

ARCHITECTURE SYMBIOTIQUE

Vers un rapport mutualiste de l'homme avec la nature

Énoncé théorique janvier 2020

Florence Nyffeler

Groupe de suivi

Directeur pédagogique : Emmanuel Rey

Second professeur : Vincent Kaufmann

Maître EPFL : Loïc Fumeaux

TABLE DES MATIÈRES

Préambule _____	p.4
Introduction _____	p.8
1. La symbiose en architecture	
1.1 Définition de la symbiose _____	p.10
1.2 De l'écologie industrielle à l'architecture _____	p.12
1.3 Les thèmes en interaction avec la notion de symbiose _____	p.16
2. Etudes de cas	
2.1 REAP _____	p.48
2.2 Precht _____	p.53
2.3 Effekt _____	p.57
3. Hypothèses projectuelles	
3.1 Programme _____	p.61
3.2 Site _____	p.67
Conclusion _____	p.72
Bibliographie _____	p.74

PRÉAMBULE

« On peut dire que les forêts précèdent les peuples, et que les déserts les suivent. »¹ (Calame M., 2016, p.47)

Depuis la révolution industrielle, les activités humaines nuisent à notre environnement. Le modèle industriel qui a été appliqué à tous nos domaines d'activité se caractérise par une consommation sans limite des ressources et par une production illimitée de déchets. Les conséquences néfastes qui en résultent se font ressentir partout dans le monde. En Suisse, nous assistons à une augmentation de la température moyenne de plus de 2 degrés qui raccourcit la saison d'enneigement et entraîne le recul des glaciers. Nous observons aussi de plus en plus de conditions météorologiques extrêmes, comme des épisodes de forts vents et de fortes précipitations, ainsi que la multiplication des vagues de chaleur pouvant provoquer des pénuries d'eau. Dans nos esprits, ces phénomènes sont peut-être difficilement associables à l'activité humaine, mais les dégâts que nous sommes en train de faire subir à la planète se révèlent peut-être plus nettement à l'étranger, où une bonne partie de notre impact environnemental se répercute à travers toutes nos importations.

La Suisse comme beaucoup d'autres pays est dépendante des importations pour l'alimentation. Le manque de surfaces agricoles en est souvent la cause. Les forêts tropicales qui sont les écosystèmes les plus riches en biodiversité sont ainsi

1 Citation attribuée à François-René de Chateaubriand

rasées au profit de monocultures de palmiers à huile ou de céréales fourragères; et en Espagne, des régions entières sont recouvertes de serres pour produire des fruits et légumes hors saison.

Le secteur de la construction nous offre aussi un exemple frappant de notre impact sur l'environnement. Certaines villes comme Singapour et Monaco ont besoin de créer des surfaces supplémentaires sur l'eau pour pouvoir s'étendre. Des quantités astronomiques de sable sont importées et déversées dans l'eau pour gagner un peu de terrain. De même, Dubaï s'est rendu compte qu'il était plus avantageux économiquement de s'étendre sur l'eau plutôt que sur la terre ferme, et a ainsi développé plusieurs projets de construction d'îles artificielles. Ce genre d'opérations est en train de provoquer des catastrophes environnementales partout dans le monde. Le sable pompé au fond des mers détruit de nombreux écosystèmes et entraîne une érosion sévère le long des côtes. À titre d'exemple, déjà 25 îles indonésiennes ont disparu à ce jour (Delestrac D., 2013). En plus de l'extension des terres sur la mer, il faut aussi considérer la surexploitation du sable dans le secteur de la construction. Ce matériau a des propriétés qui le rendent utile à la fabrication de nombreux produits mais nous l'emprisonnant dans du béton pour nos bâtiments et nos routes sans que ce soit toujours nécessaire. Le sable n'est pas une ressource renouvelable et sa surexploitation commence à créer des conflits et des trafics illégaux à certains endroits du globe.

La situation ne risque pas de s'améliorer d'elle-même, il est donc important de chercher des alternatives dans notre mode de vie pour réduire notre impact, et je suis convaincue que l'architecture touche à suffisamment de domaines pour être capable de faire une réelle différence dans cette situation de crise environnementale à laquelle nous faisons face.

« Fields of corn and soya stretching as far as the eye can see, plastic polytunnels so vast they can be seen from space, industrial sheds and feed lots full of factory-farmed animals – these are the rural hinterlands of modernity. » (Steel C., 2009, p.8)



Forêt tropicale de Sumatra, Indonésie



Mato Grosso, Brésil

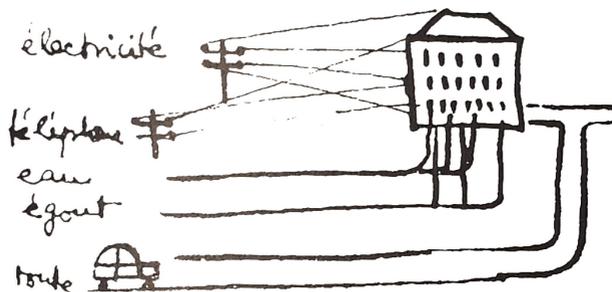


Province d'Almeria, Espagne

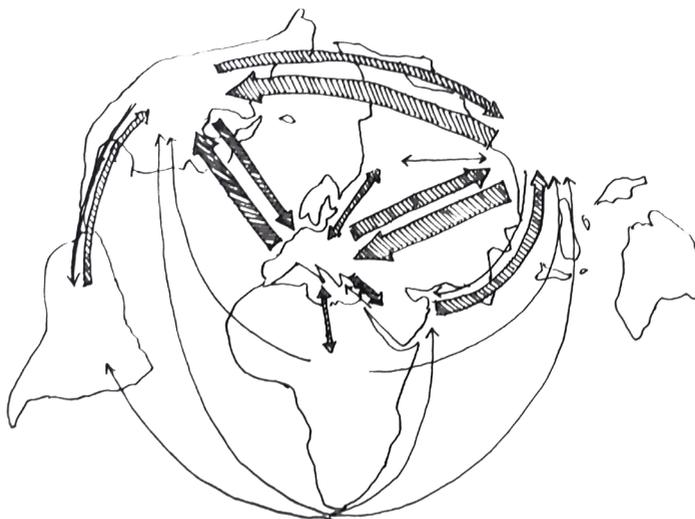


Palm Islands, Dubaï

« Une personne sous assistance vitale doit toujours être surveillée et “branchée” aux différents appareils qui la maintiennent en vie. C’est notre concept actuel pour le logement » (Reynolds M., dans Lopez F., 2014). Pareil pour toutes les importations qui nous rendent dépendants du monde entier.



Yona Friedman, “Les techniques d’alimentation”, 1959



Flux commerciaux dans le monde

INTRODUCTION

La symbiose, au sens large, est une association biologique durable et réciproquement profitable entre des organismes d'espèces différentes. Il s'agit donc d'un écosystème fermé, où les profits et les pertes sont en équilibre. Il fut une époque durant laquelle nous respections les flux circulaires imposés par la nature, mais notre société est bien loin de ce modèle depuis la révolution industrielle. En effet, « le système industriel actuel est moins un véritable "système" qu'une collection de flux linéaires qui s'ignorent entre eux » (Erkman S., 1998, p.42). Ce mode de vie nous pousse à consommer des ressources illimitées et à produire des quantités illimitées de déchets. Nous sommes devenus dépendants de tous ces réseaux auxquels nous sommes reliés et avec la mondialisation, nous allons chercher nos ressources toujours plus loin, déplaçant ainsi notre impact environnemental vers des pays étrangers. Nous dépassons ainsi les capacités de la terre et la symbiose est peut-être une piste pour revenir à une circularité et nous sortir de la crise environnementale à laquelle nous faisons face.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la possibilité de faire une architecture plus respectueuse de l'environnement en utilisant la symbiose comme source d'inspiration. Pour faire cela, ce travail est divisé en trois chapitres, chacun comportant plusieurs parties.

Le premier chapitre traite des aspects théoriques de la symbiose et de son application à l'architecture. La première partie définit

la symbiose ainsi que les différents types d'interactions qui existent dans les écosystèmes. Ceci nous permettra d'établir des comparaisons et de voir dans quelle mesure chaque type de ces interactions peut affecter l'architecture. La seconde partie explique comment la symbiose a servi de modèle à l'écologie industrielle, et à partir de là, comment elle peut s'appliquer à l'architecture. La troisième partie examine six thèmes en interaction avec la notion de symbiose qui devraient être pris en compte lors de la conception d'un projet architectural.

Le deuxième chapitre est constitué de trois études de cas sur des projets non réalisés qui utilisent la symbiose pour réduire leur impact environnemental. Le premier est le Rotterdam Energy Approach and Planning qui planifie une symbiose énergétique à différentes échelles pour la ville de Rotterdam. Le second est le projet *The Farmhouse* du bureau Precht qui réintroduit la production de nourriture dans la ville. Le troisième est le projet *ReGen Villages* du bureau Effekt qui crée un village autosuffisant grâce à de multiples réseaux symbiotiques.

Le troisième chapitre expose les hypothèses projectuelles. La première partie est dédiée au programme qui découlera des besoins d'un habitant symbiotique. La deuxième partie analyse un site choisi selon des critères qui auront été déterminés à partir des besoins listés dans la partie précédente.

1. LA SYMBIOSE EN ARCHITECTURE

Dans ce chapitre, nous allons définir le phénomène biologique qu'est la symbiose, puis nous nous intéresserons aux différents types d'interactions entre les organismes que l'on peut observer dans la nature. Nous étudierons ensuite, sur la base des travaux de Suren Erkman et de Pascal Gontier, de quelle façon la symbiose peut être une source d'inspiration pour une nouvelle espèce architecturale plus en harmonie avec l'environnement. Dans la dernière partie de ce chapitre, nous étudierons six thèmes en lien avec l'architecture, dont l'impact environnemental peut être réduit en suivant des principes de la symbiose.

1.1 Définition de la symbiose

Le botaniste allemand Anton de Bary a inventé le terme symbiosis en 1879, de sun (avec) et bios (vie) pour désigner la vie en commun d'organismes différents.

Ainsi, la symbiose définit tous les types d'interaction dans les écosystèmes, bien que dans le langage courant, « on réserve souvent le terme symbiose aux associations intimes, durables et bénéfiques entre des organismes appartenant à au moins deux espèces différentes » (Suty L., 2015, p.6). Les cinq principaux types de symbioses sont la prédation, la compétition, le parasitisme, le commensalisme et le mutualisme. Les organismes impliqués sont nommés les symbiotes ou symbiontes et le plus gros d'entre eux peut être qualifié d'hôte. Les trois premiers types de rapports sont négatifs, c'est-à-dire

que l'un des organismes agit toujours pour son propre bien au détriment de l'autre.

La prédation est le type de rapport le plus néfaste, étant donné que le prédateur tue sa proie pour s'en nourrir. Ce type d'interaction évoque le monde animal et ses grands prédateurs tels que les loups, les fauves ou encore les rapaces.

La compétition est une course au territoire, aux ressources, à la reproduction et à la hiérarchie sociale. C'est le cas par exemple des colonies d'abeilles où il ne peut y avoir qu'une seule reine; s'il y a plusieurs larves de reine, la première qui émerge tue les autres et si elles sont plusieurs à émerger en même temps, elles se livrent un combat pour déterminer laquelle régnera sur la colonie (Harivelo Ravaomanarivo L., 2013).

Le parasitisme est la relation où le parasite se sert d'un hôte pour se nourrir, s'abriter ou se reproduire, au dépens de celui-ci. Le parasite peut être soit externe, il s'agit alors d'un ectoparasite, ou alors interne, donc endoparasite. On peut citer comme exemple le champignon *Ophiocordyceps unilateralis* qui infecte une fourmi en s'emparant de son corps, comme si il la transformait en zombie. La fourmi est guidée contre son gré en haut d'un arbre et une fois arrivée assez haut, elle plante ses mandibules dans une feuille et meurt, permettant ainsi au champignon de se développer à travers son corps et de répandre efficacement ses spores (Perrin E., 2014).

Le commensalisme est une relation qu'on peut qualifier de neutre, puisque l'un des organismes tire des avantages sans affecter son hôte. Un exemple de commensalisme que l'on observe dans la nature est celui du héron garde boeufs qui se nourrit principalement des insectes et petits animaux dérangés par les mouvements du bétail (Zoom nature, 2016). Finalement, le mutualisme est l'unique interaction qui offre des bénéfices réciproques aux différents organismes. Ce sont les interactions mutualistes les plus abouties qui sont souvent considérées comme des symbioses. On peut ici encore distinguer l'ectosymbiose de l'endosymbiose, selon si le plus petit organisme vit à la surface ou à l'intérieur de l'autre. Comme exemples de mutualisme, on évoque volontiers le lichen qui est

l'association d'une algue et d'un champignon; l'algue fournit au champignon les nutriments issus de la photosynthèse tandis que le champignon fournit des sels minéraux et une réserve d'humidité à l'algue.

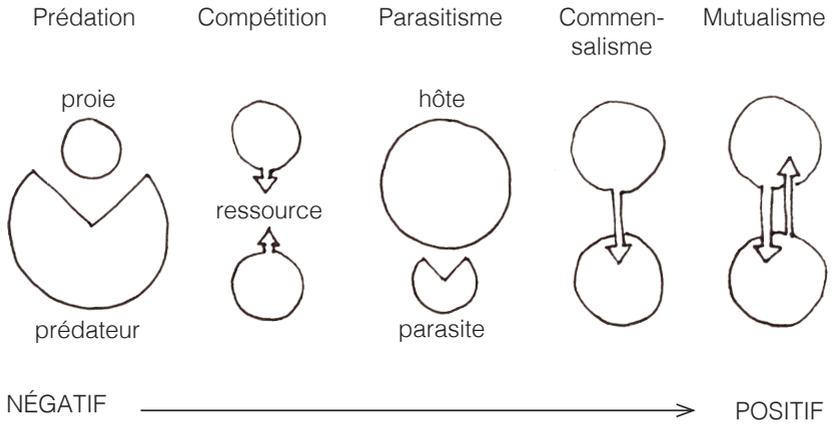
Les bénéfices tirés par les partenaires de la symbiose mutualiste peuvent être: trophiques (lié à l'alimentation), c'est le cas des lichens où, comme on vient de le voir, les algues et les champignons apportent chacun des nutriments différents; de protection, comme l'anémone de mer et le poisson clown qui vivent en symbiose et qui se protègent mutuellement; ou de propriétés émergentes, comme les nodules racinaires qui sont issu d'une association entre les racines de certaines plantes et des bactéries du sol, permettant aux plantes de fixer directement l'azote atmosphérique comme engrais vert (Suty L., 2015, p.6). Ce sont les réseaux trophiques qui nous intéresseront le plus dans la suite de ce travail, car ils peuvent servir de modèle aux activités industrielles en termes de transferts de matière et d'énergie.

« Notre culture nous prédispose à compter sur la prédation et la compétition plus que sur la coopération et la symbiose, dans la nature comme dans la société; Les relations coopératives et symbiotiques s'adapteront pourtant mieux au déclin énergétique qui nous attend. » (Holmgren D., 2014, p.349)

1.2 De l'écologie industrielle à l'architecture

Pour récapituler, la symbiose mutualiste est une association à bénéfices réciproques qui tend vers un équilibre entre les profits et les pertes dans un écosystème constitué de cycles courts et fermés. En tant que telle, la symbiose est une source d'inspiration pour ce que l'on appelle l'écologie industrielle. Suren Erkman définit ce principe dans son livre *Vers une écologie industrielle* et Pascal Gontier s'est donné pour mission d'étendre ce concept à l'architecture dans de nombreux écrits. Suren Erkman dénonce les méfaits de la société industrielle

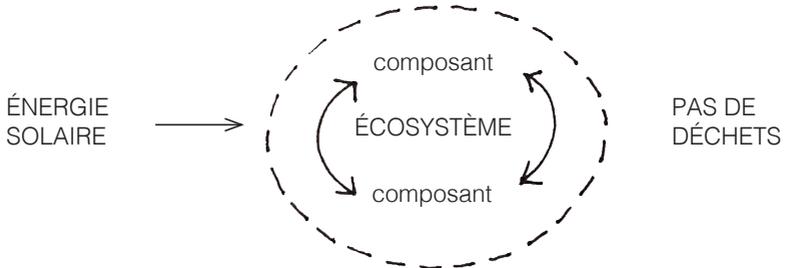
TYPES D'INTERACTIONS DANS LES ÉCOSYSTÈMES



ÉCOSYSTÈME JUVÉNILE



ÉCOSYSTÈME MATURE



constituée de flux linéaires caractérisés par une extraction non limitée de ressources et un rejet non limité de déchets. Ce type de comportement se rapproche d'un écosystème de type I, dit aussi juvénile car il est encore instable. Ainsi, « l'enjeu du concept d'écologie industrielle est de favoriser la transition vers un écosystème de type III » (Erkman S., 1998, p.37 et 39), aussi appelé écosystème mature. Celui-ci fonctionne dans un cycle fermé, où les déchets des uns constituent les ressources des autres, et où l'unique apport extérieur au système est l'énergie solaire. Pour s'éloigner de l'approche end of pipe du système industriel, Suren Erkman propose donc une restructuration écologique composée des quatre points suivants: valoriser les déchets comme ressources; boucler les cycles de matières et minimiser les émissions dissipatives; dématérialiser les produits et les activités économiques; décarboniser l'énergie (Erkman S., 1998, p.80).

L'exemple le plus répandu de ce concept est la symbiose industrielle de Kalundborg. Kalundborg est une petite ville danoise dans laquelle quelques grandes entreprises à forte consommation de matière première se sont établies. Chacune de ces entreprises rejette ses déchets et les autres en bénéficient comme ressources premières, le tout dans un système circulaire. Les partenaires principaux sont une raffinerie (Statoil), une centrale électrique (Asnaes), le site principal de Novo Nordisk (biotechnologie) et une usine de plâtre (Gyproc). Dans cet éco-parc industriel, on peut observer par exemple la combinaison de la centrale électrique, qui par un processus de désulfuration du gaz peut donner son gypse à l'usine de plâtre, lui évitant ainsi d'avoir à importer du gypse espagnol. Cette démarche s'est révélée écologiquement et économiquement profitable à tous les partenaires (UVED, 2012).

Comme pour l'écologie industrielle, il est possible de s'inspirer des écosystèmes naturels pour l'urbanisme et l'architecture. Pour qu'une symbiose soit mutualiste, les organismes doivent

appartenir à des espèces différentes afin de pouvoir s'apporter des bénéfices. Les éléments essentiels de la symbiose sont donc la diversité et les échanges; il en est de même pour les villes. Pourtant, il semble que nos villes actuelles aient perdu ces qualités et il est nécessaire de les retrouver. C'est dans ce sens que Pascal Gontier propose une alternative qu'il appelle la *symbiocité* :

« Le néologisme *symbiocité* semble relever du pléonasma, tant la ville est par essence le lieu de la vie en commun. Il semble pourtant que les nouveaux modèles urbains qui se développent avec la globalisation favorisent le repli sur soi. *Symbiocité* pourrait se définir comme la ville qui offre cette urbanité, tout en répondant aux enjeux écologiques de la société méta-industrielle. » (Gontier P., 2005)

Il s'agit donc de faire évoluer cette vie en commun vers une relation mutualiste. Pour y arriver, il faut se détacher de la globalisation qui nous rend dépendants de flux commerciaux de plus en plus internationaux. Il s'agirait de créer un nouveau réseau d'échanges qui remplacerait les flux linéaires par des cycles courts et décentralisés. À l'échelle de la ville, cela signifierait mettre un terme à la monofonctionnalité des quartiers amenée par la révolution industrielle. Pascal Gontier évoque la possibilité de créer des pôles symbiotiques autour de bâtiments à vocation pérenne. La symbiose à l'échelle du bâtiment permettrait quant à elle de créer des hybridations, des nouvelles entités architecturales. Le bâtiment symbiotique serait de taille suffisamment grande pour contenir une variété de programmes complémentaires et permettre des échanges significatifs entre les producteurs, les consommateurs et les décomposeurs.

1.3 Les thèmes en interaction avec la notion de symbiose

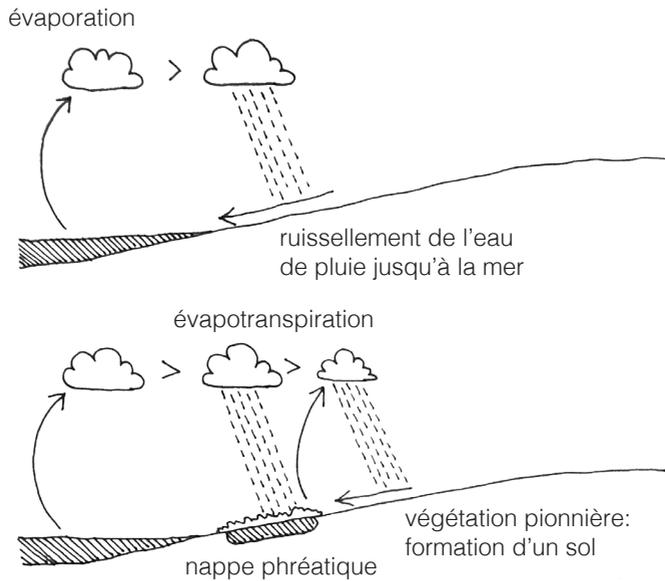
Actuellement, nous avons une relation parasitaire avec la planète; et pour ne pas devenir le type de parasite qui tue son hôte, nous devons modifier notre mode de vie. Nous avons

vu qu'une des pistes pour y parvenir est la symbiose. Celle-ci consiste à créer des réseaux d'échanges dans des cycles courts et décentralisés. Pour y parvenir, il faut cesser de traiter tous les domaines séparément, comme c'est la tendance aujourd'hui. Il faut associer des programmes qui se complètent pour limiter les consommations de ressources et la production de déchets. C'est dans cette optique que, dans cette partie, nous allons développer 6 thèmes en interaction avec la notion de symbiose qui devraient être pris en compte dans le projet architectural. Il s'agit du sol, des matériaux, de l'énergie, de l'eau, de l'alimentation et des déchets. Pour chacun de ces thèmes, nous commencerons par définir ce dont on parle, nous étudierons ensuite notre rapport actuel au domaine concerné sur la base du rapport *l'Environnement suisse 2018* (OFEV, 2018), puis nous proposerons une alternative plus respectueuse de l'environnement avant de finalement présenter un exemple pour illustrer le propos.

Le sol

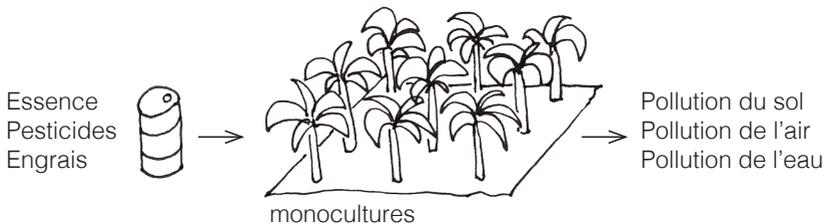
« Un sol vivant, bien structuré et riche en humus, peut stocker beaucoup d'eau, de substances nutritives minérales et de carbone. » (Holmgren D., 2014, p.127)

Le sol est la couche la plus externe de la croûte terrestre, celle qui contient la vie. Il est le résultat d'un processus de formation extrêmement lent. La vie est d'abord apparue dans les milieux océaniques et a ensuite colonisé la surface terrestre grâce aux nuages qui se sont formés sur la mer et vidés sur les terres. Les premiers êtres vivants à s'être installés sur les côtes sont les lichens. Les matières organiques accumulées au cours de nombreuses générations ont créé un premier sol. L'approfondissement de ce sol a ensuite permis à certains végétaux et finalement à des forêts de s'y installer. L'évapotranspiration des plantes est le processus qui a permis à la vie de s'étendre toujours plus vers le centre des surfaces continentales (Calame, 2016, p.37-38). Le sol est donc une ressource non renouvelable qu'il faut à tout prix conserver. Il



Colonisation du plateau continental par la vie

« L'agriculture intensive moderne, notamment, offre de spectaculaires exemples d'écosystèmes naturels ayant régressé au stade juvénile sous l'action humaine, et demeurant artificiellement dans cet état par des apports massifs d'énergie, d'engrais et de pesticides. » (Erkman S., 1998, p.80)



est indispensable à toute vie sur terre et il offre des services dont on ne peut se passer: « il régule les cycles de matières et d'énergie, produit la biomasse et constitue la base de la production agricole. » (OFEV, 2018, p.124).

« The nation that destroys its soil, destroys itself. »
Franklin D. Roosevelt (Steel C., 2009, p.37)

Les activités humaines, principalement l'urbanisation et l'agriculture, consomment et dégradent la qualité des sols. Avec la croissance démographique et l'augmentation de la surface habitable par personne, les villes sont dans l'incapacité d'absorber la demande grandissante de logement; il en résulte un mitage croissant du territoire. L'urbanisation est synonyme d'imperméabilisation du sol et de la perte de ses fonctions vitales. Un sol urbanisé peut mettre des milliers d'années pour revenir à son état naturel et pourtant, le tissu bâti s'étend sur l'équivalent de huit terrains de football par jour. Le nombre d'appartements vides ne fait qu'augmenter, ce qui s'explique par « un boom de la construction dans les campagnes ces dernières années – malgré l'exode rural » (Bondolfi B., 2020). Les institutions investissent dans l'immobilier plutôt que de laisser leur argent à la banque, seulement ils le font où la demande n'existe pas. Cet étalement se développe principalement sur le Plateau suisse au détriment des terres agricoles les plus productives et des forêts les plus accessibles de Suisse (OFEV, 2018, p.124). L'agriculture industrielle, comme nous le verrons dans la partie dédiée à l'alimentation, détériore elle aussi les sols par les apports massifs d'engrais et de pesticides et par une utilisation de machines de plus en plus lourdes.

Le sol n'est en équilibre que lorsqu'il n'est pas touché par l'homme. De ce fait, nous resterons probablement toujours des parasites de la terre, mais nous pouvons réduire considérablement notre impact. En construisant sur les friches urbaines ou en favorisant la rénovation plutôt que la création de nouveaux quartiers sur des terrains vierges, nous pourrions limiter le mitage du territoire. Au sein des villes, il faut

aussi mettre un terme à la monofonctionnalité des quartiers qui justifie l'étalement urbain. L'association de programmes complémentaires sur un même terrain permet d'entrer dans une sorte de relation mutualiste qui optimise l'utilisation du sol. Peut-être même que de telles combinaisons nous mèneraient vers la création de nouvelles entités architecturales.

Le Downtown Athletic Club étudié par Rem Koolhaas dans *Delirious New York* est un bon exemple d'optimisation de l'utilisation du terrain. Ce gratte-ciel construit sur une parcelle relativement petite, comprend 38 étages qui sont tous affectés à des programmes différents. On y trouve une piscine, un mini-golf, des courts de squash et de tennis, ainsi que des salles à manger et des logements. Les espaces d'habitation et de loisirs se superposent ainsi, garantissant une utilisation sans interruption de la parcelle. Pour que le bâtiment soit symbiotique, les différentes fonctions qui le composent devraient être complémentaires par exemple du point de vue énergétique, comme nous le verrons dans la suite de ce travail. Mais la façon dont les programmes de jour se superposent aux programmes de nuit, le tout concentré sur une parcelle de taille réduite, reste tout de même une caractéristique dont on peut s'inspirer.

Les matériaux

L'un des besoins fondamentaux de l'homme est de s'abriter. Les matériaux utilisés dans ce but varient selon les époques et les régions. Mais on ne construit pas pour l'éternité, et un jour ça reviendra à la terre. Il est donc nécessaire de bien choisir nos matériaux de construction pour ne pas nuire à l'environnement. Les matériaux de gros oeuvre ont un impact environnemental particulièrement conséquent, en raison de leur masse importante. Cet impact est calculé tout au long du cycle de vie des matériaux. Il comprend l'énergie grise liée à l'extraction des ressources et à la fabrication, les émissions liées à l'utilisation et finalement l'élimination des matériaux en

fin de vie du bâtiment.

Chaque année, 60 à 70 millions de tonnes de matériaux de construction sont utilisés pour le patrimoine bâti suisse (bâtiment et travaux publics). Sur cet ensemble, le béton représente environ 60% des matériaux exploités; le gravier et le sable se placent en deuxième position avec une utilisation d'environ 10% du flux de matière annuel (OFEV, 2018, p.159-160). Ces ressources sont abondantes mais ne sont pas renouvelables. Dès lors, notre utilisation des matériaux est parasitaire. On se sert continuellement de matière première sans rien donner en retour. Pour extraire ces matériaux, des écosystèmes sont perturbés et des conflits et du trafic se développent, à l'image de la mafia et de la guerre du sable dans certains pays. Notre impact est quelque peu amoindri par le recyclage, car environ trois quart des matériaux de déconstruction sont réinjectés dans le système en tant que matières premières secondaires (OFEV, 2018, p.159-160). Néanmoins, dans l'ensemble, ceci ne représente que 20% de la matière première nécessaire à toutes les nouvelles constructions.

Par le choix des matériaux au cours du projet, il est possible de réduire l'énergie grise au cours de la fabrication. Une bonne conception permet aussi d'améliorer l'efficacité thermique du bâtiment et la qualité de l'air intérieur durant la phase d'utilisation. En fin de vie du bâtiment, il est important de pouvoir trier et réutiliser les matériaux et quand ce n'est pas possible, veiller à ce qu'ils ne libèrent pas de substances nocives pendant leur incinération. Il faut donc privilégier les matériaux écologiques, secondaires, renouvelables et locaux pour réduire de façon efficace notre impact environnemental (KBOB, 2017).

Les matériaux biosourcés répondent à ces critères. Il s'agit de matériaux issus du vivant, animal ou végétal, comme la paille, la laine, le bois, etc. Ces ressources sont renouvelables; c'est comme si on empruntait à la terre avant de lui rendre. L'utilisation de ce type de matériaux nous permettrait de nous

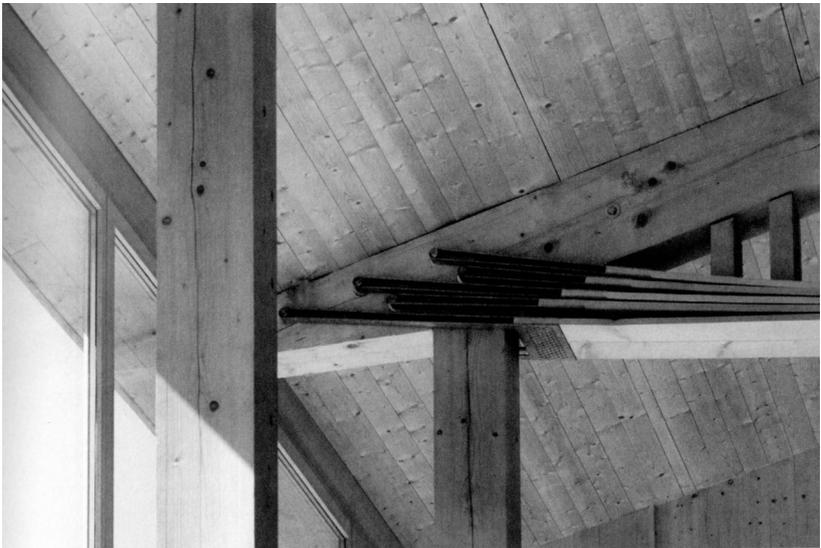
éloigner du modèle linéaire actuel pour aller vers une économie circulaire plus durable. On peut citer en particulier le bois, qu'il faudrait utiliser d'avantage dans les constructions. Le bois des forêts suisses qui recouvrent 32 % de la superficie du pays, est produit selon les principes de développement durable et contribue à la protection du climat (OFEV, 2018, p.119). Les arbres absorbent du CO₂ qui reste stocké dans les bâtiments en bois et qui est relâché une fois le matériau brûlé. Le CO₂ relâché sera ensuite absorbé par un nouvel arbre et ainsi de suite. Les constructions en bois sont donc neutres en carbone. De plus, l'énergie grise des constructions en bois est assez faible, car la plupart de l'énergie nécessaire à la fabrication a déjà été fournie par le soleil pour la photosynthèse. En utilisant du bois pour nos constructions, nous avons une approche plus commensaliste, car nous ne faisons qu'emprunter à la forêt sans lui nuire.

La salle polyvalente de Vrin est un bel exemple de construction en bois. À partir de leurs connaissances des propriétés du bois, l'architecte Gion A. Caminada et l'ingénieur Jürg Conzett ont mis au point une forme de toiture sans précédant. Les poutres fonctionnent en traction et sont chacune constituées de 5 longues planches de bois de 24 mm d'épaisseur, clouées ensemble et attachées de côté par des jonctions métalliques. Au niveau de ces liaisons, les lamelles de bois se séparent les unes des autres, ce qui donne une impression de légèreté à l'ensemble.

« En sublimant de simples planches, ce dispositif structurel spécifique permet de mettre en exergue le savoir-faire des artisans locaux. » (Curien E., 2018, p.84)

Plutôt que de recourir à des poutres standards de type lamellé-collé pour atteindre la même portée, Gion A. Caminada favorise l'utilisation des ressources matérielles et humaines locales. Pour lui, l'utilisation du bois dépasse la volonté de réduire l'énergie grise; il s'agit de refuser l'industrialisation et de s'en

« Refuser les dégradations sociales liées à l'industrialisation ne signifie pas simplifier à outrance les procédés constructifs, bien au contraire. Gion A. Caminada choisit de proposer des formes architecturales utilisant certes des technologies nécessitant peu d'investissements économiques, mais demandant un haut niveau de savoir faire. Ce faisant, la construction de l'édifice devient le lieu non seulement de la transmission de compétences mais aussi de la création de nouveaux savoir-faire. »
(Curien E., 2018, p.83)



Gion A. Caminada – Salle polyvalente, Vrin, 1995

libérer. En se servant des ressources forestières locales et du savoir-faire artisanal, il est possible d'améliorer l'économie locale ainsi que la qualité de vie des habitants d'un territoire. En refusant l'industrialisation et la répétition vide de sens des gestes du travail que celle-ci entraîne, les artisans donnent un sens à leur activité et s'ancrent dans une culture spécifique et une tradition locale.

« Cela permet aux artisans d'expérimenter leurs compétences spécifiques et, on peut l'espérer, de retirer de la fierté de leur travail, donc de se construire en tant qu'individus. » (Curien E., 2018, p.83)

L'énergie

La consommation énergétique des bâtiments se divise en deux catégories: l'énergie grise et l'énergie liée à l'utilisation. L'énergie grise est l'énergie nécessaire durant tout le cycle de vie du bâtiment qui comprend cinq étapes: la production, la construction, l'entretien, la démolition et le recyclage. Elle se distingue de l'énergie liée à l'utilisation qui englobe l'eau chaude sanitaire, la ventilation, le chauffage, la réfrigération, l'éclairage et l'électricité.

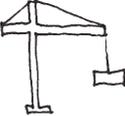
En 2017, plus de la moitié de la consommation brute d'énergie provenait de sources fossiles, tandis que 22,3 % provenait de la force hydraulique et 19,7 % du nucléaire. Toutes ces ressources ont leur part d'impact négatif sur l'environnement, que ce soit en Suisse ou à l'étranger. Ils contribuent notamment à émettre du CO₂, à détruire des écosystèmes et à dégrader des paysages. Finalement, seul 8,7 % de la consommation brute d'énergie a été couverte par les autres énergies renouvelables (OFEV, 2018, p.32).

L'impact environnemental du parc immobilier suisse est principalement dû à l'énergie utilisée pour le chauffage et l'électricité (OFEV, 2018, pp. 31, 68). Ceci est lié au fait que l'environnement bâti en Suisse est principalement composé de vieux bâtiments dont les performances thermiques sont

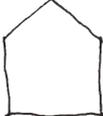
ENERGIE GRISE



fabrication



construction



entretien

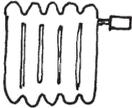


démolition



recyclage

ENERGIE LIÉE À L'EXPLOITATION



chauffage



eau chaude



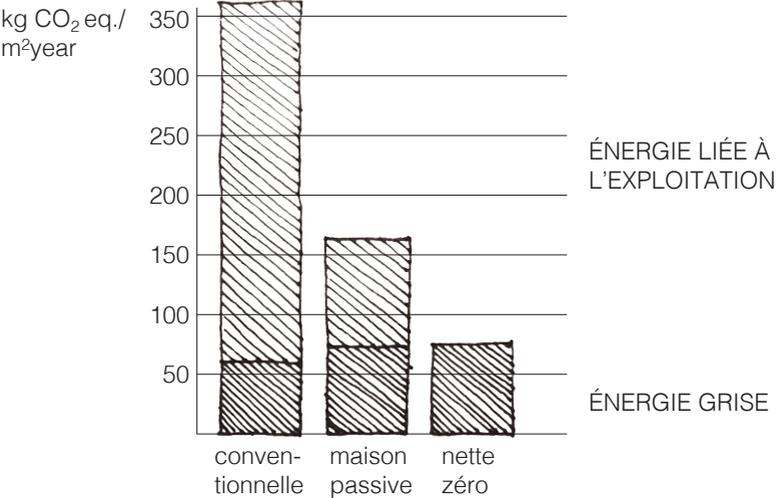
éclairage



ventilation



électricité



particulièrement faibles. Dans les nouvelles constructions, la consommation d'énergie liée à l'exploitation diminue toujours plus, jusqu'à devenir quasiment nulle dans les bâtiments passifs, tandis que l'énergie grise reste toujours importante.

De nombreuses initiatives ont déjà été lancées pour améliorer notre impact environnemental lié à l'approvisionnement en énergie. Il s'agit par exemple de la *Stratégie énergétique 2050* qui a été acceptée le 21 mai 2017 par le peuple suisse. Elle vise à réduire la consommation d'énergie, à améliorer l'efficacité énergétique et à promouvoir les énergies renouvelables. De plus, une sortie progressive du nucléaire est prévue. La Suisse pourra ainsi diminuer sa dépendance aux importations de matières premières et favoriser les énergies locales, ce qui créera des investissements et des emplois dans le pays. Concernant plus spécifiquement le domaine de la construction, le *Programme bâtiment* offre des subventions pour améliorer l'efficacité énergétique du parc immobilier suisse. Une bonne isolation permet par exemple de réduire de plus de moitié le besoin en énergie d'un bâtiment et le passage à des énergies renouvelables permet même de ne presque plus émettre de CO₂. Cette stratégie nous permettrait de passer d'un statut de parasite à celui de commensal.

Le point le plus important est donc de réduire nos consommations, car « la plus renouvelable des énergies est celle... qu'on n'a pas consommée! » (Calame M., 2016, p.119). De nombreuses mesures architecturales peuvent nous faire parvenir à une réduction significative de la consommation énergétique. Alors que dans le passé, le principal poste de consommation était le chauffage, cette question appartiendra bientôt au passé grâce à l'utilisation de matériaux et de détails constructifs adaptés. C'est le cas des bâtiments passifs qui peuvent se passer d'installations de chauffage traditionnel, grâce entre autre à la ventilation double flux, dont l'échangeur permet de récupérer la chaleur de l'air vicié sortant pour réchauffer l'air neuf entrant, sans que les deux flux ne se mélangent. Ce système est cependant gourmand en énergie car il nécessite

deux moteurs pour extraire l'air vicié et pour insuffler l'air neuf. Pour diminuer cette demande, il est envisageable d'utiliser un système de ventilation hybride qui combinerait le double-flux en hiver et la ventilation naturelle en été. Ceci créerait la contrainte de disposer des fenêtres dans toutes les pièces, ce qui finalement serait aussi une opportunité pour apporter un maximum de lumière naturelle dans le bâtiment. Il faut pour cela aller à l'encontre de la tendance actuelle des bâtiments compacts qui maximisent les surfaces habitables dans des bâtiments de hauteur réduite.

« Le bâtiment a aujourd'hui besoin d'une vraie cure d'amaigrissement mais pour cela il lui faut grandir un peu. » (Gontier P., 2016)

Après avoir pris ces quelques mesures architecturales pour réduire la consommation d'énergie, la combinaison de différentes fonctions permet de récupérer de l'énergie ou de la chaleur perdue par d'autres programmes. Il est ensuite possible de produire l'énergie nécessaire restante à partir d'énergies renouvelables. Nous analyserons ce procédé plus en détail à partir du projet REAP (Rotterdam Energy Approach and Planning) dans le chapitre dédié aux études de cas.

Concernant les énergies renouvelables, il convient aussi de préciser que bon nombre d'entre elles nécessitent des apports d'énergie non renouvelables pour être récoltées, stockées et utilisées. La biomasse, qui permet d'obtenir de l'énergie respectueuse de l'environnement à partir de biodéchets, semble être une bonne piste à suivre dans l'optique de limiter notre consommation d'énergies non renouvelables, puisque « c'est la photosynthèse et le fonctionnement naturel de la forêt qui ont déjà fait l'essentiel du travail » (Holmgren D., 2014, p.236).

« Les arbres constituent la forme ultime de captage et de stockage biologiques de l'énergie solaire utilisable par les générations futures. » (Holmgren D., 2014, p.239)

Dans les villes, des équipements de valorisation de la biomasse permettraient de produire de l'énergie renouvelable en traitant directement les déchets organiques produits par les citoyens. Ces installations de traitement des déchets seraient de petite taille et disposés au coeur des différents quartiers pour réduire la quantité de réseaux. « Une telle approche écosystémique contribuerait à l'instauration de circuits courts et conduirait à réduire les flux en valorisant localement comme ressources une certaine proportion des déchets produits » (Gontier P., 2008). Cette démarche est aussi intéressante d'un point de vue social, dans le sens où « la valorisation de la biomasse et des déchets organiques nécessite des emplois de proximité et dynamise la vie des collectivités locales » (Erkman S., 1998, p.98).

Le bâtiment Max Weber de l'Université de Paris Nanterre réalisé par l'Atelier Pascal Gontier en 2012-2016, expose de nombreuses dispositions architecturales prises dans le but de réduire sa consommation énergétique. Il s'agit d'un bâtiment de bureaux passif construit entièrement en bois, y compris les cages d'ascenseur et d'escaliers.

Les constructions passives se caractérisent par des besoins en chauffage si bas qu'un dispositif de chauffage traditionnel n'est pas nécessaire. Cette faible consommation d'énergie est le résultat d'une enveloppe fortement isolée et de la suppression des ponts thermiques. « Contrairement aux idées reçues, il n'est pas nécessaire sur ce type de bâtiment d'avoir de petites tailles d'ouverture en façade nord » (Gontier P., Benard M., 2007). Ainsi, les généreuses fenêtres en triple vitrage sont régulièrement disposées sur toute la façade. Elles servent à ventiler le bâtiment et éclairent naturellement des espaces généralement aveugles tels que les couloirs et les cages d'escalier. Les intérieurs possèdent donc des vues dégagées vers l'extérieur et ont un caractère singulier et chaleureux grâce au bois apparent. Les sols en béton brut assurent l'inertie et le confort d'été sans besoin de climatisation.

Le système de ventilation naturelle, en été comme en hiver,



Pascal Gontier – Bâtiment Max Weber, Université de Paris Nanterre, 2016

du bâtiment Max Weber le différencie des bâtiments passifs habituels. Plutôt que d'installer une ventilation double flux gourmande en énergie, 25 cheminées de ventilation ont été placées en toiture. Ces cheminées sculpturales en aluminium sont des objets techniques et architecturaux de 3,70 mètres de haut qui participent à l'identité du bâtiment et servent de signal sur le campus (Atelier Pascal Gontier, 2016).

L'eau

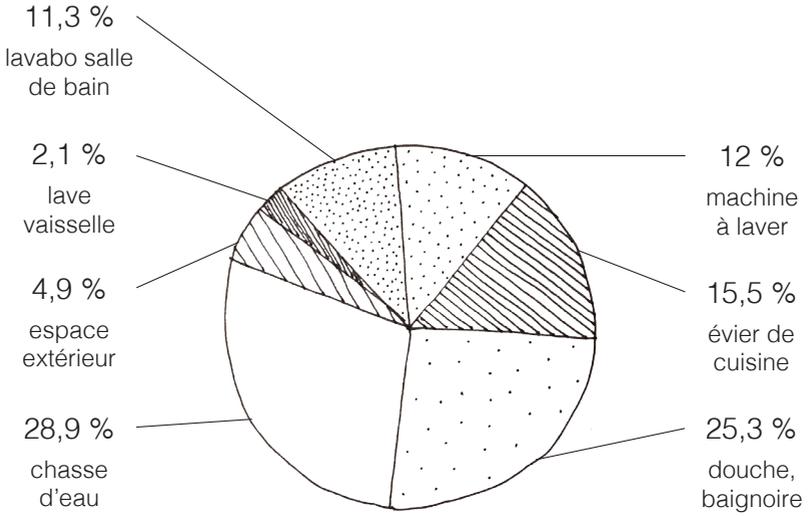
L'eau est une ressource naturelle indispensable à tous les organismes vivants de la planète. On distingue l'eau potable des eaux claires et des eaux usées. Tous nos bâtiments sont approvisionnés en eau potable, les eaux claires (ou eaux pluviales) sont directement emmenées dans la nature et les eaux usées finissent dans des canalisations pour rejoindre une station d'épuration. La STEP traite l'eau avant de la déverser dans les lacs ou les rivières, toutefois sans parvenir à éliminer tous les polluants qu'elle contient; une eau épurée n'est donc pas pure. Durant le processus d'épuration, la fermentation des boues génère du biogaz qui sert à produire de l'électricité et de la chaleur. Les boues sont ensuite séchées et incinérées, alors qu'elles pourraient servir d'engrais pour l'agriculture si elles n'étaient pas autant polluées (Services cantonaux de l'énergie et de l'environnement, s. d.).

En Suisse, notre responsabilité quant à la protection des eaux est particulièrement importante du fait de notre position en amont de nombreux cours d'eau européens tels que le Rhin, le Rhône, le Tessin et l'Inn (OFEV, 2018, p.107). Cependant, le cycle naturel de l'eau est perturbé par les changements climatiques ainsi que par les activités humaines et il est nécessaire de changer notre rapport à cette ressource pour cesser de lui nuire.

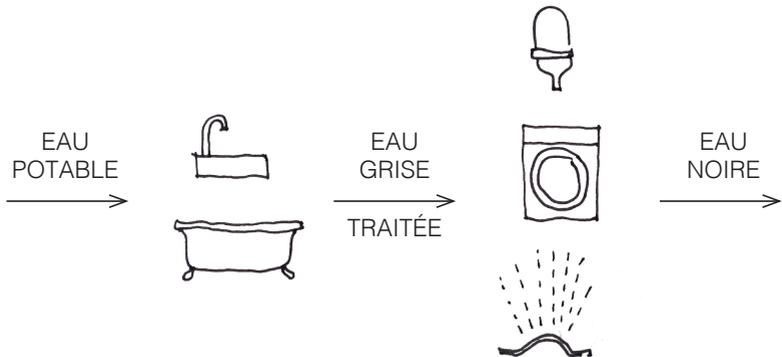
Les eaux subissent une forte pression causée principalement par l'urbanisation et l'agriculture intensive. L'urbanisation entraîne des prélèvements d'eau importants mais aussi une

POSTES DE CONSOMMATION DE L'EAU POTABLE

142 litres d'eau par personne par jour



TRAITEMENT DE L'EAU GRISE



augmentation des rejets d'eaux pluviales et des eaux usées. Elle est aussi la cause de l'imperméabilisation des sols qui empêche l'eau d'être absorbée en cas de pluies abondantes, alors que les changements climatiques sont justement en train d'augmenter la fréquence de fortes précipitations. On y rencontre aussi un problème de salubrité, puisque « environ 80% des cours d'eau situés en milieu bâti sont dans un mauvais état écomorphologique » (OFEV, 2018, p.68). Tandis que l'eau dans les régions bâties contient des micropolluants issus des ménages et des industries, les régions agricoles sont elles polluées par des biocides, des produits phytosanitaires et des composés azotés. Par ailleurs, ce type d'agriculture intensive dégrade tant la qualité des sols qu'elle participe à les rendre imperméables.

Jusqu'à présent, nous avons eu la chance d'avoir de l'eau en abondance en Suisse. Mais avec le réchauffement climatique et les étés de plus en plus secs, nous avons pu nous rendre compte que nous ne sommes pas à l'abri de pénuries d'eau potable durant les périodes estivales. La base de ce problème est notre consommation inappropriée d'eau potable. En effet, nous l'employons actuellement pour toutes nos utilisations domestiques, c'est-à-dire comme boisson et pour la cuisine, pour les besoins d'hygiène mais aussi pour la chasse d'eau et pour l'arrosage du jardin. Mais une eau moins pure suffirait à couvrir une bonne quantité de nos besoins, comme le rinçage de nos toilettes qui correspond à un tiers de notre consommation d'eau (SSIGE, 2018). Il serait possible d'utiliser les eaux claires et d'instaurer des cycles courts de traitement des eaux grises, ce qui permettrait de consommer moins d'eau potable à la source et d'avoir un rapport un peu plus commensaliste à l'eau.

Traiter l'eau et la réutiliser directement sur place permettrait aussi de sensibiliser les gens à la pollution de l'eau et les inciterait très probablement à arrêter de se servir des canalisations comme des poubelles.

« Un dispositif de traitement biologique de l'eau peut être intégré, comme espace paysagé, à l'intérieur d'un îlot ou dans un parc. La biomasse qu'il produit peut être valorisée comme combustible, méthane ou végétation d'agrément. Une ferme d'aquaculture peut même être associée à cet équipement. »
(Gontier P., 2005)



Atelier Pascal Gontier et Equateur architecture – Piscine olympique écologique, Paris, 2003

Il faut redonner une place aux espaces liés à l'eau qui puissent assumer leur rôle de milieux naturels qui abritent des écosystèmes et qui servent d' « aire de détente pour les êtres humains » (OFEV, 2018, p.107).

Le traitement de l'eau par les plantes (la phytoépuration) offre de réelles possibilités architecturales, comme on peut le voir dans les projets de piscines écologiques de Pascal Gontier. En collaboration avec le bureau Equateur, ils ont conçu en 2003 un projet de piscine olympique biotope pour la candidature de Paris à l'organisation des Jeux Olympiques de 2012. En 2007, l'Atelier a refait un projet de piscine écologique pour un spa à Anzère. Ces projets n'ont pas été réalisés mais présentent un concept architectural et environnemental innovant et inspirant. Le traitement de l'eau dans un circuit fermé se rapproche d'un écosystème naturel. Il permet de se passer de produits chimiques, ce qui présente des avantages pour l'environnement et pour la santé des nageurs. Ce principe d'auto-épuration présente aussi l'avantage de pouvoir évacuer l'eau directement dans la nature sans avoir à passer par des stations d'épuration. Les bassins de régénération de l'eau sous serre deviennent des jardins botaniques accueillant une végétation tropicale et créent une nouvelle atmosphère pour le lieu.

L'alimentation

« Feeding cities takes gargantuan effort; one that arguably has a greater social and physical impact on our lives and planet than anything else we do. Yet few of us in the West are conscious of the process. Food arrives on our plates as if by magic, and we rarely stop to wonder how it got there. » (Steel C., 2009, p.ix)

Selon le rapport suisse sur l'environnement de 2018, le secteur de l'alimentation est celui qui a le plus grand impact environnemental (28%), devant les secteurs du logement (24%)

et de la mobilité (12%). Comme pour les matériaux, les aliments font partie de tout un cycle dont il faut tenir compte pour juger l'impact global de notre alimentation. Ce cycle comprend la production agricole, la transformation et l'emballage des aliments, leur distribution et finalement la préparation et la consommation de la nourriture.

Suite à l'industrialisation et à la modernisation, le train puis l'avion ont permis d'éloigner de plus en plus la production alimentaire des villes. Cette délocalisation est encore intensifiée par la tendance urbaine actuelle qui consiste à s'étaler sur les surfaces agricoles, ce qui nous rend toujours plus dépendants des importations. Plus de la moitié de notre impact environnemental lié à l'alimentation se retrouve ainsi répercutée à l'étranger (OFEV, 2018, p.58). On peut citer par exemple la destruction de la forêt amazonienne, qui contient pourtant la plus grande biodiversité de la planète, pour obtenir de nouvelles surfaces de cultures de palmiers à huile et de céréales fourragères; ou encore la région du sud de l'Espagne, recouverte de tunnels en plastique où sont cultivés la plupart de nos fruits et légumes, et qui se transforme rapidement en désert. De façon moins extrême, le principe même de l'agriculture industrielle détruit les écosystèmes. En effet, le système fondé sur des monocultures intensives nécessite un apport toujours plus élevé d'engrais chimiques et l'utilisation de machines toujours plus lourdes. Ceci nuit à la diversité biologique, pollue l'air et l'eau et détruit les sols. Selon Marx (dans *Capital*, 1860), l'agriculture capitaliste a produit « une rupture irréparable du métabolisme reliant la société humaine et la nature » (Fressoz J.-B., 2011, p.158). Liebig et lui dénonçaient en effet l'absurdité de se servir de produits chimiques au lieu de recycler les excréments humains des villes en engrais pour les surfaces agricoles.

Telle l'expression loin des yeux, loin du coeur, l'éloignement grandissant entre les zones de production agricole et les zones urbaines a aussi l'effet néfaste de diminuer la sensibilité de

« Jusqu'à l'ère industrielle, le schéma de Johann Heinrich von Thünen déterminait la figure universelle des villes modernes avec leurs anneaux successifs: centre urbain, maraîchage, bois, champs de céréales, élevage, nature sauvage. Le train et la révolution industrielle ont bouleversé cette logique et laissé un vide. » (Rosenstiehl A., 2018, p.469)

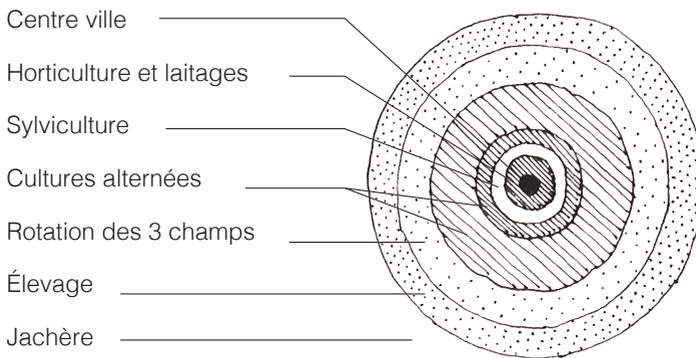
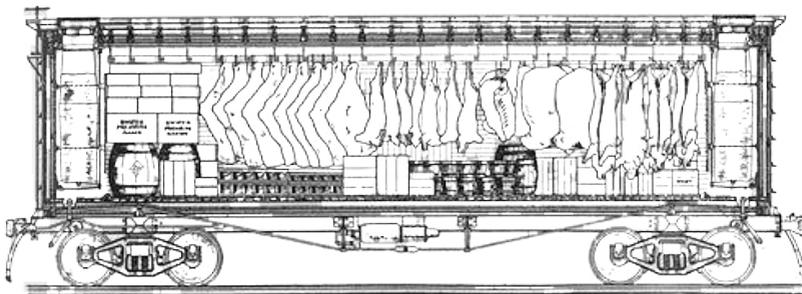


Schéma de Johann Heinrich von Thünen



Courtesy of Swift and Company.

Vue intérieure d'un wagon réfrigéré permettant les transports à longue distance des aliments

la société quant au respect de la nourriture. Celle-ci apparaît comme par magie dans nos assiettes et on tend à oublier tout le travail qui a été fourni pour qu'elle arrive jusqu'à nous. C'est en tout cas ce que l'on peut déduire des statistiques sur le gaspillage alimentaire en Suisse: environ 300 kg de denrées alimentaires par personne sont jetées chaque année, alors que plus de la moitié serait encore comestible (OFEV, 2018, p.162) et environ un tiers de la production agricole se perd « entre le champ et l'assiette » (OFEV, 2018, p.61). Le faible coût de l'alimentation témoigne aussi du problème. En 2017, seulement 12 % des dépenses de consommation des ménages suisses revenait à l'alimentation (OFS, 2019). Carolyn Steel dénonce cette situation en Angleterre:

« We have never spent less on food than we do now: food shopping accounted for just 10 per cent of our income in 2007, down from 23 per cent in 1980. Eighty per cent of our groceries are bought in supermarkets, and when we shop for food, our choices are overwhelmingly influenced by cost, well ahead of taste, quality or healthiness. » (Steel C., 2009, p.5)

Un niveau de vie élevé comme le notre permet aussi de consommer des produits plus chers qui ont un impact plus élevé, comme la viande et les produits laitiers, le poisson, le café, le chocolat ou les fruits exotiques (OFEV, 2018, p.59). Cependant, on observe aussi une augmentation de la demande de produits biologiques, et l'engouement pour des projets du style jardins partagés et incroyables comestibles révèlent une prise de conscience et une volonté d'une part de la société de se nourrir de façon plus respectueuse de l'environnement.

Différents types d'agriculture se développent à l'encontre du modèle industriel. On peut citer par exemple l'agroécologie théorisée par Matthieu Calame et la permaculture théorisée par Bill Mollison et David Holmgren. Ces pratiques se basent sur l'imitation des relations dans les écosystèmes complexes naturels pour viser « un système intégré et évolutif d'espèces

végétales et animales pérennes, ou s'autopérennisant, utiles à l'homme » (Holmgren D., 2014, p.36), le tout appliqué à une échelle locale; contrairement à l'agriculture industrielle qui repose sur les apports de nutriments chimiques et les machines pour produire un maximum sur des surfaces de monocultures toujours plus étendues et éloignées.

« L'agriculture traditionnelle exige ainsi beaucoup de main d'oeuvre, l'agriculture industrielle, beaucoup d'énergie, et les systèmes permaculturels beaucoup d'informations et de conception.» (Holmgren D., 2014, p.84)

En permaculture, les plantes qui se rendent des services mutuels sont disposées par étages. Ces cultures en trois dimensions contrairement aux monocultures bidimensionnelles, trouvent écho auprès de l'urbanisme. Selon Sébastien Marot, « le siècle n'est plus à l'extension des villes mais à l'approfondissement des territoires » (Marot S., 2010, p.131).

En Suisse, 70 % de la population habite dans les agglomérations et ce pourcentage va probablement encore augmenter dans les années à venir. L'agriculture va donc devoir envahir la ville et le bâtiment. Ceci donnera lieu à une réelle hybridation avec l'architecture. Plus haut, nous avons vu que l'industrialisation a remplacé tous les flux circulaires par des flux linéaires. Selon le texte de Claire Revol *Les vertus du cycle* à partir de la pensée de Henri Lefebvre sur la rythmanalyse et les représentations des saisons urbaines, réintroduire l'agriculture dans la ville serait une façon de nous reconnecter avec les cycles. En effet, nous vivons dans une « logique temporelle linéaire » avec nos fruits et légumes hors-saison importés ou cultivés sous serre. « La production et la consommation de nourriture, par une agriculture intégrée dans la société urbaine, semble une entrée essentielle de la réappropriation des saisons dans les villes », les saisons étant le « rythme cyclique et naturel par excellence » (Revol C., 2013). Cette réintroduction de l'agriculture dans la ville permettrait de reconnecter la société à la nature, tout en la rendant plus sensible à la crise environnementale à

laquelle elle fait face. L'agriculture urbaine réduit aussi notre impact environnemental lié à l'alimentation car elle supprime les émissions liées au transport et aux emballages, de plus, les cycles courts entre la production et la consommation nous permettrait d'être plus mutualistes, car en valorisant les déchets organiques urbains, on utilise la terre pour se nourrir et on rend nos déchets à la terre pour la fertiliser.

Les fermes urbaines de Paris sont un bel exemple de réintroduction de l'agriculture dans la ville. Paris est une ville très dense qui manque d'espaces verts. Selon une étude menée par l'Atelier parisien d'urbanisme (Apur), 80 hectares de ses toitures plates ont un fort potentiel de végétalisation. La position en haut des toits bénéficie d'un ensoleillement maximal, ainsi que d'un air moins pollué qu'au niveau du sol et des pots d'échappement; l'agriculture s'y prête donc bien. De plus, la végétation est un élément essentiel pour s'adapter au changement climatique dans les villes. En effet, l'évapotranspiration des plantes permet de diminuer la température et de réduire les îlots de chaleur. Les toitures végétalisées ont aussi l'avantage de fournir une très bonne isolation. Elles offrent aussi des services écosystémiques à la ville en retenant de l'eau et en stockant du carbone. Mais les avantages de l'agriculture urbaine ne s'arrêtent pas là. Depuis 2012, l'école AgroParisTech mène des expérimentations de cultures sur son toit. Ce projet consiste à n'utiliser que des produits qui viennent de la ville, comme du compost, du marc de café, de la brique concassée et du bois broyé à la place d'utiliser du sol naturel pour faire pousser ses aliments. L'idée là derrière est de réutiliser ces déchets qui seraient sinon incinérés ou enterrés, ce qui rejeterait des nutriments et du CO2 et aurait un impact environnemental important. En plus de la zone de production, la toiture comprend aussi un espace dédié à la biodiversité de la faune et de la flore. Le but de celle-ci étant, entre autre, d'attirer des espèces qui pourraient servir d'auxiliaires de culture au potager, comme les coccinelles par exemple . On y retrouve un des concepts de la permaculture

« Ainsi, les professionnels du territoire, à commencer par les architectes, urbanistes et paysagistes, devraient pouvoir orienter leurs savoir-faire vers le domaine agricole, pour répondre à la demande d'une politique commune à la ville et à l'agriculture. »
(Rosenstiehl A., 2018, p.468)



qui consiste à recréer un écosystème complexe en équilibre auquel il n'est pas nécessaire d'apporter des engrais ou des pesticides. Ces jardins productifs sont aussi des espaces de plaisir personnel qui amènent la nature dans la ville. Les toitures ainsi transformées deviennent des endroits de calme et de nature privilégiés qui abritent le citoyen loin du stress de la ville pendant quelques instants. Il faut donc « cesser d'opposer le jardin ou le parc comme lieu de repos et de plaisir à l'espace agricole comme lieu exclusivement dédié au travail et à la production » (Rosenstiehl A., 2018, p.468).

Les déchets

La croissance économique et démographique génère une augmentation de la consommation de matières premières et par conséquent, une hausse de la production de déchets dont une grande partie pourrait être évitée. Tous les processus d'élimination des déchets ont un lourd impact sur l'environnement. L'incinération et même le recyclage nécessitent de grandes quantités d'énergie et émettent des polluants. C'est la raison pour laquelle il faut commencer par réduire notre consommation effrénée et les déchets que celle-ci entraîne. Il faut aussi réaliser que beaucoup de ces déchets n'en sont en réalité pas; nous pouvons les valoriser comme ressources localement pour finalement tendre vers la suppression totale de la notion de déchet. Dans ce sens, ce thème recoupe tous ceux que nous avons vu précédemment.

« Dans l'optique de l'écologie industrielle, les décharges ne sont rien d'autre que des mines artificielles. » (Erkman S., 1998, p.81)

Dans la société actuelle, beaucoup de déchets ne peuvent pas, ou difficilement, être valorisés. On peut citer comme exemple les déchets radioactifs simplement enterrés dans les couches géologiques profondes parce que personne ne sait qu'en faire d'autre. L'obsolescence programmée de produits tels que nos smartphones nous vient alors aussi à la tête,

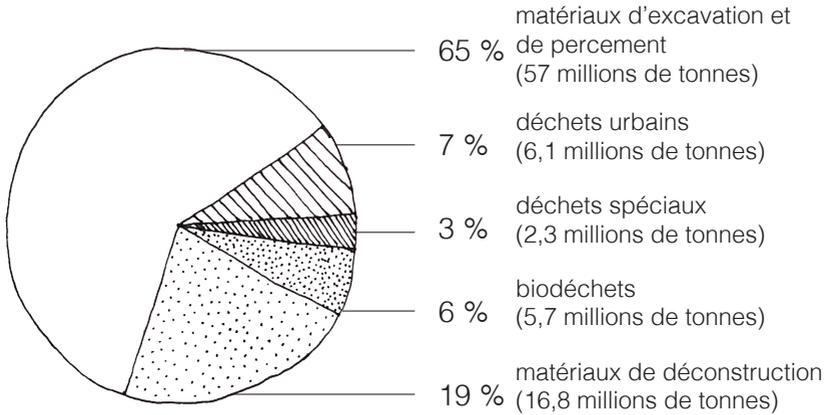
puisque ces objets sont conçus intentionnellement de manière à ce qu'ils ne soient pas réparables, dans le seul but que les gens achètent la version plus récente de cette technologie qui évolue si vite.

Quant aux déchets qui peuvent être recyclés, une bonne portion d'entre eux terminent encore dans les ordures. C'est le cas par exemple des matériaux de déconstruction, principale source de déchets en Suisse (84 %), dont encore 30 % ne sont pas recyclés. Les déchets définitivement stockés dans les décharges ou incinérés se monte ainsi à 5 millions de tonnes par année. Les techniques de tri devraient donc être améliorées pour pouvoir récupérer une plus grande quantité de ces matériaux. Les biodéchets sont une autre source de déchets qu'il faudrait s'appliquer à valoriser d'avantage. Ils figurent en troisième place du classement (6 %) juste après les déchets urbains (7 %). En 2017, 5,5 millions de tonnes de biodéchets ont été produits. De cette quantité, seulement un quart a servi à fabriquer de l'engrais recyclé tandis que le reste a été incinéré (OFEV, s. d.). Si l'on considère les ordures ménagères, 715 kg de déchets ont été produits par personne en 2017, dont environ 30 % étaient des biodéchets (OFEV, 2018, p.162). Il est donc absolument nécessaire de réduire la quantité d'aliments jetés entre le champ et l'assiette et d'améliorer le tri dans les ménages pour pouvoir valoriser les biodéchets en engrais naturel et en énergie. Il faut cependant être attentif à ne pas encourager le système à continuer de gaspiller de la nourriture sous prétexte de faire de la biomasse neutre en carbone; cela poserait des problèmes éthiques et environnementaux.

Tout comme les zones de production qui sont toujours plus éloignées des villes, les déchets eux aussi parcourent des kilomètres avant d'être traités. Il serait possible d'envisager des centres de traitement de déchets de plus petite taille disposés dans les villes pour instaurer des circuits courts et valoriser localement une partie de déchets, en s'inspirant des écosystèmes naturels. Ces installations dans la ville tireraient

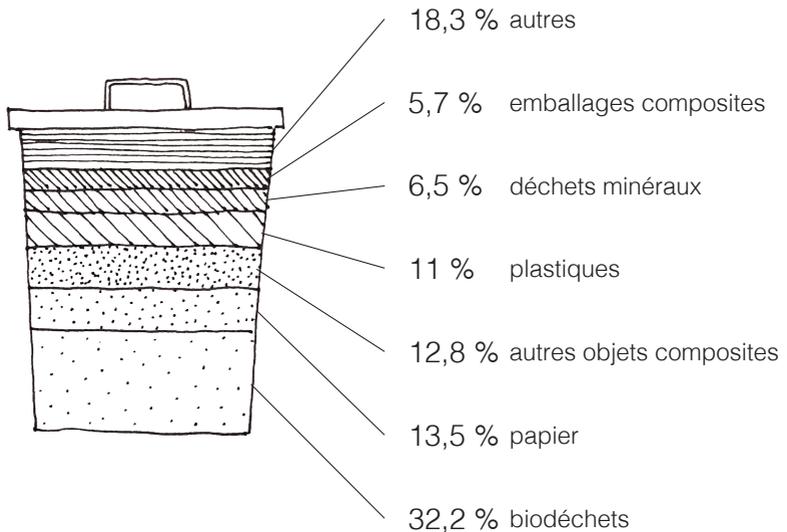
QUANTITÉS DE DÉCHETS ANNUELS EN SUISSE

87,9 millions de tonnes de déchets par an au total



COMPOSITION DES POUBELLES SUISSES

715 kg de déchets par personne par an



parti de la diversité des programmes et des échanges entre les bâtiments et favoriserait la réutilisation des déchets en tant que matière première secondaire pour fermer les cycles. On peut donc observer que tous les thèmes se complètent, ce qui prouve la nécessité de tous les traiter et de ne pas laisser les différents domaines s'en occuper séparément. Seulement de cette façon, nous parviendront à cesser d'être des parasites et à évoluer dans un rapport mutualiste.

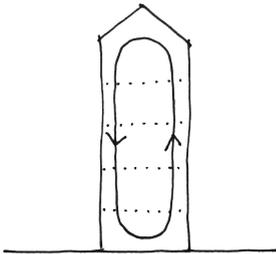
Cuba est devenu le maître de la récupération des déchets urbains. Avec l'embargo américain et l'effondrement de l'URSS en 1991, l'île a été obligée de développer une agriculture vivrière biologique. L'impossibilité d'importer des produits chimiques et des machines agricoles et la réduction des rations de nourriture importées ont forcé Cuba à révolutionner ses pratiques agricoles. Elle est passée d'une agriculture intensive et monoculturelle (principalement de tabac et de sucre) dirigée vers l'exportation et reposant sur de grandes quantités d'intrants, vers une agriculture biologique durable et diversifiée servant à nourrir les millions de citoyens cubains. À La Havane, toutes les terres disponibles ont été allouées au peuple gratuitement tant qu'elles étaient utilisées pour la culture. Des milliers de jardins coopératifs urbains se sont ainsi développés sur les terrains vagues, les toits, etc. Un soin particulier a été accordé à la conservation des sols pour pouvoir continuer de nourrir tout le monde. Une rotation des cultures a ainsi été mise en place et 176 centres de lombricompostage ont été installés sur l'île (Holmgren D., 2014, p.261). Ces centres récupèrent les déchets urbains indésirables pour en faire un compost sain et utile qui sert d'engrais naturel à l'agriculture. Cette autonomie alimentaire d'abord imposée, présente aujourd'hui des avantages sociaux, économiques et écologiques inattendus, et la quantité et qualité des aliments prouvent qu'une agriculture biologique prospère à grande échelle n'est pas un mythe.

« Ne produire aucun déchet: Le ver de terre est le symbole de ce principe, car il se nourrit de litière végétale (donc de déchets) qu'il convertit en humus. Cet humus améliore la structure du sol, et le ver, ainsi que les micro-organismes du sol et les plantes, bénéficient de cette amélioration. Le ver de terre, comme tous les êtres vivants, fait donc partie d'un réseau où les extrants des uns sont les intrants des autres. » (Holmgren D., 2014, p.266)



La Havane

BILAN

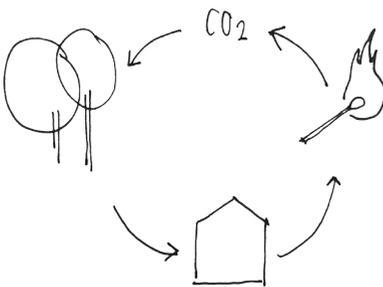


SOL

Il faut réduire notre impact sur le sol par des bâtiments qui contiennent des programmes qui se complètent pour limiter l'étalement urbain et qui assurent une utilisation sans interruption du terrain.

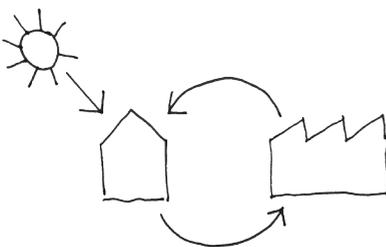
MATÉRIAUX

Les matériaux biosourcés sont neutres en carbone. Les arbres absorbent du CO₂ qui restera stocké dans le bois pendant toute la durée de vie du bâtiment. Ce type de matériaux favorise également l'économie locale ainsi que le développement des savoir faire locaux.



ÉNERGIE

Par des moyens architecturaux, il est possible de limiter nos consommations énergétiques. Il faut ensuite favoriser les échanges d'énergie entre les différents programmes pour réutiliser les pertes comme ressource principale et finalement, la demande peut être complétée par des énergies renouvelables.



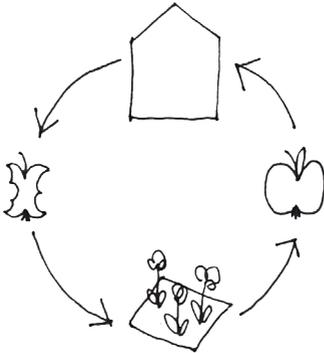
EAU

Récupérer l'eau de pluie et traiter les eaux grises au sein même du bâtiment nous permet de limiter notre consommation d'eau potable. Les eaux grises peuvent être utilisées pour arroser les plantes dont l'évapotranspiration forme les nuages et amène la pluie qui pourra être récupérée.



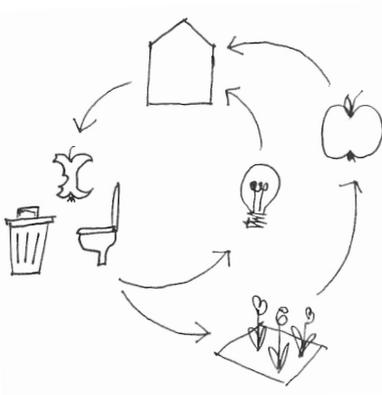
ALIMENTATION

Réintroduire la production alimentaire dans les villes permettrait de réduire notre impact lié au transport et aux emballages. Cela nous rendrait aussi plus sensible à ce qui se trouve dans nos assiettes et permettrait de limiter le gaspillage alimentaire. La végétation dans les villes est également indispensable pour lutter contre le réchauffement climatique.



DÉCHETS

Il faut commencer par réduire notre consommation pour limiter notre production de déchets. La plupart des déchets que nous produisons peuvent être valorisés comme ressources, c'est la base de la symbiose.



2. ÉTUDES DE CAS

Dans ce chapitre, nous analyserons trois projets qui utilisent la symbiose pour réduire leur impact environnemental. Pour chacune de ces études, nous commencerons par décrire brièvement le contexte et le projet, puis nous les examinerons point par point selon les différents thèmes que nous avons relevés dans le chapitre précédent, et nous terminerons par une courte récapitulation des atouts et des faiblesses de chaque projet.

2.1 REAP (Rotterdam Energy Approach and Planning)

Le bilan écologique des Pays-Bas n'est pas particulièrement bon, principalement à cause de la forte densité de population et des industries et activités logistiques importantes, dont les ports de Rotterdam et Amsterdam et l'aéroport de Schiphol. L'enjeu écologique est pourtant primordial pour ce pays en constante demande de solutions pour réduire son impact environnemental.

L'étude REAP (Rotterdam Energy Approach and Planning) a été développée en 2009 dans le cadre de la *Rotterdam Climate Initiative* qui a pour but de préparer la ville pour les changements climatiques et de réduire de 50 % les émissions de CO₂ d'ici à 2025, par rapport à 1990. Ce projet prend en compte l'énergie et les émissions de CO₂ directement dans le processus de planification et de développement urbanistique. Le projet se base sur des technologies actuelles ainsi que sur une approche économique, sociale et politique existante, ce

qui le rend très réaliste.

« Climate issues become an opportunity for the city. » (Tillie N. et al., 2009, p.5)

Trois étapes constituent la nouvelle stratégie développée par REAP. La première vise à réduire les consommations énergétiques par des mesures architecturales, la seconde consiste à réutiliser et s'échanger les déchets énergétiques et la troisième sert à combler la demande par des énergies renouvelables: « If all waste streams at cluster level are being used optimally, it then becomes possible to see if primary energy can be generated sustainably » (Tillie N. et al., 2009, p.18). La stratégie s'applique à différentes échelles et aussi bien à des fragments urbains déjà existants qu'à des nouvelles constructions. En plus de se compléter du point de vue énergétique, les programmes combinent des fonctions différentes, créent une mixité sociale et intègrent la production alimentaire dans le paysage urbain.

Sol :

Le concept de base de ce projet est d'associer différents programmes dont les besoins et les pertes énergétiques se complètent. Ainsi, la combinaison des fonctions limite l'étalement urbain et optimise l'utilisation de la parcelle tout au long de la journée. De plus, la stratégie s'applique à des parties de ville existantes avant tout et ne consomme ainsi pas de terrain supplémentaire pour de nouvelles constructions.

Matériaux :

L'isolation des bâtiments est optimisée avec des toitures et façades végétalisées ainsi qu'avec des triples vitrages.

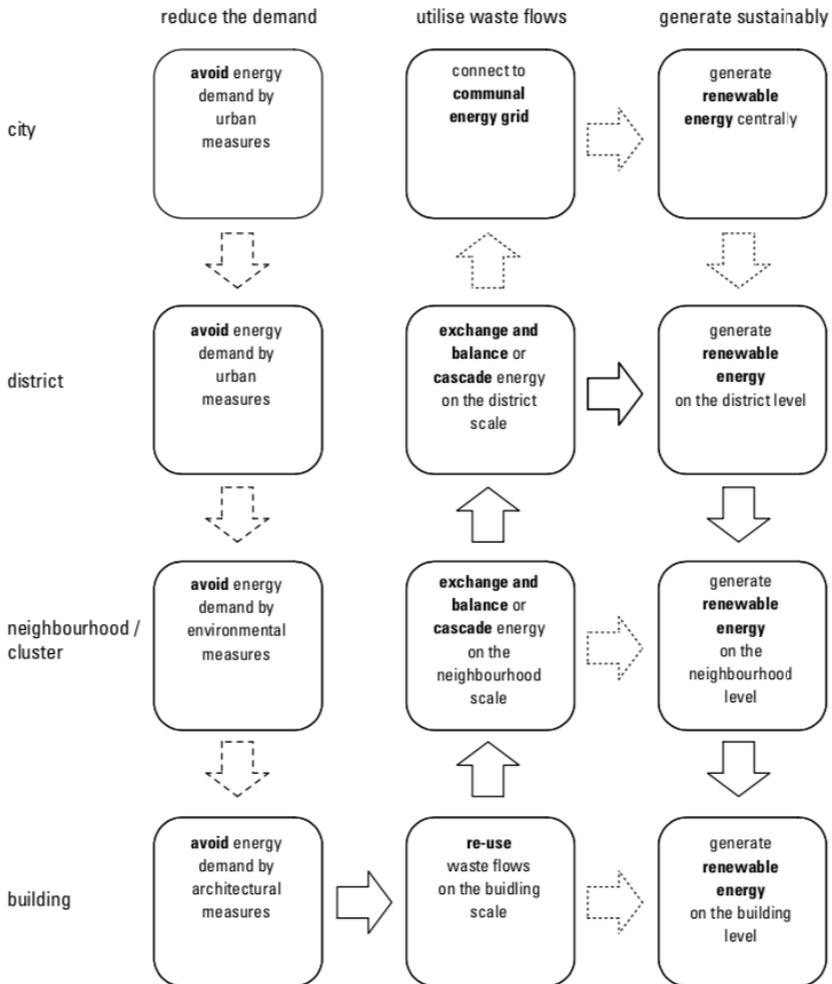
Énergie :

Le projet se décline en six scénarios dont la complexité varie.

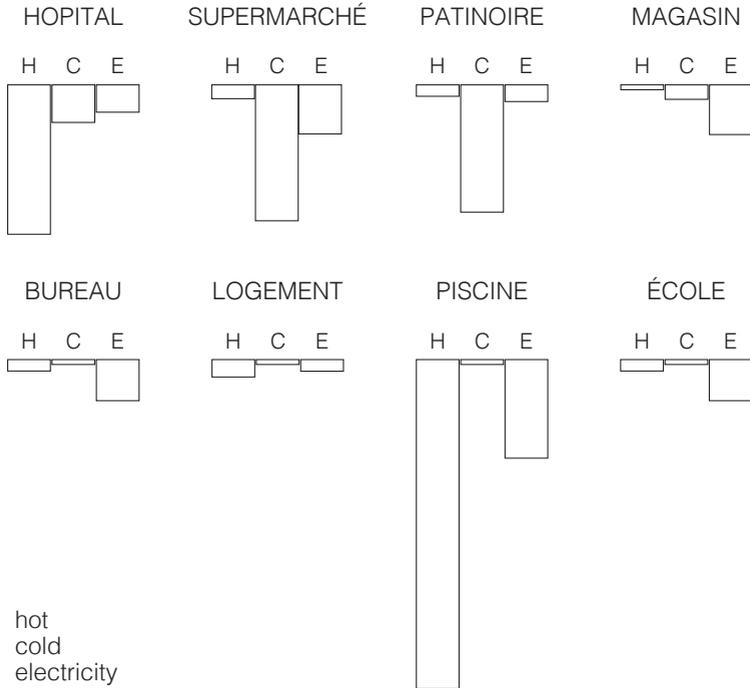
Étape 1: Dans tous les cas, la demande en énergie est réduite grâce à une isolation optimale, des appareils efficaces et une ventilation naturelle en été.

Étape 2: Les déchets énergétiques sont ensuite récupérés

« The REAP concept aims first at solving the problems of energy demand and supply on a small scale, after which 'help' can be called in from higher levels. »
 (Tillie N. et al., 2009, p.27)

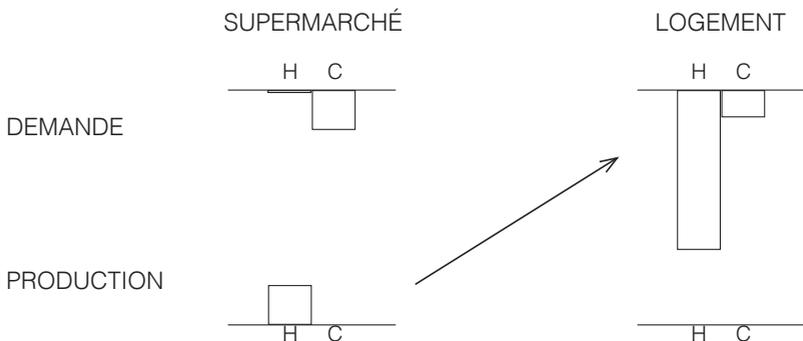


DEMANDE ÉNERGÉTIQUE DES PROGRAMMES



EXEMPLE D'ASSOCIATION DE PROGRAMMES

The use of the waste heat generated by the supermarket and the typical morning and evening energy consumption in homes means that the match is perfect: 1m² supermarket can heat 7m² of housing! (Tillie N. et al., 2009)



pour satisfaire un maximum les demandes restantes. Dans les scénarios les plus basiques, cette étape consiste simplement à récupérer la chaleur sur les eaux usées. Des pompes à chaleur sont également installées dans certains cas. Dans les systèmes les plus élaborés, les volumes des différents programmes dans le bâtiment sont déterminés pour un échange d'énergie optimal.

Étape 3: Après la deuxième étape, il reste encore une certaine demande d'énergie qu'il faut combler grâce à une production d'énergies renouvelables. Des capteurs solaires sont donc installés pour produire de l'énergie et de la chaleur. Dans les scénarios plus développés, une centrale de cogénération est mise en place pour produire de la chaleur et de l'électricité à partir des déchets organiques à l'échelle du quartier ou de la ville.

Eau :

Il est possible de récupérer de la chaleur des eaux usées. Celles-ci peuvent aussi être traitées et la fermentation des boues d'épuration produit du biogaz qui peut être réinséré dans le réseau d'énergie.

Alimentation :

Ils envisagent d'accoler des serres aux bâtiments pour des apports d'énergies mais aussi pour intégrer de la production alimentaire en ville. Les serres captent en effet beaucoup d'énergie solaire passive qui peut être récupérée pour chauffer les autres fonctions qui en ont besoin.

Déchets :

Tout le projet consiste à réutiliser les "déchets" ou pertes énergétiques d'une fonction à l'autre. Il en résulte une diminution quasi totale des émissions de CO₂. Un système de tri des déchets et de compostage est aussi mis en place.

Dans ce projet, toute la recherche est centrée sur l'énergie. Pourtant, la stratégie de réduire les consommations et de

récupérer les déchets comme ressource peut être appliquée à tous les domaines. Le développement de ce projet est très réaliste, ce qui en fait une source d'inspiration fiable. La stratégie a d'ailleurs été appliquée au district de Hart van Zuid à Rotterdam, et leurs calculs ont montré qu'il est possible d'atteindre la neutralité carbone dans une partie existante de la ville. Les auteurs concluent leur travail en encourageant le lecteur à toujours envisager l'optimisation des échanges d'énergie à petite échelle, ce qui peut avoir un énorme impact à une échelle beaucoup plus grande.

2.2 PRECHT – The Farmhouse

Après avoir vécu et travaillé quelques années à Pékin, le bureau Precht a déménagé dans les montagnes d'Autriche en essayant d'être aussi auto-suffisant que possible. Ceci représente un changement de scène radical sur le plan environnemental. En effet, l'urbanisation de la Chine est en train de poser un des plus gros problèmes environnementaux de la planète. Ce pays qui avait l'habitude de cultiver dans des cycles fermés pour minimiser les déchets est aujourd'hui de plus en plus dépendant de nations riches en terres comme le Brésil qui accroît sans cesse sa surface agricole au détriment de la forêt amazonienne (Steel C., 2009, p10 et 309). L'Autriche quant à elle, et particulièrement la région du Vorarlberg, est connue pour sa forte production d'énergie renouvelable ainsi que pour son architecture qui combine le fonctionnement passif des bâtiments et un développement local de l'industrie du bois pour minimiser le coût en énergie grise du secteur de la construction (Marot S., 2011, p.99).

Dans leur nouveau lieu de vie, Chris Precht et sa femme ont la possibilité de cultiver la plupart de leurs aliments eux-même, mais ils sont conscients que ce mode de vie n'est pas une option pour tout le monde. C'est pour cette raison qu'ils ont élaboré le projet *The Farmhouse* en début d'année 2019, pour ramener la nourriture dans les villes. Ils déplorent le fait que depuis la révolution industrielle, l'agriculture et la ville ont évolué

séparément et selon eux, les architectes peuvent repenser la relation de ces besoins humains que sont la nourriture et le logement. Ils pensent que pour encourager les gens à se soucier de l'environnement, il faut ramener l'environnement dans nos villes. Comme nous l'avons déjà vu plus haut par rapport aux écrits de Henri Lefebvre, ramener l'agriculture dans la ville permettrait de se reconnecter physiquement et mentalement à la nature et à son cycle de vie. Nous avons besoin d'une alternative écologique à notre production alimentaire actuelle, et comme 80% de la nourriture est consommée dans les villes, il paraît logique d'en produire directement sur place. De plus, il serait raisonnable de réintroduire la production locale pour des raisons de sécurité alimentaire.

Sol :

Le bâtiment projeté par le bureau Precht est conçu pour un milieu urbain et se développe ainsi en hauteur. La tour est composée de logements et de serres aux étages, et de programmes publics au rez-de-chaussée, comme des marchés pour vendre les aliments produits sur place. Les programmes publics et privés ainsi que de la production alimentaire se superposent ainsi sur un terrain de taille limitée.

Matériaux :

La construction est conçue principalement en bois. Ce matériau stocke le carbone pendant toute la durée de vie du bâtiment et sa mise en oeuvre émet moins de gaz à effet de serre que le métal et le béton; le bois a donc un impact environnemental relativement faible par rapport aux autres matériaux. La construction préfabriquée est précise, facile à transporter et rapide à installer. Les murs sont composés de 3 couches. La couche intérieure comprend tous les câbles électriques et les gaines, la couche intermédiaire comprend la structure et l'isolation et la couche extérieure comprend des éléments de jardinage et de l'eau.

Énergie :

La demande en énergie est diminuée par un maximum de ventilation et de lumière naturelle. Les serres qui enveloppent le bâtiment servent aussi à capter l'énergie solaire qui sera transmise à l'habitation et réciproquement, les pertes de chaleur des habitations seront utiles aux plantes. Pour combler la demande en énergie, des modules sont consacrés à la production d'énergie solaire.

Eau :

L'eau de pluie et les eaux grises sont récupérées et traitées par un système de filtration qui l'enrichit avec des nutriments pour l'arrosage des plantes dans les serres.

Alimentation :

Chaque appartement a son espace de jardin qui lui permet de faire pousser ses propres aliments. La production alimentaire locale permet de raccourcir les transports et de diminuer l'utilisation d'emballages. L'empilement des jardins permet de produire plus sur une même surface et réduit ainsi le besoin de transformer des forêts en surface agricole. Le climat intérieur des serres offre la possibilité de créer différents écosystèmes adaptés à différents types de plantes.

Déchets :

Le bâtiment applique le principe de réutilisation des déchets comme ressource, comme nous venons de le voir pour la récupération de la chaleur et le traitement des eaux grises. De même, les déchets alimentaires sont récoltés pour faire du compost qui sera utilisé comme engrais dans les serres.

The Farmhouse a pour but de réintroduire la nourriture dans la ville et se concentre sur un cycle de production alimentaire fermé pour y arriver. Il touche ainsi à beaucoup de domaines, comme le traitement des eaux usées pour l'arrosage et le compostage des déchets organiques comme engrais pour les plantes. Il accorde aussi un intérêt particulier aux matériaux

« The building invokes a direct connection with a natural surrounding, that stands apart from the concrete landscape of our cities. A tent that is surrounded by nature. » (Precht, 2019)



Precht – *The Farmhouse*, 2019

pour réduire l'énergie grise du bâtiment. Ce projet met en évidence à quel point la production alimentaire et le logement sont liés et qu'il est nécessaire de les considérer ensemble.

2.3 EFFEKT – ReGen Villages

Effekt est un bureau danois dont le nom signifie impact. Ce nom vient du fait qu'ils sont convaincus que l'architecture et l'urbanisme peuvent avoir un impact positif durable sur notre environnement et notre planète. Le Danemark est d'ailleurs réputé pour ses nombreuses mesures écologiques, telles que la promotion du vélo, l'objectif du bilan carbone neutre de Copenhague pour 2025 et ses expériences d'écologie urbaine. *ReGen Villages* est un projet d'éco-villages hors réseau, pouvant alimenter et nourrir des familles autonomes à travers le monde. Il a été élaboré pour la ville d'Almere aux Pays-Bas, en 2016. *ReGen* signifie régénératif, où les sorties d'un système sont les entrées d'un autre. Ce concept comprend la production d'énergie et de nourriture ainsi que la gestion de l'eau et des déchets. En plus de sa valeur environnementale, le projet développe aussi une valeur sociale, créant une autonomie et un sens de la communauté dans un écosystème partagé. Le but de ce projet est de reconnecter les gens avec la nature et la consommation avec la production (Effekt, 2016).

Sol :

L'idée centrale de ce projet est la construction de nouveaux villages écologiques et autosuffisants. Des maisons familiales sont ainsi réparties autour d'un cercle qui comprend toutes les infrastructures nécessaires à la production d'énergie et de nourriture ainsi que le traitement des déchets. Le projet prétend minimiser la surface au sol des habitations et des surfaces agricoles dans le but de laisser la nature se restaurer.

Matériaux :

Les unités d'habitation sont préfabriquées et démontables. Chacune est entourée d'une serre en verre qui agrandit

l'espace de vie et permet une production alimentaire pendant une période prolongée.

Énergie :

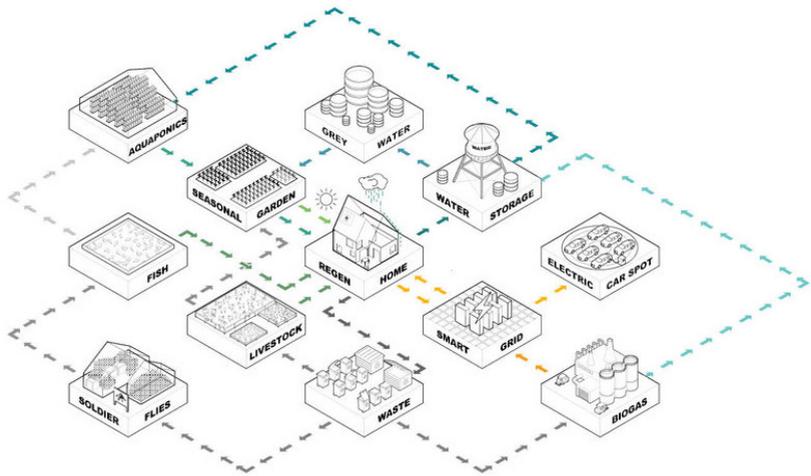
Les serres servent une fois de plus à capter l'énergie solaire passive et à en faire profiter les logements. Ce dispositif ainsi que le système de ventilation naturelle réduit la consommation d'énergie des maisons. De plus, elles sont pourvues de cellules photovoltaïques qui participent à la production d'énergie du village. À cela s'ajoute l'énergie produite par une centrale de biogaz et une smart grid en assure l'utilisation la plus efficace possible.

Eau :

L'eau de pluie récoltée sur les toits et l'eau produite par la centrale de biogaz sont stockées dans un réservoir. Les eaux grises sont récupérées séparément et servent à irriguer les jardins saisonniers. De l'eau est aussi utilisée dans un circuit fermé d'aquaponie qui unit la culture de plante et l'élevage de poissons. Les plantes sont alimentées par l'eau des poissons dont les excréments servent de nutriments, et les plantes filtrent l'eau qui retourne ainsi purifiée dans l'aquarium.

Alimentation :

La nourriture est produite directement sur place par des moyens de cultures variées. Une ferme aquaponique et des jardins saisonniers produisent une grande variété de fruits et légumes pour les habitants du village. L'utilisation de fermes aquaponiques permet de réduire de 98 % les surfaces nécessaires à la production et de 90% les consommations d'eau. Les différentes serres, quant à elles, permettent d'établir des climats variés qui conviennent à différentes sortes de plantes. Du bétail et des poissons sont également élevés dans cette structure; ils sont la principale source de protéine disponible.



Effekt – ReGen Villages, 2016

Déchets :

Les biodéchets sont récupérés et compostés. Le compost est ensuite utilisé pour nourrir les mouches et le bétail. Les mouches nourrissent les poissons qui fertilisent le réseau aquaponique et le purin du bétail est utilisé pour fertiliser les jardins saisonniers. Les biodéchets non compostables sont finalement transformés en biogaz.

Regen villages est un beau projet dans lequel l'énergie, l'eau, la nourriture et les déchets fonctionnent dans un réseau circulaire dont les seuls apports extérieurs sont le soleil et l'eau de pluie. Il est pourtant dommage qu'il ne s'applique pas à un lieu spécifique et encore plus le fait qu'il s'implante dans la nature et non en milieu urbain. L'étalement du village en des maisons individuelles consomme une grande quantité de terrain et n'est pas adapté dans un contexte de population grandissante. Malgré ça, les différents programmes se complètent harmonieusement et ce concept semble pouvoir s'adapter en un modèle urbain.

3. HYPOTHÈSES PROJECTUELLES

Dans la première partie de ce chapitre, nous allons définir un programme sur la base des recherches exposées dans les chapitres précédents. Le programme établi en fonction des besoins d'un habitant symbiotique servira, dans la deuxième partie, à déterminer des critères pour le choix d'un site.

3.1 PROGRAMME

À travers les recherches que nous avons menées dans les chapitres précédents, il nous est possible de préciser quelques caractéristiques du bâtiment symbiotique que nous allons développer dans le projet. Premièrement, il sera urbain pour ne pas gaspiller de terrain supplémentaire, mais aussi pour profiter de la mixité de programmes qu'offre la ville. Nous imaginons aussi qu'il sera construit en bois local pour avoir un impact environnemental plus faible, tout en veillant à ne pas dépasser les capacités des ressources locales. Le bâtiment symbiotique, par définition, s'efforcera de réduire ses consommations et sa production de déchets en favorisant la réutilisation au sein même de la construction. Ceci s'applique aussi bien à l'énergie, à l'eau et à l'alimentation, qu'aux déchets. Nous allons construire le programme de ce bâtiment à partir des besoins d'un habitant symbiotique que nous allons déterminer par la suite.

Premièrement, nous allons déterminer la surface d'habitat des logements symbiotiques. Les grandes villes suisses présentent

une tendance à diminuer la surface d'habitat par personne, tandis que dans les régions en dehors des agglomérations elle continue de progresser. La surface d'habitation moyenne par personne en 2015 s'élevait à 45 m² (OFEV, 2018, p.64). Dans une étude plus détaillée, on apprend que les logements en propriété sont les plus gourmands en surface habitable, qui s'élève à 52,2 m² par personne. Elle est moins élevée dans les logements locatifs (42,4 m²), mais elle est la plus basse dans les coopératives (36,5 m²) (OFL, 2017, p.26).

Pour un logement symbiotique, nous nous attendons à ce que les habitants soient engagés dans l'écologie et acceptent de vivre dans des logements de taille assez réduite, se rapprochant plus des surfaces attribuées dans les coopératives que dans les logements en propriété. Nous déterminons ainsi qu'un logement symbiotique disposera d'environ 35 m² par personne.

Tout au long de ce travail, nous avons pu lire la nécessité de réintroduire la production alimentaire en ville. Nous allons donc prévoir un espace à cet effet dans notre bâtiment. On compte généralement une surface de jardin potager entre 80 et 100 m² par personne pour une autonomie en fruits et légumes. Les principes de permaculture qui associent des plantes permettent de diminuer ces surfaces, l'aquaponie aussi. Nous pourrions ainsi envisager une serre accolée à notre bâtiment, pour profiter d'échanges de chaleur, dans laquelle un réseau d'aquaponie serait mis en place pour une production maximale sur une surface de sol minimale. La production alimentaire pourrait être complétée par de la permaculture sur une surface de terrain extérieure, qui servirait d'aire de détente pour les occupants du bâtiment du quartier et participerait à réduire les îlots de chaleur et à rendre des services écosystémiques à la ville.

Le projet développera aussi des stratégies pour valoriser une part des déchets directement sur place. En Suisse, nous produisons en moyenne 715 kg de déchets par personne et

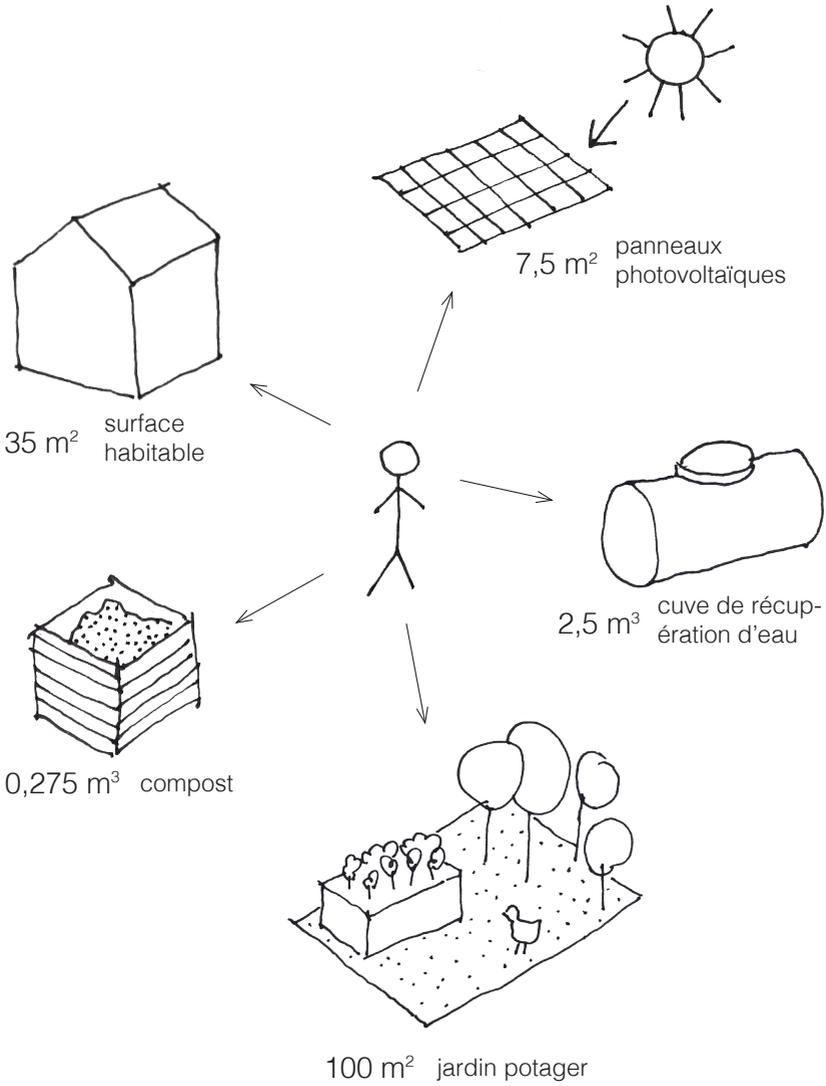
par an. Les biodéchets remplissent la part la plus importante de nos poubelles, ils se montaient à 32,2 % en 2012 et ne semblent pas avoir diminué depuis. Près de la moitié des denrées qui se trouvent dans ces biodéchets pourraient encore être consommées (15,2 %), il s'agit donc d'un gaspillage alimentaire conséquent. L'autre moitié (17 %) est principalement constituée d'épluchures et de déchets de jardin qui peuvent être compostés (OFEV, 2014).

Dans un bâtiment symbiotique, où les utilisateurs auraient été sensibilisés au travail que représente la production de nourriture, il est réaliste de s'attendre à une baisse du gaspillage alimentaire. De plus, des systèmes efficaces de compostages seraient mis en place pour apporter de l'engrais naturel aux cultures. Rien qu'en enlevant la part des biodéchets de nos ordures, nous parviendrions à la somme réduite de 485 kg de déchets par année et par personne; et 121,5 kg de biodéchets par personne seraient transformés en compost chaque année. Il faut donc prévoir un volume pouvant accueillir un composteur dans le bâtiment. En plus des 121,5 kg de biodéchets qui seraient compostés au lieu d'être jetés à la poubelle, il faut ajouter les 154 kg de biodéchets par personne et par année qui sont déjà collectés séparément (OFEV, 2018, p.160). Pour le dimensionnement du composteur, on peut compter une densité des biodéchets d'en moyenne 0,5 kg/l et le volume utile du composteur correspond environ à la moitié du volume des biodéchets (Geres, 2016). Il faut donc compter à peu près 275 litres de composteur par personne.

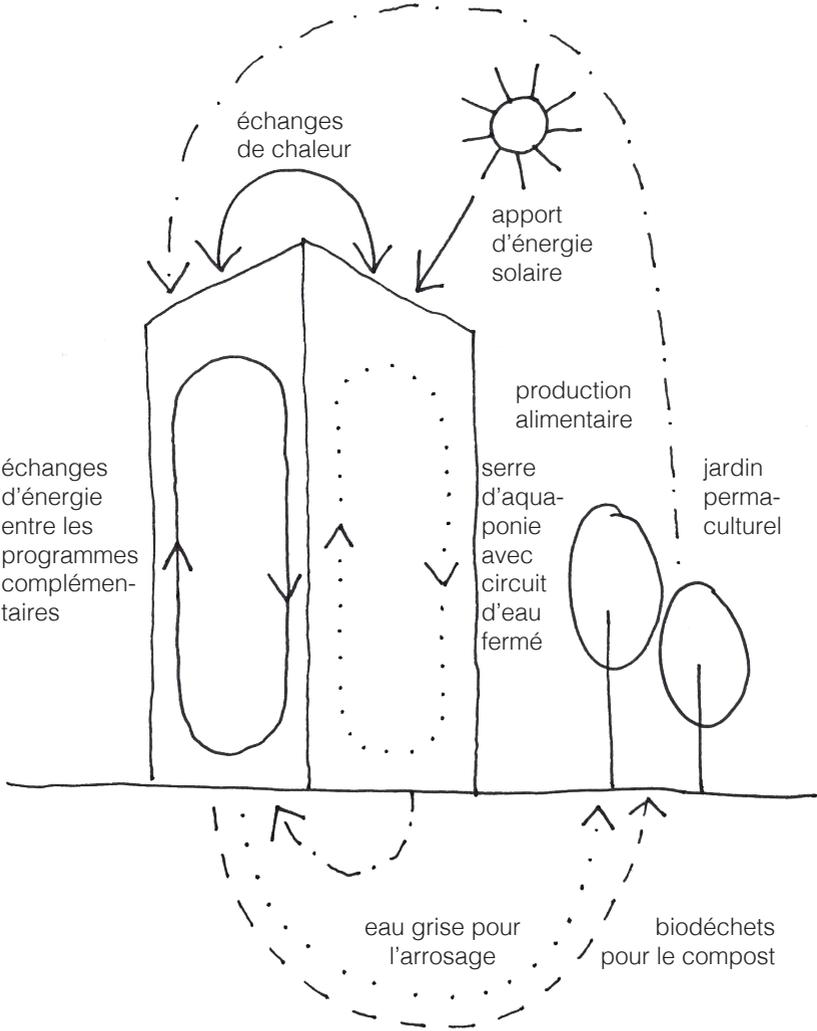
Nous pouvons appliquer la même méthode à la consommation d'eau potable des ménages. Celle-ci s'élève à 142 litres d'eau par jour et par personne. Et pourtant, une énorme quantité de notre consommation d'eau journalière ne nécessite pas d'utiliser de l'eau potable. La chasse d'eau représente 28,9 % de cette somme, la machine à laver 12 % et les espaces extérieurs 4,9 % (SSIGE, 2018). Nous pourrions sans autre récupérer l'eau grise et l'eau de pluie pour ce type d'utilisation.

« L'eau grise, qui provient des eaux usées de la

BESOINS D'UN HABITANT SYMBIOTIQUE



SYMBIOSES DANS LE BÂTIMENT



salle de bains (lavabo, baignoire et douche) est une ressource inépuisable alors que l'eau de pluie est un supplément. » (O'select, s. d., p.28)

En déduisant ces postes de consommation du total, seuls 65 litres d'eau potable seraient nécessaires par jour et par personne. Pour dimensionner la cuve de récupération de l'eau grise et de l'eau de pluie, on compte environ 1500 litres par personne et 1000 litres pour un jardin de 100m² (O'select, s. d., p.5).

Pour économiser de l'énergie dans le bâtiment, un apport maximal de ventilation et de lumière naturelle sera amenée dans toutes les pièces. Il sera aussi conçu comme un bâtiment passif, qui n'a pas besoin d'un dispositif de chauffage traditionnel. Il sera enveloppé d'une isolation performante et de fenêtres triple vitrage, et les apports de chaleur seront garantis par les autres programmes du bâtiment, telle que la serre qui capte beaucoup d'énergie solaire passive, ou encore un supermarché vendant les aliments produits sur place qui dégagerait de la chaleur pour réfrigérer les denrées. Les besoins en eau chaude pourraient être couverts par une pompe à chaleur sur les eaux usées. Ce système est efficace à partir de 10 unités d'habitation, soit 20 à 25 personnes (SuisseEnergie, 2016, p.7). Quant à l'électricité, nous consommons tous en moyenne 1000 kWh d'électricité par année (hors chauffage), ce qui correspond à peu près à 7,5 m² de panneaux photovoltaïques par personne (Swiss Green, s. d.). Nous pourrions aussi imaginer installer une petite centrale de cogénération de biomasse qui valoriserait les déchets organiques du quartier.

Ce bâtiment pourrait prendre la forme d'une tour. En effet, l'échelle de la tour permettrait de créer une mixité d'affectations primordiale non seulement pour qu'elle soit utilisée et vivante tout au long de la journée, mais aussi pour établir des relations d'échanges entre les programmes complémentaires. Pascal Gontier décrit ainsi la tour comme un « véritable écosystème architectural inscrit dans un écosystème urbain » (Gontier P.,

2006).

« Il faudrait explorer les mutations possibles de la tour et s'ouvrir à des modèles alternatifs. Ici plus qu'ailleurs, l'ambition architecturale passe par l'ambition environnementale. » (Gontier P., 2006)

3.2 SITE

Pour choisir un site, il est nécessaire de commencer par établir quelques critères sur la base des recherches menées dans les chapitres précédents. Le site doit être urbain, pour ne pas continuer le mitage du territoire, pour profiter de la mixité programmatique et parce que les réseaux de transports publics y sont plus efficaces et plus développés. Le terrain doit être suffisamment grand pour pouvoir accueillir le bâtiment et les aménagements extérieurs, et doit également bénéficier d'une bonne exposition au soleil pour permettre la production alimentaire qui fera partie du projet.

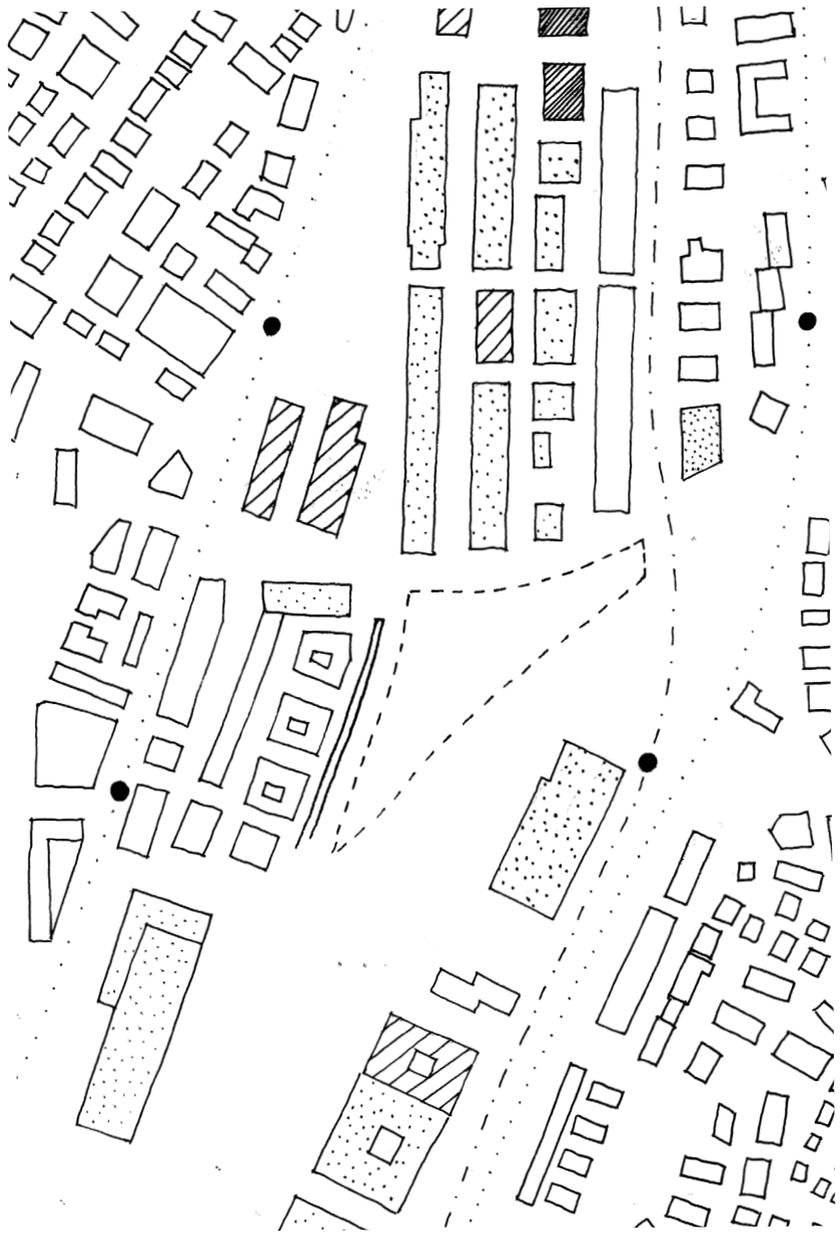
Les agglomérations suisses concentrent environ trois quarts de la population et 80 % des emplois, et la moitié de la population urbaine habite dans une des cinq plus grandes agglomérations, à savoir Zurich, Genève, Bâle, Berne ou Lausanne (OFEV, 2018, p.51). La densification bien qu'elle mette les ressources naturelles sous pression, permet aussi d'améliorer l'efficacité par la mixité des programmes et ainsi de réduire notre impact environnemental. La Suisse alémanique étant déjà plus avancée en matière de construction écologique, il serait sûrement plus intéressant d'amener un tel projet en Suisse romande. En connaissant bien la ville de Lausanne pour y avoir vécu quelques années, le choix s'est donc porté sur l'agglomération de Lausanne-Morges.

Lausanne-Morges a plusieurs projets d'urbanisation en cours. Des transformations sont en cours à Renens et à Malley, ainsi qu'à la gare de Lausanne. Entre deux se trouve le quartier de Sébeillon-Sévelin qui a été urbanisé ces dernières années.

Les industries ont été remplacées par le secteur tertiaire, à l'exception d'une partie de terrain à l'ouest de l'Avenue de Sévelin occupée par l'entreprise Goutte Récupération et le grossiste de viande Carnadis. Il ne s'agit pas vraiment d'une friche, étant donné son activité constante, mais l'entreprise Goutte va bientôt déménager (Détraz A., 2016). Ce site semble donc bien se prêter à un projet de ce type. Il est aussi le choix d'un intérêt personnel éveillé par de nombreux passages en métro devant le lieu, et de la curiosité à chaque fois de découvrir ce terrain libre au milieu du tissu bâti urbain.

Le quartier est dynamique et animé tout au long de la journée avec des commerces, des bureaux, des écoles, des bars, des salles de spectacle et des habitations. Il est très bien desservi par le métro M1 ainsi que par les lignes de bus 16 sur l'avenue de Provence/Tivoli et 18 sur la rue de Genève. Le terrain bénéficie d'un grand dégagement grâce aux voies de chemin de fer et à l'avenue de Tivoli. Il en résulte un ensoleillement optimal sur la parcelle qui permettrait sans autre de faire pousser toute une variété de fruits et légumes.

Il est aussi intéressant de noter que la Ville de Lausanne a construit une ligne ferroviaire souterraine qui relie Sébeillon à l'usine d'incinération Tridel, pour limiter le trafic des camions lié à la collecte des déchets. Ce tunnel est également utilisé depuis 2017 pour évacuer les matériaux d'excavation du chantier du tunnel du LEB, « évitant ainsi près de 40 camions par jour dans l'agglomération lausannoise » (tl, 2018). Le tunnel Tridel ne se limite ainsi pas à sa fonction de base et qui sait quelles symbioses pourraient se développer autour de lui...



- | | | |
|--|---|--|
|  Délimitation du site |  Écoles |  Arrêts |
|  Bureaux / commerces |  Salles de spectacle |  Métro |
| | |  Bus |



z 

CONCLUSION

La définition de la symbiose nous a permis de juger l'impact négatif que notre société a sur la planète. Nous avons actuellement une attitude parasitaire, en consommant les ressources sans modération au détriment de l'environnement. Mais à travers les thèmes du sol, des matériaux, de l'énergie, de l'eau, de la nourriture et des déchets, nous avons passé en revue quelques façons d'établir des flux circulaires qui s'inspirent des écosystèmes naturels et qui nous permettraient de réduire notre impact environnemental. Ceci nous permettrait d'entrer dans une relation plus mutualiste avec la nature.

Les études de cas nous ont fait découvrir des exemples de symbioses variés, sur l'énergie dans le cas du REAP, sur les matériaux et l'alimentation dans le projet *The Farmhouse* et finalement sur l'énergie, l'eau, l'alimentation et les déchets dans le projet d'éco-villages autosuffisants du bureau Effekt.

Le projet sera donc un bâtiment symbiotique de logement complété par des bureaux et une école pour assurer l'utilisation du bâtiment tout au long de la journée et pour sensibiliser les enfants aux questions environnementales. Il sera aussi pourvu d'une serre pour la production alimentaire, ainsi que d'un supermarché où les aliments biologiques produits sur place et dans la région seront vendus pour faciliter l'accès de tout le quartier à ce genre de produits respectueux de la nature. Il s'implantera dans le quartier de Sébeillon, sur le site de l'entreprise Goutte Récupération.

Ce travail ne présente qu'une piste pour aller vers une architecture écosystémique et ne prétend pas pouvoir s'appliquer partout. Au contraire, tout comme le principe même de la symbiose qui se définit par l'association d'organismes d'espèces différents, la solution se trouve dans la diversité et dans la combinaison des différences.

« Chaque élément remplit plusieurs fonctions; Chaque fonction importante est assurée par plusieurs éléments. » (Holmgren D.,2014, p.349)

L'architecture touche à suffisamment de domaines pour faire une réelle différence. La société est prête à un changement. Il y a une demande croissante d'aliments biologiques locaux et de plus en plus de gens souhaitent des maisons passives ou à énergie positives. La population se fie à nous pour réduire son impact environnemental, nous devons nous y préparer, tout reste à faire.

BIBLIOGRAPHIE

LIVRES

Calame M. (2016), « Comprendre l'agroécologie : origines, principes et politiques ». Paris : Éditions Charles Léopold Mayer.

Curien E. (2018), « Gion A. Caminada : s'approcher au plus près des choses ». Arles : Actes Sud.

Dain Belmont O. (2015), « Permacité : continuer la ville différemment, une proposition illustrée ». Nantes : Cosmografia.

Erkman S. (1998), « Vers une écologie industrielle ». Paris : Éditions Charles Léopold Mayer.

Holmgren D. (2014), « Permaculture : principes et pistes d'action pour un mode de vie soutenable ». Paris : Rue de l'échiquier.

Lopez F. (2014), « Le rêve d'une déconnexion : de la maison autonome à la cité auto-énergétique ». Paris : Éditions de La Villette.

Marot S. (2010), « L'art de la mémoire, le territoire et l'architecture ». Paris : Éditions de la Villette.

Marot S. (2011), « Ecology and urbanism: About the deepening of territories. », dans *The Eco-Urb Lectures*, pp. 73-110. Copenhagen: The Royal Danish Academy of Fine Arts Schools of Architecture, Design and Conservation.

OFEV (2018), « Environnement suisse 2018 : rapport du Conseil fédéral ». Bern: OFCL.

Rey E., Lufkin S., Erkman S. (2016), « Strategies for symbiotic urban neighbourhoods : towards local energy self-sufficiency ». Springer.

Rosenstiehl A. (2018), « Capital agricole : chantiers pour une ville cultivée ». Paris : Pavillon de l'Arsenal.

Selosse M.-A. (2000), « La symbiose : structures et fonctions, rôle écologique et évolutif ». Paris : Vuibert.

Suty L. (2015), « Les végétaux : des symbioses pour mieux vivre ». Versailles : Éditions Quae.

Steel C. (2009), « Hungry city : how food shapes our lives ». London : Vintage.

Tillie N., et al. (2009), « REAP Rotterdam Energy Approach and Planning : towards CO2-neutral urban development ». Rotterdam : REAP.

ARTICLES

Bondolfi B. (2020, 3 janvier), « Appartements vides à la périphérie », La Liberté, p.2.

Détraz A. (2016, 10 août), « Le dernier terrain à urbaniser attend son heure », 24 heures.

Fressoz J.-B. (2011), « Écologies marxistes et écologies de la modernité », Mouvements n° 66, pp. 155-159.

Gontier P. (2005), « Symbiocité », Face n° 60.

Gontier P., Benard M. (2007), « Habitat passif », AMC n°172, pp. 58-59.

Gontier P. (2008), « L'écologie industrielle face aux enjeux de l'urbanisation », AMC n°175, pp. 60-62.

Gontier P. (2006), « Densité, verticalité, durabilité », D'A n°158.

Gontier P. (2016), « Bâtiments à énergie positive : de l'utopie à la réalité », Les ingénieurs de Paristech Alumni, Transitions énergétiques: un éclairage du débat, pp. 23-29.

KBOB (2017, 27 novembre), « Impact environnemental des

matériaux de construction ».

OFEV (2014, 28 janvier), « Composition des ordures en 2012 ».

OFL (2017), « Le point sur le logement d'utilité publique: Une comparaison avec le locatif et la propriété ».

O'select (s. d.), « Gestion durable de l'eau: utilisation domestique, commerciale et industrielle ».

Revol C. (2013), « Les vertus du cycle: Rythmanalyse et représentations des saisons urbaines à partir de la pensée de Henri Lefebvre ». Sous la direction de GUEZ A. et SUBREMON H. Donner Lieu.

SuisseEnergie (2016), « Chauffer et rafraîchir grâce aux eaux usées : conseils à l'intention des maîtres d'ouvrage, des communes et des exploitants ». Office fédéral de l'énergie (OFEN).

TRIBU architecture (s. d.), « Métropole suisse? ».

TRIBU architecture (s. d.), « Tours : mode d'emploi ».

DOCUMENTAIRES

Delestrac D. (2013), « Le sable : enquête sur une disparition ». Coproduit par Arte France, Rippi Productions, La Compagnie des Taxi-Brousse et Inform'Action.

Fothergill A., Scholey K. (2019), « Our Planet ». Série-documentaire narrée par David Attenborough et produite par Netflix et Silverback Films.

Marchais D. (2018), « Nul homme n'est une île ». Produit par Zadig Films.

COURS ET CONFERENCES

Fivet C. (2019), Building design in the circular economy, EPFL.

Forum bâtir et planifier (2019, 9 octobre), « Le climat change... Et nos métiers? », Lausanne.

Gontier P. (2009), « Symbiocité », Strasbourg, école d'archi-

teature. Disponible à l'adresse: <https://www.youtube.com/watch?v=LtxgKCoEDEw>

Marot S. (2019), « Taking the country's side », Critique du projet urbain contemporain, EPFL.

SITES INTERNET

Apur (2013), « 80 hectares: le potentiel de végétalisation des toitures terrasses à Paris ». Consulté de 26 décembre 2019, à l'adresse: <https://www.apur.org/fr/nos-travaux/80-hectares-potentiel-vegetalisation-toitures-terrasses-paris>

Atelier Pascal Gontier (2003), « Piscine olympique écologique, Paris ». Consulté le 17 octobre 2019, à l'adresse: <http://www.pascalgontier.com/?portfolio=piscine-olympique-ecologique-paris>

Atelier Pascal Gontier (2007), « Piscine écologique, Anzère ». Consulté le 17 octobre 2019, à l'adresse: <http://www.pascalgontier.com/?portfolio=piscine-ecologique-anzere>

Atelier Pascal Gontier (2016), « Bâtiment Max Weber, bureaux en bois ». Consulté le 7 novembre 2019, à l'adresse: <http://www.pascalgontier.com/?portfolio=batiment-max-weber>

Balicki D., Harden B. (2010, 30 avril), « Cuba leads the world in organic farming », Project censored. Consulté le 31 décembre 2019, à l'adresse: https://www.projectcensored.org/12-cuba-leads-the-world-in-organic-farming/?doing_wp_cron=1577782927.7065289020538330078125

Brut. (2018, 4 juin), « À Paris, une ferme à ciel ouvert surplombe la ville et cache de nombreux avantages ... », consulté le 26 décembre 2019. https://www.francetvinfo.fr/economie/emploi/metiers/agriculture/video-a-paris-une-ferme-a-ciel-ouvert-surplombe-la-ville-et-cache-de-nombreux-avantages_2785721.html

Effekt (2016), « Regen villages ». Consulté le 29 décembre 2019, à l'adresse: <https://www.oeffekt.dk/regenvillages>

Geres (2016), « Gestion de proximité des biodéchets ». Consulté le 7 janvier 2020, à l'adresse: <https://www.geres.>

eu/wp-content/uploads/2019/10/gestion-de-projet-des-bio-dechets-Donnes_cles_aide_decision-web.pdf

Harivelo Ravaomanarivo L. (2013), « Processus écologiques », Université virtuelle environnement & développement durable. Consulté le 6 décembre 2019, à l'adresse: https://www.supagro.fr/ress-pepites/Opale/ProcessusEcologiques/co/Co_Intra-specifique.html

Kernenergie (s. d.), « Concept de gestion des déchets ». Consulté le 27 décembre 2019, à l'adresse: https://www.kernenergie.ch/fr/concept-de-gestion-des-dechets-_content---1--1091.html

Leleu C. (2017, 14 février), « Comment bien choisir et installer son composteur ». Consulté le 7 janvier 2020, à l'adresse: <https://www.18h39.fr/articles/comment-bien-choisir-et-installer-son-composteur.html>

Mangenot G., Cachan P. (s. d.), « Symbiose », Encyclopædia Universalis. Consulté le 14 novembre 2019, à l'adresse: <http://www.universalis.fr/encyclopedie/symbiose/>

Office fédéral de l'environnement OFEV (s. d.), « Déchets et matières premières : En bref », Confédération suisse. Consulté le 4 novembre 2019, à l'adresse: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dechets/en-bref.html>

Office fédéral de la statistique OFS (2019, 19 novembre), « Revenus et dépenses de l'ensemble des ménages ». Consulté le 26 décembre 2019, à l'adresse: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/situation-economique-sociale-population/revenus-consommation-et-fortune/budget-des-menages.assetdetail.10867802.html>

Perrin E. (2014, 23 mai), « Des fourmis transformées en zombies par un champignon parasite », Gent side. Consulté le 6 décembre 2019, à l'adresse: https://www.maxisciences.com/fourmi/des-fourmis-transformees-en-zombies-par-un-champignon-parasite_art32647.html

Precht (2019), « The Farmhouse ». Consulté le 23 octobre

2019, à l'adresse: <https://www.precht.at/the-farmhouse/>

Ruxton C. (2009, 22 octobre), « Cuba years ahead in Eat local movement », Project censored. Consulté le 31 décembre 2019, à l'adresse: <https://www.projectcensored.org/cuba-years-ahead-in-eat-local-movement/>

Science Direct (2015), « New roles for local authorities in a time of climate change: the Rotterdam Energy Approach and Planning as a case of urban symbiosis ». Consulté le 27 décembre 2019, à l'adresse: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615005727>

Selosse M.-A., Joyard J. (2019), « Symbiose et parasitisme », Encyclopédie de l'Environnement. Consulté le 14 novembre 2019, à l'adresse: <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/systemes-symbiotiques-parasites/>

Services cantonaux de l'énergie et de l'environnement (s. d.), « Eau potable et eaux usées ». Consulté le 31 octobre 2019, à l'adresse: <https://www.energie-environnement.ch/maison/eau-potable-et-eaux-usees>

SSIGE (2018), « Les Suisses consomment moins d'eau potable », Naturellement l'eau potable. Consulté le 31 octobre 2019, à l'adresse: <http://trinkwasser.svgw.ch/index.php?id=874&L=1>

Swiss Green (s. d.), « Devenez producteur d'électricité, c'est rentable ! ». Consulté le 7 janvier 2020, à l'adresse: <https://www.swiss-green.ch/fr/content/116-aspect-financier-installation-panneaux-solaires-panneau-solaire-photovoltaique>

tl (2018, 28 janvier), « Chantier du tunnel du LEB – Démarrage de l'excavation du tunnel ». Consulté le 7 janvier 2020, à l'adresse: <https://www.t-l.ch/a-propos-des-tl/presse/communiques-de-presse/2019/749-chantier-du-tunnel-du-leb-demarrage-de-l-excavation-du-tunnel>

UVED Université virtuelle environnement & développement durable (2012), « Ecologie industrielle : l'exemple historique l'écoparc de Kalundborg ». Consulté le 7 décembre 2019, à l'adresse: https://ressources.fondation-uvved.fr/Grains_Mod

ule4/Kalundborg/site/html/Kalundborg/Kalundborg.html

Zoom nature (2016; 13 novembre) « La grande diversité des commensalismes », Chroniques Nature & Sciences. Consulté le 6 décembre 2019, à l'adresse: <https://www.zoom-nature.fr/la-grande-diversite-des-commensalismes/>

IMAGES ET ILLUSTRATIONS

P.6: (1) « Our planet » (2) Mainpac (3) George Steinmetz (4) « Le sable : enquête sur une disparition »

P.13: (1) base Suty L. (2) base Erkman S.

P.17: base Calame M.

P.19: Rem Koolhaas, Delirious New York

P.23: Lucia Degonda, <https://atlasofplaces.com/architecture/mehrzweckhalle-vrin/>

P.26: base Fivet C.

P.31: base SSIGE

P.29 et p.33: Atelier Pascal Gontier, <http://www.pascalgontier.com>

P.36: Swift-Eckrich, Inc.

P.40: INRAE, <https://www.inrae.fr>

P.43: (1) base OFEV 2018 (2) base OFEV 2014

P.46: Eduardo Martino, <http://www.eduardomartino.com/?portfolio=urban-farming-in-cuba>

P.60-61: Tillie N., et al. (2009), « REAP Rotterdam Energy Approach and Planning : towards CO2-neutral urban development ». Rotterdam : REAP.

P.66: Precht, <https://www.precht.at/the-farmhouse/>

P.69: Effekt, <https://www.oeffekt.dk/regenvillages>

P.71: Image satellite : <https://maps.google.ch/maps>