1	3	F	1			2	1			3	4	4		3	3
chou-fleur												2	2	2	1	1	2	3		2	2	1	2	F	1			1	1			2	2	2		2	2
chou-rave												2	1	1	1	1	2	3		2	1	1	2	1	1			2	1			1	1			F	1
concombre																		1	1		4	1	3		3	1		1					4	3		F	F
cornichon																		1	1		4	3	3		3	1		2					3	3		F	F
courgette et patissons																		1			4	4	3	1	4	1		2					2	F		F	1
cresson																																2				2	
echalotte																	1	1	1	3	3	2										1	3				1
epinard																	1		3	3	3	1					3	1				1				3	1
fenouil																				3	3	1		1			F		1			4					3
fève																						3		1	1			2	1				1	3		1	
fraisier																					4	2	3	3			1	4				4				1	
haricot nain																						1	3	1	3	2	2	3				F	F	2	2	1	F
haricot à rame																							3	1	3	1	2	3				F	1	2	2	3	F
laitue																									1	2	3	4		3		2	3			4	
mache																											1	2				3			1		
mais																										1		1					3	2	2		
melon																																	1	1			
navet																												1				1	2			1	
oignon																													2		1	F	3	1		F	2
panais																																1				2	1
persil																																F	2				1
pissenlit																																					
poireau																																	3				1
pois																																		3		3	1
pomme de terre																																				1	F
potiron																																					
radis																																					2
tomate																																					

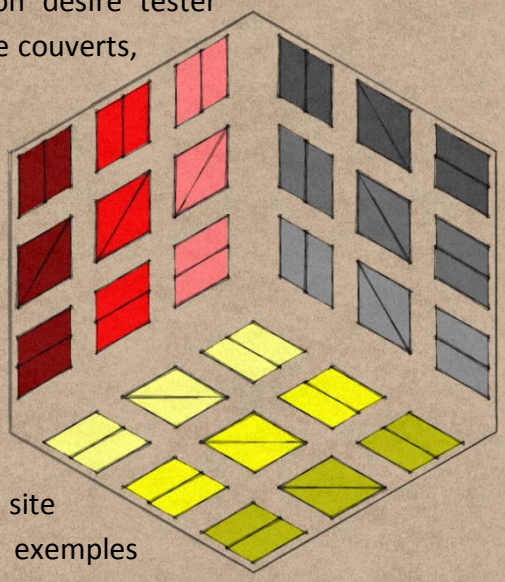
Par Florian Goor, selon les livres *« Guide terre vivante du potager bio »* de Jean-Paul Thorez et Christian Boué *; « Potager en carré »* de Pierre Yves Nédélec ; *« Les cultures associées »* de Marisa & Guy Pirlet selon l'expérience de Gertrud Franck ; et un tableau d'associations repris par le site *« monjardinenpermaculture.fr ».*

ANNEXE 8

Le Jardin Tri-varié, l'Îlot Triangulaire et les Cristés

Le jardin Tri-varié

Sur une surface de 1,3 are, ce jardin tri-varié formant un hexagone de 7m de côté est destiné à faciliter l'étude de pratiques culturales que l'on désire tester comme des types d'apport organique, d'arrosage, de couverts, des associations de plantes, des serres, etc…



On peut, par exemple, s'amuser à essayer sur chacune des 27 parcelles losanges, la méthode de la Milpa ou l'alliance des trois sœurs (maïs-courge-haricot) en faisant varier les variétés. Chaque losange fait 2m², et les variables sont représentées sur le schéma de droite, par les couleurs, les nuances et le hachurage.

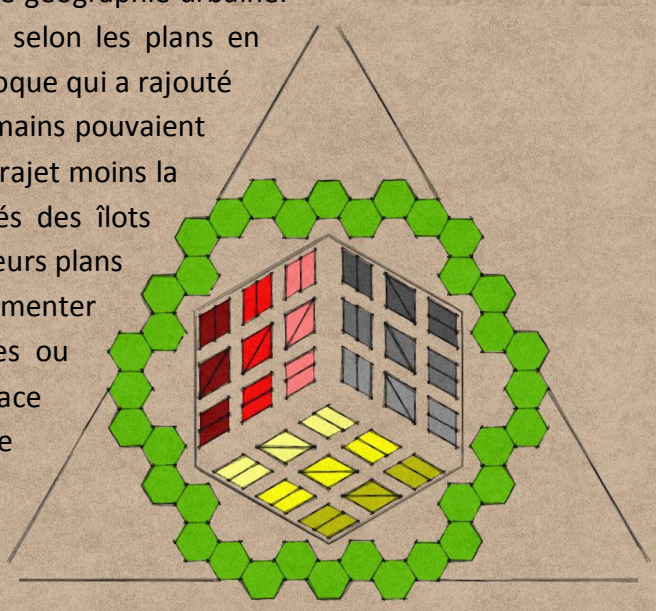
Le tableau ci-dessous, repris du site monjardinenpermaculture.fr, illustre des exemples d'associations de différents légumes.

BONNES ET MAUVAISES ASSOCIATIONS DE PLANTES AU POTAGER

JARDI partage	Ail	Aneth	Arroche	Asperge	Aubergine	Basilic	Bette	Betterave	Carotte	Céleri	Cerfeuil	Chicorée	Chou	Chou-rave	Concombre	Coriandre	Cornichon	Courge	Courgette	Echalotte	Epinard	Fenouil	Fève	Fraisier	Haricot	Laitue	Mâche	Maïs doux	Melon	Navet	Oignon	Panais	Persil	Piment	Poivron	P.de terre	Poireau	Pois	Radis	Tomate
Ail				+				+	+											+			-	+	-	+											+	-	-	
Aneth									-				+		+		+						+			+	+			+										+
Arroche									+																	+	+			+										+
Asperge	+																			+						+	+				+		+							
Aubergine									+																	+	+							+	+	-				
Basilic																																							+
Bette									+				+							+						+	+			+										
Betterave	+								-				+	+		+				+						+	+			+	+						-	-		+
Carotte	+	-	+		+		+	-				+	+		+		+			+	+	-	+			+	+			+	+						+	+	+	+
Céleri									+			+	+		+		+						+			-	+	+		+	+						+	+	+	+
Cerfeuil																																							-	
Chicorée									+																	+	+			+								+	+	+
Chou		+					+	+	+			+			+		+	+	+	-				+		+	+				+						+	-	+	+
Chou-rave								+				+			+							-	+			+	+				+						+		+	+
Concombre		+							+			+	+	+									+			+	+		+		+						+	+	+	+
Coriandre								+	+																	+	+				+						+			
Cornichon		+							+			+	+										+			+	+		+		+						+		+	+
Courge												+	+													+	+		+		+						+		+	+
Courgette												+	+													+	+		+		+						+		+	+
Echalotte				+				+	+				-										+	+	-	+					+						+	-		
Epinard									+																	+				+	+									
Fenouil									-				-							-					-															+	
Fève	-	+							+	+					+		+			+								+	+		+						+		+	
Fraisier	+								+				-	-						+	+					+	+	+			+						+			
Haricot	-		+	+	+		+		+	-		+	+	+			+	+	+	+		+				+	+			+		-					+	+		
Laitue	+	+	+	+	+		+	+	+	-		+	+	+			+	+	+	+	+	+	+		+					+		-						+		
Mâche	+								+				+				+									+												+		
Maïs doux																	+	+	+																					
Melon														-			-	-	-				+															+		
Navet		+	+				+		+	+		+								+		+			+						+						+		+	
Oignon				+			+	+	+				-	+	+		+	+	+			+	+	+	-	+						+					-	-	-	
Panais																																+						+		
Persil				+						-																							+					+			
Piment					+																																			
Poivron					+																																			
P.de terre	+				-			-	-					-			-	-	-	+									-	-										-
Poireau	-						-	-	-	+		+	-							+	+		+		+		+				+		+							
Pois	-						+	+	+			+			+				-				-			+	+				+									
Radis			+		+		+	+	+	-		+	+							+	+		+								-								+	
Tomate	+			+		+		-	+				+		-		-			+		-										+				-			+	

L'îlot Triangulaire pour entourer le jardin tri-varié

C'est un concept que m'ont inspiré mes cours de géographie urbaine. Depuis des millénaires nous traçons nos villes selon les plans en damier des romains. Or, un grec de la même époque qui a rajouté Pytha devant mon nom, a démontré que les romains pouvaient économiser sur leurs trajets intra-urbains, leur trajet moins la racine de la somme des carrés des deux côtés des îlots rectangulaires et éviter ainsi de zigzaguer dans leurs plans hippodamiens. Voilà pourquoi, j'aimerais expérimenter des îlots triangulaires plutôt que rectangulaires ou carrés. Le triangle optimisant le mieux la surface par rapport au périmètre étant le triangle équilatéral.



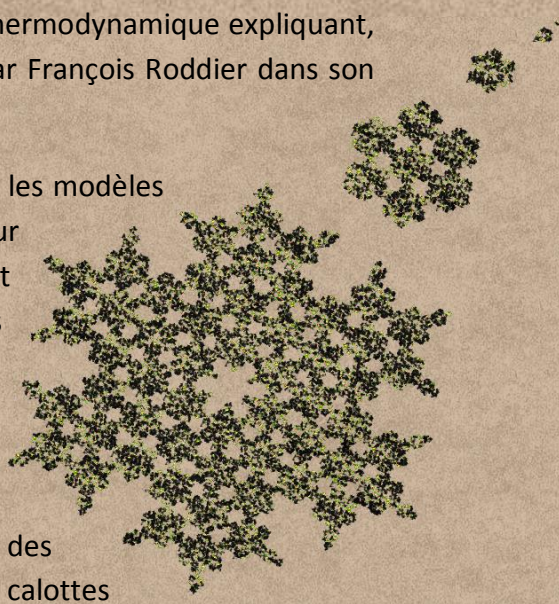
Concrètement, chacune des cellules de l'essaim serait simplement un igloo en vannerie de saule. Chaque igloo aurait une base hexagonale de 1 mètre de côté, et l'îlot serait clôturé par des barrières de saule. Chacun des trois côtés faisant 28m, ce dispositif expérimental nécessiterait une surface de 4 ares pour un coût fixe de +/- 2000€, il représenterait la maquette/plaine de jeux/potager d'une portion de cité végétale.

La vannerie de saule vivant existe depuis le moyen âge. Il n'y a aucune difficulté technique à la mise en place de ce jardin. Chaque igloo représente une maison unifamiliale et l'ensemble de l'îlot pourrait accueillir approximativement 150 individus, soit la taille moyenne idéale du clan humain selon l'anthropologue Robin Dunbar (un clan à l'équilibre est autogéré, sans nécessité de forces de l'ordre et sans hiérarchie, la justice se fait par la honte et la culpabilité de chacun).

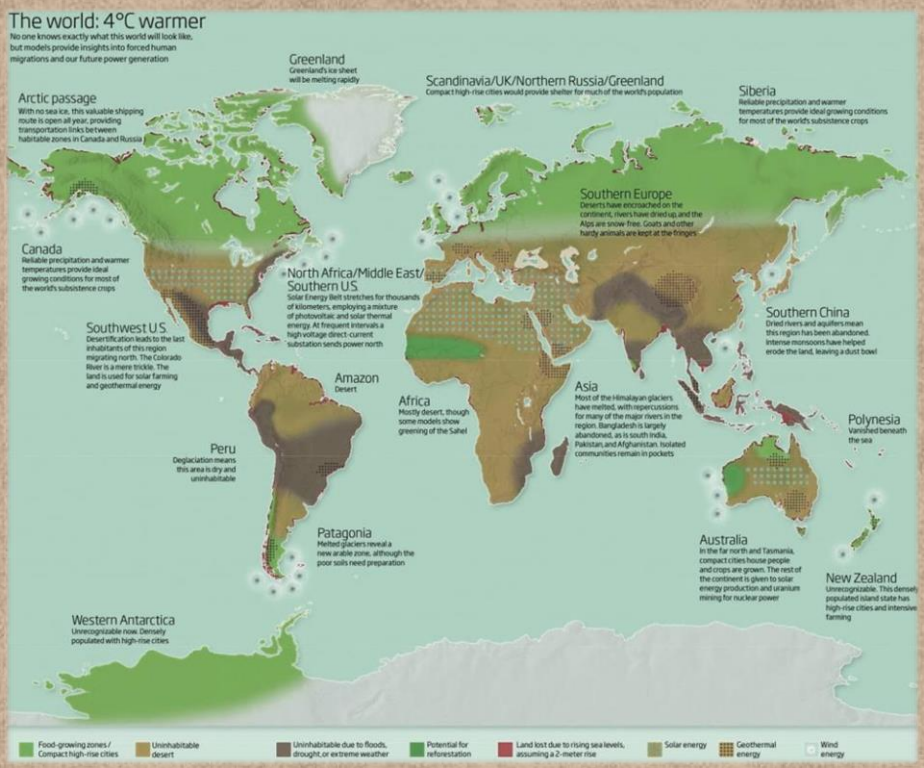
Voir aussi ci-contre, une Yano des peuples Yanomami d'Amazonie. Cette tribu, probablement constituée d'approximativement 150 individus, a décidé d'abandonner la chasse et la cueillette pour se sédentariser avec un mode d'agriculture tri-varié pour parfaire ses connaissances des interrelations entre plantes. (Photo provenant du site de l'ONG Survival International. Le jardin tri-varié est suggéré par l'auteur).

Les Cristés : de grandioses villes nouvelles, de type cité végétale.

Ces îlots sont comme les molécules d'eau. Si nous en assemblons 6 entre eux, nous avons le premier cristal d'une *transition de phase abrupte*, concept de thermodynamique expliquant, par exemple, la formation d'un flocon de neige, et vulgarisé par François Roddier dans son livre *thermodynamique de l'évolution*.

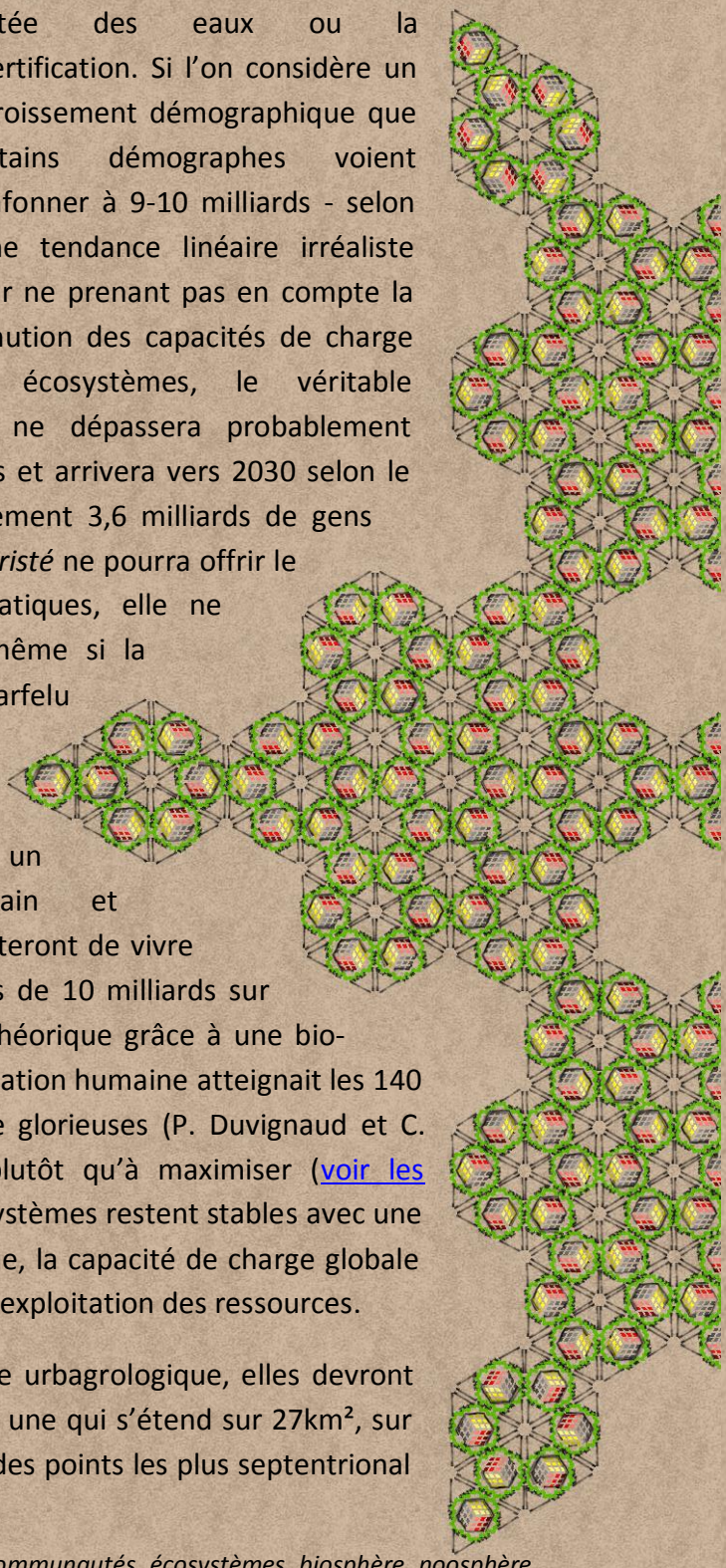


Le réchauffement rentre en phase d'emballement imprévisible, les modèles climatiques sont obsolètes et seront trop lentement mis à jour pour nous donner une image nette de l'avenir qui nous est réservé, l'environnement évolue plus rapidement que nos capacités d'adaptation et c'est là un signe évident d'extinction de la thermo-industrie, mais l'intuition est la suivante, nous avons enclenché un phénomène qui nous dépasse, et il est probablement trop tard pour désenrayer une débâcle massive des calottes à terme, seul l'abandon des énergies fossiles et la régénération de la biosphère, concrètement le classement de ces ressources au patrimoine mondial, la reforestation de la terre et la sauvegarde des océans, pourront réguler le climat vers un nouvel équilibre, mais dans ce monde les générations futures ne connaitront peut-être plus la légèreté



d'un flocon tombant du ciel…

J'imagine donc une cité végétale, que j'appelle la *Cristé*, prévue pour une zones de reforestation comme l'ouest de l'Antarctique ou la Sibérie, où pourront être accueillis certains des deux milliards de réfugiés climatiques qui fuiront la montée des eaux ou la désertification. Si l'on considère un accroissement démographique que certains démographes voient plafonner à 9-10 milliards - selon une tendance linéaire irréaliste car ne prenant pas en compte la diminution des capacités de charge de nos écosystèmes, le véritable plafonnement ne dépassera probablement pas les 8-9 milliards et arrivera vers 2030 selon le model World-3, - il faudra prévoir approximativement 3,6 milliards de gens supplémentaires à loger et nourrir. Comme cette *Cristé* ne pourra offrir le gîte et le couvert qu'à 360.000 réfugiés climatiques, elle ne représentera que 0,01% de la solution mais, même si la plupart des gens considèreront ce projet comme farfelu et irréaliste, voir mégalomaniaque, ce siècle se doit d'examiner la faisabilité du concept.

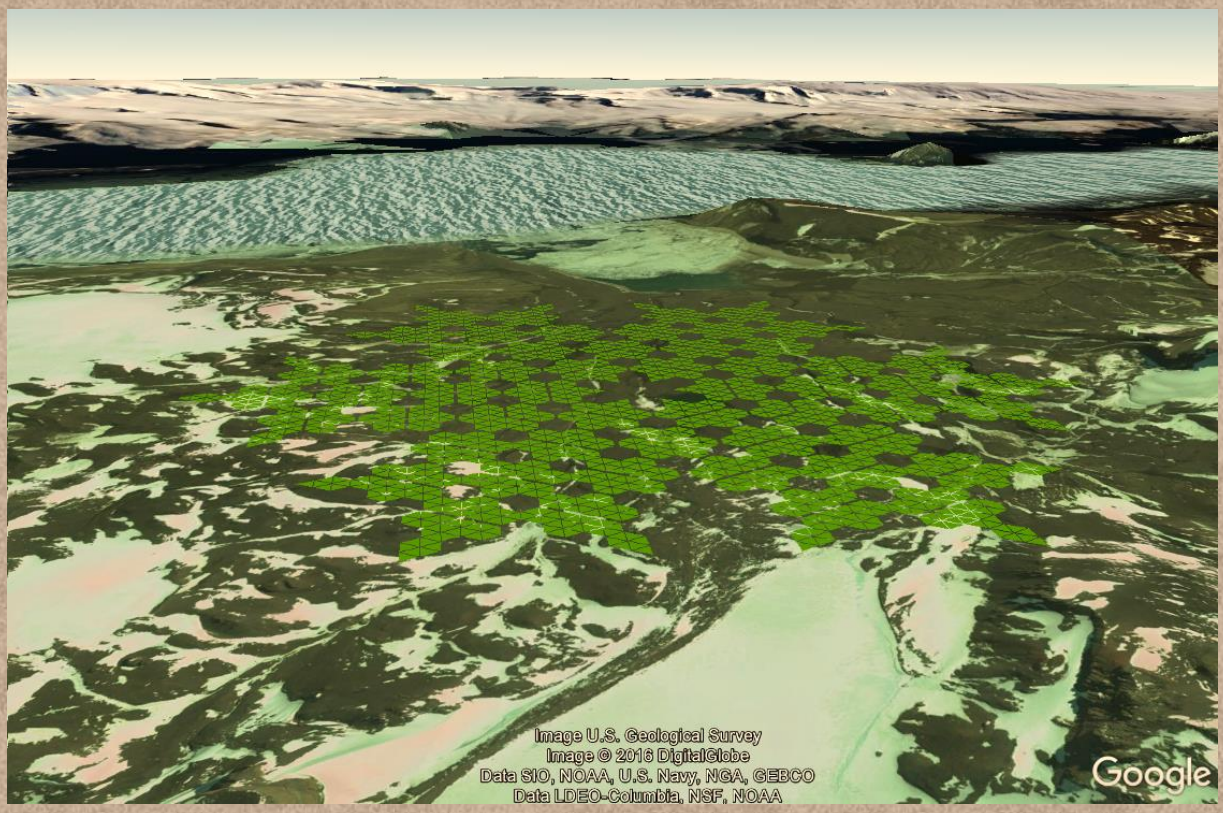


Car on a là, la formation de ce que j'appelle un urbagrosystème, alliant l'écosystème urbain et l'agrosystème nourricier, et les humains qui accepteront de vivre dans ces *Cristés* pourront être probablement plus de 10 milliards sur Terre. En effet, la maximisation démographique théorique grâce à une bio-production primaire uniquement dédiée à l'alimentation humaine atteignait les 140 milliards d'habitants végétaliens durant les trente glorieuses (P. Duvignaud et C. Clark[1]), mais le vivant cherchant à optimiser plutôt qu'à maximiser (voir les principes du vivant), il est improbable que les écosystèmes restent stables avec une telle population. D'autant que, depuis cette époque, la capacité de charge globale (global carrying capacity) a diminué du fait de la surexploitation des ressources.

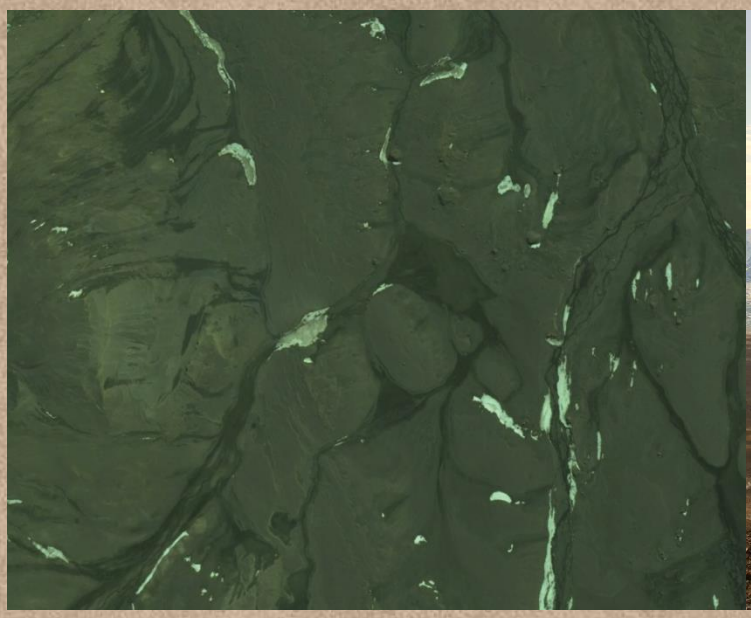
Bref revenons à nos cristés, pour être en équilibre urbagrologique, elles devront être moins denses que nos villes, ici j'en ai installé une qui s'étend sur 27km², sur l'île de James Clark Ross en Terre de Graham, l'un des points les plus septentrional

[1] DUVIGNEAUD Paul, *La synthèse écologique : populations, communautés, écosystèmes, biosphère, noosphère*, Paris : Doin, 1984, c1980. Chapitre 6 sous-titre 3 Le spectre de Malthus et les possibilités de la biosphère. p. 242

de l'Antarctique, libéré des glaces depuis quelques années suit au réchauffement climatique, cette zone est relativement plate et située entre 90 et 220m d'altitude, elle donne sur le chenal Prince-Gustave qui la sépare de la péninsule Antarctique.



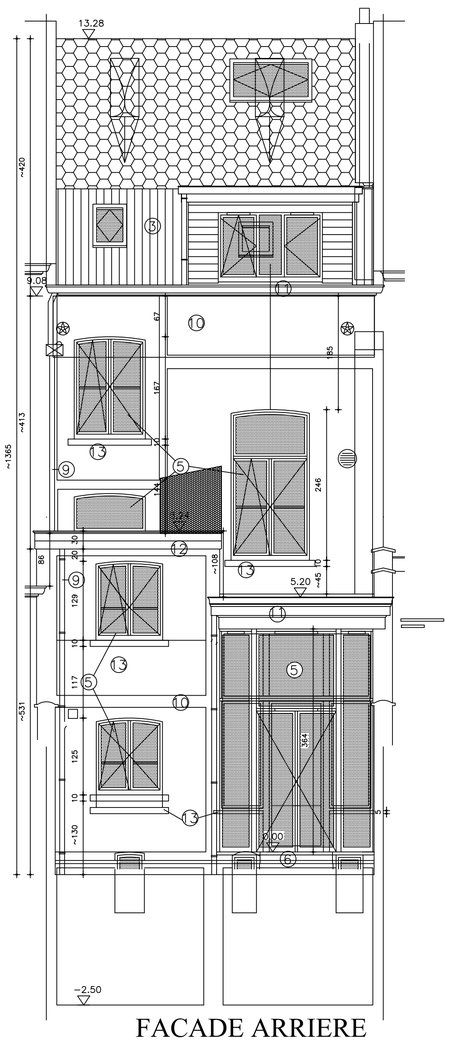
Sur les photos ici-bas, une satellite à gauche et une autre à droite prise par un certain Renato Ramos, les deux tirées de Google Earth, et bien cette zone est dépourvue de végétation et semble subir une forte érosion, je ne sais pas si le climatope permettrait de déjà envisager une afforestation de cette région, mais l'intervention de l'homme sera particulièrement nécessaire vu son éloignement des autres biomes forestiers, auquel cas l'ensemencement naturel de l'ouest Antarctique risque d'être particulièrement lent.



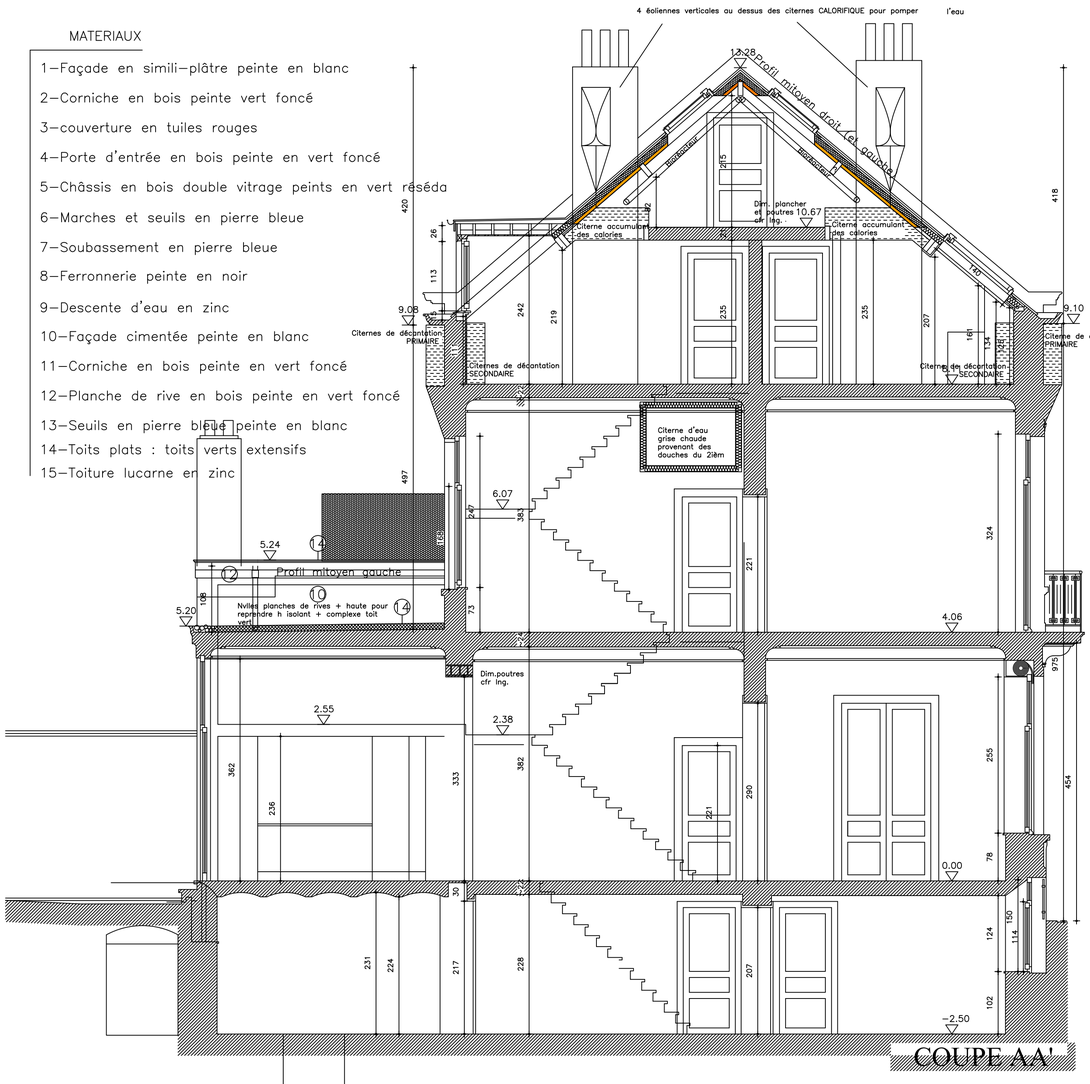
ANNEXE 9

MATERIAUX

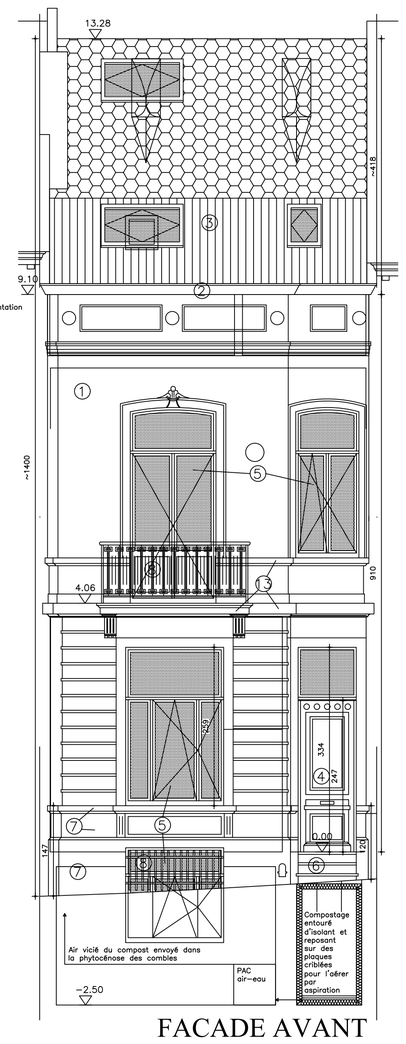
1—Façade en simili—plâtre peinte en blanc
2—Corniche en bois peinte vert foncé
3—couverture en tuiles rouges
4—Porte d'entrée en bois peinte en vert foncé
5—Châssis en bois double vitrage peints en vert réséda
6—Marches et seuils en pierre bleue
7—Soubassement en pierre bleue
8—Ferronnerie peinte en noir
9—Descente d'eau en zinc
10—Façade cimentée peinte en blanc
11—Corniche en bois peinte en vert foncé
12—Planche de rive en bois peinte en vert foncé
13—Seuils en pierre bleue peinte en blanc
14—Toits plats : toits verts extensifs
15—Toiture lucarne en zinc



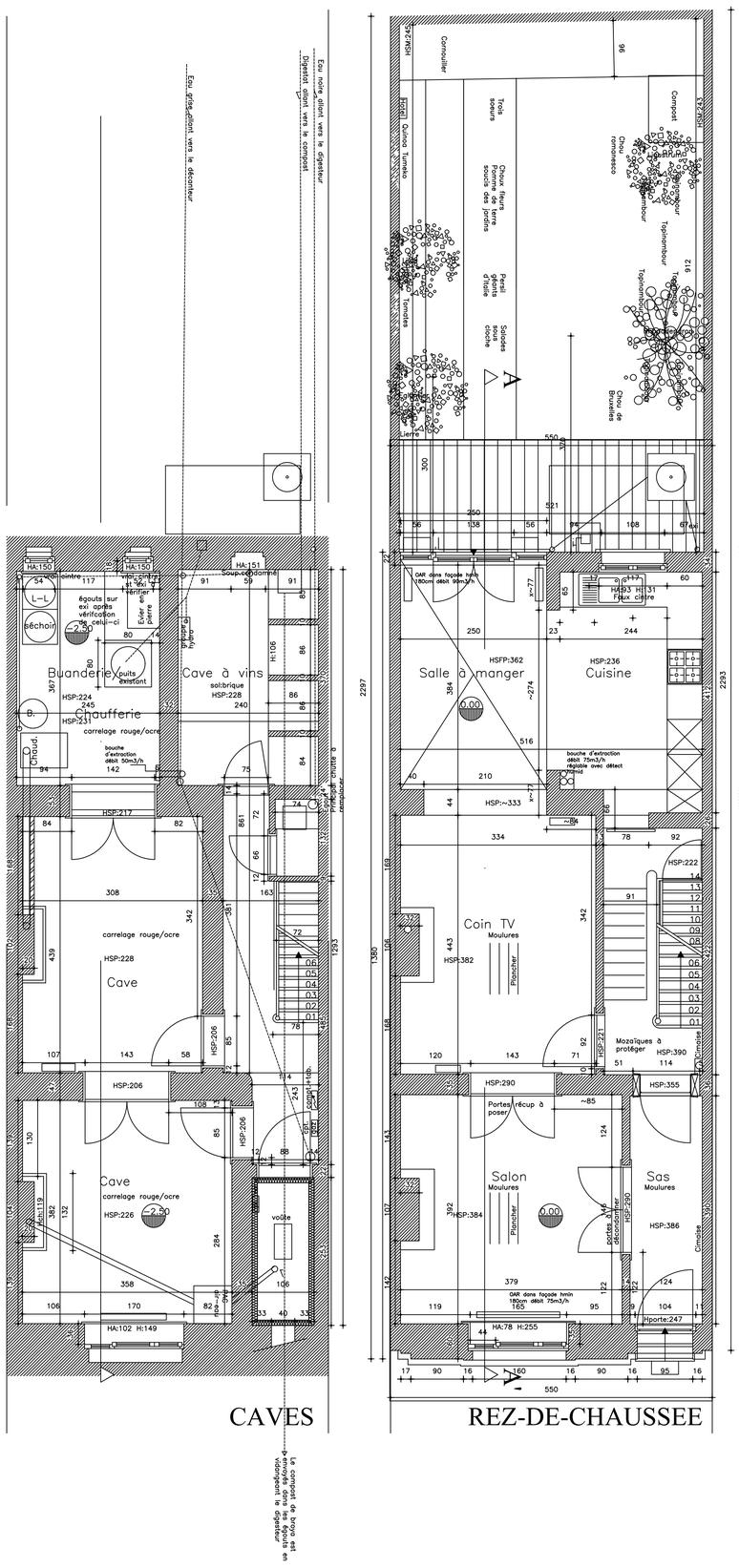
FACADE ARRIERE



COUPE AA'



FACADE AVANT

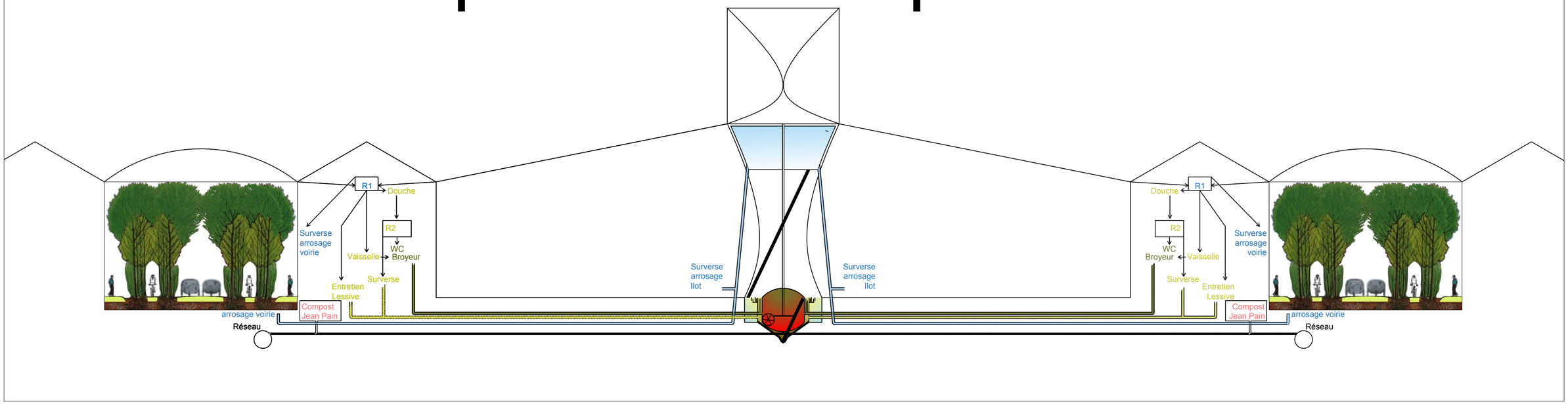


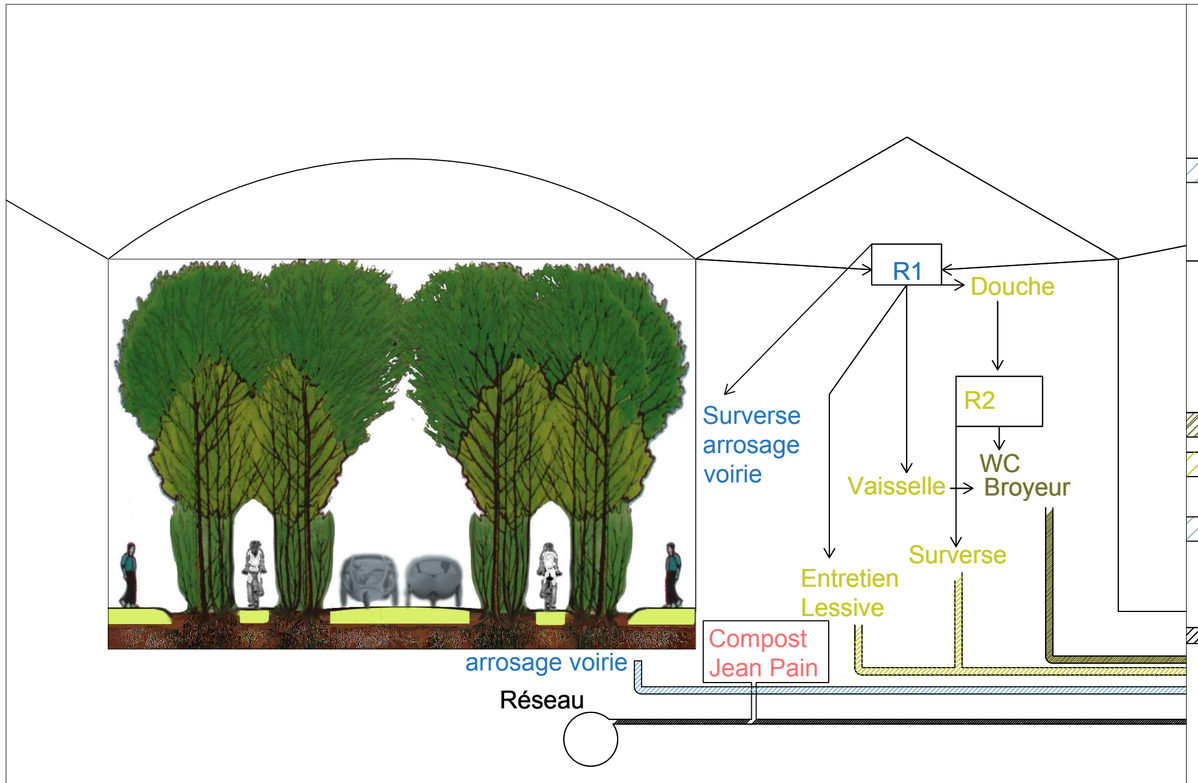
Production de calories et absorption de CO2

Maître de l'ouvrage: MR ET MME YZERBYT	Rue Renkin — 1030 Schaerbeek
Plans de communautarisation de la maison dans l'îlot	26/07/2017
Par le gestionnaire en environnement urbain Florian GOOR	Echelle : 1/50
Sur base du fichier DWG de l'architecte Béatrice VANHILLE	Plan n° 1

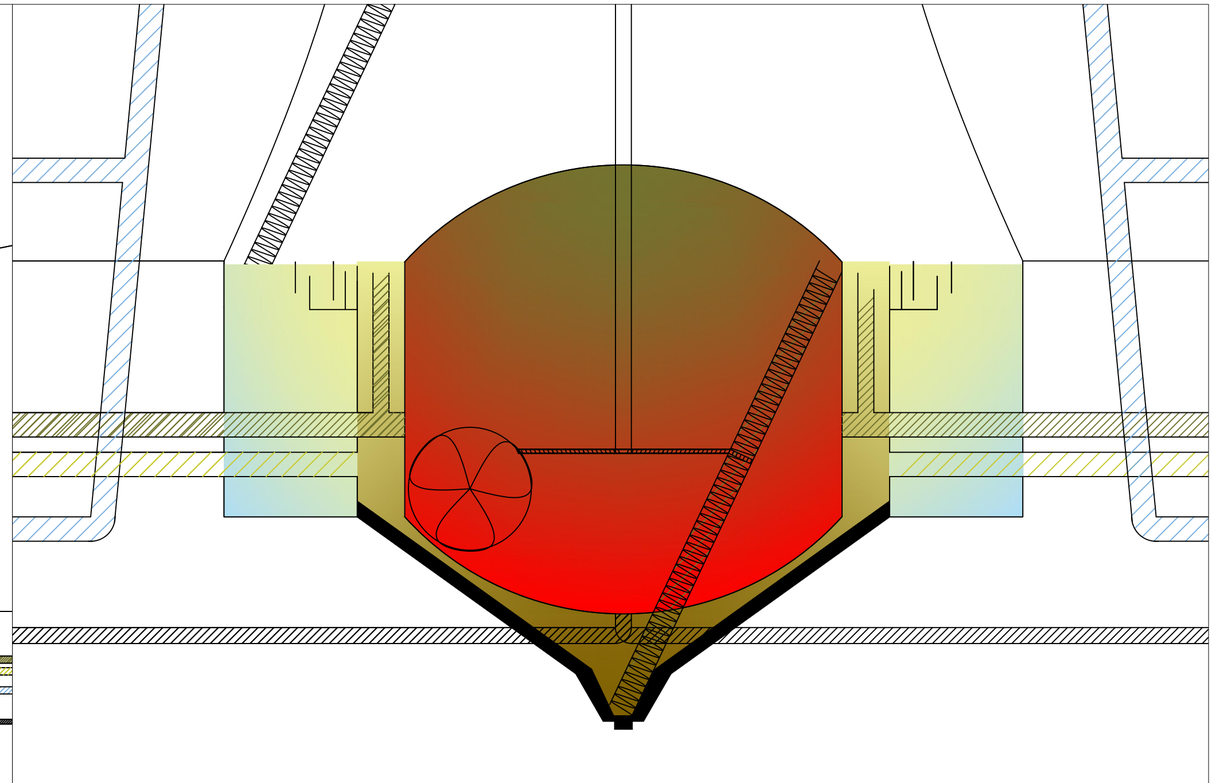
ANNEXE 10

Coupe schématique de l'îlot





Coupe de voirie et de maison



Coupe du digesteur décanteur

ANNEXE 11

L'AUTOPARTAGE
Tous les avantages de la voiture sans les inconvénients

Lancée en juillet 2012, l'enquête nationale sur l'Autopartage réalisée par 6T-Bureau de recherche en partenariat avec France Autopartage et avec le soutien de l'ADEME dans le cadre du PREDIT 4 a été menée auprès de 2090 abonnés à 21 services d'autopartage répartis dans toute la France.

La conférence de presse organisée le jeudi 21 mars a été l'occasion pour **Nicolas Louvet**, directeur du bureau de recherche 6T de présenter les résultats de cette étude avec les retours de **Jean-Baptiste Schmider** directeur de France Autopartage.

EN CHIFFRES :

1 enquête en ligne.

130 questions.

2 090 répondants, abonnés à **21** services d'autopartage répartis dans toute la France.

L'autopartage permet...

Les Français utilisent de moins en moins leur voiture. En milieu urbain, en posséder une devient de moins en moins rentable. L'autopartage est le système qui permet **d'utiliser ponctuellement une voiture sans subir les inconvénients liés à sa possession**. Il est encore marginal, mais il a connu dans les dernières années une croissance exponentielle et dispose d'un potentiel de développement très important. Si le service Autolib' à Paris lui a permis de gagner en visibilité, la plupart des grandes agglomérations françaises disposent également d'un service d'autopartage, géré par un opérateur privé ou directement par la collectivité locale.

Face à l'augmentation des prix du pétrole, à l'étalement urbain et aux politiques de restriction de la voiture individuelle il apparaît inévitable que de nouveaux services de mobilité comme l'autopartage séduisent de plus en plus les particuliers et continuent à se développer partout en France.
Dans ce contexte, le Bureau de recherche 6T, en partenariat avec France Autopartage, a souhaité mesurer et comprendre l'impact de l'autopartage sur la mobilité urbaine.

...de faire des économies

La principale raison pour passer à l'autopartage est le **coût de revient moins élevé qu'une voiture individuelle**. L'autopartage permet à ses usagers de ne pas supporter tous les coûts liés à la possession d'une voiture, notamment les coûts fixes (amortissement et assurance) et ceux liés au stationnement.

...de réduire l'utilisation de la voiture

Après le passage à l'autopartage, les autopartageurs parcourent **41 %** de kilomètres en moins en voiture.

...de se séparer de sa voiture

Chaque voiture d'autopartage remplace **9 voitures personnelles** et libère **8 places de stationnement**.

...d'utiliser tous les modes de transport

Suite à leur passage à l'autopartage, les autopartageurs utilisent davantage la **marche à pied** (pour 30 % d'entre eux), le **vélo** (29 %), **les transports collectifs** (25 %) le **train** (24 %), et le **covoiturage** (12 %).

...l'adhésion aux politiques d'écomobilité...

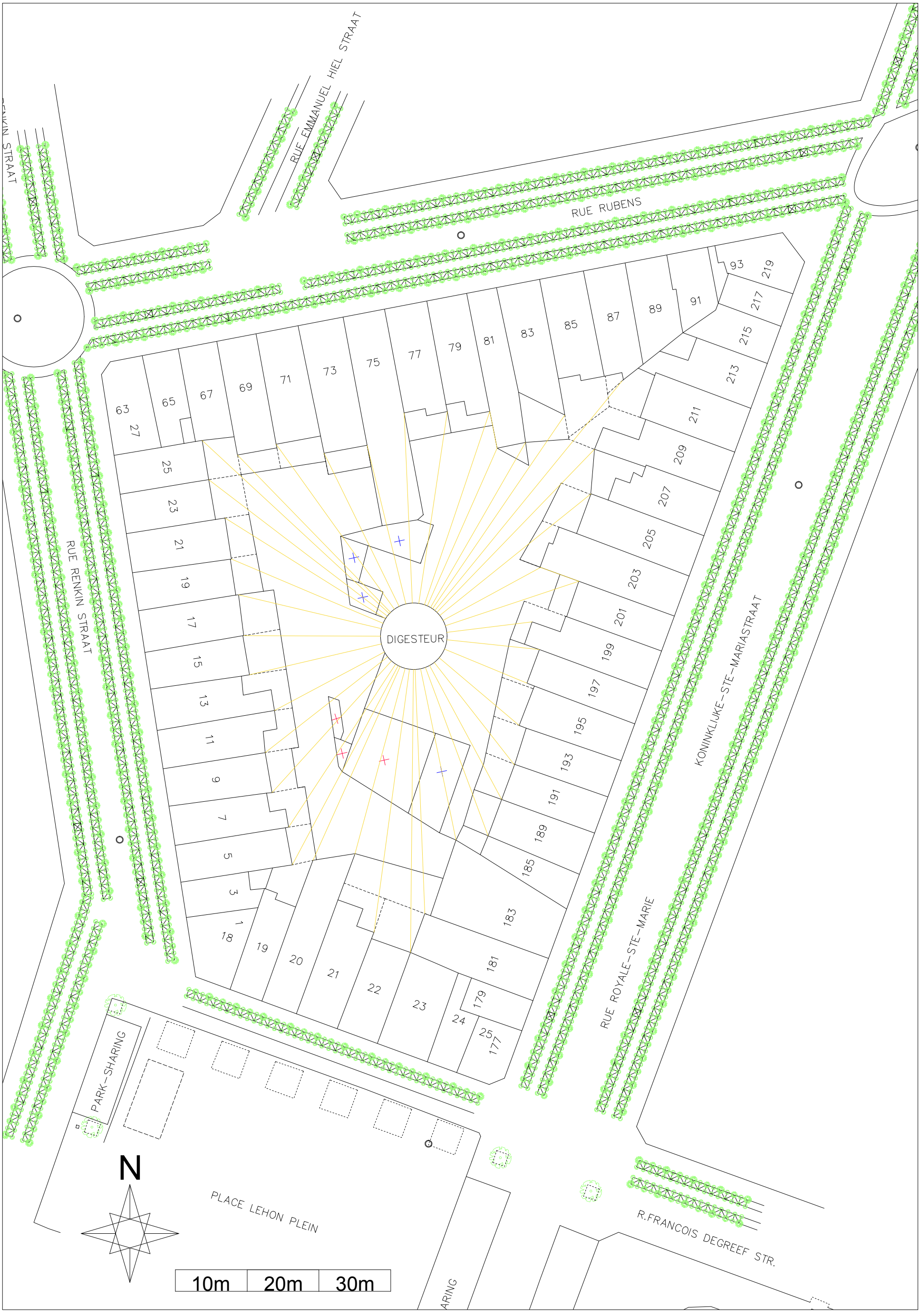
...telles que les péages urbains, les Zones Prioritaires d'Action pour l'Air ou encore les mesures de limitation du stationnement.

Pour développer l'autopartage, il est nécessaire de le faire connaître en améliorant sa visibilité dans les villes.

+ infos
Nicolas Louvet - 6T-Bureau de recherche - 01 53 09 26 36 - info@6t.fr

ANNEXE 12

Plan de l'îlot remanié



Florian GOOR – Gestionnaire de l'Environnement Urbain – 11/08/2017

ANNEXE 13

De la douche aux WC, au jardin: des chercheurs créent un réseau local de recyclage d'eau

Par Lara Charmeil I Publié le 9 Juin 2016

Dans un quartier de la ville de Lünen, dans l'ouest de l'Allemagne, un nouveau réseau d'évacuation d'eau mêlant phytoépuration et économie circulaire va voir le jour dès 2017. Un système qui permettrait de recycler les eaux usées d'un ménage. Explications.

L'allée de l'énergie (Crédit : DR)

Vous devez refaire le réseau d'évacuation d'eau de votre maison ou de votre appartement ? Bonne chance. En moyenne, ces travaux peuvent coûter des milliers d'euros… Et côté respect de l'environnement, on repassera. Mais un centre de recherche allemand, le Fraunhofer Institut de Karlsruhe (ISI), a peut-être trouvé LA solution du futur en la matière.

Présenté lors de l'IFAT, le salon mondial de la gestion des eaux, de l'exploitation des eaux usées, de l'industrie des déchets et des matières premières, qui se tenait jusqu'au 2 juin à Munich, l'i.WET est le premier système intelligent d'évacuation des eaux usées durable à entrer en fonction dans une ville. Ce sera le cas dès 2017 à Lünen, une ville de Rhénanie-du-Nord-Westphalie au nord de Dortmund.

Thomas Hillenbrand, chef de ce projet, explique son principe à *We Demain* :

"Notre système permet de recycler plus d'un tiers des eaux usées d'un ménage, car il fonctionne en réseau fermé, grâce à une installation circulaire dont le circuit permet, in fine, de produire de l'électricité avec la photosynthèse des plantes."

Thomas Hillenbrand (Crédit : DR)

Pour parvenir à ce résultat, son équipe de dix chercheurs, associée à 16 partenaires (entreprises, collectivités...), s'est penchée pendant trois ans sur ce problème : Comment mettre au point un système écologique répondant aux besoins de rénovation d'un îlot d'immeubles de Lünen ?

Cent-vingt appartements, habités par environ 250 personnes, sont concernés. Désormais, les eaux usées y sont directement séparées en eaux grises, peu chargées en matières polluantes (vaisselle, douche, bains…), et en eaux noires, qui contiennent les matières fécales, les produits industriels ou cosmétiques d'un ménage.

Les premières sont envoyées vers un réservoir installé dans la cave, à travers un nouveau système de tuyauterie. Là, elles sont nettoyées à 25 ou 30 degrés, ce qui permet au passage de chauffer en partie les bâtiments. Elles sont ensuite

récupérées afin d'être réutilisées pour les chasses d'eau. Ainsi, nul besoin de les purifier.

Les eaux noires, issues des toilettes, des machines à laver ou des lave-vaisselles, restent elles aussi dans le voisinage : Au lieu d'être envoyées vers une station d'épuration, elles viennent alimenter une allée végétale, au pied des immeubles.

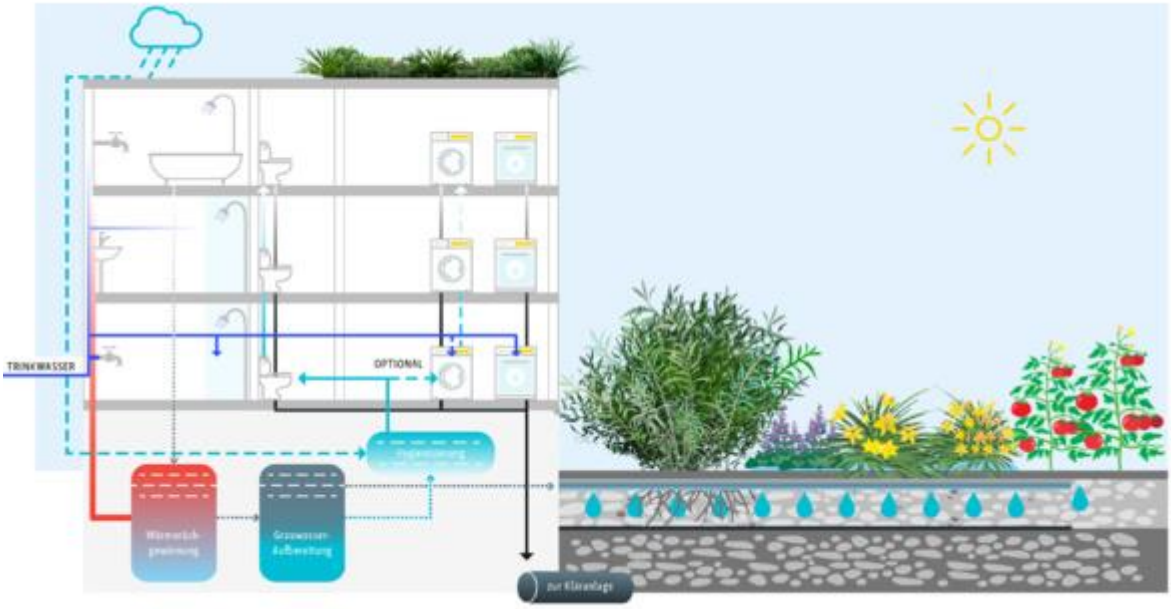


Schéma (Crédit : DR)

En apparence, ce dispositif baptisé Energieallee ressemble à n'importe quel parterre de plantes. À une différence près : sous ses platebandes, on trouve des sillons au sein desquels circulent les eaux usées.

Ces eaux sont purifiées grâce aux bactéries présentes dans les racines de plantes marécageuses (osiers, roseaux...). C'est le principe de la phytoépuration, encore peu mis en pratique en milieu urbain (faute d'espace), qui voit des bactéries transformer des déchets en matière assimilable, tout en oxygénant les bactéries, et donc la terre, en retour.

"Selon nos calculs, l'allée sera assez longue pour tous les habitants : une personne nécessite une surface d'un m2. Et puis, détail non négligeable, elle ne sentira pas mauvais, les eaux noires étant absorbées, et ne présentera aucun danger pour les animaux ou autres espèces fouisseuses, le canal de circulation étant assez profondément installé sous la surface de la terre", précise Thomas Hillenbrand.

Mais ce n'est pas tout. La croissance, très rapide, de ces plantes, permet une récolte

tous les deux ans, ce qui permettra de valoriser les déchets verts au sein d'une filière énergétique. Notamment afin de produire de l'électricité.

Pour mettre au point ce système, les chercheurs ont évalué à 110 litres les besoins quotidiens en eau de chaque habitant de ces immeubles.

"La moitié de cette eau est utilisée pour les douches et les bains", estime Thomas Hillenbrand : "cela suffit amplement pour avoir assez d'eau grise pour chaque chasse d'eau, et la réduction d'eaux résiduelles, qui elle est payante, est ainsi assurée".

À LIRE AUSSI : En Allemagne, la première maison "zéro énergie, zéro émissions, zéro déchet"

Selon Thomas Hillenbrand, les coûts d'installation d'un tel système seraient amortis en huit à dix ans. Le chercheur va même plus loin :

"J'espère que notre système va peu à peu remplacer les modèles existants. Vu le nombre d'intéressés, je compte sur de nombreuses installations dans les trois ans à venir. Nous voulions montrer aux municipalités qu'il existe, techniquement, des alternatives écologiques au traitement des eaux en place, qui répondent à notre société en mutation : nous y sommes parvenus."

Rendez-vous mi-2017 à Lünen pour en avoir le coeur net.

ANNEXE 14

Scénarisation de la réduction du parc automobile suite à l'automatisation

Voici un contexte scénarisant la réduction du parc automobile : un crash de cette industrie induit par les progrès rapides dans l'automatisation et la nécessité de réduire les émissions de carbone. Le pic pétrolier n'est plus le souci puisqu'on sait produire du pétrole non-conventionnel, si on veut on peut même utiliser la moitié du charbon qui nous reste, à liquéfier l'autre moitié, via le procédé Fischer-Tropsch développé par les allemands dans les années 20. Nous avons vu dans ce travail que le problème du réchauffement climatique ne peut qu'être très préoccupant, qu'il faut réduire les émissions maintenant et que 97% du parc automobile ne sert à rien si on optimise les taux d'occupation et d'utilisation des véhicules, en abolissant le droit de propriété sur la voiture individuelle.

Mais tout le monde est contre cette réduction, car la voiture individuelle est culturellement inscrite dans nos têtes suite à un demi-siècle de propagande publicitaire. On voit aussi la violence engendrée par Uber, qui permet pourtant d'augmenter timidement les taux d'utilisation des véhicules, ou la grève des transporteurs qui ne sont plus compétitifs avec les routiers de l'est. Mais tout ça ce n'est rien en comparaison à l'automatisation généralisée des services de mobilité, qui est d'ores et déjà à nos portes. Reste qu'on va connaitre une forte résistance à cette automatisation, notamment suite au blocage culturel dont parlent Pablo Sevigne et Raphael Stevens[1] : la direction du véhicule est bloquée, et je pense que le crash est inévitable. Ce blocage culturel est bien représenté par la culture musicale : je pense à la chanson Fuel de Metallica, ou Gasolina de Daddy Yankee. Du métal au reggaeton, tout le monde adore les grosses cylindrées qui puent biens et font des rugissements biens virils. Nous sommes tous shootés au pétrole et le crash est inévitable, on peut d'ailleurs détourner les paroles de la chanson de Metallica, où James Hetfield chante :

Turn on beyond the bone	*Démarres au-delà des ossements*
Swallow future, spit out home	*Avale le futur, crache sur ta demeure*
Burn your face upon the chrome	*Brûle ton visage sur le chrome*
Yeah!	*Yeah!*
Take the corner, join the crash	*Prend le coin, rejoins le crash*
Headlights, headlines	*Grands phares, Grands titres*
Another junkie lives too fast	*Un autre junkie vit trop vite*
Yeah lives way too fast, fast, fast, oohhOH	*Yeah vit trop vite, vite, vite oohhOH*

En détournant ces paroles, on peut y voir la métaphore de l'effondrement de cette industrie, l'automatisation n'est pas prête d'arrêter les licenciements chez VW comme à la SNCB ou dans les sociétés de taxis, les grèves des transporteurs risquent de provoquer des ruptures dans l'approvisionnement des villes à en engendrer des émeutes. Dans ce bordel, j'imagine que les carcasses inutilisées seront démantelées pour en récupérer toutes les batteries, pour

[1] SERVIGNE P., STEVENS R., *Comment tout peut s'effondrer*, Edition du Seuil, 2015, 296 p.

électriser les voitures électrisables comme les voitures hybrides, que l'on mettra alors en libre-service ; cela aura l'avantage de réguler une partie de l'intermittence des renouvelables, du moins si le parc est dirigé par les gestionnaires du réseau. On récupérera aussi toutes les vitres et pare-brises pour construire des serres pour réguler l'intermittence climatique. Les ferrailles quant à elles, seront entreposées sur le ring pour former une nouvelle enceinte sur les bandes inutilisées, pour se protéger d'invasions barbares venues de déserts qui ne pouvaient accueillir des villes que grâce à l'exploitation pétrolière.

Figure 1 Image credits : Svein Nordrum, cimetière de vielles voitures en Suède

Après ces émeutes voir ces révolutions, que beaucoup d'analystes de l'automatisation craignent sérieusement, on peut imaginer qu'une fois la paix revenue, de nombreuses bandes d'autoroutes devenues inutiles pourraient former les fondations de villes linéaires comme la Ciudad Lineal de Arturo Soria à Madrid, pour accueillir les réfugiés climatiques par exemple.

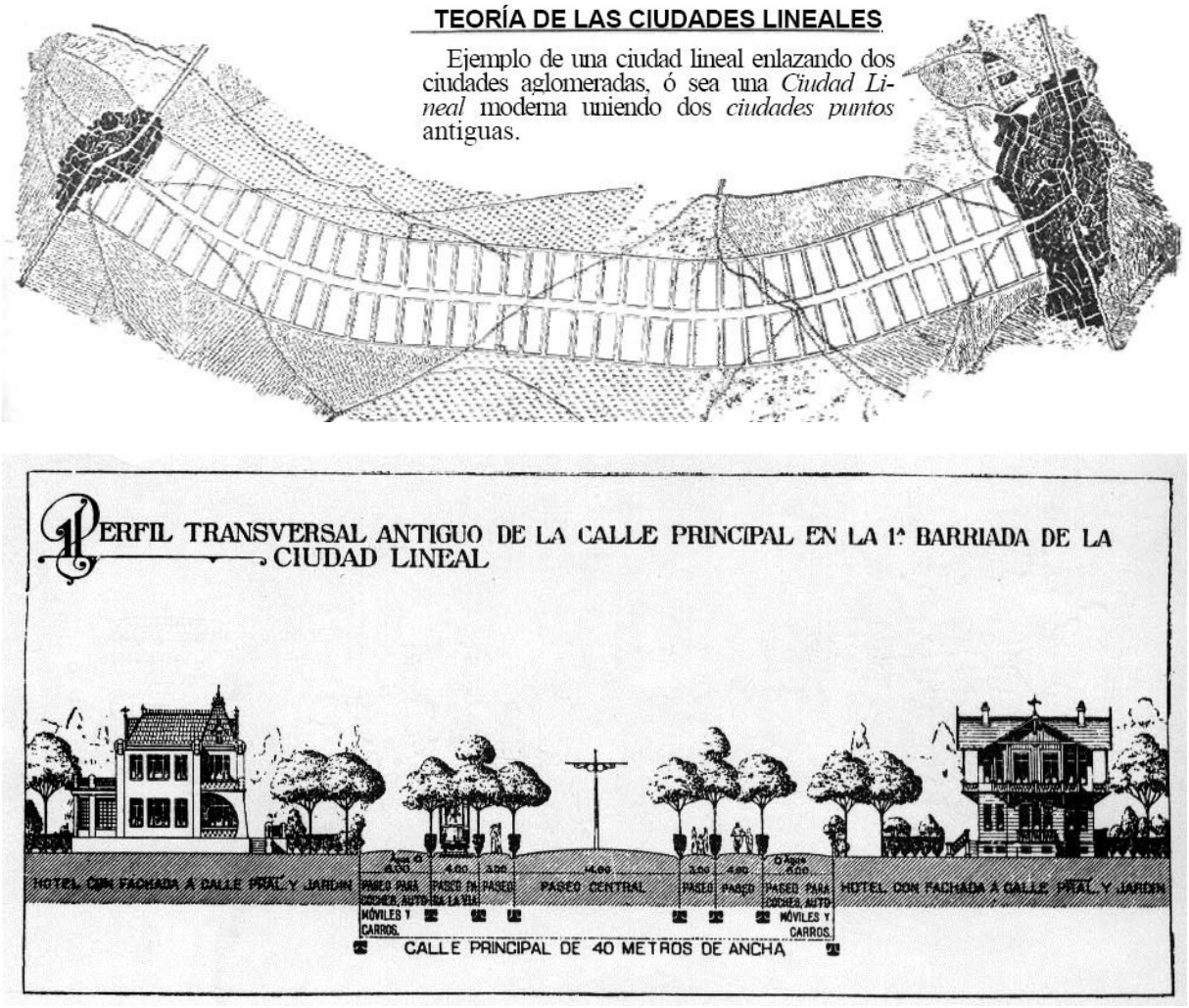


Figure 2 La Ciudad Lineal d'Arturo Soria : un concept de ville linéaire pour rejoindre les villes entre elles.

L'éclairage au sodium de nos autoroutes pourrait servir à alimenter une croissance végétale pour former des structures qui serviront de gros œuvres à ces villes linéaires végétales. Ci-dessous, la « ville creuse » de Luc Schuiten, on peut l'imaginer sur la E40, profitant au maximum du Soleil avec Bruxelles à l'horizon et Liège dans le dos.

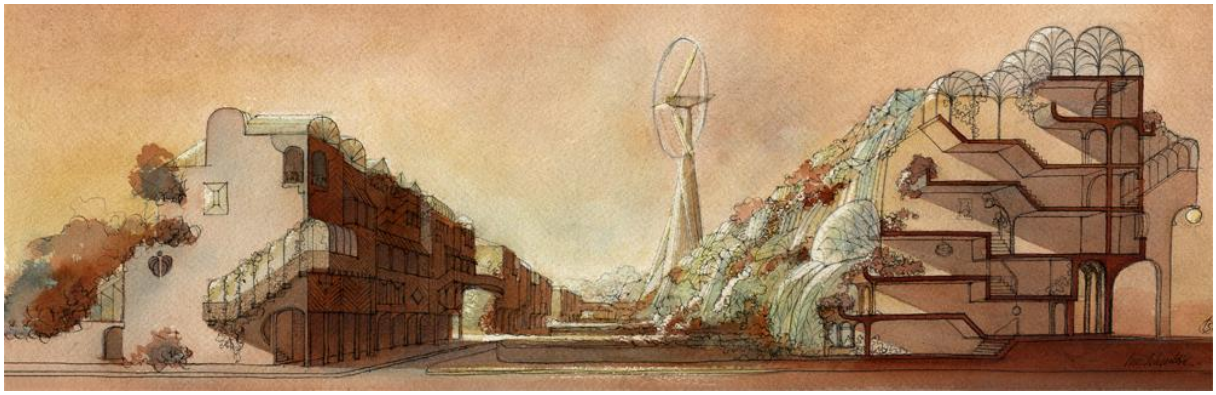


Figure 3 La ville creuse de Luc Schuiten, avec le sud à gauche.

Florian Goor

ANNEXE 15

RE: Recensement démographique

Florian Goor <flogoor@hotmail.com>

ven. 07-04-17 00:01

À :BUEKENHOUDT Nathalie <nbuekenhoudt@schaerbeek.irisnet.be>;

Merci beaucoup !

Goor Florian
+32(0)497/38.62.95

De : BUEKENHOUDT Nathalie <nbuekenhoudt@schaerbeek.irisnet.be>
Envoyé : jeudi 6 avril 2017 15:25:07
À : flogoor@hotmail.com
Cc : Population (AC-SCHAERBEEK)
Objet : RE: Recensement démographique

Bonjour,

Pour le périmètre demandé, nous avons ce 6 avril 2017 : 210 habitants.

Sincères salutations

SCHAERBEEK 1030 SCHAARBEEK

Nathalie **BUEKENHOUDT**
Directeur - SERVICE ORDINAIRE A LA POPULATION | GEWONE DIENSTEN AAN DE BEVOLKING
Hôtel Communal | Gemeentehuis • Place Colignon | Colignonplein • Bur. 0.29
Tel. : 02/244 70 29 - @mail : nbuekenhoudt@schaerbeek.irisnet.be •
[redir.aspx?SURL=C38ycmiTVPESiqrCH_hzUhwEBOAHzxxvxiYP4cp9dnMUsn0sVxzTCGgAdAB0AHAAOgAvAC8AdwB3AHcALgBzAGMAaABhAGUAcgBiAGUAZQBrAC4AYgBlAA..&URL=http%3a%2f%2fwww.schaerbeek.be]www.schaerbeek.be • •

De : Florian Goor [mailto:flogoor@hotmail.com]
Envoyé : jeudi 6 avril 2017 11:12
À : Population (AC-SCHAERBEEK)
Objet : Recensement démographique

Bonjour,

Je suis étudiant en environnement urbain, j'ai appelé Cécile Bouvier qui m'a renvoyé vers cette adresse, je cherche les spécificités démographiques de l'ilot rue Rubens - rue Renkin - place Lehon - rue Royale Saint-Marie, car c'est mon étude de cas pour mon mémoire et que j'aurais besoin d'avoir une idée du nombre d'habitants pour mes calculs..

Goor Florian
+32(0)497/38.62.95

Ce message électronique reste informel. Seul un courrier signé par le Bourgmestre ou son délégué et contresigné par le Secrétaire communal ou son délégué est susceptible d'engager la commune.

Deze mail blijft informeel. Enkel een brief ondertekend door de Burgemeester of zijn afgevaardigde en medeondertekend door de Gemeentesecretaris of zijn afgevaardigde kan de Gemeente verbinden.

ANNEXE 16

La méthode Jean Pain
le biogaz et l'entropie

Avant-propos

Joseph Országh est régulièrement appelé à répondre aux questions de nombreux correspondants interpellés par ses travaux, y compris par les informations présentées aux pages du site web www.eautarcie.org. Ses échanges avec ses interlocuteurs comportent des informations complémentaires précieuses, parfois inédites, qui révèlent le fond de sa pensée. Le présent document présente une de ces correspondances, que nous avons choisi d'adapter sous forme d'article suivant une formule « Questions et réponses ».

André Leguerrier

La question

Bonjour M. Országh,

Récemment j'ai lu l'ouvrage « Un autre jardin » de Jean Pain, consacré à une méthode pour sauvegarder les forêts des incendies par l'enlèvement et puis le compostage de la broussaille (méthode à laquelle vous faites référence aux pages http://www.eautarcie.com/01c.html#jean-pain et http://www.eautarcie.com/07a.html). Il (ou mieux dit: sa femme) y décrit ses expérimentations dans les années 1970 avec la broussaille pour enrichir les terres, mais aussi pour en extraire de l'énergie dans différentes formes (chaleur, gaz). Je sais de votre site que vous avez beaucoup de respect pour ce que Jean Pain a fait, mais comme il y est expliqué, vous n'êtes pas d'accord avec l'emploi de la biomasse (provenant des toilettes ou autre) pour en retirer de l'énergie autre que sous forme de chaleur directe.

Par conséquent, j'en conclus que Jean Pain n'avait pas encore une bonne compréhension de l'influence de l'extraction de biogaz (par exemple) sur le compost. En effet, selon son ouvrage, il est persuadé que, même après l'extraction du biogaz, on peut toujours employer le compost pour en faire de l'humus pour le bénéfice du sol. Mais comme je l'ai compris de votre site, le compost devient plutôt un engrais avec lequel on ne peut plus augmenter le taux d'humus du sol, parce que les sels n'y sont plus fixés. Je voudrais simplement vérifier si ma conclusion est correcte concernant la limite des connaissances de Jean Pain à l'époque ?

Aussi, pendant la lecture je me suis demandé s'il y a une différence entre le compostage de matière presque purement carbonée (comme la broussaille avec laquelle Jean Pain expérimentait) et la matière partiellement carbonée et partiellement azotée que l'on emploie dans le système de compostage utilisant la TLB. Ce qui m'a frappé, c'est que Jean Pain utilisait pour l'extraction de biogaz une sorte de cylindre rempli avec de la broussaille déjà (largement) compostée, de laquelle il retirait le biogaz, le tout entièrement « enveloppé » dans un grand tas de broussaille fragmentée (et encore non-compostée). Je croyais que le processus d'extraction de gaz se faisait pendant le compostage (anaérobie), et pas après. Pouvez-vous svp faire le point à cet effet ? Par ailleurs, est-il possible qu'à cause du taux élevé de matière carbonée, le compost de broussaille contienne encore suffisamment de carbone – même après extraction du gaz – pour l'employer comme amendement pour le sol, tel que le prétend Jean Pain dans son ouvrage ? Ou est-ce qu'on doit plutôt mettre toutes ces formes de compost dans le soi-disant même panier ?

Un correspondant

Le 2 avril 2013.

La réponse de Joseph Országh

Bonjour,

Il ne faut pas oublier que les travaux de Jean Pain datent du début des années 1970. Depuis lors, notre approche de l'environnement a évolué, mais nos connaissances aussi...

Jean Pain a travaillé dans un domaine où il n'y avait que de la biomasse d'origine végétale surtout résineuse à sa disposition. Il s'agissait donc d'un milieu tout à fait particulier. Il n'utilisait donc pas de biomasse d'origine animale (ou humaine).

Son compost de 3 à 4 mois, utilisé en surface comme couverture du sol donnait cependant de très bon résultats, en dépit du fait qu'il était – en principe – pauvre en azote. Il est donc arrivé à la conclusion que pour une agriculture durable, la biomasse animale n'était pas nécessaire. Il en a, malheureusement, fait une sorte de dogme qui reste encore présent au sein du Comité Jean Pain à Londerzeel, où actuellement on met en avant l'usage agricole direct du bois raméal fragmenté (BRF).

En dépit de l'absence de biomasse animale, les bons résultats obtenus par sa méthode tiennent à plusieurs facteurs:

- La capacité d'adaptation extraordinaire des systèmes vivants. La vie est capable de se développer dans des situations qui peuvent parfois s'écarter fortement des situations courantes, normales. Il y a des filières de transmutations biologiques susceptibles de compenser le déficit en quelques éléments.
- Jean Pain utilisait du bois vert avec les feuilles et des aiguilles des sapins. Il y avait donc de l'azote en quantité suffisante.
- Dans sa méthode, on mobilise une quantité énorme de biomasse pour la production végétale. En agriculture extensive, on ne peut pas se permettre le luxe d'étaler sur le sol une couche de 10 cm de compost brut.

Jean Pain a vécu à l'époque où l'énergie était encore abondante (en dépit de la crise pétrolière de 1973). Disposant des quantités illimitées de biomasse végétale, il pouvait se permettre d'en prélever pour produire du biogaz. J'ai fait moi-même du biogaz suivant sa méthode. Cela marche bien, mais avec un rendement faible. Il faut beaucoup de bois pour produire un peu de biogaz. De plus, pour chauffer sa maison familiale, il a construit un tas de compost de ... 80m³.

Le digestat du biométhane, lorsqu'on utilise aussi de la biomasse animale, contient une quantité importante d'azote ammoniacal. Tel n'était pas le cas dans l'installation de Jean Pain. Ce digestat n'était pas un concentré de nitrate d'ammonium. De ce fait il pouvait être utilisé, mélangé avec le compost normal de 4 mois pour couverture du sol, sans avoir l'inconvénient de « brûler » les réserves humiques du sol. Il n'en est pas moins vrai que même dans le biogaz de Jean Pain, il y avait assez d'azote N^2 atmosphérique provenant de la réduction anaérobie de l'azote organique des aiguilles de pin. Il y avait donc une perte d'azote et aussi une perte de carbone (en fait une perte d'hydrates de carbone, matière première pour faire de l'humus).

Lors de l'utilisation agricole du digestat de biométhane, suivant les circonstances, une petite quantité d'humus peut éventuellement se former. Surtout si le digestat est mélangé avec des matériaux d'origine végétale neufs. La perte de matières organiques doit être calculée par rapport

à l'utilisation d'un compost obtenu par voie aérobie. A ce niveau, la différence est grande. La perte de matière organique apparaît clairement pendant la méthanisation. Il est évident que le digestat de biométhane provenant de matériaux végétaux contient encore de la matière carbonée pour faire de l'humus, mais après une perte énorme.

La quantité d'énergie retirée d'un kg de biomasse constitue le rendement énergétique. Lorsque cette énergie est retirée sous forme de biogaz, le rendement est très faible. En utilisant une chaudière à compost (qui extrait la chaleur de compostage) la quantité d'énergie thermique utilisable retirée d'un kg de biomasse est plusieurs fois plus élevée (en fait 5 fois, d'après les estimations). Il n'en est pas moins vrai que l'énergie de la chaudière à compost est une énergie basse température, adaptée au chauffage des habitations. Par contre le biogaz fournit de l'énergie de haute température (pour faire tourner un moteur par exemple). C'est la raison pour laquelle, il faut mettre en réserve la technique de biométhanisation. On l'utilisera, d'une manière parcimonieuse dans un monde durable très économe en énergie. Actuellement, la valeur biologique de la biomasse brûlée sous forme directe ou sous forme de biométhane ou de biocarburants, est de loin supérieure à celle de la biomasse (humus potentiel) ainsi détruite.

De plus, si le digestat provient de la digestion anaérobie (donc biométhanisation) d'un substrat riche en azote (contenant du fumier), une grande quantité de nitrate d'ammonium se forme, matière qui brûle effectivement les réserves humiques du sol, tout en augmentant les rendements agricoles.

Le biométhane ne se forme que pendant un processus d'anaérobie. Pendant un compostage normal d'aérobie, il ne se forme pas de biogaz.

Dans l'analyse des différentes filières de traitement de la biomasse, même les scientifiques ne tiennent pas compte d'un facteur thermodynamique important: la production d'entropie. En fait l'entropie est « le régulateur » des transformations énergétiques.
Pendant le compostage aérobie, les composés organiques riches en azote se greffent chimiquement sur les chaînes moléculaires de la cellulose (hydrates de carbone polymérisés). Il se forme des acides aminés de haut poids moléculaire (les acides humiques) par polymérisation réticulée dans l'espace. La matière formée est peu dense et est composée d'un nombre incalculable d'alvéoles. Elle ressemble à une immense éponge souple, capable de fixer aussi bien des ions métalliques que des anions (des nutriments pour les plantes). Mais elle est aussi capable de fixer une quantité considérable d'eau (un gramme d'humus peut retenir jusqu'à 50 g d'eau) à mettre à la disposition des plantes en cas de sécheresse ou relâcher lentement vers la nappe phréatique. Nous sommes donc en présence d'une succession de réactions de synthèse. Ces réactions diminuent toujours l'entropie. C'est aussi un peu le phénomène précurseur de la vie. Car la vie est une « néguentropie » une diminution de l'entropie.

N.B. L'entropie est une mesure mathématique du « degré de désordre » d'un système à l'échelle moléculaire. Les réactions de synthèse, en augmentant l'ordre, diminuent l'entropie. Les réactions de décomposition, en augmentant le désordre, augmentent l'entropie. Au moment de la mort d'un être vivant, l'ordre moléculaire que représente la vie se disloque. Se forme progressivement alors un système désordonné : l'entropie augmente.

Toute transformation anaérobie engendre des réactions de décomposition, avec une forte augmentation de l'entropie. C'est le cas de la préparation du biométhane. A partir des chaînes polymériques très ordonnées, se forment des petites molécules de méthane (CH_4) en phase gazeuse. L'augmentation d'entropie est énorme. Il en est de même lors de la combustion du bois.

Dans un système de compost il se forme de plus grosses molécules que celles de départ. Il y a synthèse et diminution de l'entropie. Pour réaliser les synthèses, ce système vivant doit aussi brûler une petite quantité de biomasse carbonée avec un dégagement de CO_2. C'est ce qui explique la chaleur dégagée (processus exothermique) pendant le compostage. Pendant la fermentation méthanique, le processus est légèrement endothermique, c'est-à-dire qu'il absorbe de l'énergie. Par contre l'entropie augmente d'une manière spectaculaire, je dirais même « explosive ».

Toute décomposition ou putréfaction produit non seulement de l'entropie, mais aussi des molécules malodorantes. Un bon système de compostage dans lequel les synthèses d'acides humiques se déroulent ne dégage pas d'odeur.

Dans un autre ordre d'idées : tout mélange crée aussi de l'entropie (puisqu'à l'échelle moléculaire, ça augmente le désordre). Lorsqu'on mélange les eaux grises et les eaux-vannes, on produit beaucoup d'entropie. Toute séparation d'un mélange en ses composantes la diminue. C'est ce qui fait par exemple l'épuration des eaux. Seulement ceci ne peut se faire qu'avec une dépense d'énergie énorme. Le non-mélange de ces deux types d'eau représente, dès le départ, une économie d'énergie considérable. C'est un fait thermodynamique indiscutable. Pendant la clarification des eaux grises en bassin ouvert, on utilise l'énergie du rayonnement solaire pour diminuer l'entropie. L'ordre augmente, puisque la boue qui se dépose au fond du bassin se sépare de l'eau : l'entropie diminue, comme dans un système vivant. La vie est une lutte constante contre l'augmentation spontanée de l'entropie de tout système moléculaire. Cette lutte utilise donc de l'énergie. L'entropie de tout système abandonné, sans apport d'énergie, augmente spontanément.

J'espère avoir répondu à vos questions.

Joseph Országh

Mons, le 3 avril 2013.

ANNEXE 17

COMMUNIQUE DE PRESSE
LE 17 JUILLET 2017
UNIVERSITÉ PARIS DIDEROT
5 rue Thomas-Mann 75205 Paris Cedex 13
www.univ-paris-diderot.fr

VERS UNE PRODUCTION DE « CARBURANT SOLAIRE »

Une équipe de chercheurs du Laboratoire d'électrochimie moléculaire (Université Paris Diderot/CNRS) vient de développer un procédé capable de transformer le dioxyde de carbone (CO_2) en méthane (CH_4) à l'aide de lumière solaire et d'un catalyseur moléculaire à base de fer. Cette découverte représente une avancée car le CO_2 est une molécule particulièrement inerte, rejetée en quantité massive par les activités humaines et dont l'impact sur le changement climatique est connu. Ces résultats ouvrent une nouvelle voie vers la production de « carburant solaire » et le recyclage du CO_2. Ces travaux sont publiés dans la revue *Nature* le 17 juillet 2017.

Une photosynthèse « artificielle » pour recycler le CO_2

Aujourd'hui considéré comme un déchet, le recyclage du CO_2, utilisé en tant que matière première, est un défi majeur pour la recherche scientifique et un enjeu politique de premier plan. Marc Robert et Julien Bonin ont mis au point un procédé capable de le convertir en méthane, principal composant du gaz naturel qui est la troisième source d'énergie la plus utilisée au monde après le pétrole et le charbon.

Au cours de ce processus, la molécule de CO_2 perd progressivement ses atomes d'oxygène qui sont remplacés par des atomes d'hydrogène, stockant au passage de l'énergie sous forme de liaisons chimiques. Cette transformation, dite « réaction de réduction », permet d'obtenir une variété de composés allant du monoxyde de carbone et de l'acide formique (des matières premières clés pour l'industrie chimique) au méthanol (un carburant liquide), jusqu'au méthane, forme la plus réduite ayant concentré le plus d'énergie.

Si la plupart des processus connus utilisent des catalyseurs basés sur des métaux rares et précieux, les deux chercheurs ont développé un catalyseur à base de fer, un métal abondant, accessible et peu coûteux sur Terre. Aucun autre catalyseur moléculaire n'avait permis à ce jour de réaliser la réduction complète du CO_2 en CH_4. Ce processus catalytique fonctionne à pression et température ambiantes, en utilisant la lumière solaire comme seule source d'énergie, et ouvre la voie à une utilisation circulaire du CO_2.

Un nouveau pas vers une transition énergétique

En démontrant que la combinaison de la lumière solaire et d'un catalyseur à base de fer est capable de transformer le CO_2 en une molécule à fort contenu énergétique, le Laboratoire d'électrochimie moléculaire montre qu'il est possible de stocker l'énergie solaire renouvelable en une forme de carburant compatible avec les infrastructures industrielles et les réseaux d'énergie existants.

BIBLIOGRAPHIE

Visible-light driven methane formation from CO_2 with a molecular iron catalyst.
Nature, le 17 juillet 2017
Heng Rao, Luciana C. Schmidt, Julien Bonin, Marc Robert

CONTACTS CHERCHEURS

Marc ROBERT | robert@univ-paris-diderot.fr | 01 57 27 88 08
Julien BONIN | julien.bonin@univ-paris-diderot.fr | 01 57 27 87 93

CONTACT PRESSE
Gaëlle Heron
Direction de la communication
gaelle.heron@univ-paris-diderot.fr
01 57 27 83 39 – 06 47 65 61 99