

Biomimétisme et villes durable

Gestion écosystémique des ressources par l'approche biomimétique

*Séminaire Activité et
Instrumentations de la Conception*

Sous la direction de

*Anne Tuscher, Natasha Heil-
Chayamor, François Guéna, Joachim
Silvestre*

Ecrit par

Méon Alexandre

INTRODUCTION **7**

PROBLÉMATIQUE	11
HYPOTHÈSES	12
MÉTHODOLOGIE DU MÉMOIRE	13

I URBANISME & DURABILITÉ **17**

1.1) LA VILLE DURABLE DE L'UTOPIE À LA NÉCESSITÉ	18
1.2) CRITÈRES DE LA VILLE DURABLE	20

II BIOMIMÉTISME & ARCHITECTURE **27**

2.1) LA NATURE UN LABORATOIRE DE RECHERCHE À CIEL OUVERT	28
2.2) ETAT DE L'ART	32
2.3) CLARIFICATION DES TERMES	40
2.4) MÉTHODES BIOMIMÉTIQUES EXISTANTES	42
2.5) RÉFLEXION SUR LA NOTION DE DURABILITÉ DANS LA NATURE ?	52

III VISION SYSTÉMIQUE DE LA VILLE **55**

3.1) LA SYSTÉMIQUE APPROCHE NOUVELLE POUR L'URBANISME	56
3.2) COMPLEXITÉ DES SYSTÈMES ARTIFICIELS	58
3.3) ÉTAT DE L'ART DE LA SYSTÉMIQUE	61
3.4) LE MÉTABOLISME URBAIN	68
3.5) LES FLUX DE RESSOURCES AU SEIN DE LA VILLE	70

V ECOSYSTÈMES, MODÈLES DE DURABILITÉ **75**

4.1)	S'INSPIRER DES DONNÉES ÉCOLOGIQUES DES ÉCOSYSTÈMES	76
4.2)	LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES	77
4.3)	COMPOSITION GÉNÉRALE DES ÉCOSYSTÈMES	80
4.4)	RÉSEAUX TROPHIQUES	82
4.5)	LES INTERACTIONS AU SEIN DES ÉCOSYSTÈMES	83

V CAS D'ÉTUDE **89**

5.1)	MÉTHODE ET OUTILS D'ANALYSES	90
5.2)	CHOIX DES CAS D'ÉTUDE	93
5.3)	TABLEAUX D'ANALYSES	97
5.4)	RÉSULTATS D'ANALYSE	97

VI MÉTHODE BIOMIMÉTIQUE **101**

6.1)	NOTIONS CLÉS ET PRINCIPES DE L'OUTIL BIOMIMÉTIQUE	102
6.2)	COMBINER LES MÉTHODES BIOMIMÉTIQUES	103
6.3)	APPLICATION À UN ÉCOSYSTÈME	117

VII CONCLUSION **127**

VIII BIBLIOGRAPHIE **133**

Vertical line segment on the left side of the page.

Vertical line segment on the left side of the page.

INTRODUCTION

En tant qu'architecte notre rôle est de traiter la question de la durabilité à travers notre vision architecturale et urbaine. Selon l'ONU c'est actuellement 55 % de la population mondiale qui vit en ville, tandis que les estimations prévoient un taux d'urbanisation avoisinant les 70 % en 2050¹. Il apparaît alors évident que l'un des enjeux se trouve dans notre capacité à réfléchir nos métropoles de manière durable. Cela passe par un changement de paradigme dans la manière de les concevoir et dans notre capacité à les mettre en relation avec l'environnement.

L'émergence du concept de ville durable n'a émergée que récemment au regard de l'humanité. Ce n'est qu'à partir des années 1970 que commencent les premières expérimentations aux Pays-Bas puis en Allemagne². Depuis cette époque, les sociétés contemporaines tentent de renouer avec des pratiques qui s'engagent vers la durabilité.

Cependant historiquement l'humain a déjà pu réaliser des architectures qui s'inscrivent dans cette logique.

Les habitats vernaculaires font figure de savoir-faire ancestraux. Ils traduisent des pratiques écologiques considérées comme étant durables en beaucoup de domaines³. Selon leurs définitions les habitats vernaculaires ne sont pas isolés écologiquement ils cherchent à comprendre naturellement le lieu où ils se développent:

1 Source : <https://www.un.org/fr/un75/shifting-demographics>

2 Frédéric Héran, (2013), La ville durable, nouveau modèle urbain ou changement de paradigme ? Métropolitiques, p.3

3 Taous Messaoudi, (2018), L'architecture vernaculaire une solution durable

« L'architecture vernaculaire est une architecture d'inspiration populaire qui [...] développe ses caractéristiques propres dans une région spécifique ou souvent elle utilise des matériaux locaux, des façons de faire et des formes traditionnelles ».⁴

Cette définition nous permet de mieux comprendre le caractère bioclimatique de ces architectures, car elles se développent en réponse aux caractéristiques d'un lieu. Considérer le milieu où l'architecture s'implante, permet d'intégrer initialement les conditions climatiques et de ce fait réfléchir à une conception économe énergétiquement.

En réfléchissant sur la question des milieux, cela impliquerait de comprendre comment mieux intégrer les écosystèmes. Effectivement, ou que l'on soit sur notre planète les écosystèmes sont présents et cherchent de manière naturelle à se construire selon des principes de résilience et de durabilité. En prenant pour modèle les écosystèmes, on pourrait comprendre les facteurs qui favorisent la durabilité d'un environnement. À travers une compréhension factuelle de l'environnement, nous pourrions mieux intégrer les éléments qui favorisent la durabilité au sein de nos architectures et ainsi dans nos villes.

S'inspirer du vivant apparaît comme une solution convaincante dans beaucoup de domaines lorsqu'il s'agit d'innover durablement⁵. C'est dans le biomimétisme que les architectes peuvent trouver une source d'inspiration infinie et tangible quant à la réflexion sur de nouveaux modes d'habiter en ville. Ayant plusieurs niveaux d'inspiration⁶, ce serait dans le niveau écosystémique que nous

4 François Varin, (L'architecture vernaculaire : une définition difficile à cerner, p.4

5 Biomimexpo', 6ème éditions, (2021), Cité des Sciences et de l'industrie

6 Janine M. Benyus (1998), Biomimicry, Innovation inspired by nature. p.4

pourrions trouver des solutions durables pour nos systèmes urbains.

L'enjeu de ce modèle de conception se trouve dans la complexité à comprendre l'organisation d'un système qui s'imbrique de l'échelle de l'infiniment petit à celle de l'infiniment grand. Si l'on veut s'offrir l'ambition de pouvoir régénérer notre environnement, il nous faut être à même de pouvoir en comprendre ses mécanismes. Il devient alors important de voir dans quelles mesures nous pouvons transposer les mécanismes d'auto régulation qui opèrent dans les écosystèmes.

Dans notre histoire nous avons cherché sans cesse à repousser les limites de l'innovation, pour cela l'être humain à chercher à développer des méthodologies permettant de guider l'acte de conception. C'est en affrontant la complexité que les concepteurs ont développé des processus d'abstractions qui permettent de visualiser ce qui ne peut se voir, c'est dans cette occurrence que la pensée systémique s'est développée. Le terme de systémique entre par dénomination en résonnance avec le terme écosystémique. La mise en relation de ces deux domaines que peut-être nous pourrions trouver des réponses à la difficulté d'analogie du processus de conception écosystémique. Dans la mesure où la conception systémique relève d'une grande complexité pour le cerveau humain. L'objectif serait de comprendre comment nous pouvons allier méthodes de conception artificielles et processus naturels peuvent susciter un intérêt dans l'activité de conception architecturale.

Dans le cadre d'une recherche au sujet des instrumentations de conception, l'objectif de ce travail est d'apporter des éléments de compréhension de la méthode biomimétique. Ainsi qu'un outil d'abstraction permettant de faciliter la démarche architecturale écosystémique.

PROBLÉMATIQUE

Les méthodes de conception biomimétique constituent un intérêt croissant dans la pratique architecturale⁷. Tandis que la compréhension ainsi que l'usage de la démarche écosystémique peine encore à être comprise dans l'impact qu'elle peut offrir en matière de durabilité.

Dans une réflexion pour une gestion urbaine durable, dans quelle mesure pourrions-nous nous inspirer de la nature afin de concevoir des projets urbains qui s'inscrivent dans la durabilité de la même manière que les écosystèmes ?

Comment pourrions-nous développer des outils d'aide à la conception pour constituer un langage et médium commun aux architectes ainsi qu'aux différents acteurs d'un processus de conception écosystémique ?

⁷ Architectes.org, La ville biomimétique, la ville de vie(s) et d'avenir ?

HYPOTHÈSES

La première hypothèse est qu'en considérant que le biomimétisme au niveau écosystème peut offrir une solution viable pour répondre aux enjeux de durabilité et de gestion écologique des ressources dans l'urbanisme.

La seconde hypothèse répond à la complexité du mécanisme d'abstraction que la démarche écosystémique peut engendrer. La combinaison de la démarche biomimétique et de la pensée systémique constitue une association favorable dans le but de développer un outil d'aide à la conception afin de favoriser les mécanismes d'abstraction inhérents au processus de conception architecturale écosystémique.

La troisième hypothèse serait qu'en s'inspirant des mécanismes d'interactions dans les écosystèmes, on pourrait intégrer ce principe à la démarche biomimétique afin de favoriser la mise en relation des systèmes urbains avec leur environnement et mettre en relation les éléments d'un système urbain entre eux.

MÉTHODOLOGIE DU MÉMOIRE

Les recherches faites dans ce mémoire se placent dans le domaine de la durabilité de la gestion des ressources dans l'urbanisme. L'enjeu est d'interroger la capacité de nos systèmes urbains actuels à être gérés de manière durable. La notion de durabilité dans le milieu de l'architecture pourrait faire l'objet de recherche plus approfondie, ça peut être un sujet en soi. Nous allons pour cette recherche établir en quoi cette notion est intégrée et comment elle suscite un intérêt pour le milieu architectural. En partant de cette notion de durabilité, on peut observer l'enjeu présent pour le milieu de la construction. Cela implique aussi de voir comment le critère de durabilité est intégré dans la démarche de conception architecturale. LA notion de durabilité renvoie à celle d'écologie urbaine. Ainsi traiter de la durabilité implique de comprendre ce à quoi elle correspond, et ce qui en fait un critère permettant de mesurer la performance d'un système urbain en terme écologique.

Nous verrons que les critères de durabilité peuvent répondre à des objectifs qui sont inscrits dans une époque et ne reflètent pas systématiquement d'un référentiel intemporel. Dans l'objectif de répondre à la question de la gestion écologique des ressources dans le cadre d'une démarche de conception. L'objet de ce travail va se porter sur l'apport qu'un fonctionnement en système peut offrir à la démarche de conception. L'objet d'étude de ce mémoire se base sur les systèmes. Aborder une réflexion systémique que ce soit sur des écosystèmes ou des systèmes artificiels permet d'observer comment les éléments d'un système peuvent être compris dans une globalité qui fonctionne en tant qu'ensemble.

C'est en cela que les systèmes entrent en résonnance avec la question urbaine. On peut comprendre la ville comme étant un

ensemble constitué de sous-ensemble que l'on va chercher à organiser au mieux dans logique d'efficacité et de manière durable.

La ville et ses composantes offrent une opportunité à être manié conjointement lorsque l'on aborde la thématique de la durabilité. C'est à ce propos que nous allons nous intéresser à ce que peut apporter la démarche biomimétique en matière de durabilité. D'après le constat que la nature apporte des solutions qui se développent de manière durable nous allons voir comment nous pouvons extraire des principes naturels afin de les intégrer dans une démarche de conception. Nous verrons que s'inspirant du vivant peut relever d'une certaine complexité, à la fois dans la mesure où il est compliqué de comprendre en tant qu'architecte comment fonctionne le vivant. Mais aussi dans la complexité qui se révèle lors de la transposition de principes d'organisations naturels à un processus de conception artificiel.

À ce propos nous allons nous intéresser aux domaines qui ont cherché à développer des mécanismes de conception complexe. La systémique s'est intéressée à cela dans gérer la mesure où l'humanité faisait face à des problématiques de plus en plus complexes. L'urbanisme pouvant être considéré comme étant un système, l'étude des processus de conception systémique nous montre comment on peut faire évoluer une démarche qui traite les problématiques de manière séparée en décomposant l'ensemble. À une démarche qui traite les problématiques de manière conjointe en traitant l'ensemble avant les sous-ensembles. Chercher à intégrer des principes de la systémique pour l'analogie du vivant permet de voir les postures à adopter dans une démarche se plaçant dans la complexité.

Le sujet d'étude étant axé les processus de conception biomimétique au niveau écosystème intégré à la démarche de conception urbaine, nous analyser des cas d'étude issus d'une

telle démarche. La méthode de cette recherche se structure de manière analytique afin de relever comment ont été structurées les démarches de conception de projets urbains biomimétiques. L'étude de tels projets permet de comprendre les facteurs qui influencent la démarche et ainsi qui façonnent les projets. Avec l'analyse réalisée sur les cas d'étude, cela va nous permettre de relever les éléments de récurrences dans ce type de projets, c'est selon ces récurrences que nous allons tenter de proposer une méthode biomimétique.

Le bilan d'analyse permet de faire émerger les éléments d'intérêts dans une telle démarche. L'enjeu est alors de proposer un cadre à la fois théorique issu des thématiques abordées précédemment, mais aussi pratique permettant d'accompagner les architectes tout au long du processus de conception biomimétique. Cette méthode se baserait autour d'un diagramme d'aide à la conception qui permet de visualiser simultanément l'écosystème dont le concepteur s'inspire et le système urbain en état projeté.

Vertical line segment on the left side of the page.

Vertical line segment on the left side of the page.

I URBANISME & DURABILITÉ

1.1) LA VILLE DURABLE DE L'UTOPIE À LA NÉCESSITÉ

Les volontés de planifications urbaine sont des principes d'organisation qui sont apparus assez tôt avec la sédentarisation progressive des sociétés humaines. Les villes se sont développées dans un besoin d'économie d'échelle plutôt qu'en accord avec des volontés de durabilités⁸. Avant d'arriver au paradigme de la ville durable, les sociétés humaines sont passées par différentes phases d'urbanisations, villes médiévales, villes industrielles, ... Fort de son histoire la ville se forme au fil de temps afin de répondre aux besoins d'une société en constante évolution. Le besoin de la ville durable se constitue que très récemment afin de pouvoir offrir une réponse adaptée aux défis environnementaux auxquels nos sociétés contemporaines font faces.

L'urbanisme durable cherche à faire évoluer la paradigme moderniste qui a largement structuré les villes dans une Europe détruite après la guerre. Alors que les modernistes prônent une ville zonée que l'on décompose en sous ensemble afin de répondre aux problématiques qui son propre à chaque fonction de la ville. L'urbanisme durable repense les critères qui structurent la ville, et tend développer une approche systémique de la ville qui souhaite comprendre comment les différentes fonctions urbaines peuvent entrer en interactions⁹.

8 Jacques-Francois Thisse, (1996), Regards socioéconomiques sur la structuration de la ville. p.3

9 Frédéric Héran, (2013), La ville durable, nouveau modèle urbain ou changement de paradigme ? Métropolitiques, p.2

Avant de constituer un engouement politique et social, la ville verte n'était que le fruit d'une utopie inspirant une poignée d'architectes et urbanistes. Leurs imaginaires d'une ville durable se transcrit à travers une vision symbiotique de l'humain avec son milieu¹⁰.

On peut voir dans la ville archiborescente de Luc Schuiten un urbanisme qui est régit par les processus de fabrications dont dispose la nature. Dans son travail la nature et le végétal sont la matière première des villes. Sa vision de la ville durable réfute les barrières entre la nature et l'homme pour laisser s'exprimer une cohabitation harmonieuse de l'homme et la nature. Le regard artistique que peuvent porter des artistes comme Schuiten exprime l'engouement d'une génération qui repense la ville différemment et dans une volonté de reconquête de l'environnement naturel. La ville symbiotique exprime l'association pérenne de l'homme et de son environnement¹¹. Mais cette vision utopique ne peut constituer une réalité aux enjeux de la ville durable.

Dans une perspective de durabilité urbaine, on pourrait emprunter à la ville symbiotique la volonté des individus à faire évoluer le lien qu'entretiennent les individus avec leurs environnements. Cependant comme l'évoque Bertrand Cassaigne pour bien des acteurs de la ville, la durabilité peut s'exprimer dans la ville comme « une couche de vert mises sur quelques quartiers ». La durabilité en ville s'exprime à travers toutes les dimensions qui constituent la ville, que ce soit économique sociale, politique ou environnementale, la durabilité passe par la cohésion de ces différents acteurs¹². L'urbanisme durable relève plus du paradigme qui fixe des objectifs pour l'avenir, que d'un modèle déjà préconçu.

10 Aurelie Michel, La ville paysage du XXIème siècle : Symbiose de l'architecture et de la nature. P.121

11 Sylvain Champy, , L'architecture symbiotique. L'approche systémique au service de la durabilité. p.30

12 Bertrand Cassaigne, ,La ville durable. Revue projet.

Réfléchir à la ville durable c'est voir la ville de façon systémique on cherche à comprendre comment les fonctions urbaines peuvent être mixées et entrer en interaction¹³.

1.2) CRITÈRES DE LA VILLE DURABLE

1.2.1- Evaluation de la durabilité par indicateurs

En évoquant la durabilité dans le projet urbain cela amène à s'interroger comment on peut mesurer cette durabilité. Évaluer les objets conçus par l'homme permet de vérifier sa qualité selon des objectifs qui sont fixés. En considérant l'urbanisme durable de manière systémique (voir partie 3.3), cela nécessite de fixer des normes qui permettent d'établir des objectifs à atteindre pour le projet.

L'urbanisme durable est un phénomène qui a pris de l'ampleur depuis les années 1990 et a permis de multiplier les expérimentations à l'échelle territoriale et de manière décentralisée¹⁴. Le fait d'avoir été expérimenté de manière décentralisée cela a impliqué les acteurs des projets urbains à développer des critères d'évaluation pour la durabilité.

L'évaluation de la durabilité en urbanisme peut être constituée selon plusieurs moyens, l'un des moyens d'évaluation peut se faire avec une évaluation par indicateur¹⁵. Les indicateurs sont construits selon des données quantitatives et relevées de manière

13 Frédéric Héran, (2013), La ville durable, nouveau modèle urbain ou changement de paradigme ? Métropolitiques, p.3

14 Cyria Emelianoff, (2011), Urbanisme Durable. Presse de Sciences Po- Ecologies & Politique. p.15

15 Anne Jégou, Cédissia About de Chasteney, Vincent Augiseau, Cécile Guyot, Cécile Judéaux, François-Xavier Monaco et Pierre Pech, (2012) « L'évaluation par indicateurs : un outil nécessaire d'aménagement urbain durable ? ». p.19

empirique. Les indicateurs se développent selon des critères précis tels que les flux énergétiques mesurables (Apport solaire, dépense énergétique en chauffage ...) ou encore les données écologiques (Flux de CO₂). Le référentiel dans lequel se place l'évaluation a son importance, le référentiel permet de fixer les objectifs selon les ambitions d'un lieu¹⁶. En fonction du contexte (économique, environnementale, politique ou social), tous les projets ne peuvent répondre au même référentiel.

Dans le cadre de l'aménagement durable de la ville de Paris, quatre axes de développement ont pu être définis (voir figure 1). Ce référentiel a permis d'établir l'ensemble des critères auxquels doivent répondre les projets urbains durables de la ville de Paris. Ainsi les nouveaux projets n'ont pas besoin de rétablir de nouveau les critères de durabilité et peuvent se fixer à ce référentiel déjà constitué.

1.2.2- Labels Durables

En matière de durabilité de nombreux systèmes de labellisation ont été créés afin de certifier les qualités écologiques des projets architecturaux. Les systèmes de labellisation ont été développés en France pour être en accord avec les réglementations thermiques (RT) issues de l'engagement politique vis-à-vis de la performance énergétique du parc immobilier français¹⁷. Alors que les critères de consommation énergétiques constituent une base pour plusieurs labellisations, les types de critères qui fondent les systèmes de labellisation apparaissent alors importants dans l'estimation de la performance écologique de l'architecture.

16 Anne Jégou, Cédissia About de Chastenot, Vincent Augiseau, Cécile Guyot, Cécile Judéaux, François-Xavier Monaco et Pierre Pech, (2012) « L'évaluation par indicateurs : un outil nécessaire d'aménagement urbain durable ? », p.33

17 Maurice Schwab, (2015), La prolifération des labels environnementaux, vecteur de l'appauvrissement de l'architecture en France. p.17

AXE 1 : UNE ORGANISATION PERFORMANTE
Identifier les problèmes et élaborer un diagnostic de qualité
Organiser le pilotage des acteurs du projet
Améliorer la concertation et la participation des usagers
Recourir à l'innovation
Optimiser la période d'exploitation
AXE 2 : UN CADRE URBAIN VIVANT ET CHALEUREUX
Améliorer la qualité paysagère de l'espace urbain
Concevoir des espaces publics confortables et de qualité
Instaurer une mobilité durable
Valoriser et renouveler le patrimoine bâti
Mettre en valeur le patrimoine naturel
Améliorer la sécurité
AXE 3 : UNE GESTION RESPONSABLE DE L'ENVIRONNEMENT
Renforcer la biodiversité
Réduire les émissions de gaz à effet de serre
Réduire la production de déchets et optimiser leur gestion
Améliorer la gestion de l'eau et de l'assainissement
Gérer les nuisances sonores et les pollutions atmosphériques
Gérer les risques
Économiser les ressources naturelles
AXE 4 : UNE COHÉSION SOCIALE ET UNE DIVERSITÉ ÉCONOMIQUE
Diversifier les catégories de logements et lutter contre l'insalubrité
Renforcer la diversité économique, l'emploi et les services de proximité
Développer les équipements et les services culturels

Figure 1 : Les 4 axes et les 21 objectifs du Référentiel - Un aménagement durable pour Paris

© Crédits : Tableau prit du travail de Anne Jégou, Cédissia About de Chasteney, Vincent Augiseau, Cécile Guyot, Cécile Judéaux, François-Xavier Monaco et Pierre Pech.

Source : L'évaluation par indicateurs : un outil nécessaire d'aménagement urbain durable ?

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)

Le label LEED est un système de labellisation créée aux États-Unis dans le but d'évaluer l'impact de la construction des bâtiments sur l'environnement. Ce système de labellisation ne se base pas uniquement sur le coût énergétique des projets, mais sur sept domaines d'évaluations écologiques¹⁸. On retrouve la gestion et l'intégration du cycle de l'eau, durabilité des matériaux et ressources employés, préservation de l'environnement, consommation énergétique, atmosphère et ambiances intérieures.

Ces différents éléments d'évaluation permettent de conférer un nombre crédits en fonction du respect des critères d'évaluations. Les projets cherchant à obtenir une certification LEED peuvent ainsi obtenir différents paliers de certifications. Le premier palier commence à 20 crédits pour être certifié LEED et peut aller jusqu'à plus de 80 points pour obtenir la plus haute distinction environnementale, le label LEED Platinum.



Les niveaux de certification LEED

© Crédits : <http://www.themaverde.fr/certification-leed/>

Haute Qualité Environnementale (HQE)

Le label HQE a été créé en France pour garantir une qualité pour les habitats. De la même manière que l'évaluation par indicateur ce label se développe selon un référentiel¹⁹. Le référentiel peut se porter en référence à certaines pratiques sur un territoire, ou une localité. Le label HQE s'établit selon quatorze cibles qui regroupent principalement des objectifs de limitation des impacts de la construction sur l'environnement et de confort pour l'usager²⁰. On retrouve dans les cibles, les limitations des impacts de la construction sur l'environnement, la gestion des différents cycles de ressource présente dans un bâtiment (Eau, énergie, déchets), mais aussi son rapport au contexte où le projet s'implante (relation à l'environnement, chantier respectueux de son environnement). Pour ce qui est des cibles de confort, ce sera des objectifs d'ambiance intérieure (acoustique, thermique, visuel) ou encore de qualités (air, eau).

Labellisation et performance écologique

Les systèmes de labellisation et d'évaluation de l'impact environnemental du secteur de la construction permettent d'établir des critères censés améliorer la performance écologique de nos architectures. Ils permettent de constituer une base pouvant servir de guide en matière de durabilité et fixant des objectifs à atteindre. Ces outils ont été développés afin de limiter l'impact des bâtiments sur les écosystèmes, cependant ils se basent souvent par rapport à des normes actuelles du secteur de la construction.

19 Nicolas Prudhomme, (), L'habitat, ses labellisations et ses certifications, Fédération française du bâtiment, « Constructif », p.55

20 Projetvert.fr, Les 14 cibles de la démarche HQE

Le référentiel qui sert à établir les critères de dévaluation de performance des bâtiments est important quand on cherche à évaluer l'impact environnemental d'un projet. Le fait que les normes imposées dans le bâtiment évoluent selon les périodes (par exemple les normes écologiques n'étaient pas les mêmes en 1990 qu'en 2020), nous montre que le référentiel choisi fixe des objectifs qui sont valables pour une époque, mais pas de manière intemporelle. L'objectif des systèmes de labellisation est d'impacter le moins possible les écosystèmes, sachant que ces normes sont évolutives par rapport à leurs époques. Il est important de remettre en question la viabilité des critères d'évaluations, s'ils sont basés selon une époque, pouvons-nous concrètement dire qu'ils sont écologiques ?

Dans la cadre d'une évaluation de l'impact environnemental, un autre intérêt serait alors de se baser sur la capacité de l'environnement à fournir des critères d'évaluation pour la durabilité. Les écosystèmes cherchent de manière naturelle à s'établir dans la durabilité. C'est en ce sens que nous allons voir dans la suite de ce mémoire comment nous pouvons nous inspirer des écosystèmes. Afin de l'intégrer dans les processus de conception dans le but de fournir des objectifs de performance écologique.

Vertical line segment on the left side of the page.

Vertical line segment on the left side of the page.

II BIOMIMÉTISME & ARCHITECTURE

2.1) LA NATURE UN LABORATOIRE DE RECHERCHE À CIEL OUVERT

Notre regard à l'égard de la nature a toujours été en constante évolution. Si la modernité s'est structurée dans une démarche d'asservissement de la nature au service de l'activité humaine, nous vivons actuellement dans une période d'indispensable reconquête de cette dernière. À partir du constat généralisé des troubles provoqués par l'ère anthropocène sur l'environnement, la faculté de notre société à rétablir ces dérèglements se trouve dans notre capacité à en comprendre ses fonctionnements. C'est dans cette logique que le biomimétisme offre une opportunité pour que l'on puisse répondre aux enjeux de développement durable auxquels nous faisons face.

Architecte, designer et de manière plus générale concepteurs, ont toujours trouvé en la nature une source d'inspiration pour répondre aux problématiques confrontées. Si cette démarche d'inspiration a depuis longtemps été intégrée dans l'histoire de l'humanité, c'est à travers les recherches de la biologiste Janine Benyus que les fondements contemporains du biomimétisme ont été développés. Elle définit la posture du biomimétisme selon trois grandes idées, la nature comme modèle, la nature comme étalon, la nature comme maître²¹. Son ouvrage est un changement majeur dans la relation qu'on entretient avec l'univers du vivant, elle y expose des principes fondateurs qui structurent la pensée biomimétique.

Après une longue évolution de 3,8 milliards d'années la nature à su développer des réponses concrètes aux changements

21 Janine M. Benyus (1998), *Biomimicry, Innovation inspired by nature*. p.4

climatiques. L'environnement qui nous entoure conserve le secret de l'adaptation et de la survie et s'exprime comme un laboratoire de recherche et développement à ciel ouvert²².

Selon la biologiste l'un des enjeux du biomimétisme serait alors de faire fonctionner notre société aux plus proches de ce monde naturel qui nous entoure. Si cette réflexion pose des principes et enjeux essentiels du biomimétisme. L'opérabilité d'un tel processus de conception se révèle dans la capacité du concepteur intégrer avec justesse l'analogie des principes d'organisation du vivant dans le processus de conception. La vision analogique, comme le définit Jean-Pierre Chupin, s'exprime dans « son potentiel d'articulation de la pratique et de la théorie »²³. Nous emprunterons dans un second temps les principes autour desquels se développe l'analogie comme support de compréhension du biomimétisme.

Dans le domaine de l'architecture, les expérimentations n'ont cessé de croître depuis ce changement de paradigme, si la tendance actuelle est à une architecture qui revendique une intégration de la nature. Tous les projets ne peuvent pas se revendiquer de conception biomimétique. La démarche biomimétique actuelle cherche à s'inspirer de la nature afin d'y trouver des solutions durables. Non pas une simple transposition littérale des formes qui peuvent être observées, mais dans une compréhension des principes, règles qui organisent et structure le vivant.

À travers le développement de la méthode biomimétique et les projets architecturaux qui ont pu être réalisés, on a pu identifier trois niveaux de conception biomimétique²⁴.

22 Janine M. Benyus (1998), *Biomimicry, Innovation inspired by nature*. p. 7

23 Jean-Pierre Chupin, (2013), *Analogie et Théorie en Architecture*. P.131

24 Natasha Chayaamor-Heil, François Guéna et Nazila Hannachi-Belkadi, (2018) *Biomimétisme en architecture. État, méthodes et outils*, p.4,5

Le niveau organisme qui cherche à s'inspirer de la forme d'un organisme qui a développé une structure formelle particulière pour s'adapter de façon spécifique à son milieu.

Le niveau comportement se réfère à l'imitation d'un processus d'organisation qui opère dans la nature.

Le niveau écosystème s'inspire comme son nom l'indique d'un écosystème entier présent dans la nature. Ce niveau correspond à imiter l'ensemble des critères qui font de l'écosystème un environnement stable dans le temps qui fonctionne en équilibre dynamique.

Ces trois niveaux biomimétiques sont plus largement expliqués dans la partie suivante sur l'état de l'art. Nous pouvons d'ores et déjà mettre en avant le niveau écosystémique qui constitue une opportunité intéressante selon ses principes dans une démarche de durabilité pour la gestion des ressources en architecture.

Le biomimétisme écosystémique est une approche récente dans l'histoire de l'architecture, c'est dans le cadre d'une approche régénérative de l'architecture que Maibritt Pedersen Zari a fait évoluer ce concept²⁵. Elle voit dans la planification urbaine une voie d'application de la réflexion écosystémique. Dans la mesure où les villes permettent une gestion plus directe des actions de l'homme par les pouvoirs publics qui ont une vision globale de l'action à porter sur les villes. C'est à travers l'économie d'échelles que les villes offrent un modèle intéressant concernant les principes de gestion durable des ressources. Si les modèles actuels qui opèrent au sein des écosystèmes arrivent à être identifiés puis transposés efficacement cela offrirait une réponse convaincante pour la

25 Maibritt Pedersen Zari, (2018), Regenerative urban design and ecosystem biomimicry

nécessaire transformation que doivent opérer nos systèmes urbains.

Nos villes fonctionnent de manière linéaire, il y a un flux de ressource entrant qui est consommé puis transformé en déchets et se transforme en flux sortant. Ce procédé va à l'encontre des principes d'organisation qui sont présents dans la nature, toute ressource même les déchets sont intégrée dans un système complexe d'échange. Tout l'enjeu d'intégrer un tel fonctionnement dans une réflexion urbanistique est de comprendre à quels niveaux et comment se font ces échanges. Ainsi les écosystèmes s'auto organisent dans un fonctionnement en boucle fermée qui est rétro actif sur les acteurs de l'écosystème. De cela émerge l'un des éléments principaux qui permet à la nature de s'organiser en consommant le moins d'énergie possible avec une consommation de matière première fonctionnant en circuit court.

Une description plus détaillée des principes structurant les écosystèmes sera faite par la suite afin d'offrir un éventail plus complet des caractéristiques qui permettent aux écosystèmes de se structurer de manière durable et dans une optique de résilience.

2.2) ETAT DE L'ART

2.2.1- Prémices de l'architecture biomimétique

Avant les années 1990 très peu voir aucun ouvrage ne paraissait sur le biomimétisme, la recherche sur le sujet à connu réel bon en avant avec la parution de l'ouvrage de J. Benyus. Si les ouvrages de référence sur le sujet n'apparaissent que récemment, la nature a depuis longtemps été source d'inspiration dans l'art, le design et l'architecture. Nous connaissons tous les travaux de Léonard de Vinci qui s'inspire des oiseaux pour imaginer sa machine volante. Bien qu'étant l'un des précurseurs L. de Vinci ne sera que l'un des concepteurs d'une longue lignée qui puisera son inspiration dans ses observations faites de la nature. Plus récemment, les artistes du courant de l'art nouveau ont fait de la reproduction des formes naturelles l'élément central de leurs design²⁶.

Des architectes tels que Hector Guimard, Louis Majorelle, Victor Horta ou encore Antoni Gaudí développent ce mouvement et s'expriment à travers une certaine unité du décor en refusant la symétrie. Ils cherchent en la nature une inspiration pour l'élégance du style²⁷. Ces artistes interrogent la nature dans une quête de forme organique qui réfute l'orthogonalité. Ils développent un design qui sort d'un imaginaire végétale, comme si la nature entrait en harmonie avec l'édifice.

Tandis que l'art nouveau intègre la nature de manière purement formaliste et esthétique, le biomimétisme cherche à comprendre

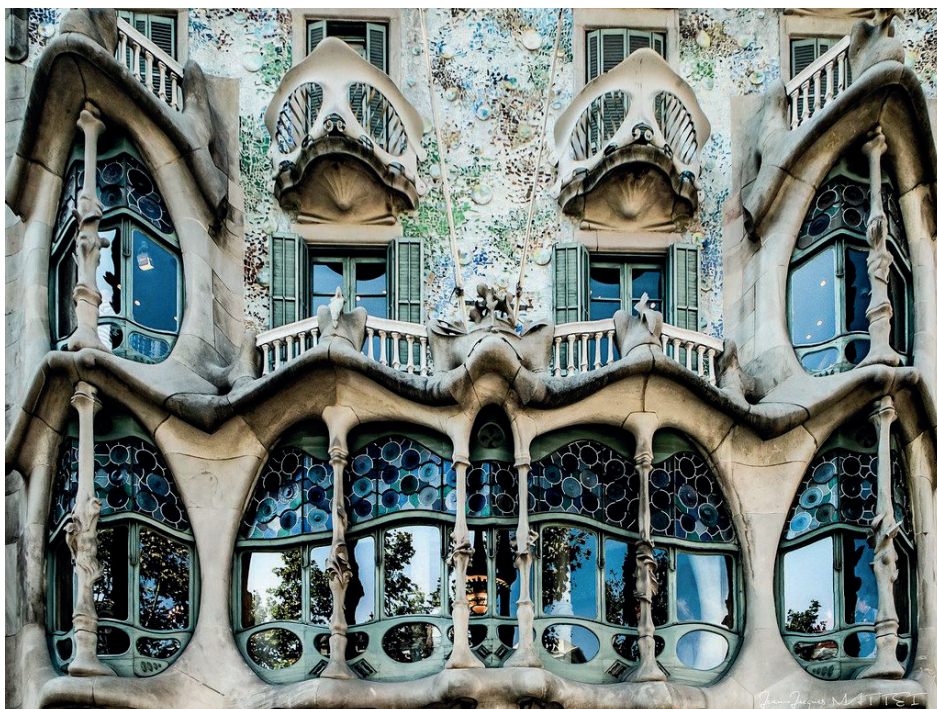
26 Cécile Rotureau, (2018), La représentation du végétal dans l'art contemporain. p.13
 27 <https://www.beauxarts.com/grand-format/lart-nouveau-en-3-minutes/>



Ci-dessus: Bouche du métro 2, Hector Guimard

© Crédits photos : Jean-Jacques Mattei, Stringfixer

Ci-dessous: Casa Batllo, Antoni Gaudi





Ci-dessus: La maison sur la cascade, Frank Lloyd Wright

© Crédits photos : Supercel 7, Architecture de Collection

Ci-dessous: Maison Bulle, Antti Lovag



comment fonctionne le vivant²⁸.

C'est à travers l'architecture organique que vont se développer les préceptes de mécanismes d'abstraction du vivant cherchant à intégrer les caractéristiques naturelles environnantes. Ce type d'architecture cherche à composer avec les ressources disponibles à proximité, dans une volonté d'intégration dans le paysage²⁹. Avec l'architecture organique, les architectes cherchent à extraire les composantes naturelles pour les intégrer au processus de conception. Frank Lloyd Wright l'un des architectes incontournables du mouvement moderne sera l'une des figures de proue de l'architecture organique, notamment avec sa « maison sur la cascade » conçue en 1935 en Pennsylvanie.

À travers cette vision exprimée par l'architecture organique, c'est l'une des premières fois que l'on questionne la nature à travers ses principes d'organisation. On ne l'interprète plus d'une façon à en recopier uniquement la forme, mais en cherchant à s'inspirer des formes du vivant pour développer des formes non conventionnelles. Le vivant sert de source d'inspiration et non plus de modèle à recopier comme cela a pu être fait dans l'art nouveau.

L'architecture organique se révèle à travers des formes qui prolifèrent en s'adaptant aux caractéristiques géographiques du site. La maison bulle d'Antti Lovag exprime cette morphologie proliférante, ici l'architecte a cherché l'harmonie de la construction avec son environnement.

28 Natasha Chayaamor-Heil, François Guéna et Nazila Hannachi-Belkadi, (2018) Biomimétisme en architecture. État, méthodes et outils, p.12

29 Floriane de Roover, (2018), Le rapport à la terre et au ciel. p.23

2.2.2- Architectures biomimétiques

Les exemples les plus connus de réalisation biomimétique sont le Shinkansen (inspiré du Martin pêcheur) ou encore le scratch velcro (inspiré de la Badiane)³⁰. Les travaux universitaires des architectes Jan Knippers et Achim Menges concrétisent en quelque sorte le rêve des artistes de l'art nouveau ou du mouvement organique. À travers des pavillons qui développent des formes, structures et principe d'organisation par l'analyse de construction biologique.

Ils réalisent des structures bioniques qui sont à la frontière de la connaissance actuelle en matière de recherche et d'application pratique de structure biomimétique. Leurs fascinantes structures sont réalisées à travers un long processus interdisciplinaire qui font se rencontrer des biologistes, physiciens et chimistes autour d'un projet pédagogique commun. Afin de transférer les diverses connaissances réunies à un projet d'architecture et de construction.

À résonance tout aussi forte, nous pouvons citer les travaux de Neri Oxman qui donne une réponse moins architecturale, mais tout aussi trait au secteur de la construction³¹. Elle voit l'architecture comme un organisme vivant qui pousse de la même manière que les organismes qui développent des architectures naturelles. Elle développe de nouveaux procédés de fabrication numérique qui intègrent les principes de bio fabrication. Elle rêve d'une architecture qui se construit de la même manière que la nature construit

30 Isabel Qamar, Katarzyna Stawarz, Simon Robinson, Alix Goguey, Céline Coutrix, Anne Roudaut. Morphino: A Nature-Inspired Tool for the Design of Shape-Changing Interfaces. 2020

31 Collection FRAC Centre, Biothing, Materialecology

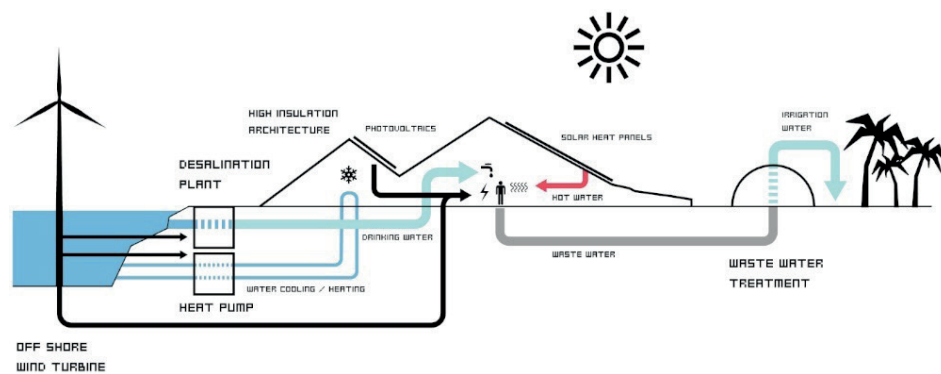


Ci-dessus: La maison sur la cascade, Frank Lloyd Wright

© Crédits photos : Archdaily, Roland Halbe

Ci-dessous: ICD ITKE Pavillon 2011





Ci-dessus: Zira Island, Carbon Neutral Masterplan, Bjarke Ingel Group

© Crédits photos : Archdaily pour BIG Architecture

Ces projets bio-inspirés nous montrent les possibilités et la puissance qu'offre la démarche biomimétique. Cependant ils réfléchissent à la manière d'intégrer la façon dont s'organise le vivant. Ils ne considèrent pas la méthode biomimétique comme un concept permettant la régénération de la nature. Selon Maibritt Pedersen Zari³² ce serait cette capacité régénératrice du biomimétisme qui permettrait d'inscrire la durabilité de nos architectures dans le temps. En se basant sur les travaux de Zari³³, la capacité régénératrice de la démarche biomimétique se concrétise dans l'intégration des processus écosystémique au sein de la démarche biomimétique.

Actuellement les projets à caractère écosystémique sont encore minoritaires, même si des architectes renommés tels que Bjarke Ingels ont déjà posé une telle réflexion avec le projet de Zira Island. Où il développe une conception écosystémique autonome et neutre en émission carbone, l'intégration des processus écosystémique reste encore en marge dans ce type de projet.

2.2.3- Champ d'application élargie

Le biomimétisme est en pleines expérimentations au sein du domaine de l'architecture et du design, mais cette méthode n'est pas opérée uniquement de la cadre du domaine de la construction. Etant une méthode de conception on peut l'appliquer à tous les domaines qui développent un processus conceptuel. On sait que dans le domaine de l'ingénierie cette méthode est largement employée³⁴, en aviation par exemple ou la portance des ailes des oiseaux est étudiée afin d'en comprendre les mécanismes

32 Maibritt Pedersen Zari, (2018), Regenerative urban design and ecosystem biomimicry

33 Maibritt Pedersen Zari, (2018), Regenerative urban design and ecosystem biomimicry

34 Emmanuel Raufflet, Philippe Terrier, Mathias Glaus, (2017), Biomimétisme : outils pour une démarche écoinnovante en ingénierie. p.17

pour les transposer aux avions. Mais bien d'autres domaines ont intégré cette méthode, dans l'entrepreneuriat ou l'économie où l'on va tenter de développer le fonctionnement de l'économie à travers le biomimétisme³⁵. On a pu le voir aussi dans l'industrie automobile à la fois à travers des formes de voiture inspirées de poisson-coffre, mais aussi en tant que modèle de consommation pour les moteurs thermiques³⁶.

Si bien des domaines s'intéressent à ce principe d'inspiration de la nature qui nous entoure ne serait-ce pas l'ambition de notre société que de renouer avec son environnement ? Comment pouvons-nous interpréter ce phénomène, est-ce une mode ou bien philosophie concrète qui survient comme réel moteur de l'innovation et solution pour pallier aux enjeux de durabilités que l'on doit affronter au XXI^e siècle ?

2.3) CLARIFICATION DES TERMES

Actuellement la tendance politique, vis-à-vis du secteur de la construction si ce n'est même dans tous les secteurs, est à celle de l'écologie. Nombreux sont les termes qui peuvent s'apparenter ou seulement évoquer un lien à cette tendance « verte », il est important dans le cadre d'une démarche scientifique de clarifier les termes qui définissent la démarche dans laquelle s'inscrit cette recherche.

Alors que les architectes emploient des termes tels que ceux d'éco villages, architecture biomorphique, organique, biophilique, ou encore d'autres mots qui utilisent éco ou bio comme préfixe afin

35 Tarik Chekchak, Karim Lapp, (2011), Biomimétisme, la nécessaire resynchronisation de l'économie avec le vivant, *Ecologie & Politique*, p159 à 166

36 Websérie Nature = Futur (Ceebios)

d'inscrire leurs discours dans une époque qui se tourne vers l'écologie. Le biomimétisme se définit dans un cadre bien précis, en cela il se différencie de la bionique ou encore du biomorphisme.

Le biomorphisme se définit comme un courant artistique, cette forme d'art n'est pas pour autant isolée d'une réflexion scientifique. C'est justement une inspiration qui découle des avancées scientifiques de la fin du XIXe siècle au début du XXe³⁷.

Le biomorphisme cherche à s'inspirer des interactions entre les formes du vivant afin de sortir des modèles géométriques plus conventionnels.

Le CEEBIOS qui est le centre d'étude et d'expertise en biomimétisme, ainsi nous pouvons considérer qu'ils nous fournissent une définition appropriée de ce que sont la bionique et le biomimétisme.

La bionique est définie comme : « Discipline technique qui cherche à reproduire, améliorer ou remplacer des fonctions biologiques par leurs équivalents électroniques ou mécaniques »

Tandis que le biomimétisme : « Coopération interdisciplinaire de la biologie et de la technologie ou d'autres domaines d'innovation dans le but de résoudre des problèmes pratiques par le biais de l'analyse fonctionnelle des systèmes biologiques, de leur abstraction en modèle ainsi que le transfert et l'application de ces modèles à la solution. »

Si ces définitions ont été réalisées afin de définir une norme au biomimétisme (norme ISO TC 266 – ISO 18458) elles n'en restent pas moins connexes³⁸.

37 Stewen Corvez, (2020), Biomorphisme 1920-1950, Critique d'art
38 <https://ceebios.com/biomimetisme/>

2.4) MÉTHODES BIOMIMÉTIQUES EXISTANTES

Les démarches biomimétiques écosystémiques ont depuis peu été investiguées par des architectes et chercheurs dans le domaine de l'architecture. Si les projets biomimétiques au niveau écosystème sont encore peu nombreux en architecture, d'autres domaines ont expérimenté ce type de méthode. Effectivement les outils biomimétiques étaient plus couramment utilisés par les ingénieurs tels que la méthode BioTriz adaptée d'une méthode d'ingénierie développée en 1946³⁹.

En architecture c'est avec des travaux de recherche tels que ceux de Zari (mentionnés précédemment) que des outils ont commencé à être développés. Nous verrons dans ce cette partie les principaux outils qui sont à la fois en cours de développement, mais qui ont aussi pu être expérimentés dans le cadre d'une pratique architecturale.

Si on a pu mentionner que le processus biomimétique relatait d'un processus d'interdisciplinarité, le niveau écosystémique à travers la complexité qui le compose, nécessite indéniablement ce travail coopératif entre architecte et biologiste. C'est à ce propos que la biologiste Janine Benyus a monté un cabinet d'audit et de conseil en biomimétisme et a construit une méthode d'analyse appelée EPS.

39 Thibaut Houette, (2017), La gestion de l'eau en architecture : une approche biomimétique vers la durabilité. p.46

2.4.1- Ecological Performance Standards (EPS)

L'un des facteurs principaux afin de pouvoir déployer une méthode de biomimétisme écosystémique est de pouvoir établir une mesure assez fine des normes de performances écologiques. L'étude d'un écosystème intervient dans le cadre de compétences en biologie. C'est principalement un travail de relevé et d'analyse des propriétés indigènes de l'environnement d'étude qui doit être réalisée. Ce type d'étude se fait en quatre étapes :



Principe de la méthode EPS

© Crédits : Biomimicry 3.8

Étape 1 : Évaluation du site

- l'étude de carte historique du site
- La cartographie des informations géographiques de l'écosystème (Climat, sol, couche terrestre, hydrologie)
- Les connaissances écologiques traditionnelles et locales

Étape 2 : Enquête et suivi écologique

Cette étape se fait par un relevé des données précise du site :

- L'étude énergétique du site (dépense et consommation des entités du système)
- Le cycle du carbone (stockage et production du carbone du site)
- Le micro-climat présent
- l'Atmosphère
- Faune présente historiquement et actuellement
- La qualité de l'eau (quantité d'eau absorbée et purifié par l'écosystème)
- La bio-productivité
- Le sol (composition, organisation structurel , érosion)
- Santé humaine

Étape 3 : Études des impacts négatifs

Cette étape se fait par une analyse des impacts de l'activité humaine sur l'écosystème :

- Changements hydrologiques
- Modification du sol et perturbation sur l'écosystème
- Banque de semence appauvrie
- Zonages
- Espèces envahissantes
- Changement mychorizaux (perturbation dans le rôle des champignons sur l'écosystème)

Et par une proposition de solution permettant de limiter ces dérèglements :

- Créer des liens entre les espèces

- Adapter les normes moderne aux conditions de l'écosystème
- Réfléchir le site dans un équilibre dynamique
- Rester dans les limites écologiques du site de référence

Étape 4 : Proposition d'objectif urbains/architecturaux

- Obtenir des performances
- Utiliser des processus naturels et biologiques pour atteindre les objectifs de performance écologiques

L'intérêt de la démarche EPS est d'établir des normes de performances écologiques à atteindre pour le projet soumis au processus biomimétique. Nous avons pu voir dans la partie 1.2 en quoi cette question des normes de performances écologiques constitue un intérêt pour une démarche allant dans le sens de la durabilité. Le fait d'évaluer les besoins de l'écosystème où l'on s'implante permet alors de comprendre ses besoins. Et l'importance que constitue le besoin écologique de l'écosystème.

2.4.2- Fully Integrated Thinking (FIT)

L'agence HOK est une équipe d'architecte qui a développé une méthode appelée Fully Integrated Thinking (FIT) qu'ils considèrent comme un outil d'aide à la prise de décision qui se base sur trois critères qui sont la réussite sociale, économique et environnementale. Cet outil trouve sa logique avec le panel de solutions que l'analyse et le croisement de ces données génèrent, de cela en résulte une fine compréhension des facteurs qui caractérisent le lieu et ses enjeux. Cette compréhension a alors pour but de révéler de possibles relations de symbioses entre différents éléments qui n'auraient pas forcément été réfléchies conjointement. Et ainsi qui peuvent se développer en tant que solution multifonctionnelle. Pour cela, FIT place les fonctions sur la

triple bottom line		realm	functions	goals
ECONOMIC	14	COMMERCE	foster commerce	fosters the balanced exchange of goods and services
	15	VALUE	provide value	sustains value for investors
triple bottom line		realm	functions	goals
SOCIAL	7	COMMUNITY	foster community	fosters integrated, connected community identity for all inhabitants
	8	CULTURE	support cultural exchange	reflects a vibrant exchange of historical and modern identity, food, art, music, and science rooted in place
	9	HEALTH	promote health	ensures health and well being for all citizens and universal access to quality health care
	10	EDUCATION	provide education	fosters world-class, life-long learning opportunities for all citizens
	11	GOVERNANCE	provide comfort	maintains responsive accountable stewardship
	12	TRANSPORT	provide mobility	provides congestion- and pollution- free mobility
	13	SHELTER	provide comfort	protects inhabitants comfortably from biotic and abiotic factors
triple bottom line		realm	functions	goals
ENVIRONMENTAL	1	ECOSTRUCTURE	provide ecosystem services	maintains and fosters the health and integrity of the native physical and ecological landscapes
	2	WATER	manage water	protects and enhances water quantity and quality
	3	ATMOSPHERE	protects air	protects and enhances air quality
	4	MATERIALS	manage materials	fosters closed material loops and eliminates waste
	5	ENERGY	provide energy	provides safe, clean, abundant, reliable, consistent, free energy for all inhabitants in perpetuity
	6	FOOD	provide sustenance	provides safe, clean, abundant, reliable, consistent, free sustenance for all inhabitants in perpetuity

Figure 2: Matrice FIT, HOK Architects

© Crédits : HOK Architects

gauche et les principes reliés à ces fonctions sur le dessus.

Cela permet aux concepteurs de mettre en relation afin de visualiser de possibles interconnexions entre les systèmes et les ressources à disposition.

Après avoir montré ses preuves sur certains projets tels que celui de Lavasa (voir cas d'étude en annexe). La méthode continue à être développée, et a rallié à sa cause le groupe de biologistes spécialisés dans le conseil en biomimétisme, « Biomimicry 3.8 », afin de former une alliance (en 2008) entre l'agence d'architecture et le cabinet de conseil appelé « Biomimicry Guild ». Cette alliance a trouvé sa place à l'issue du projet de Lavasa, l'équipe de biomimicry 3.8 réalise pour l'agence d'architecture un audit des services écosystémiques indigènes du site du projet. Et l'outil FIT permet selon les besoins de l'écosystème de prendre des décisions en fonction des objectifs qui sont fixés.

2.4.3- Ecosystem Service Analysis (ESA)

Les services écosystémiques sont des éléments qui définissent précisément le rôle que tient un écosystème vis-à-vis des organismes qui le compose. Ce sont des services rendus par l'environnement qui permettent de fournir l'ensemble des ressources présentes dans un lieu précis. C'est dans une approche consistant à approfondir la compréhension que l'on se fait d'un milieu que Maibritt Pedersen Zari s'est intéressée à cette notion. Afin de réfléchir l'architecture de manière durable et même dans une ambition régénérative⁴⁰.

40 Maibritt Pedersen Zari, (2017), Ecosystem services analysis: incorporating an understanding of ecosystem services into built environment design and materials selection, p.30

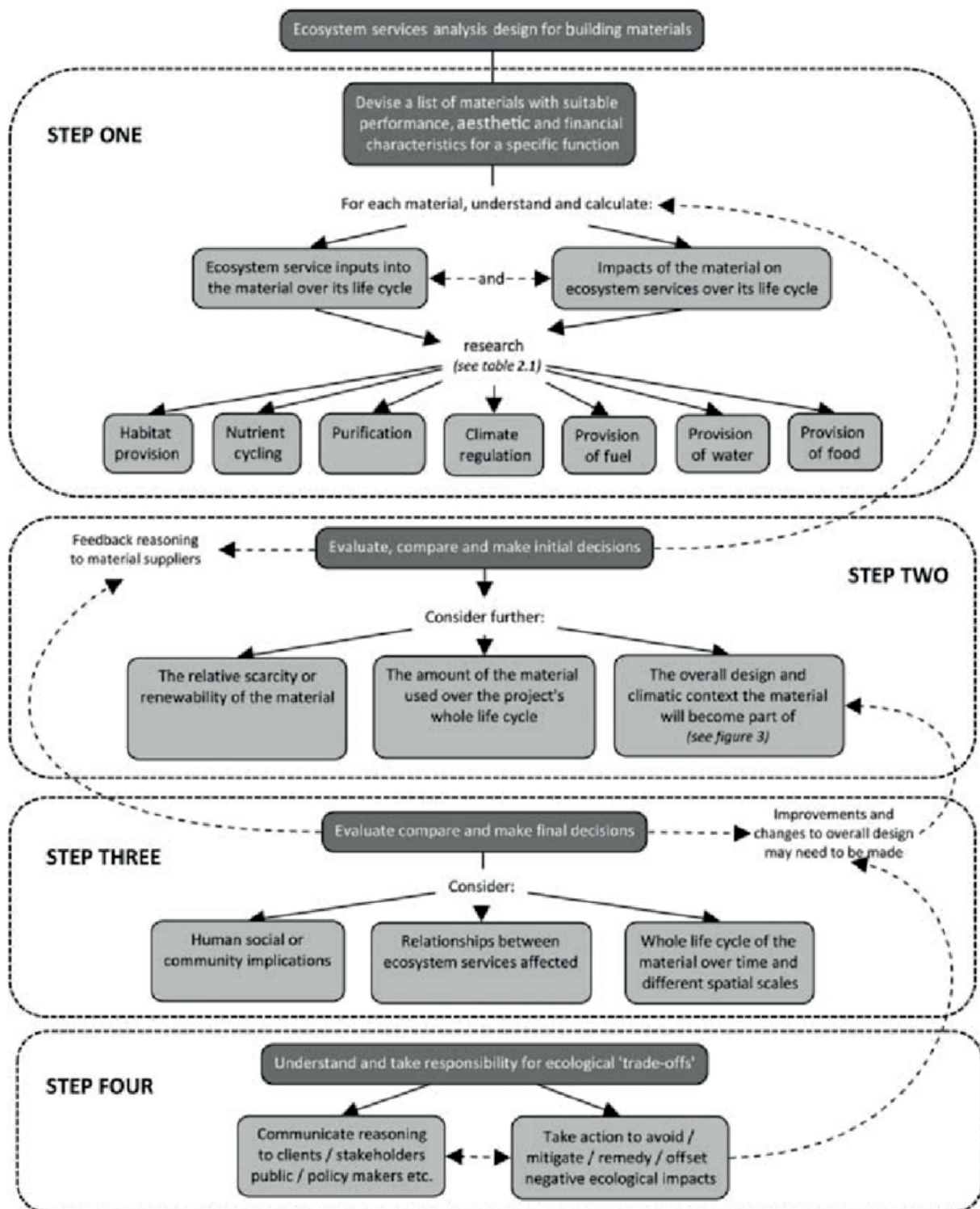


Figure 3 : Figure d'étude pour un matériau constructif issu d'une analyse des services écosystémiques

© Crédits : Maibritt Pedersen Zari

Avant de pouvoir expliquer le fonctionnement de sa démarche, il faut comprendre qu'il y a différents types de services écosystémiques. Les services d'approvisionnement, les services de régulation, les services de soutien et les services de cultures, ces différents services interviennent à différents niveaux au sein d'un écosystème et sont profondément inscrits dans son identité. Une description plus complète sera faite à ce propos dans la partie IV.

Dans une volonté d'intégrer les services écosystémiques aux processus de conception, M. Zari a développé une méthode biomimétique qui s'inspire de ces services afin d'offrir une réponse architecturale adaptée aux besoins de l'écosystème. Son outil se base sur l'étude d'un écosystème ou le projet architectural ou urbain va s'insérer. Le sujet n'est pas d'étudier un écosystème de manière arbitraire afin de construire un processus analogique issu d'un contexte totalement différent. Mais en considérant les services écosystémiques du site d'offrir une réponse adaptée au besoin du site.

Sa méthode se structure en quatre étapes :

Étape 1 : Fixer l'écosystème d'étude

- Définir si l'on choisit un écosystème présent localement ou si l'on doit se baser sur un écosystème préexistant afin de pouvoir l'analyser

Étape 2 : Valeurs quantitatives

- Déterminer les différentes valeurs quantitatives des services écosystémiques du site. Il faut les définir pour tous les types de services écosystémiques (service de support, approvisionnement, ...) pouvant entrer en compte dans le contexte d'étude

Étape 3 : Donner des objectifs

- Déterminer des objectifs à atteindre en terme de performance écologique afin de pouvoir maintenir les quantités de services écosystémiques identifiés précédemment
- Expliquer à travers quels moyens (design, changement de comportement, ...) ces objectifs peuvent être atteints

Étape 4 : Solutions

- Proposer des solutions qui pourraient être appropriée
- Important de les considérer en relation avec tous les autres objectifs fixés

Ecological Network Analysis (ENA)

La méthode ENA est basée sur l'analyse d'un écosystème du point de vue de ses interactions, à ce propos elle se différencie d'autres méthodes biomimétiques existantes. Elle s'oriente sur des systèmes écologiques, mais n'est pas développée à l'origine pour l'architecture, cependant elle peut facilement s'adapter au cadre architectural. On peut le voir à travers les travaux d'Astrid Layton ou elle montre l'efficacité du réseau de symbiose industriel de Kalundborg à travers l'analyse par la méthode ENA⁴¹.

L'objectif de cette méthode est d'offrir une meilleure visualisation et in fine une optimisation de ressource employée par un réseau d'acteurs⁴². Cela passe par une analyse des propriétés structurelles et fonctionnelles du réseau d'interaction mis en évidence dans l'écosystème. Un réseau écologique se compose d'espèces que l'on peut appeler aussi organismes, un d'un flux de matière ou d'énergie, tout va dépendre de sur quoi on fixe l'attention.

Cette méthode de conception se structure autour de quatre étapes majeures :⁴³ :

41 Tirth Dave, Astrid Layton, Bio-inspired design for resilient water distribution network
 42 Brian D. Fath, Robert E. Ulanowicz, Ursula M. Scharler, Bruce Hannon, (2007) , Ecological Network Analysis : Network Construction
 43 Adaptation de la « check list for constructing ecological network) , Ecological Network Analysis : Network Construction, p.51

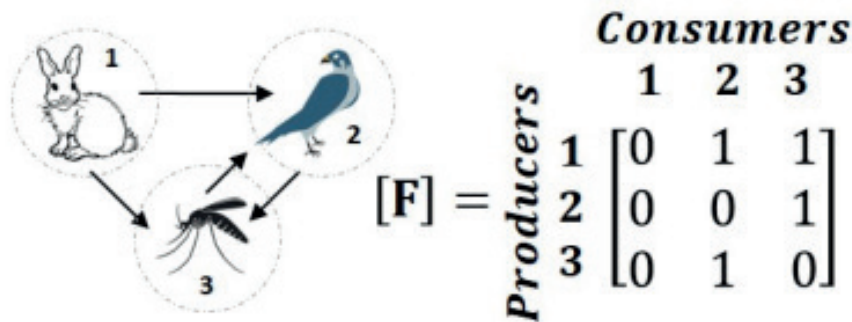
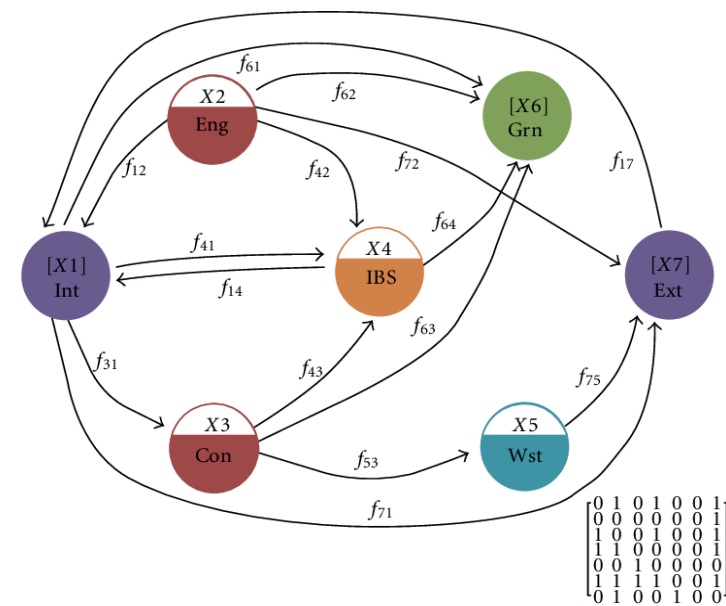


Figure 4: Exemple de matrice d'adjacence

© Crédits : Astrid Layton, Tirth Dave



Int: internal environment

Eng: energy supporting sector

Wst: waste management sector

Con: construction sector

IBS: industry, business, and service sector

Grn: green project sector

Ext: external environment

f_{ij} : carbon flow from j to i

$[X_i]$: stock in environment

X_i : storage of sectors

Figure 5 : Exemple de schéma d'abstraction issu de l'analyse de réseau écologique de Beijing Development Area (BDA)

© Crédits : Yi Lu., M.SU, Gengyuan Liu, Bin Chen, Shiyi Zhou, M. Jiang

Étape 1 : Donner le cadre analytique

- Identification et délimitation de l'écosystème d'intérêt
- Déterminer une frontière au système (tout transfert traversant cette frontière est un intrant ou extrant au système, alors les transferts au sein des limites constituent le réseau)

Étape 2 : Identifier les acteurs

- Dresser une liste des principales espèces ou groupes fonctionnels de l'écosystème
- Simplifier les grands groupes au besoin ; Producteurs, Décomposeurs, Consommateurs

Étape 3 : Intégrer une unité

- Choisir une monnaie, une unité commune aux échanges entrant en compte (la biomasse ou une énergie,)

Étape 4 : Mesurer les données à intégrer

- Mesure des données des flux de manière empirique, si pas possible identifier un ordre de grandeur dans un éléments comparatif.

Étape 5 : Intégrer les valeurs quantitatives

- Construire une matrice d'adjacence pour visualiser les interactions en jeu et pour identifier des possibles similitudes.

Bien que les interactions d'un écosystème soient complexe à identifier, la méthode découle d'une logique mathématique assez simple, la stabilité de l'écosystème se calcule à par rapport au ratio entre consommateur et producteur du système observé. Si les valeurs sont trop basses, on peut déduire qu'il y a une faiblesse dans la redistribution du flux au sein de l'écosystème, trop peu de consommateurs par rapport aux producteurs⁴⁴.

⁴⁴ Brian D. Fath, Robert E. Ulanowicz, Ursula M. Scharler, Bruce Hannon, (2007), Ecological Network Analysis : Network Construction, p.50

2.5) RÉFLEXION SUR LA NOTION DE DURABILITÉ DANS LA NATURE ?

De manière générale la nature ne reproduit pas ce qu'elle voit pour développer des principes durables, le mimétisme ne doit pas rimer avec binarité, elle développe ces mécanismes de façon innée. Il ne s'agit pas réaliser une greffe d'un principe qui fonctionne dans la nature à un système artificiel qui ne fonctionne pas dans son organisation générale. Il est important d'explorer le biomimétisme dans une réflexion d'apprentissage qui considère les principes d'échanges équivalents que la nature construit, tout organisme acteur d'un écosystème ne prend pas sans rien donner en retour. Ainsi le biomimétisme doit être abordé dans une meilleure considération du tissage des relations entre humains et non-humains.

En ce sens, Mathias Rollot tente d'élaborer une nouvelle approche du biomimétisme⁴⁵, il fait le rapprochement entre les principes de l'architecture du milieu et le biomimétisme. Le biomimétisme de milieux apporterait une vision considérative qui pousse le concepteur à interroger ce dont le milieu d'implantation a vraiment besoin. Il faut pour cela ouvrir les yeux sur les paramètres du milieu dans lequel le projet prend place. Que ce soit dans la dimension sociale, biologique, économique ou encore constructive, le biomimétisme de milieu veut se construire dans une bienveillance de ces multiples dimensions qui caractérisent un site.

La nature peut s'exprimer à travers de multiples dimensions, nous devons interroger si elle cherche par essence à se développer dans la durabilité, ou tout du moins à travers quelles notions la durabilité se base ?

45 Collectif Loco, (2017), Biomimétisme, Science, Design et Architecture, Pour un biomimétisme des milieux

En partant de la notion d'interaction, on peut voir que la relation homme nature est largement présente. À la fois dans l'évolution morphologique que l'homme a subie à travers l'évolution (couleur de peau, forme des yeux ...). Que dans l'intervention de l'homme sur les territoires (transformation de paysages entiers par les constructions humaines) nous montre Alessandro Vicari⁴⁶.

Dans un sens c'est la nature qui a apprivoisé l'homme en le transformant nécessairement dans un but d'adaptation géographique. Dans l'autre c'est l'homme qui façonne la nature afin de l'adapter à son besoin de se sédentariser. Dans les deux cas, il est important de relever que ces phénomènes découlent de long processus d'adaptation dans un sens comme dans l'autre.

⁴⁶ Collectif Loco, (2017), Biomimétisme, Science, Design et Architecture, Imiter la nature, faire avec la nature

Vertical line segment on the left side of the page.

Vertical line segment on the left side of the page.

III VISION SYSTÉMIQUE DE LA VILLE

3.1) LA SYSTÉMIQUE APPROCHE NOUVELLE POUR L'URBANISME

La pensée systémique, « system thinking », a été principalement développée aux États-Unis après la seconde guerre mondiale entre les années 1950 et 1980. C'est une méthode qui s'est développée en s'appuyant sur les progrès réalisés dans le cadre de la communication (avec les ordinateurs) en encore suite aux théories développées sur la cybernétique. Le terme de systémique trouve son origine dans une pratique appelée ingénierie système qui est une méthode utilisée principalement dans les projets de recherche spatiale et de défense ou la complexité des problèmes qui se posaient était croissante.

Le domaine de l'ingénierie système trouve sa source principalement dans des concepts qui se sont développés dans l'optique de définir des outils afin de mieux visualiser la complexité des systèmes artificiels conçus par les ingénieurs. On retrouve ainsi les concepts de la théorie de l'information⁴⁷, théorie générale des systèmes⁴⁸ ou encore la cybernétique principalement définie par Norbert Wiener⁴⁹. Dans la détermination de son concept N. Wiener étudie les communications et régulations qui ont lieu dans les systèmes naturels et artificiels, il étudie ainsi les phénomènes d'échanges d'information afin d'en déterminer une logique pour pouvoir la répliquer à des systèmes artificiels complexes.

Dans la détermination de son concept N. Wiener étudie les communications et régulations qui ont lieu dans les systèmes naturels et artificiels. Il étudie ainsi les phénomènes d'échanges d'information afin d'en déterminer une logique pour pouvoir la répliquer à des systèmes artificiels complexes.

Les principes de la pensée système s'établissent en opposition à la démarche analytique. Effectivement si l'on se base sur l'une des définitions qui peuvent être faites, l'approche analytique décompose un système en éléments autonomes à l'aide de

47 Claude Elwood Shannon, (1948), A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical
 48 Ludwig von Bertalanffy, (1968) General System Theory
 49 Norbert Wiener, (1948), Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine

l'analyse fonctionnelle⁵⁰. Une fois les problèmes décomposés cette démarche vise ensuite à résoudre séparément les problématiques pour ensuite en réaliser la sommation et former un tout.

Tandis que la pensée systémique se développe à propos ; D'un ensemble d'éléments en interaction, organisés en fonction d'un but. L'ensemble a une finalité propre, indépendante des éléments. Un système a un intérieur, une frontière et un environnement. Les interactions sont des relations d'échange entre les éléments avec l'environnement⁵¹.

Cette définition de la pensée systémique fournit une logique ainsi que les clés qui vont pouvoir être réemployées dans le processus de conception écosystémique.

Nous allons regarder un plus précisément le domaine de l'ingénierie système pour pouvoir en tirer avantage dans une démarche écosystémique, il sera alors important de comprendre le fonctionnement spécifique à l'ingénierie système.

À travers différentes définitions qui ont été faites de l'ingénierie système Jean Luc Wippler offre une analyse qui font émerger certains critères émergents et définissent communément ce domaine⁵² ;

- C'est une démarche interdisciplinaire qui orchestre différentes contributions d'une équipe à un effort global.
- Les normes et standards liés à l'ingénierie fixent une base et des objectifs qui permettent ensuite de diviser les processus en différentes activités ou sous-processus.

Dans le cadre d'une réflexion écosystémique, ces deux critères nous fournissent des objectifs qui peuvent être utilisés dans un processus de conception écosystémique. Dans la mesure où les écosystèmes nécessitent une analyse approfondie du contexte biologique afin de pouvoir servir d'inspiration pour les architectes.

50 Yves Mérian, Guy Planchette, André Lannoy, Myriam Merad, Approche Analytique et Approche systémique pour la maîtrise des risques. (2018), 21ème Congrès de Maîtrise des Risques et Sureté de Fonctionnement. p.3

51 Yves Mérian, Guy Planchette, André Lannoy, Myriam Merad, Approche Analytique et Approche systémique pour la maîtrise des risques. (2018), 21ème Congrès de Maîtrise des Risques et Sureté de Fonctionnement. p.2

52 Jean-Luc Wippler, (2018), Une Approche Paradigmatique de la conception architecturale des systèmes artificiels complexes, p52

Cette logique aboutie alors sur une coopération entre plusieurs domaines d'étude qui sont ceux de la biologie et de l'architecture. Une équipe interdisciplinaire nécessite alors d'être mise en place afin de corroborer avec ces principes de l'ingénierie système.

Par ailleurs, la question des normes et standards appliqués à l'ingénierie permet de décomposer le processus de conception en sous-ensembles qui doivent répondre à des critères précis afin d'obtenir la certification. Concernant la démarche écosystémique, ces normes et standards peuvent ainsi être apparentés aux systèmes de labellisation et de certification de l'urbanisme durable que nous avons pu voir précédemment (Cf partie 1.3). Ces certifications permettent alors de fixer les objectifs de durabilité et de performance afin que le projet écosystémique puisse s'orienter concrètement dans une démarche de durabilité.

D'après Jean Luc Wippler, l'ingénieur système peut être comparé à un chef d'orchestre. Il nécessite un vocabulaire commun (solfège) qui s'assemble en un tout (partitions) afin de pouvoir constituer une symphonie, l'orchestre ne pas s'assembler en un ensemble cohérent sans ces éléments clés qui permettent de se coordonner.

Il en est de même pour l'ingénieur système, il a besoin de définir un langage commun ainsi que des clés qui permettent de garder le contrôle sur la démarche. Jean Luc Wippler nous fournit les défis spécifiques à l'ingénierie système qui vont pouvoir nous servir de guide dans le cadre d'une démarche de conception systémique.

- Un point de vue externe et interne voir omniscient
- Une non séparabilité du contexte
- Une hétérogénéité et pluridisciplinarité
- Structure et organisation
- Idéal et optimalité
- Esprit critique et mode de raisonnement adapté

3.2) COMPLEXITÉ DES SYSTÈMES ARTIFICIELS

En abordant la notion de systémique nous ne pouvons la dissocier de la complexité et par son essence le concept de systémie s'établit dans la cadre d'interaction et donc dans la complexité si l'on en croit Edgar Morin la complexité c'est :

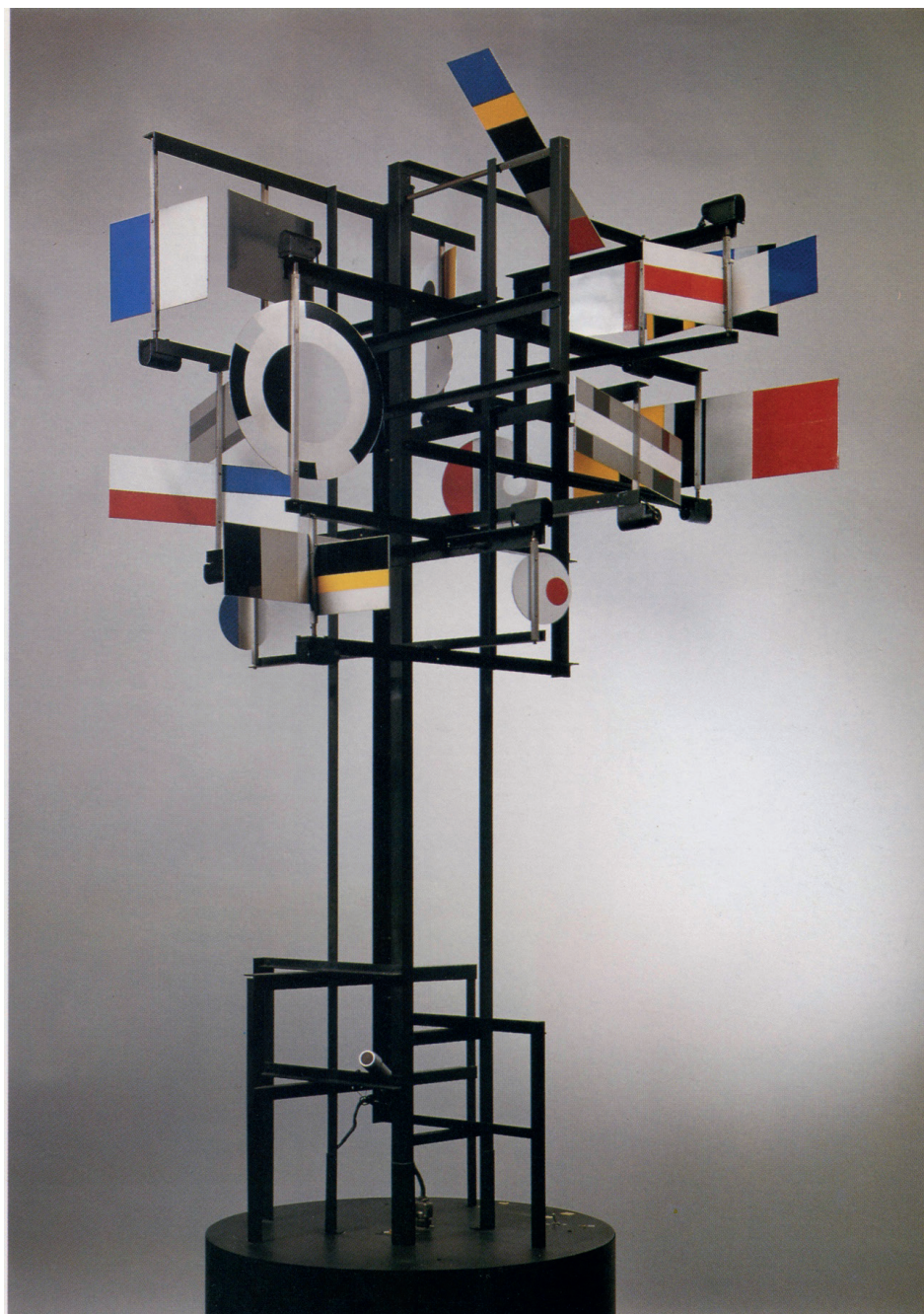
« A première vue, c'est un phénomène quantitatif, l'extrême quantité d'interactions et d'interférence entre un très grand nombre d'unités. »⁵³.

D'autre part il nous apprend que c'est dans les liaisons (interactions) d'un système auto organisé (vivant) que prend place la complexité. Alors si la complexité se définit par les interactions nous devons admettre qu'il y a émergence, car dans toutes interactions entre êtres vivants il y a une résultante qu'elle soit positive ou négative ou encore neutre.

Si l'on appelle cela émergence, c'est que dans une certaine mesure il y a une incertitude à prévoir la capacité rétro active de cette émergence sur l'organisme entrant en interaction.

C'est ce principe qui dans la réflexion écosystémique nous intéresse, on va considérer que les écosystèmes sont des systèmes auto organisés dont on a besoin d'en visualiser l'ensemble dans leurs globalités. Si dans un processus d'abstraction nous faisons figurer l'ensemble des éléments le constituant sans y faire figurer les interactions, quand bien même une vision approximative de ces interactions. Il serait alors impossible de concevoir même une infime partie des émergences qui ont lieu dans un système complexe.

53 Edgar Morin, (2005), Introduction à la pensée complexe, p.48



CYSP 1, 1956

© Crédits : Archives de Nicolas Schöffer, Collections Eléonore de Lavandevra

3.3) ÉTAT DE L'ART DE LA SYSTÉMIQUE

À travers les travaux du MIT dans les années 70 sur le développement de la cybernétique le domaine de la systématique a commencé à émerger⁵⁴. Ce concept va inspirer largement artistes et architectes qui s'empareront du sujet afin d'en faire un courant à part entière. À mi-chemin entre la science et l'art nous allons regarder les œuvres majeures qui constitueront un tournant dans l'évolution de la pensée des artistes à propos de la vision systématique.

À partir des années 1950, l'artiste Nicolas Schöffer développe ses recherches plastiques et architecturales à travers ce qu'il nommera les « architectures spatiodynamiques »⁵⁵. C'est en 1956 après avoir collaboré avec Claude Parent qu'il développera sa première Tour spatiodynamique, cybernétique et sonore⁵⁶, qu'il appellera CYSP 1.

Dans le domaine de la sculpture, c'est une révolution, c'est la première fois que le public peut entrer en interaction avec l'objet qui s'offre à lui. D'une certaine manière Nicolas Schöffer avait réussi à concrétiser plastiquement les idées de N. Wiener.

C'est au courant des années 60 que la question cybernétique commence à évoluer peu à peu et commence à prendre une forme plus architecturale. Notamment avec les travaux de l'artiste Maurice Demers qui travaille sur les environnements interactifs dont il propose une série de quinze environnements futuristes qu'il appellera « Cybermonde »⁵⁷. Il aborde des questions qui sont encore présentes actuellement dans l'architecture ou le tissu social devient la matière, il propose ses installations au sein même de son atelier ou c'est par la présence du public que l'œuvre prend son sens et entre en mouvement.

Ainsi ce sont les premières mises en relation des trois termes hommes, machine et architecture, qui vont plus largement se développer. Avec des architectes tels Nicholas Negroponte ou

54 Aurore Cambien, (2007), Une introduction à l'approche systématique : appréhender la complexité. p.15

55 Maude Ligier, Mathieu Triclot, (2018), L'art cybernétique de Nicolas Schöffer. p.2

56 <https://www.frac-centre.fr/collection-art-architecture/rub/rubauteurs-58.html?authID=253>

57 Adrien Faria, (2015), Villes des quantifiables : fiction, espace, et information à l'ère de la ville intelligente. p.29

encore Greg Lynn qui eux vont chercher à revoir la manière de concevoir l'architecture avec l'usage de la machine⁵⁸.

À cet instant ce sont les débuts de ce qu'on va appeler par la suite la CAO. Negroponte œuvrera au sein d'un groupe de chercheurs au MIT qui se fait appeler Architecture Machine. Après avoir largement compris l'intérêt de l'interaction de l'homme et la machine pour l'architecture, ils vont chercher à développer pour les machines une nouvelle manière d'interagir avec son environnement. Et de voir dans quelle mesure elle peut communiquer avec son environnement à l'aide de capteur. Pour la première fois, des scientifiques expriment la question du machine learning, et de l'apport de l'intelligence artificielle dans l'art.

À travers la cybernétique qui s'applique à l'architecture, ces architectes cherchent à faire évoluer l'objet architectural en système qui s'établit par rapport aux sous-systèmes qui composent cette architecture. Tout en considérant les relations associées aux sous-systèmes composant le système global.

C'est ce principe de système en interaction qui va susciter notre intérêt dans le cadre d'un biomimétisme écosystémique. Effectivement l'enjeu d'un système biomimétique est de comprendre les relations qui s'établissent au sein du système, ce sont ces interactions au sein de l'écosystème qui fait naître une part de la complexité de ce dernier.

Des architectes tels que Greg Lynn va s'emparer de cette question de la conception avec la machine. Mais va avoir une interprétation de la relation homme-machine bien différente, il considérera l'ordinateur plutôt comme un animal de compagnie qui sert l'architecte. Dans son travail sur l'embryological house, Lynn va adopter une posture qui considère le projet comme un système biologique en croissance. Ce principe va nourrir sa démarche de conception et exprime encore la présence d'une vision systémique du projet architectural.

Son travail depuis les années 1990 développera largement la collaboration de l'architecte avec les outils numérique. Cela aboutira sur une vision qui consiste à exploiter la machine principalement pour de la génération de forme, on considère que ses travaux ont

58 Nicholas Rawitscher, (2017), Computational Matters. p.10



« Futuribilia »

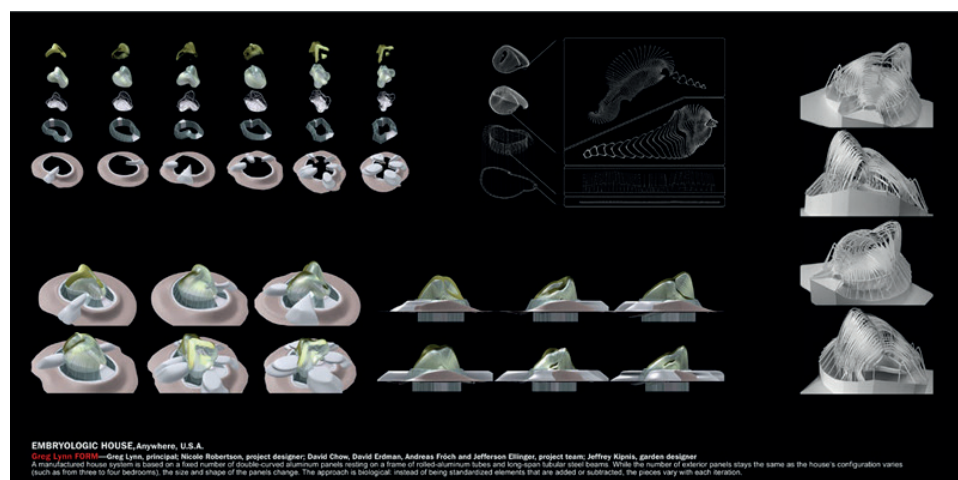
© Crédits : Photos et montage Maurice Demers



Ci-dessus: Urban 5, Nicholas Negroponte

© Crédits photos : Journal of Architectural Education (1947-1974)23, no.2 (Mars 1969), Greg Lynn Form Architecture Studio

Ci-dessous: Embryological House, Greg Lynn



largement influencé l'acceptation de l'outil numérique au sein de la profession⁵⁹.

L'approche systémique de l'architecture qui cherche à interroger les interactions au sein du système va se retrouver en déclin à la fin du XXe siècle. Avec la puissance croissante des machines fabriquées par l'homme les architectes vont plutôt explorer la capacité des machines à réaliser des formes toujours plus complexes.

Une poignée d'architectes de l'ère contemporaine réinterrogent l'importance d'une réflexion systémique de l'architecture⁶⁰. Dans la mesure où la complexité des problèmes qui se posent en architecture et urbanisme est croissante. C'est dans le traitement simultané des questions de durabilité et de croissance urbaines que la pensée systémique suscite un intérêt pour ces architectes.

À travers la réflexion et les travaux des architectes et enseignants de l'ENSA Paris Val de Seine Claire Bailly et Jean Magerand, la systémique revient à l'ordre du jour. Durant la seconde décennie du XXIe siècle, ils participent à un concours pour l'IAAC (Institute for Advanced Architecture of Catalonia) où ils proposent un projet de ferme bio-numérique. À travers ce projet ils réemploient des méthodes appartenant à une pensée systémique qui traitent les relations intervenant dans le vivant de manière numérique :

« Le bio numérique peut-être envisagé comme une hybridation, sur le plan méthodique entre vivant et numérique. A ce titre, il se revendique comme situé dans la continuité des pistes étudiées et développées par le mouvement cybernétique ou, de manière plus spécifiquement française »

Avec la pensée cybernétique ils mettent en exergue les principes d'auto-organisation et d'auto-régulation présents dans la nature (voir figure partie 3.3) et qui interviennent lors de la mise en relation d'un système vivant (organismes) et un système artificiels (permaculture).

Dans leurs fermes bio-numérique ils cherchent à réaliser un projet qui traite dans une dimension numérique la complexité de

59 Nicholas Rawitscher, (2017), Computational Matters, p 6

60 Claire Bailly, Jean Magerand, (2018), Vers les analyses algorithmiques de l'espace et des territoires. p.9

gestion de micro-fermes permacoles qui se déploient à grande échelle dans une situation de forte densité urbaine. Le traitement numérique intervient dans la mesure où en permaculture ce qui produit le phénomène d'auto-organisation et ainsi de résilience est la présence d'un grand nombre d'espèces, qu'elles soient animales ou végétales au sein d'une même parcelle. Leurs hypothèses est d'utiliser des procédés low-tech dans la gestion des parcelles qui est traité de manière numérique afin d'avoir une vue d'ensemble sur les paramètres qui entrent en compte.

L'intérêt que portent ces architectes à la pensée systémique pose une réflexion nouvelle. Ils ont su mettre en valeur la thématique de la cybernétique qui s'est essoufflée à la fin du XXe siècle. Il nous montre aussi dans quelle mesure la systémique peut correspondre avec la thématique de durabilité. Ici c'est l'usage de haute technologie numérique au service de la low-tech agricole. Autrement dit ce sont les premiers à mettre l'outil numérique au service de l'analyse de données afin de mieux visualiser la complexité présente au sein d'une réflexion systémique, que l'on pourrait ici même apparenter à une réflexion écosystémique.

Ils nous démontrent à travers leurs démarches de conception les limites de visualisation et de compréhension du cerveau humain lorsqu'un nombre important de données est pris en compte. En revanche ils mettent en lumière l'importance de la compréhension de la complexité des écosystèmes et l'opportunité qu'offre la mise en relation de thématiques dissociées tels que l'agriculture et l'urbanisme tandis qu'ils pourraient être traités conjointement afin d'offrir des solutions multifonctionnelles et rétro actives.

Si leur approche nous montre la complexité qui se présente lors d'une approche systémique architecturale, ce type d'approche relève ainsi d'une transdisciplinarité et d'outil commun afin de pouvoir échanger entre les différents domaines traitant d'un projet commun. Une méthode écosystémique qui peut être partagée par les architectes afin d'aborder les questions qui se posent lors d'un projet de cette envergure pourrait offrir un avantage dans une démarche de conception écosystémique pour l'urbanisme.



Expérimentations d'hybridation entre agrosystème et urbainsystème dans une ville à haute densité

© Crédits Claire Bailly, Jean Magerand architectes, 2017

3.4) LE MÉTABOLISME URBAIN

La mise en lumière des flux de ressource entrant en compte dans la ville permet de voir de quel type de gestion de ressource s'approche le plus le site d'étude. Cela permet alors d'affirmer si un système fonctionne de manière linéaire ou circulaire. Étant donné que la nature fonctionne de manière circulaire⁶¹, nous pouvons alors commencer à faire émerger des objectifs pour la transformation de nos systèmes urbains.

Un changement de paradigme du système de consommation des ressources en ville aurait la capacité de développer de meilleures filières de recyclage dans les villes et le secteur du bâtiment. Dans une vision métabolique de la ville, les flux entrants du système deviennent une matière première pour d'autres sous-systèmes⁶². Ce principe tend à intégrer la notion de régulation dans le système urbain afin de le faire évoluer dans le sens d'un système écologique. Michael Pawlyn⁶³ propose un ensemble de critères permettant de définir actuellement comment sont organisés les systèmes urbains développés par les êtres humains (voir figure 6).

Les différences entre ces deux types de systèmes permettent de visualiser les objectifs d'amélioration que l'on doit se fixer pour concrétiser la ville durable inspirée des écosystèmes.

Les villes sont composées de différentes infrastructures et entités qui révèlent d'une certaine organisation, à travers le terme de métabolisme urbain ce sont les processus d'échanges par lesquels la ville existe qui sont mis en valeurs⁶⁴. Ces processus se basent sur les flux de ressources entrants dans la ville. L'enjeu dans la compréhension du cycle de vie des ressources s'exprime dans la capacité à comprendre l'impact environnemental que cela induit.

En s'efforçant de quantifier les ressources qui entrent et sortent dans le système urbain d'intérêt, cela permet de visualiser la quantité de ressources qui sont mobilisées au sein d'une ville. Comme on a pu le voir dans la méthode ENA, (voir partie 2.5)

61 Voir figure issu de Michael Pawlynn dans Biomimétisme et architect

62 Maryline di Nardo , Métabolisme urbain et résilience : articulations théoriques. Les cahiers du développement urbain durable p.60

63 Michael Pawlyn, Biomimétisme et architecture, p. 107

64 Sabine Barles, Comprendre et maîtriser le métabolisme urbains et l'empreinte , p21

Systèmes créés par les êtres humains	Systèmes écologiques
Flux linéaires de ressources	Flux de ressources en boucles fermées riches en feed-back
Déconnectés et à fonction uniques	Interconnexions multiples et symbioses
Résistants au changement	Adaptés à des changements constants
Gaspilleurs	Tout est nutriment
Utilisant fréquemment des toxines persistantes	Sans Toxines persistantes
Centralisés et à culture unique	Distribués et divers
Contrôlés de façon hiérarchique	Auto régulés de façon panarchique
Dépendant des combustibles fossiles	Fonctionnant avec les apports solaires disponibles
Conçus et construit pour maximiser un objectif	Optimisés en tant que systèmes global
Fondés sur l'extraction	Régénérateurs
Consomment des ressources provenant du monde entier	Consomment des ressources locales

Figure 6 : Différences clés entre systèmes artificiels et systèmes écologiques

© Crédits Figure de Michael Pawlyn, dans « Biomimétisme & Architecture »

l'importance de la délimitation du système étudié est primordiale afin de pouvoir visualiser d'une juste manière les éléments affiliés.

Alors que de plus en plus de réflexion et d'outils sont développés pour l'intégration de tel principe dans les systèmes urbains. Les applications d'un principe de gestion des ressources en réseaux circulaires en ville restent encore très faibles⁶⁵.

C'est principalement dans l'écologie industrielle qu'on va trouver des exemples de modèles écosystémiques de régulations des flux de ressources. Ces modèles de gestion écosystémique traitent synergiquement les flux de ressources. Les industries ont la capacité de connaître le cycle de vie de la matière entrante et peuvent alors transformer les déchets qu'une industrie va produire, en matière première pour une autre⁶⁶ industrie.

Ce serait dans une telle approche synergétique que ces principes biomimétiques pourraient être appliqués à nos villes. Comme nous l'évoque M. Pawlyn à travers le travail de S. Hagan, l'enjeu pour les concepteurs est de comprendre comment mettre en relation les entités qui composent la ville avec les flux de ressources qui y circulent⁶⁷. Ce serait en intégrant dans le processus de conception les cycles de vies (des aliments, des déchets, de l'eau ou encore des flux énergétiques) dans un réseau d'interdépendance entre les bâtiments qui structurent la ville (les logements, équipements, infrastructure) que pourraient émerger les propriétés régénérative et résiliente d'un écosystème.

3.5) LES FLUX DE RESSOURCES AU SEIN DE LA VILLE

La vision métabolique de la ville cherche à impliquer plus fortement les flux qui entrent dans la ville dans l'objectif de mieux réguler l'empreinte écologique du système urbain. Dans ce paragraphe nous allons aborder le sujet flux de ressources entrant en compte dans les métabolismes urbains pour illustrer

65 Michael Pawlyn, Biomimétisme et architecture, p. 195

66 Maryline di Nardo , Métabolisme urbain et résilience : articulations théoriques. Les cahiers du développement urbain durable p.60

67 Michael Pawlyn, Biomimétisme et architecture, p. 108

les possibilités qui s'offrent à nous pour meilleure gestion des ressources dans nos villes.

Dans une réflexion architecturale, l'un des premiers flux de ressources que l'on va manipuler serait les matériaux liés au secteur de la construction. En Île-de-France 3,2 t/hab de matériaux de construction sont entrées en 2003 alors que seulement 0,2t/hab ont été recyclées sur les 1,5t/hab mis en décharge⁶⁸. Ces chiffres nous montrent la faible capacité de nos systèmes urbains à réintégrer ce flux de ressources dans le système.

Dans la nature l'un des facteurs qui pourrait aider à mieux traiter ce flux de ressources serait le caractère biosourcé de la matière, les organismes n'ont à disposition que des matériaux disponibles localement et qui sont organiques. Un changement dans le type de matériaux employés pourrait aider à mieux intégrer le processus cyclique de la matière dans le secteur de la construction. Favoriser le réemploi ou intégrer le cycle de vie des matériaux dans le processus de construction permettrait aussi de réduire l'empreinte carbone liée à ce flux.

La gestion des déchets provenant de la ville est au cœur du sujet de l'économie circulaire, les déchets sont présents dans tous types d'activités. Ils le sont à la fois dans le secteur de la construction. À Paris 1,9 millions de tonnes de déchets stockés en 2015⁶⁹, qui pourraient être réintégré au cycle de vie des matériaux de construction.

Les déchets peuvent être de nature organiques, dans ce cadre la ville est aussi génératrice de déchets, que ce soit les déchets compris directement dans la consommation alimentaire. Mais aussi de manière indirecte dans la production agricole réalisée pour les villes. L'empreinte de déchets organiques peut être comprise à travers par quatre types de flux, les flux de biomasse importés (denrée alimentaire), les flux de biomasses exportés, les flux agricoles issus de fermes urbaines et les flux de déchets urbains⁷⁰. Ces différents flux de déchets sont plus souvent vus comme contraintes que comme matière à intégrer dans la réflexion urbaine.

68 Sabine Barles, Comprendre et maîtriser le métabolisme urbains et l'empreinte , p23

69 <http://metabolisme.paris.fr/#article/matter/paris>

70 Jean-Baptiste Bahers, Giulia Giacchè, (2018), Echelles territoriales et politiques du métabolisme urbain p.8

L'eau constitue un enjeu principal dans le traitement des flux au sein de la ville, énormément de secteurs ont une implication directe ou indirecte avec les flux d'eaux.

Qu'elle soit dans le traitement des eaux usées (grises ou vannes), l'eau de ruissellement, l'eau d'évaporation, ou encore l'eau impliquée dans la production alimentaire ou industrielle, cette ressource est impliquée dans la plupart des secteurs⁷¹.

L'eau est une ressource qui intervient à de multiples niveaux au sein de la ville, on peut définir six étapes dans le cycle de l'eau⁷². Que ce soit la récolte, le transport, la conservation, le traitement, l'utilisation, le rejet, toutes ces étapes ont une importance dans les flux urbains et peuvent être intégrées à différents niveaux dans les projets urbains.

Cette ressource est aussi un vecteur de transmission des nutriments⁷³, comme nous le verrons dans le chapitre IV, les nutriments constituent un des services écosystémiques important dans le cadre du maintien de la durabilité des écosystèmes. Le traitement synergique des processus écosystémiques avec la notion de flux du métabolisme urbain montre une réelle capacité de durabilité lorsqu'il s'agit de la gestion de l'eau.

71 Laurent Baechler, (2012) La bonne gestion de l'eau : un enjeu majeur du développement durable

72 Thibaut Houette, (2017), La gestion de l'eau en architecture, p.18

73 Sabine Barles, (2017), Ecologie territoriale et métabolisme urbain : quelques enjeux de la transition socioécologique p.828

Vertical line segment on the left side of the page.

Vertical line segment on the left side of the page.

V ECOSYSTÈMES, MODÈLES DE DURABILITÉ

4.1) S'INSPIRER DES DONNÉES ÉCOLOGIQUES DES ÉCOSYSTÈMES

Les services écosystémiques sont un point d'entrée pour comprendre l'importance des écosystèmes. Afin de visualiser les enjeux qui entrent en compte dans un écosystème il faut considérer les données quantifiables (le taux de précipitation, infiltration, évapotranspiration, quantités de déchets organiques produits, taux de captation du CO₂ ...). Et les données non quantifiables (échanges et synergies potentielles entre les différentes entités de l'écosystème, adaptation aux perturbations, résilience ...) . Premièrement il est donc impératif de comprendre les processus écologiques locaux avant de pouvoir planifier toute conception d'un paysage ou de planification urbaine.

Cette analyse des services écosystémiques permet de conceptualiser les échanges Homme/Nature, cependant en architecture ils pourraient présenter un intérêt que s'ils sont pris en compte lors du processus de conception pour la planification urbaine. Au début de ce millénaire encore nombre d'architectes étaient réfractaires aux principes d'écologies comme le montre la citation de Susannah Hagan concernant «une partie des architectes contemporains refuse la notion même de limites écologiques»⁷⁴.

Comme on peut le voir si l'on se réfère à la définition proposée pour la notion de services écosystémiques⁷⁵, ça exprime bien la manière dont les sociétés modernes perçoivent ces services comme une valeur produite par la nature afin que l'homme puisse la monétariser

Alors que ce rapport au monde a depuis longtemps été entretenu, on voit récemment apparaître une évolution des mœurs. Après avoir plus largement compris le rôle essentiel des services que l'environnement nous offre, une génération d'architecte tente de faire évoluer son approche avec la biosphère⁷⁶. C'est dans un souci de cohésion avec le site afin de pouvoir en imiter ses propriétés de résilience que le biomimétisme se dresse.

⁷⁴ Michael Pawlyn , Biomimétisme & Architecture, p.194

⁷⁵ Services écosystémiques : Les services écosystémiques sont définis comme étant les biens et services que les hommes peuvent tirer des écosystèmes, directement ou indirectement, pour assurer leur bien-être (nourriture, qualité de l'eau, paysages,...). Source : Dicoagroecologie.fr

⁷⁶ Marine Delbreil-Bergès. Le biomimétisme en architecture : analyse d'une démarche en pleine émergence. Architecture, aménagement de l'espace. 2015, p.13

4.2) LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

C'est au début des années 90 qu'un groupe de scientifique et chercheurs ont réalisé que les solutions d'évaluations des mécanismes environnementaux actuels n'étaient pas suffisantes et qu'il y avait la nécessité d'une évaluation de tous les écosystèmes présents sur la planète. Dans les années 2000, le secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies (ONU) Kofi Annan lance le projet Millenium Ecosystem Assesment (MEA) afin d'évaluer l'ampleur et les conséquences des modifications subies par les écosystèmes⁷⁷. Publier et présenter en 2005 ce travail a permis entre autres de définir la notion de service écosystémique qui relate des services rendus par les écosystèmes aux sociétés humaines.

L'étude réalisée pour le MEA a permis d'établir une liste de services qui ont défini le rôle des écosystèmes sur la planète. Ces critères peuvent être répertoriés en quatre catégories de service, les services d'approvisionnement, les services de régulation, les services de soutien, et les services de cultures. On peut visualiser les différents services selon leurs catégories dans le schéma ci-après.

De nombreux organismes agissent en faveur de ces services écosystémiques, c'est grâce à cette diversité que l'écosystème développe sa résilience. Effectivement si un organisme s'éteint, l'écosystème peut assurer la continuité du fonctionnement du service grâce aux nombreux acteurs qui le maintiennent⁷⁸.

Par ailleurs la diversité de l'écosystème s'établit selon des réseaux d'interconnexions qui opèrent entre les organismes de l'écosystème. Cela relate d'un principe d'interaction et d'interdépendance entre les différents organismes de l'écosystème (Cf partie 4.4 & 4.5), ces mécanismes d'interdépendance agissent selon certains processus qui structurent l'écosystème. D'après M. Zari, on peut expliquer cette notion de services écosystémiques se compose de quatre niveaux de processus imbriqués qui expliquent le fonctionnement global d'un écosystème⁷⁹.

77 Monica Castro, Xavier Arnauld de Sartre. Chapitre 2 De la biodiversité aux services écosystémiques : Approche quantitative de la généalogie d'un dispositif. P.63

78 Maibritt Pedersen Zari , (2018) Regenerative Urban Design and Ecosystem Biomimicry
79 Maibritt Pedersen Zari , (2018) Regenerative Urban Design and Ecosystem Biomimicry. p.73

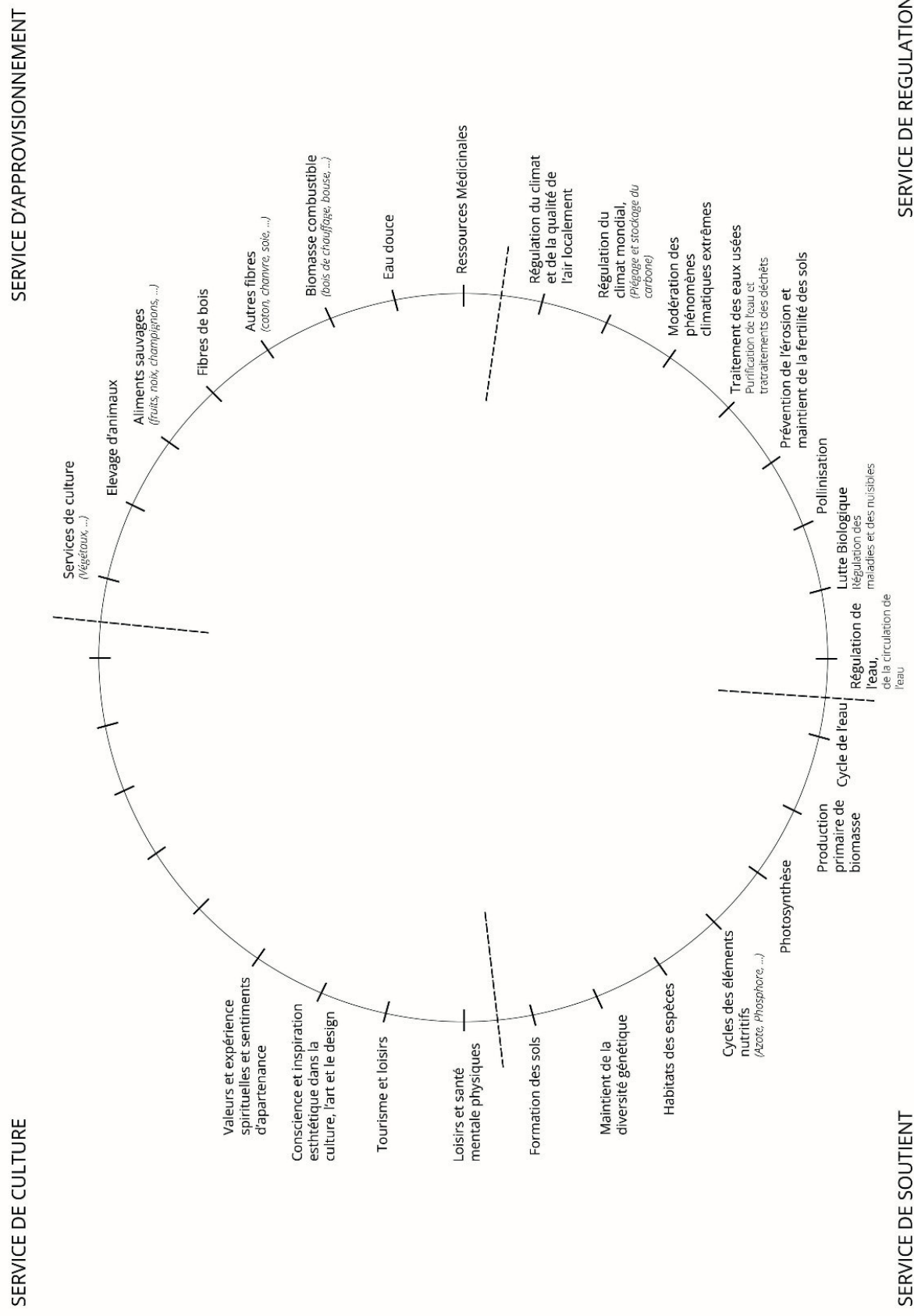


Figure 7 : Schéma répertoriant les services écosystémiques selon leur catégorie

Processus des écosystèmes (fonctionnement des écosystèmes)

Premier niveau. Le contexte de l'écosystème :

- 1.1 Le contexte dans lequel la vie existe est en constante évolution.
- 1.2 Les entités vivantes qui composent les écosystèmes travaillent pour rester en vie.

Deuxième niveau. Par conséquent :

- 2.1 Les écosystèmes s'adaptent et évoluent à différents niveaux et à différents rythmes.
- 2.2 Les écosystèmes sont résilients. Ils peuvent persister dans le temps même si leurs composants changent
- 2.3 Les écosystèmes renforcent la capacité de la biosphère à soutenir la vie.
- 2.4 Les écosystèmes sont diversifiés en termes d'espèces, de relations et d'informations.

Troisième niveau. Les implications sont les suivantes :

- 3.1 Les écosystèmes sont auto-organisés, décentralisés et distribués.
- 3.2 Les écosystèmes fonctionnent par le biais de boucles de rétroaction ou de cascades d'informations.
- 3.3 Les organismes au sein des écosystèmes fonctionnent dans un cadre interdépendant.
- 3.4 Les écosystèmes et les organismes sont dépendants des conditions locales et y répondent
- 3.5 Les écosystèmes et les organismes qui les composent optimisent l'ensemble du système.
- 3.6 Les organismes au sein des écosystèmes sont pleins de ressources et opportunistes.

Niveau 4. Ceci est soutenu par le fait que :

- 4.1 Les écosystèmes apprennent de l'information, y répondent et s'auto-assemblent.
- 4.2 Les écosystèmes et les organismes qu'ils contiennent guérissent dans certaines limites.
- 4.3 La variété peut se produire par des effets émergents (changement rapide).
- 4.4 La variété peut se produire par recombinaison d'informations et mutation (changement graduel).
- 4.5 Les écosystèmes sont organisés selon différentes hiérarchies et échelles.
- 4.6 Les écosystèmes utilisent des processus cycliques dans l'utilisation des matériaux.
- 4.7 Les écosystèmes ont souvent des redondances intrinsèques.
- 4.8 Les parties des écosystèmes et les organismes sont souvent multifonctionnels.
- 4.9 Les ressources énergétiques et matérielles locales sont des dispositifs d'organisation spatiale et temporelle.
- 4.10 Les écosystèmes et les organismes qu'ils contiennent recueillent, utilisent et distribuent l'énergie efficacement
- 4.11 La forme des écosystèmes et des organismes est généralement le résultat d'un besoin fonctionnel.
- 4.12. Les écosystèmes sont constitués d'éléments courants.

Liste des processus écosystémiques

© Crédits: Figure traduite de Maibritt Pedersen Zari

4.3) COMPOSITION GÉNÉRALE DES ÉCOSYSTÈMES

Un écosystème est un système ouvert en relation avec son environnement. Les écosystèmes sont caractérisés par un environnement aussi appelé biotope, les différents organismes qui s'y établissent (biocénose) et qui coexistent, ainsi que par les interactions établies entre les différentes espèces et leur milieu⁸⁰.

Si l'on résume dans un écosystème, on a :

- le biotope influencé par les différents facteurs du milieu (les paramètres du sol et du climat : intensité lumineuse, l'humidité, ...)
- la biocénose, ensemble des espèces comprises dans l'écosystème
- les relations entre les êtres vivants (interactions biotiques⁸¹)
- les relations entre les êtres vivants et leur biotope
- les relations entre l'écosystème et son environnement

Chaque organisme détient une place au sein de l'écosystème qui lui est propre et peut avoir un effet sur les autres individus de l'écosystème, la nature de ces interactions a un impact sur le fonctionnement de ce dernier.

80 Alexandra Goudard. Fonctionnement des écosystèmes et invasions biologiques : importance de la biodiversité et des interactions interspécifiques p.18

81 Biotique : Relatif aux êtres vivants et à leur action (source: <https://www.cnrtl.fr/definition/biotique>)

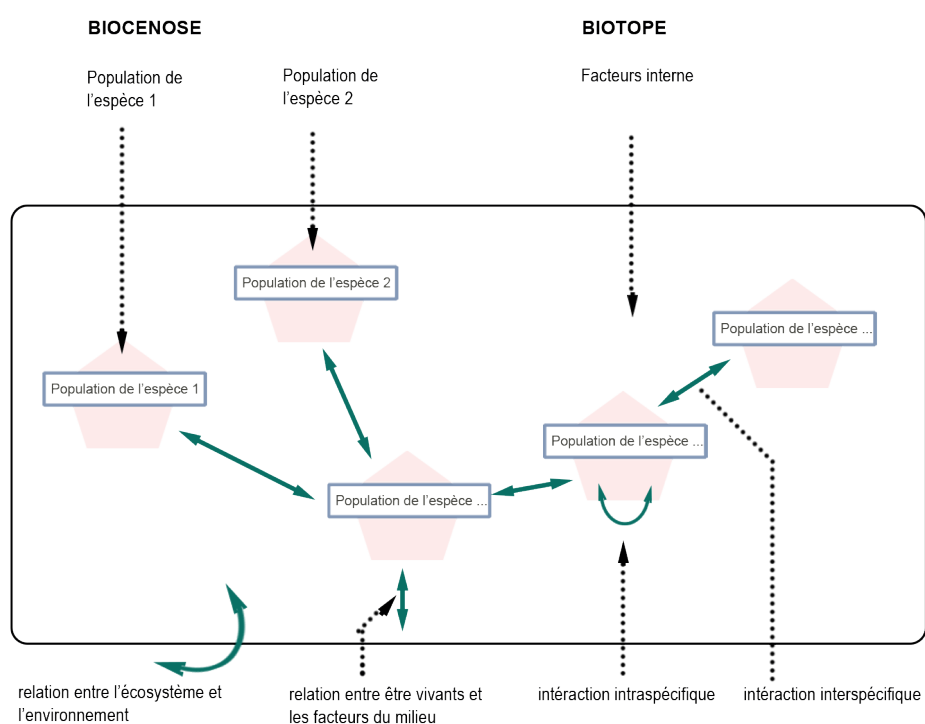


Figure 8: Interactions au sein d'un écosystème

© Crédits: Figure adaptée de Alexandra Goudard

4.4) RÉSEAUX TROPHIQUES

Les écosystèmes s'organisent de telle sorte à ce que la matière vivante soit produite avec des éléments disponibles à proximité (consommation de matière et de nutriment disponibles dans le milieu). Le processus d'échange opérant entre les organismes est constamment recyclé dans un réseau d'échanges entre les différents acteurs. On repère principalement deux flux dans les écosystèmes, les flux de matières et d'énergie⁸² qui se transmettent à travers ce que l'on appelle un réseau trophique.

Cette notion trouve sa source dans les travaux de Lotka et Volterra qui ont étudié la dynamique qui se créait entre une proie et son prédateur⁸³. Ces travaux se basaient initialement que sur un type d'interaction spécifique (prédateur/proie) qui avait lieu dans l'écosystème. Ce type d'interaction est d'ordre trophique, car il se réfère aux besoins nutritifs d'une espèce dans un écosystème⁸⁴.

Un modèle d'étude simplifié de réseau trophique se focaliserait uniquement sur la relation proie/prédateur comme on l'a vu précédemment. Mais plusieurs types d'interactions existent entre les organismes et peuvent être intégrés au modèle de compréhension des réseaux trophiques⁸⁵. Comme nous le verrons dans la partie suivante (Partie 4.2.3), c'est en intégrant cette diversité d'interaction dans une analyse écosystémique que peut se révéler la complexité. Cela nous permet de mieux visualiser les relations qui s'établissent entre les différents éléments impliqués.

Les réseaux trophiques constituent le réseau d'échange entre les acteurs de l'écosystème d'étude. L'énergie et la matière absorbées est soit directement restituée à l'écosystème via la respiration et les excréments, soit transmise dans le réseau trophique quand une espèce en consomme une autre⁸⁶. Selon cette transmission on peut identifier plusieurs paliers (trois ou quatre dans les écosystèmes terrestres)⁸⁷, au sein d'un réseau trophique ; les consommateurs primaire, secondaire, tertiaire et ainsi de suite.

82 Serge Frontier, (1999), Que sais-je, Les écosystèmes, p.30

83 Grégory Mollot, (2012), Régulations biologiques de *Cosmopolites sordidus* dans le réseau trophique des bananeraies, Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse. p.7

84 Trophique : Qui est relatif à la nutrition d'un individu, d'un tissu vivant, source : Larousse

85 Grégory Mollot, (2012), Régulations biologiques de *Cosmopolites sordidus* dans le réseau trophique des bananeraies, Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse. p.12

86 Serge Frontier, (1999), Que sais-je, Les écosystèmes, p.31

87 Serge Frontier, (1999), Que sais-je, Les écosystèmes, p.31

4.5) LES INTERACTIONS AU SEIN DES ÉCOSYSTÈMES

Dans la nature les interactions se développent de manière innée selon les quêtes qui sont propres à chaque organisme. Spontanément une interaction serait une action effectuée par un organisme sur un autre. Nous pouvons développer un peu plus en considérant qu'une interaction serait une relation de deux organismes ayant un effet l'un sur l'autre, dans un sens comme dans l'autre ou bien dans les deux sens.

Bien que les organismes établissent différentes interactions entre eux (interspécifique et intraspécifique), dans le cadre de ce mémoire nous allons uniquement nous intéresser aux interactions interspécifiques, interactions entre organismes d'espèce différente. Les différentes interactions biotiques que l'on peut observer dans les écosystèmes peuvent être répertoriées de la manière suivante⁸⁸ :

Neutralisme : La relation de neutralisme entre des espèces est le fait de cohabiter sur un même territoire sans exercer d'influence entre elles

Compétition : La compétition est la rivalité entre espèces vivantes pour l'accès aux ressources du milieu

Prédation : La prédation est le fait de se nourrir d'autres organismes vivants. La prédation est bénéfique au prédateur (+) néfaste pour la proie (-)

Commensalisme : Le commensalisme est un type d'association d'espèce différentes, profitable pour l'un des deux et sans danger pour l'autre

Amensalisme : Interaction biologique dans laquelle une espèce inhibe le développement de l'autre

Mutualisme : Interaction entre deux espèces qui trouvent un avantage à leur association

88 Thibaut Houette,(2017), La gestion de l'eau en architecture : une approche biomimétique vers la durabilité. p. 75

Symbiose : La symbiose est une association bénéfique et durable entre deux espèces

La nature de l'interaction établie entre deux partenaires dépend du signe des effets unidirectionnels de chacun des deux partenaires sur l'autre partenaire⁸⁹. Les interactions sont caractérisées par l'effet spécifique qu'une espèce A porte sur une espèce B, afin d'établir la nature de l'interaction spécifique entre deux espèces est caractérisée par le signe (+ ou -) de chacun des deux effets.

Les types d'interactions sont définis par le signe de l'effet spécifique et par l'action de chacune des espèces, pour une meilleure visualisation on peut établir un tableau classant les différentes interactions selon leur signe (voir figure 9).

Un modèle simplifié des interactions on ne prendrait en compte que l'action d'un organisme sur l'autre de manière isolée à l'écosystème. L'intérêt de la systémique (Cf partie III) pour la compréhension des écosystèmes serait de ne pas comprendre ces interactions comme une somme de mécanismes isolés les uns des autres, mais comme un fonctionnement global qui fonctionne en interdépendance.

Selon une telle logique, les interactions seraient composées selon un fonctionnement beaucoup plus complexe. Serge Frontier nous explique que l'on doit intégrer les interactions indirectes dans une temporalité longue, que les interactions interviennent simultanément entre plusieurs espèces dans un même milieu. Les interactions entre espèces ne sont pas limitées à une seule forme, mais sont multifformes⁹⁰.

Les interactions indirectes influencent largement les écosystèmes. Par exemple on peut comprendre le phénomène de prédation dans une temporalité courte, l'effet du prédateur sur la proie est néfaste, car la proie disparaît. Si l'on regarde cela dans une temporalité longue, on peut voir que le principe de la prédation génère un effet de régulateur démographique sur l'espèce en proie.

89 Alexandra Goudard, Fonctionnement des écosystèmes et invasions biologiques : importance de la biodiversité et des interactions spécifiques, 2007, p20

90 Serge Frontier, (1999), Que sais-je, Les écosystèmes, p.25

	Espèce A	Espèce B
Neutralisme	0	0
Compétition	-	-
Prédation, parasitisme	+	-
Commensalisme	+	0
Amensalisme	0	-
Mutualisme	+	+
Symbiose	+	+
Type d'interaction	Signe de l'interaction	

Figure 9: Nature des interactions biotiques

© Crédits: Travail de l'auteur

Une interaction ne peut être isolée dans son milieu, à la fois par les caractéristiques du biotope, mais aussi par la présence des autres espèces dans le milieu. Chaque espèce prend une place précise dans l'écosystème que l'on appelle niche écologique,

« il n'existe théoriquement qu'une seule population par niche écologique »⁹¹.

Le caractère multiforme des interactions est important dans la mesure les actions des organismes sur les autres peuvent être dans les deux sens et de plusieurs natures. Pour cela il faut visualiser les différentes interactions entre espèces dans leur ensemble et selon les différentes formes qui existent.

Les interactions doivent alors être comprises dans un mécanisme complexe de relations mutuelles. La temporalité, le caractère indirect ainsi que les multiples formes que peuvent prendre les interactions entre les espèces nous montrent les nombreux facteurs à prendre en compte dans un processus de biomimétisme écosystémique. C'est en intégrant cette complexité dans nos réflexions urbaines que de nouvelles émergences peuvent se créer. C'est aussi en acceptant la complexité des interactions dans le processus de conception que le système urbain pourrait alors commencer à imiter les écosystèmes.

91

Selon Husson ds Daget-Godron, (1974), dans la définition donnée par cnrtl.fr

Vertical line segment on the left side of the page.

Vertical line segment on the left side of the page.

V CAS D'ÉTUDE

5.1) MÉTHODE ET OUTILS D'ANALYSES

Dans le cadre de cette recherche, nous allons nous baser sur des cas d'étude (voir annexe) afin de déterminer comment les stratégies du vivant fonctionnent ou peuvent être comprises par les concepteurs dans leurs processus d'abstraction.

L'analyse des cas d'étude va se réaliser en deux parties. La première partie de l'étude va se baser selon trois critères. Nous avons vu précédemment qu'un écosystème est composé de sous-ensemble en interaction constituant un tout. L'objectif va être d'identifier un ou plusieurs éléments significatifs (considérés comme sous-ensemble du système) dans les cas d'étude afin de les analyser. De cet élément significatif nous allons observer la stratégie adoptée qui en fait un élément indispensable à la stabilité de l'écosystème. Ensuite nous allons voir selon cette stratégie comment l'élément peut être transposé à un système urbain.

Dans des cas d'études correspondants à des systèmes urbains, la démarche est réalisée dans le sens inverse. Identification de la stratégie du système urbain qui nous intéresse, on relève à travers la littérature sur le projet de quel phénomène naturel la stratégie s'inspire et ensuite de quel sous-ensemble écologique la stratégie provient.

Cette analyse devrait permettre d'identifier des éléments de récurrences que ce soit dans les écosystèmes ou les systèmes urbains. Nous allons pouvoir vérifier à travers ces récurrences des principes généraux qui structurent les écosystèmes ou projets écosystémiques. Cela nous permettra ensuite de pouvoir intégrer ces principes à une méthode biomimétique.

Dans un second temps nous allons observer dans quelles mesures les cas d'étude s'établissent selon les principes du biomimétisme. Selon Richard James Mccowan les principes du biomimétisme peuvent être compris comme des critères permettant de répondre aux enjeux du développement durable⁹². Les trois enjeux du développement durable ont été développés dans le rapport du MEA (voir 4.2), ainsi le développement durable se situe à la croisée

92 Richard James Mccowan, (2012), Biomimicry + Urban Design ,p.13

002/ Les principes sous-jacents du biomimétisme












STRATÉGIE	ECONOMIE	ENVIRONNEMENTAL	ECOLOGIQUE	SOCIAL
 REPRODUIRE DES STRATÉGIES QUI FONCTIONNENT	L'adoption des meilleures pratiques en matière de conception augmente la probabilité d'un investissement	L'adoption de bonnes pratiques permet de réduire les émissions de carbone	Reller le développement au réseau local d'infrastructures vertes	Fournir des installations ou des équipements communautaires et culturels
 INTÉGRER L'IMPRÉVU	Le développement de technologies durables pourrait réduire les coûts grâce à une meilleure efficacité	Les sites vacants pourraient être utilisés pour des espaces temporaires	L'infrastructure verte pourrait augmenter en utilisant les espaces temporaires comme parcs	Le bien-être de la communauté pourrait augmenter grâce à la formation d'un réseau social
 UTILISER UN DESIGN MULTI-FONCTIONNEL	Augmentation potentielle de la valeur des terrains grâce à l'adaptabilité des bâtiments et des terrains.	Réduction de la consommation d'énergie grâce à des relations de coopération	Création d'une gamme de typologies d'espaces verts	Création d'espace utilisable tout au long de la journée et au fil des saisons
 RECYCLER TOUS LES MATÉRIAUX	Créer de la valeur à partir du recyclage et de la création d'énergie	Réduction de l'impact environnemental	Réduction du gaspillage	Augmentation du bien-être social
 ADAPTER LA FORME À LA FONCTION	Attractif pour les occupants et les investisseurs	Réduction des trajets en véhicule	Diversité des espaces ouverts	
 MAINTENIR L'INTÉGRITÉ PAR L'AUTO-RENOUVELLEMENT	Le développement peut intégrer les dernières initiatives de réduction des coûts	Minimiser le gaspillage d'énergie grâce à des réseaux d'infrastructure autoréparables	Les espaces verts se régénèrent avec des espèces végétales locales	Les réseaux sociaux s'adaptent aux nouvelles tendances
 INCORPORER LA DIVERSITÉ	Augmentation potentielle de la valeur des biens immobiliers grâce à un éventail diversifié d'occupants	L'augmentation des modes de transport public réduit la nécessité d'utiliser la voiture	Création d'un mélange de typologies d'espaces verts	Création d'un ensemble d'équipements communautaires
 S'AUTO-ORGANISER	La proximité d'une infrastructure verte augmente la valeur des terrains	Augmentation des services écosystémiques		Groupes communautaires liés travaillant ensemble pour soutenir le quartier
 COMBINER DES COMPOSANT MODULAIRES ET IMBRIQUÉS	Répétition d'éléments communs dans des conceptions réussies	Réduction de l'impact sur l'environnement	Répétition d'éléments communs dans des conceptions réussies	Répétition d'un élément commun dans des installations communautaires réussies
 Faire de la chimie dans l'eau	Réduction des coûts de remise en état des terrains	Réduction des dommages potentiels à l'environnement	Minimiser les effets du développement sur la flore et la faune locales	Minimiser l'effet du réaménagement sur la communauté locale
 Utilisation de matériaux et énergies facilement disponibles	Réduction des coûts énergétiques par la conception de bâtiments plus efficaces sur le plan énergétique.		Réduire l'impact sur la faune locale	Augmentation du bien-être grâce à des économies pour les résidents

Figure 10 : Figure traduite du travail de Richard James Mccowan

© Crédits: Richard James Mccowan

du développement économique, environnemental et social. Les principes sous-jacents du biomimétisme selon les critères du développement durable sont proposés selon la figure 10.

Ce tableau qui détermine les principes du biomimétisme va nous servir dans la seconde partie d'analyse à établir les performances des cas d'étude en matière de durabilité. À travers les données extraites de la littérature, nous allons établir les critères biomimétiques des cas d'études selon leurs performances et leurs durées d'étude. À travers cette analyse nous allons pouvoir vérifier leurs efficacités en matière de durabilité.

5.2) CHOIX DES CAS D'ÉTUDE

Les cas d'étude ont été choisis selon le fait qu'ils aient été issus d'un processus de conception biomimétique écosystémique. Ces projets expliquent leurs démarches d'analyse des stratégies du vivant et la capacité à intégrer ces stratégies dans le projet urbain afin de répondre aux problématiques d'instabilité dans les écosystèmes où ils s'implantent.

Dans le cas de l'école de la biodiversité de Chartier-Dalix, ce projet a été choisi non pas pour son processus de conception, mais dans la volonté des architectes de considérer le projet comme un écosystème. Ce projet a suscité mon intérêt dans la mesure où les architectes ont placé au cœur de leurs processus de conception le fait d'intégrer la biodiversité et l'écosystème dans le projet. De par ce principe le projet permet d'établir des liens entre les groupes fonctionnels écologiques et les services écosystémiques.

Il a été intéressant d'intégrer des écosystèmes naturels dans les cas d'étude afin de comprendre comment les stratégies créées dans les écosystèmes maintiennent les critères de durabilité. Cela permet d'établir un lien comparatif entre la performance d'écosystèmes naturels et artificiels.

Les cas d'étude ont été choisis dans le but de pouvoir établir un rapport d'échelle entre les différents cas. C'est pour cela que l'on peut classer les cas d'études selon trois catégories qui s'organisent à selon trois échelles différentes.

- Les écosystèmes naturels
- Les projets architecturaux
- Les projets urbains

L'observation de ces trois différents types d'échelles permet alors d'observer si les principes biomimétiques opèrent de manière similaire en fonction de l'échelle et du type de projet.

Les analyses des cas d'études ont été réalisées en annexe.

5.3) TABLEAUX D'ANALYSES

<i>Étude de cas</i>	<i>Élément d'un écosystème écologique</i>	<i>Stratégie/principes Biomimétique</i>	<i>Élément transposable à un écosystème urbain</i>
Le réseau ferré de Tokyo	Les blobs Physarum qui trouvent le chemin le plus court pour la nourriture	Optimisation des réseaux, auto-organisation	Réaliser des réseaux optimisés (transports, eau, etc, ...)
Lavasa Hill City, Hok Architect Stratégie générale		Maintenir et restaurer les services écosystémiques du site. Pour dans un futur parvenir à la régénération du site	Concevoir un projet urbain qui s'appuie sur des données écologiques pour réduire les impacts négatifs sur l'environnement et proposer un système régénératif
Lavasa Hill City, Toitures	Feuille caduque du Manikara	Évaporation de l'eau pluviale, affaiblissement de l'énergie cinétique des gouttes d'eau	Réaliser une forme architecturale adaptée à une fonction systémique présente sur site
Lavasa Hill City, Fondations des bâtiments	Structure racinaire des arbres Manikara qui participent activement à la structuration et au maintien du site/ de l'écosystème	Collecte et stockage de l'eau à travers un procédé naturel	Réaliser une forme architecturale adaptée à une fonction systémique présente sur site
Lavasa Hill City, Routes	Nids de fourmis qui détournent l'eau de leurs nids par des canaux à voies et faibles pentes	Canaliser le transports de l'eau présente en abondance par période	Canaliser & optimiser les réseaux d'évacuation qui peuvent être sujet aux crues
Hammarby Sjostad Stratégie générale		Minimiser les quantités d'énergies et de ressources à prendre de l'extérieur	Concevoir un projet urbain qui fonctionne en boucle fermée visant un rétroactivité positive
Hammarby Sjostad, Energie	Gestion cyclique des déchets et de l'énergie solaire pour produire sa source d'énergie	Produire de l'énergie électrique et thermique par utilisation des déchets. Extraction de la chaleur des eaux usées.	Tirer parti des cycles présents dans la nature pour les transposer à un système urbain qui permet de réduire ses coûts énergétiques
Hammarby Sjostad, L'eau	Gestion durable des ressources en eau à la fois au niveau de la cellule (un ménage), mais aussi au niveau urbain (gestion de l'eau sur l'ensemble de la ville)	Gestion cyclique de l'eau au sein du système urbain	Réaliser un réseau d'échanges de ressources en perpétuels recyclage et traité de manière durable
Hammarby Sjostad, utilisation des ressources	Lyosomes d'une cellule qui recyclent les matériaux existant	Réutilisation des matériaux déjà présent sur site	Modifier les modes de conceptions en favorisant le réemploi dans les projets urbains
Hammarby Sjostad, utilisation des ressources	Lyosomes d'une cellule qui recyclent les matériaux existant	Réutilisation des matériaux déjà présent sur site	Modifier les modes de conceptions en favorisant le réemploi dans les projets urbains

Figure 11: : Tableau d'analyse des résultats des cas d'étude

Étude de cas	Élément d'un écosystème écologique	Stratégie/principes Biomimétique	Élément transposable à l'écosystème urbain architecturaux
Regen Village, Effekt Architect	Chaînes alimentaire reliées au sein d'un écosystème	Fonctionnement en réseau trophique, permettant l'autosuffisance de l'écosystème.	Réaliser des quartiers pouvant fonctionner en autosuffisance, ou de limiter au plus les ressources externes à ce quartier
Regen Village, Effekt Architect	Processus de fabrication du humus composant nos sols	Utiliser les déchets alimentaires afin de nourrir les acteurs de l'écosystème (Insectes décomposeurs)	Optimiser la gestion et le stockage des ressources indésirable en ville
Regen Village, Effekt Architect	Cycle de l'eau	Gestion cyclique de l'eau au sein du système urbain	Réaliser un réseau d'échanges de ressources en perpétuels recyclage et traité de manière durable
Lloyd Crossing Project Stratégie générale		Restaurer les services écosystémiques du site. Pour dans un futur parvenir à la régénération du site	Concevoir un projet urbain qui s'appuie sur des données écologiques pour réduire les impacts négatifs sur l'environnement et proposer un système régénératif
Langfang , HOK L'eau	Paléocanaux qui permettent le transport de l'eau à travers le paysage	Restaurer un des services écosystémique du site pour régénérer le territoire	Concevoir un projet urbain qui s'appuie sur des données écologiques pour réduire les impacts négatifs sur l'environnement et proposer un système régénératif
L'école de la biodiversité, Chartier Dalix		Régénération d'un écosystème détruit. Résilience après une perturbation	Réintégrer la biodiversité disparu dans un contexte urbain dense
Eco-Machines, John Todd	S'inspirer des écosystèmes pour le traitements de ressources usées	Restaurer un des services écosystémique du site pour régénérer le territoire	Concevoir un projet urbain qui s'appuie sur des données écologiques pour réduire les impacts négatifs sur l'environnement et proposer un système régénératif
L'écosystème de la savane au Kenya	Monticules de termites dans la savane	Optimisation de l'espace en fonction des ressources	Définir un plan optimisé et équitable de la répartition parcellaire d'une ville et offrir les services écosystémiques nécessaire à la régénération d'un écosystème

Figure 12: : Tableau d'analyse des résultats des cas d'étude

	Écosystèmes naturels		Projets d'architectures		Projets Urbains				
	Monticules de thermites	Eco- Machines	Réseau ferré de Tokyo	École de la biodiversité	Lavasa Hill city	Regen Village	Lloyd Crossing	Langfang	Hammarby Sjöstad
Reproduire une stratégie qui fonctionne	✓	✓ (Reproduit la capacité de filtration intégrée dans le cycle de l'eau.)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Intégrer l'imprévu	Elevé	Moyen	Nul	Nul	Moyen	Faible	Faible	Elevé	Elevé
Utiliser une conception multi-fonctionnelle	Elevé	Faible (Mono-fonctionnelle)	Faible	Moyen	Moyen	Faible	Moyen	Moyen	Moyen
Recycler tous les matériaux	Moyen	Moyen	Nul	Nul	Faible	Moyen	Elevé	Nul	Elevé
Adapter la forme à la fonction	Elevé	Moyen	Elevé	Moyen	Elevé	Faible	Nul	Moyen	Faible
Maintenir l'intégrité par l'auto-renouvellement	Elevé	Elevé	Nul	Moyen	Elevé	Nul	Faible	Faible	Faible
Incorporer la diversité	Elevé	Elevé	Nul	Elevé	Elevé	Elevé	Moyen	Elevé	Elevé
S'auto-organiser	Elevé	Faible	Elevé	Nul	Faible	Moyen	Nul	Nul	Faible
Combiner des composants modulaires et imbriqués	Elevé	Nul	Nul	Moyen	Moyen	Elevé	Nul	Nul	Nul
Concevoir avec la chimie de l'eau	Moyen	Elevé	Nul	Nul	Moyen	Moyen	Elevé	Elevé	Elevé
Utiliser des matériaux et des énergies facilement disponibles	Elevé	Moyen	Nul	Nul	Non communiqué	Elevé	Non communiqué	Non communiqué	Elevé
Performance énergétique	Moyen	Performant	Performant	Peu Performant	Moyen	Performant	Performant	Moyen	Performant
Economique	Très Performant	Performant	Peu Performant	Peu Performant	Performant	Peu Performant	Peu Performant	Faible	Performant
Social	Performant	Peu Performant	Performant	Performant	Performant	Très Performant	Performant	Performant	Peu Performant
Durée d'étude	Nulle	Longue (17ans à 1965-1986)	Moyen	Faible	Moyen	Moyen	Longue	Moyen	Faible

Figure 13 : Tableau d'analyse des résultats des cas d'étude

© Crédits: Travail de l'auteur

5.4) RÉSULTATS D'ANALYSE

Chacun des cas d'études analysés proposent des stratégies biomimétique ou naturelle qui adoptent une posture écologique et durable. On se rend compte d'une part dans un projet comme celui de Lavasa Hill l'enjeu est dans la manière de traiter les flux de ressources afin de parvenir à un mécanisme s'approchant de ceux réalisés dans la nature, dans ce cas-là c'est un processus qui s'inspire des données écologiques afin d'accomplir/d'offrir les mêmes services écosystémiques que ceux déjà présents dans la nature. Ce type de projet part d'une analyse poussée des services écosystémiques présents avant l'installation de l'homme sur site, de cela on peut évaluer et quantifier les services écosystémiques que le système urbain devra parvenir à offrir à son environnement. Mais dans ce type de processus de conception, on ne considère que les quantités de ressources échangées sans prendre en compte l'impact dynamique et synergique de cet échange.

Tandis que dans un cas comme celui de Hammarby Sjostad, c'est une posture qui se focalise plus sur la capacité du système à fonctionner en boucle fermée par la considération du réseau d'acteurs du système urbain. Dans ce cas-là, c'est un écosystème urbain qui veut tendre à fonctionner en boucle de rétroaction positive à la manière dont un écosystème cherche à le faire. Dans ce type de fonctionnement les différents acteurs fonctionnent selon un équilibre dynamique d'interdépendance, qui une fois mis en place permet de se renforcer perpétuellement afin d'offrir une qualité de résilience accrue. Effectivement dans un réseau d'échanges, plus il y a d'acteurs plus l'intensité des échanges est forte, moins la nécessité d'importer depuis l'extérieur est nécessaire. De plus ce qui en fait sa résilience est le fait que plus il y a d'acteurs dans le réseau moins le système se verra perturbé lors de la chute d'un des acteurs. Car le réseau pourra compter sur l'ensemble des autres acteurs qui remplaceront aisément l'élément disparu.

L'intérêt d'avoir pu étudier ces deux cas d'étude est de montrer deux différentes postures lors d'une conception biomimétique à l'échelle écosystémique. On peut voir qu'il est encore compliqué pour les concepteurs de réussir à conceptualiser et à combiner ces deux facteurs qui sont à la fois l'étude des flux de ressources produits au sein des écosystèmes et le réseau d'acteurs qui permettent l'échange des différentes ressources au sein d'un écosystème.

L'intérêt de mettre dans ce tableau d'analyse un cas d'étude biologique (les monticules de termites dans la savane) permet

d'expliquer à quel point dans la nature la combinaison de ces deux facteurs est générée naturellement. À la fois cet écosystème sait comment produire un flux de ressources, nitrogène et phosphore résultant des déchets d'alimentation des termites. Ces déchets permettent une boucle de rétroaction à tout l'écosystème, car ce sont ces déchets qui permettent à la végétation de subsister lors du stress hydrique présent durant les périodes hors mousson. Mais elles savent aussi comment mettre en lien tout le réseau d'acteur présent dans l'écosystème. Par les galeries souterraines créées ainsi que par leurs dispositions optimisées sur tout l'espace où sont présents les monticules par leurs répartitions optimisées selon le diagramme de Voronoï.

À travers l'analyse de ces cas d'études, je me rends compte qu'actuellement dans les stratégies biomimétiques qui ont été développées. Il manque encore des outils qui permettent de combiner les deux dimensions (réseau d'acteur et flux de ressources).

Cet enjeu m'amène à porter mes recherches sur la manière dont on pourrait procéder pour offrir au concepteur un schéma permettant de traiter ces deux dimensions simultanément (Réseau d'acteur et flux de ressources).

Afin d'arriver à conceptualiser cela on peut se baser sur des travaux de recherche déjà effectuée sur le sujet du biomimétisme écosystémique tel que ce de Maibritt Pedersen Zari qui a produit un outil d'analyse des services écosystémiques (ESA). Ou encore la biologiste et chercheuse Jeannine Benyus avec son cabinet de conseil en biomimétisme qui ont développé l'outil Ecological Performance Standard (EPS) qui permet d'évaluer et quantifier les performances d'un écosystème.

D'autre part, nous pouvons nous baser aussi sur les travaux d'Astrid Layton avec sa méthode Ecological Network Analysis (ENA), afin de pouvoir analyser les réseaux écologiques dans la démarche. En intégrant son processus analytique, on pourrait voir dans quelles mesures intégrer les flux de ressources et les interactions au sein du processus biomimétique.

Ce serait à travers la combinaison de ces différentes méthodes que nous pourrions développer un outil amélioré permettant de visualiser conjointement les différents paramètres structurant les écosystèmes.

Vertical line segment on the left side of the page.

Vertical line segment on the left side of the page.

VI MÉTHODE BIOMIMÉTIQUE

6.1) NOTIONS CLÉS ET PRINCIPES DE L'OUTIL BIOMIMÉTIQUE

Nous avons pu voir dans les parties précédentes la diversité d'éléments qui entrent en compte dans une réflexion sur les écosystèmes. Dans le cadre d'une démarche biomimétique, il peut être compliqué de comprendre et visualiser tous les éléments qui sont en jeu. L'intérêt est d'avoir une vue d'ensemble des différents éléments qui sont en jeu et d'en comprendre de manière générale les mécanismes qui les font interagir.

Avant de se lancer dans une telle démarche qui demande un long processus de compréhension, il est important d'avoir quelques notions clés qui vont permettre de guider la démarche dans son ensemble. Dans la mesure où l'analyse des écosystèmes ne définit pas en soi une démarche de conception, les notions de systémiques qui ont été abordées cherchent à apporter une structure au processus de conception. Fort de son expérimentation dans le domaine de la conception, la systémique apporte éléments clés et une posture à adopter pour des processus de conception complexes tels que ceux du biomimétisme écosystémique. Nous allons les rappeler afin de s'en servir comme clé de lecture de la démarche biomimétique développée.

Le projet biomimétique niveau écosystème devrait alors intervenir dans ce cadre :

- Une démarche interdisciplinaire
- Définir des normes & objectifs à atteindre

L'équipe d'architecte qui dirige le projet doit :

- Avoir une multiplicité de points de vues (interne, externe, omniscient)
- Adopter une non-séparabilité du contexte
- Intégrer une hétérogénéité des savoirs
- Structurer et organiser sa démarche

- Réfléchir les solutions idéales et optimales
- Adopter un esprit critique sur toutes les situations

Les principes de la systémique apportent des notions à intégrer, mais les écosystèmes eux aussi fonctionnent d'une certaine manière qu'il faut intégrer dans la démarche. Pour pouvoir faire fonctionner nos systèmes urbains comme le vivant, il faut savoir intégrer les principes qui structurent naturellement les systèmes écologiques.

De ce fait les clés que nous fournissent les écosystèmes interviennent de manière à :

- Gérer les ressources en boucle fermée
- Intégrer des interconnexions multiples
- Considérer que tout est nutriment
- Fonctionner avec les apports solaires
- Consommer des ressources locales
- Être optimisé en tant que système global

Pour finir, les derniers principes à intégrer dans la démarche sont ceux évoqués par M. Zari. Les écosystèmes s'établissent selon quatre de niveaux de processus écosystémiques qui sont liés les uns aux autres. Pour ces éléments, se référer à la figure de la partie 4.2.

La démarche biomimétique qui est proposée dans cette recherche a pour but de mettre en interaction les éléments des écosystèmes et les services qu'ils rendent avec les systèmes urbains. L'enjeu est de visualiser conjointement les deux systèmes et de voir les relations qu'ils peuvent entretenir. Pour cela la méthode se constitue d'une analyse de l'écosystème et d'une analyse urbaine afin de les visualiser au sein du même diagramme. Afin d'y parvenir, ce diagramme se base sur la combinaison de plusieurs méthodes biomimétiques qui permet de mettre en lien à la fois les services écosystémiques et urbains avec les interactions que les différents groupes fonctionnels (naturels ou artificiels) établissent entre eux.

6.2) COMBINER LES MÉTHODES BIOMIMÉTIQUES

6.2.1 - Fixer les objectifs de performance écologiques

La première étape d'utilisation du diagramme qui va être proposé se base sur une analyse des critères de performance écologique de l'écosystème d'implantation du futur projet. Comme dans la méthode EPS (voir 2.5) il est important de pouvoir se baser sur un écosystème de référence. Pour cela on peut soit identifier un écosystème présent sur le site qui maintient encore les fonctions écosystémiques (cycles hydrologiques, cycles nutritifs, stockage du carbone ...). Ou bien on peut se baser sur un écosystème indigène qui n'existe plus, mais dont on possède une quantité suffisante de données afin de pouvoir en évaluer son fonctionnement.

De cela on va pouvoir quantifier les données propres au fonctionnement de l'écosystème. On va pouvoir établir le taux de perméabilisation du sol, les ressources en énergie solaire disponible, le taux d'évaporation de l'eau, le taux de filtration de l'eau, le taux de déchets issu de la biomasse produite ... L'objectif de cette partie est d'établir le plus d'éléments caractéristiques de l'écosystème afin de pouvoir établir des objectifs pour le futur projet urbain. Dans cette démarche il est important de travailler en pluridisciplinarité avec des équipes de biologistes qui permettent d'établir une compréhension plus fine des mécanismes de l'écosystème. Et permettent aussi d'avoir des méthodes de calculs permettant de quantifier les données écologiques de l'écosystème.

Le projet Lloyd Crossing à Portland (voir figure 14) nous illustre bien comment la quantification des données d'un écosystème permet de visualiser les données importantes à réintégrer dans un projet urbain.

La première partie de l'étude se base à la fois sur les données non vivantes de l'écosystème (différents cycles, énergie, climat, composition du sol ...), mais aussi sur la faune qui est présente sur le site.

L'étude des espèces présentes dans l'écosystème peut être rassemblée par groupe fonctionnel. Un groupe fonctionnel peut être établi comme étant toutes les espèces maintenant les mêmes services écosystémiques. On peut considérer que la partie précédente d'analyse sur la quantification des données

2. Pre-development Metrics and Habitat

Pre-development Metrics™: Baseline Concept

To measure the success of sustainable strategies at a given neighborhood scale, the Pre-development Metrics™ (PDM™) were developed. PDM™ allows designers to be measured towards the goal of being within the boundaries of natural forces within a site or neighborhood. The plan visualization illustrates environmental metrics that measure a pre-development scenario representing that of a natural or naturalized landscape.

A Pre-development study, the system study was presented at the following metrics:

- per percent biomass
- level of diversity of wildlife species

Other metrics are:

- Aesthetics (e.g., landscape, vegetation, etc.)
- ecosystem pollution (e.g., water, air, etc.)
- ecosystem pollution (e.g., water, air, etc.)
- ecosystem pollution (e.g., water, air, etc.)
- ecosystem pollution (e.g., water, air, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)
- 100% biomass (e.g., vegetation, etc.)

Pre-development Metrics™

Pre-development Habitat Conditions

Tree cover 90 percent
54 acres of mixed-conifer forest
Broad diversity of wildlife species

Pre-development habitat conditions for a site that has been developed. The site has been developed and is now a mixed-conifer forest. The site has been developed and is now a mixed-conifer forest. The site has been developed and is now a mixed-conifer forest.

3. Water

Pre-development Water Use Conditions

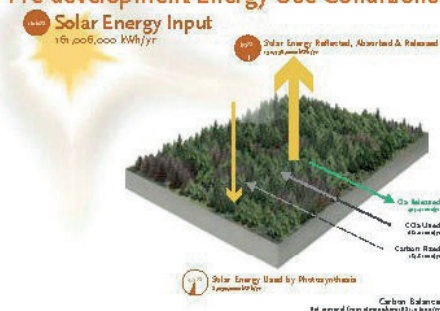


2004 Existing Water Use Conditions



4. Energy

Pre-development Energy Use Conditions



2004 Existing Energy Use Conditions

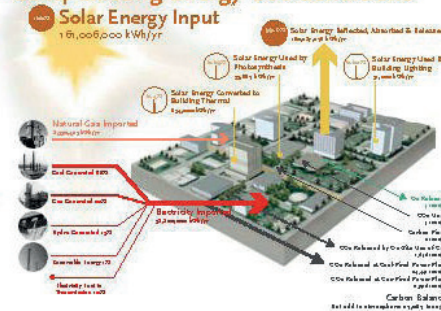


Figure 14 : Schémas de quantification des données écosystémiques

Figure provenant de AIAtopten

© Crédits: Mithun Architectes

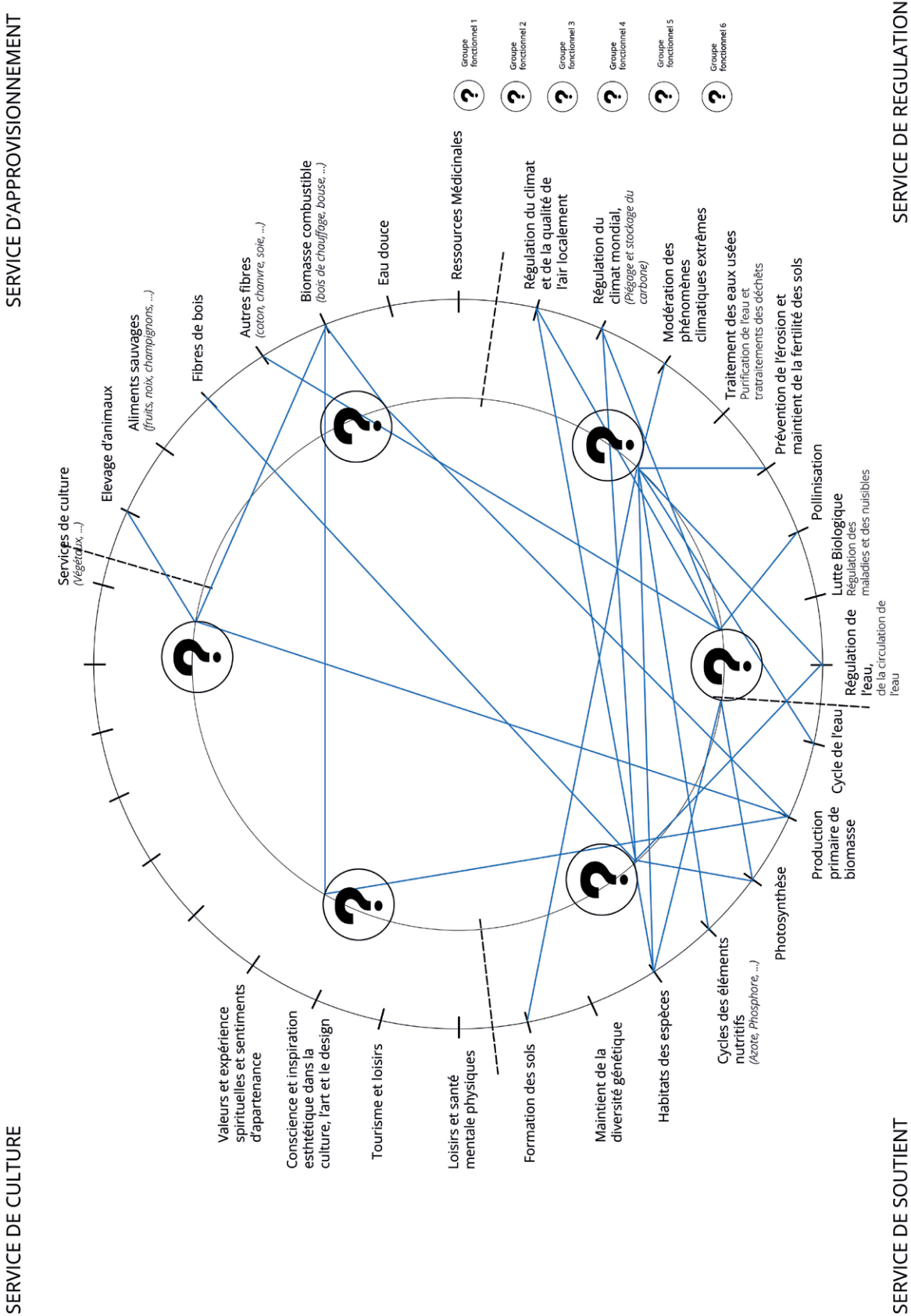


Figure 15 : Diagramme théorique de mise en relation des groupes fonctionnels avec les services écosystémiques

© Crédits: Travail de l'auteur

écologiques du site permet d'établir les valeurs correspondants aux différents services écosystémiques existants. Et l'étude des groupes fonctionnels de l'écosystème permet de voir le lien établi entre ces derniers et les services écosystémiques. L'enjeu dans cette première partie d'analyse est de voir les relations qu'entretiennent ces groupes fonctionnels avec le maintien des services écosystémiques.

Cette phase du processus d'abstraction permet d'établir au niveau du vivant des liens qui pourraient être transposés aux groupes fonctionnels urbains. Et ainsi l'objectif serait d'observer comment les groupes fonctionnels urbains pourraient maintenir les services écosystémiques nécessaires au fonctionnement de l'écosystème.

Le premier élément du diagramme est le cercle extérieur avec les services écosystémiques, les services sont différenciés en quatre catégories, qui correspondent aux catégories définies par l'étude MEA, un même groupe fonctionnel peut correspondre à plusieurs catégories. Les catégories sont différenciées, mais peuvent être liées. Ainsi un groupe fonctionnel peut entretenir plusieurs services écosystémiques, ce qui correspond à l'un des principes du biomimétisme, être multifonctionnel.

Le cercle où sont disposés les groupes fonctionnels se trouvent à l'intérieur du diagramme pour deux raisons ; la première est pour faciliter la visualisation des liens avec les services écosystémiques, et la seconde pour mieux visualiser les interactions entre groupes fonctionnels.

Les groupes fonctionnels peuvent se déplacer le long du cercle pour se rapprocher graphiquement des services écosystémiques qu'ils maintiennent afin de faciliter la visualisation du diagramme. On remarquera que sur le cercle correspondant aux services écosystémiques il reste des tirets libres. Cela sert à indiquer que l'on peut ajouter des services écosystémiques qui ne seraient pas affichés dans la mesure où les services écosystémiques correspondent à un écosystème en particulier. Les services présents dans les écosystèmes peuvent varier en fonction de l'écosystème étudié.

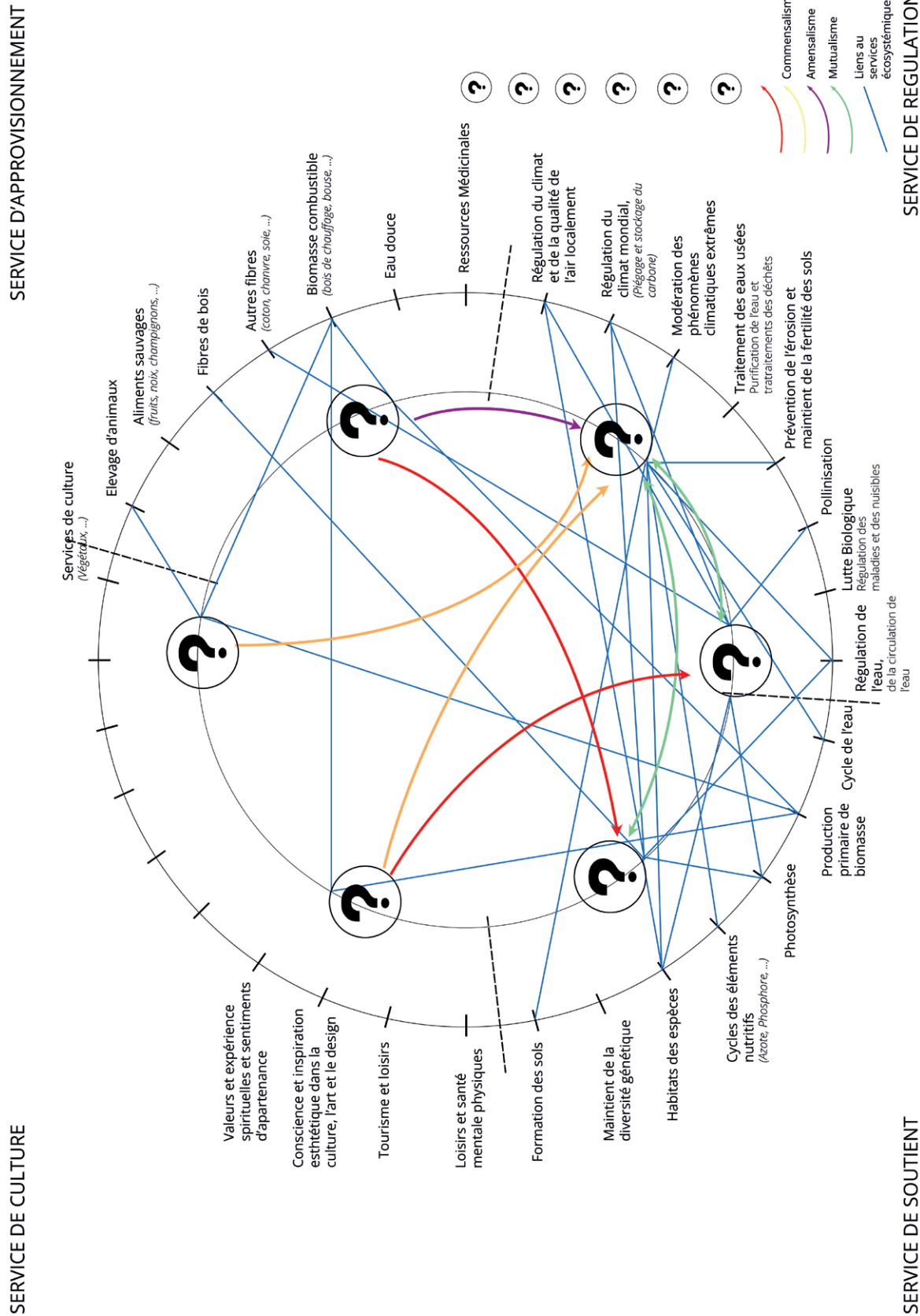


Figure 16 : Diagramme théorique des interactions entre groupes fonctionnels et mise en relation avec les services écosystémiques

6.2.2- Intégrer les interactions au processus de conception

Les interactions et réseaux d'interactions sont des éléments constitutifs des écosystèmes, s'inspirer de ces principes et les intégrer au processus de conception pourrait améliorer la compréhension de l'écosystème d'implantation. Dans le but de pouvoir transposer ces principes au projet afin de réaliser des systèmes urbains plus durables.

On peut considérer trois types d'interactions, les interactions entre espèces différentes, les interactions inter espèces et les interactions des espèces avec leurs milieux (voir 4.3). Dans le cadre de cette recherche nous allons porter intérêt aux interactions d'une espèce avec son milieu et plus précisément comment on peut intégrer au processus de conception les interactions entre environnements vivant avec l'environnement bâti. Le fait d'intégrer les interactions des espèces vivantes avec les éléments urbains au diagramme permet montrer l'articulation entre interaction et liens aux services écosystémiques. Selon le regard que nous a apporté la systémique, les interactions développent des émergences et le fait de visualiser cette articulation permettrait de favoriser la visualisation de ces émergences.

Nous allons prendre l'un des cas d'étude (voir annexe, Ecole de la biodiversité - Chartier Dalix) pour expliquer comment pourrait être utilisé le diagramme. Considérons que l'école est l'écosystème artificiel, on peut la décomposer en sous-ensemble (sol, toiture, façade ...) qui constituent les groupes fonctionnels du système artificiels. La biodiversité constitue les groupes fonctionnels de l'écosystème biologique. Et on prend l'exemple de la façade conçu par les architectes qui permet de créer des niches habitées par les oiseaux. Si l'on considère que la façade et les oiseaux sont les groupes fonctionnels de leurs écosystèmes respectifs, on peut illustrer leurs interactions de la manière suivante (voir figure 17).

L'interaction entre la façade et les oiseaux peut être considérée comme étant de commensalisme, car elle est bénéfique pour l'oiseau et d'effet neutre pour la façade. L'exemple a ici été porté sur un élément du bâtiment, on aurait pu effectuer la démarche sur le même diagramme pour tous les autres éléments du bâtiment en interaction avec des organismes (toiture plantée type forêt, toiture plantée type prairie ...). Dans ce cas d'étude, nous avons pu établir le lien, car nous savons qu'il est issu du processus de conception des architectes. Pour pouvoir l'intégrer au processus de conception, il

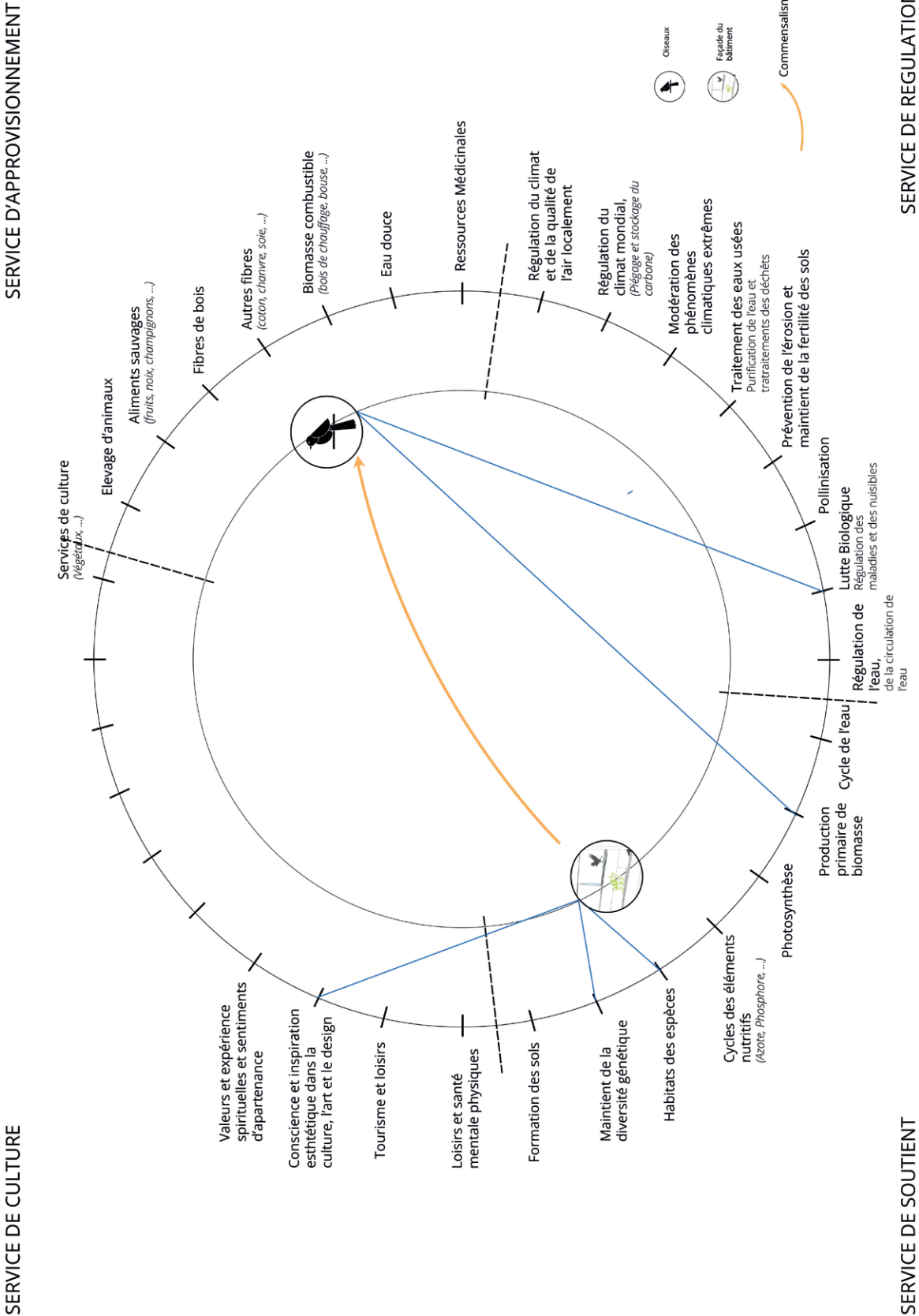


Figure 17 : DDiagramme théorique des interactions entre groupes fonctionnels et mise en relation avec les services écosystémiques

faudrait faire une analyse biologique et observer les liens que les espèces entretiennent avec leurs environnements. Ceci permet de voir l'organisation présente dans l'écosystème pour ensuite pouvoir le transposer dans un système artificiel.

Ce type d'analogie biomimétique permet de voir les liens qui peuvent être réalisés entre systèmes écologiques et système

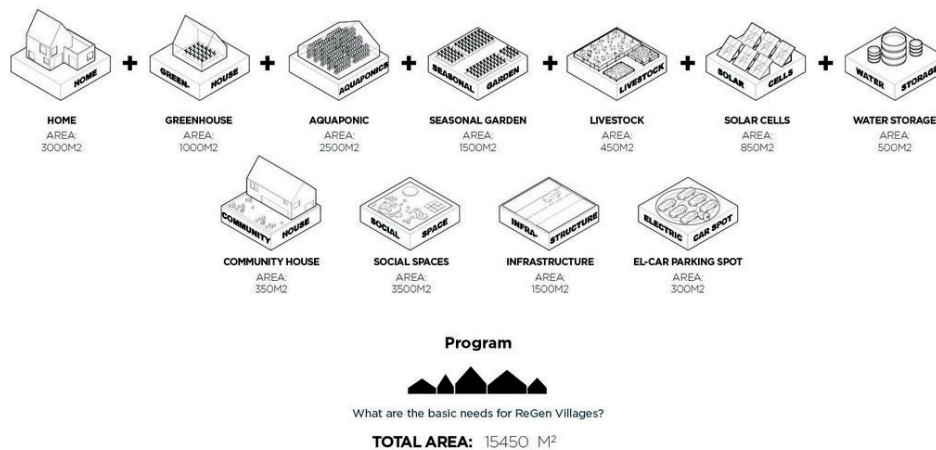


Figure 18 : Programme du projet Regen village

© Crédits: Effekt Architect

artificiel. Si l'on cherche à intégrer les interactions qui ont lieu entre les groupes fonctionnels urbains, il faudrait appliquer la méthode d'analyse des réseaux écologiques (ENA). Cette méthode est décrite dans la partie 2.5 et vise à considérer les réseaux d'interactions trophiques présents dans la nature dans le système artificiel.

Ce principe a pu être intégré à des projets d'écologie industriels tels que Kalundborg, dans le cadre de projet urbain à programme mixte (logements, équipement, production d'énergie, traitements des déchets ...) l'un des seuls exemples connus qui cherche à

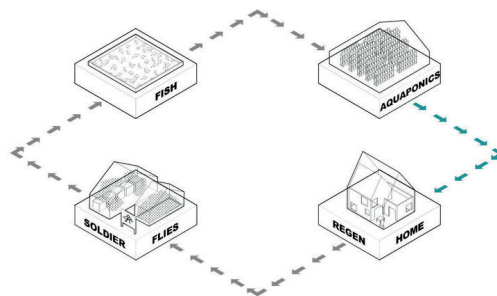


Figure 19 : Réseaux d'interaction du système de production alimentaire à Regen village

© Crédits: Effekt Architect

intégrer le principe de réseau trophique est Regen village. Nous allons voir comment intégrer la méthode ENA à travers ce projet.

Dans la méthode ENA la première étape est de délimiter le système étudié, ici nous allons nous focaliser sur la production de nourriture au sein de Regen village. On va considérer un système fonctionnant en boucle fermée sans apports extérieurs. Dans ce projet la production de nourriture se fait à travers des fermes en aquaponies qui sont fertilisées par les excréments d'un bassin de poisson qui lui est alimenté par des insectes volants qui eux décomposent les déchets organiques des habitats. L'équipe de Effekt propose un schéma mettant en relation ces quatre éléments du système :

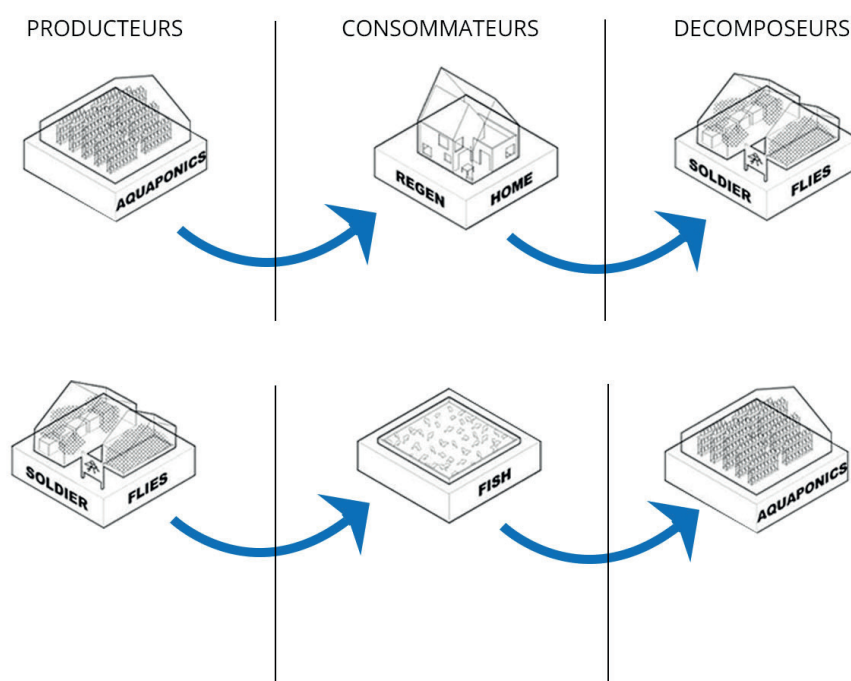


Figure 20 : Schéma des fonctions des groupes du réseau alimentaire

© Crédits: Travail de l'auteur, logos prit du travail de Effekt architect

La seconde étape de la méthode ENA est de compartimenter le système en grand groupe, les producteurs, les consommateurs, les décomposeurs. Dans ce type de réseau écologique, certains éléments du système peuvent être dans plusieurs catégories en fonction de la phase du processus ou l'on regarde. Par exemple la ferme aquaponique est producteurs pour les habitats, mais aussi décomposeurs des excréments de poissons. Comme les insectes volants qui sont décomposeurs des déchets organiques des habitats, mais aussi producteurs de nourriture pour les poissons. On peut comprendre deux chaînes d'interactions dans ce réseau trophique, et peut être illustré comme suit.

Dans cette méthode il est très important de définir ces groupes (producteurs, consommateurs, décomposeurs), car ce qui indique la stabilité écologique du système est le rapport entre les consommateurs et les producteurs. Cette relation est décrite mathématiquement selon la formule suivante :

$$S = C / P$$

Avec :

S -> la stabilité de l'écosystème

C -> le taux de nourriture consommée par les consommateurs

P -> le taux de nourriture produite par les producteurs

Si la valeur de S est basse, cela veut dire que le système à des difficultés à consommer la valeur produite, à l'inverse si la valeur de S est trop haute ça veut dire qu'il y a trop de consommation par rapport à la production

Pour pouvoir utiliser cette formule, il faut alors définir une unité commune pour les différents groupes du réseau. Dans un tel réseau, c'est l'apport énergétique qui peut être considéré et serait alors exprimé en calories Joules (Kcal) . Cela permet de voir si la

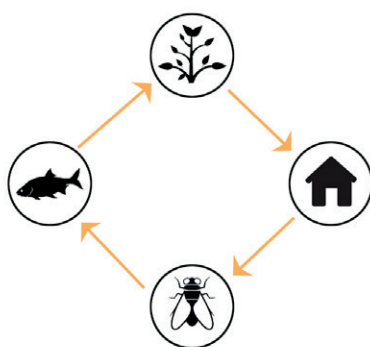


Figure 21 : Schéma de consommation du réseau trophique

quantité consommée par un producteur est équilibrée par rapport à la quantité produite. Ainsi on peut établir si les flux internes aux réseaux sont suffisants, si le réseau est instable écologiquement nous avons alors deux solutions. La première serait d'intégrer un flux extérieur pour pallier au manque de ressource disponible, la seconde est de voir si dans le réseau il n'y a pas un autre élément qui produit la ressource nécessaire. Ainsi on pourrait créer une relation entre un producteur et un consommateur qu'il n'y avait pas avant.

Continuons sur l'exemple de Regen village, prenons la production de biomasse du système d'aquaponie et le besoin alimentaire de 10 habitants. On peut schématiser le système de consommation selon le schéma ci-dessous ou les flèches sont orientées et symbolise le sens du producteur vers le consommateur.

Le système d'aquaponie est cultivé sur 25m² et produit 500Kcal/jour/m² (soit 12 500Kcal) de biomasse et pour cette production consomme 250Kcal/jour/m², le. Dix habitants consomment 20 000Kcal/jour (10x2000Kcal) et produisent 3750 Kcal/jour de biomasse. Si l'on calcule S pour la consommation humaine par rapport à la production du système aquaponique on a :

$$S = C / P$$

$$S = 20\,000 / 12\,500$$

$$S = 20\,000 / 12\,500$$

$$S = 1,6$$

Le rapport entre consommateur et producteur est supérieur à 1 ce qui peut être traduit comme un surplus de consommation par rapport à la quantité produite. Ce calcul permet d'établir le facteur d'instabilité du système. On peut alors voir ailleurs si il n'y a pas un surplus de production dans le système afin de pouvoir équilibrer l'instabilité du système.

Une cinquantaine de poissons produisent 200Kcal/ jour/poisson (soit 10 000Kcal) de biomasse. Le système d'aquaponie est cultivé sur 25m² et produit 500Kcal/ jour/m² (soit 12 500Kcal) de biomasse et pour cette production consomme 250Kcal/jour/m² (soit 6 250Kcal) . Si l'on calcule S pour la consommation du système d'aquaponie par rapport à la production des poissons on a :

$$S = C / P$$

$$S = 6\,250 / 10\,000$$

$$S = 0,625$$

D'après les calculs seulement 62,5% de la biomasse produite par les poissons est consommée dans le système, ainsi 37,5% de cette biomasse peut être distribuée ailleurs dans le système. On pourrait alors réfléchir autrement les interactions présentes dans le système et redistribuer cette biomasse non consommée.

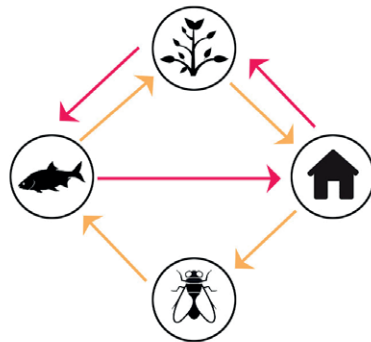


Figure 22 : Schéma de consommation du réseau trophique

© Crédits: Travail de l'auteur

Il est important de prendre en compte qu'à travers cet exemple les valeurs sont totalement arbitraires et fictives et n'expriment pas la réalité. Dans la réalité il faudrait intégrer le fait que toute la biomasse produite par les poissons ne peut être consommée par les humains. Il faut aussi intégrer le facteur temporel qui considère la durée de croissance des éléments afin qu'il arrive à leurs tailles adultes afin de pouvoir être considéré pleinement dans le système. De plus ce travail nécessite une collaboration avec des spécialistes qui peuvent déterminer scientifiquement les quantités précises qui peuvent être considérées dans le système.

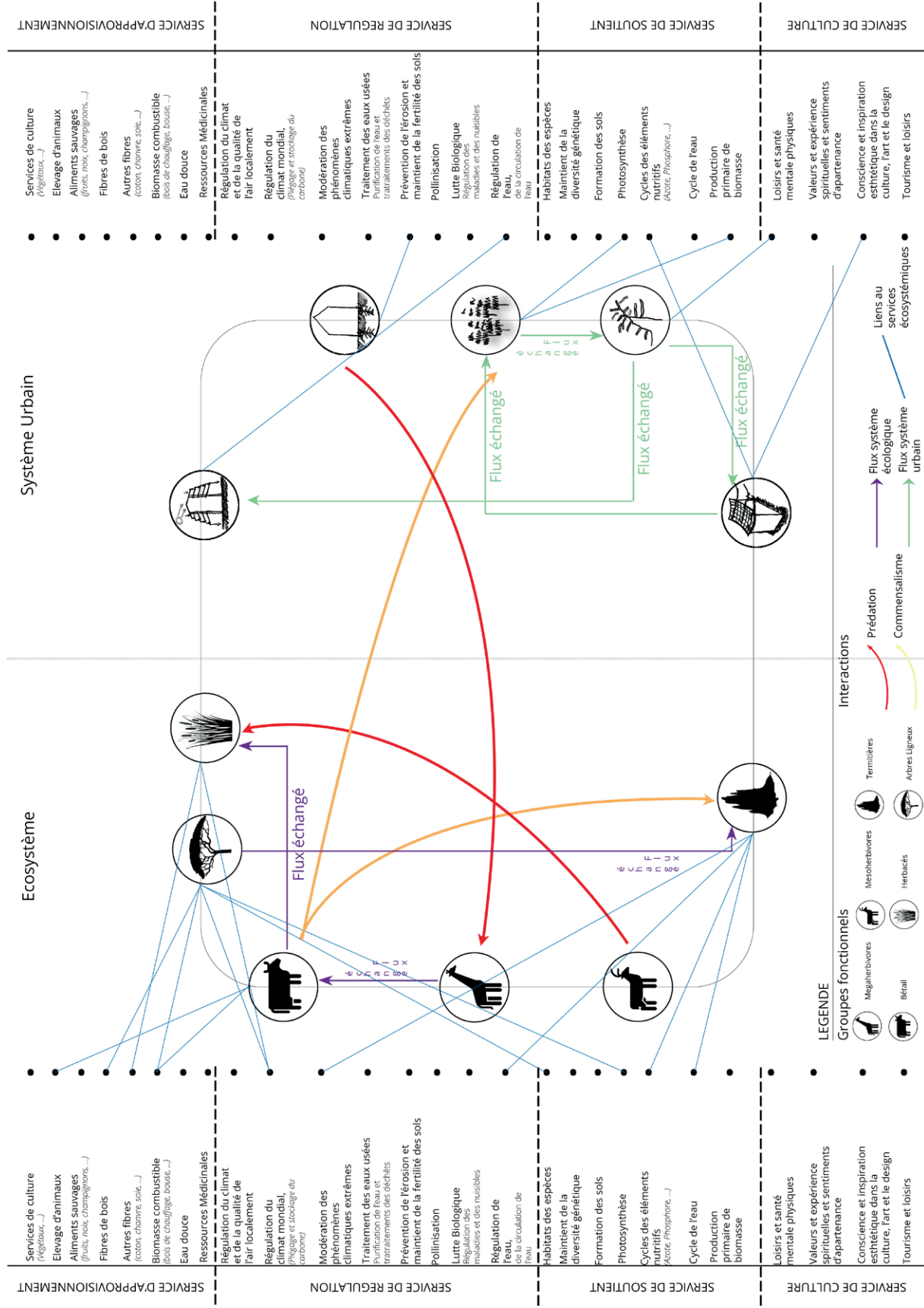


Figure 23 : Diagramme Combiné

© Crédits: Travail de l'auteur

6.2.3- Diagramme combiné

En intégrant toute les démarches successives qui ont été expliquées dans les parties précédentes, on peut faire évoluer le diagramme proposé précédemment afin de visualiser de part et d'autre les deux systèmes mis en relation (système écologique et système urbain).

Dans cet exemple de diagramme, les éléments présentés précédemment sont tous figurés et permettent de voir sur un seul document toutes les composantes qui peuvent intervenir dans l'écosystème. L'utilisation d'un tel outil permet de visualiser simultanément les différents éléments entrant en compte dans un projet urbain.

6.3) APPLICATION À UN ÉCOSYSTÈME

À l'issue d'un cours de projet d'architecture du semestre 9 de Master, nous avons pu expérimenter la démarche biomimétique au niveau écosystème. L'objectif de ce cours était d'analyser un écosystème afin d'en extraire les principes d'organisation pour les transposer à un projet urbain. Le projet urbain prend place dans le cadre de la métropole du Grand Paris et vise à restructurer un quartier de la ville de La Courneuve qui sera influencé par la présence d'une des gares du Grand Paris, celle de la Courneuve au carrefour des six routes.

Lors de ce projet, l'objectif n'était pas d'étudier l'écosystème ou l'on s'implante comme la démarche qui a pu être opérée dans certains projets présents dans les cas d'étude de cette recherche (Lavasa Hill, Lloyd Crossing, Langfang). Dans cet exercice le but était de prendre un écosystème qui nous intéressait et d'en

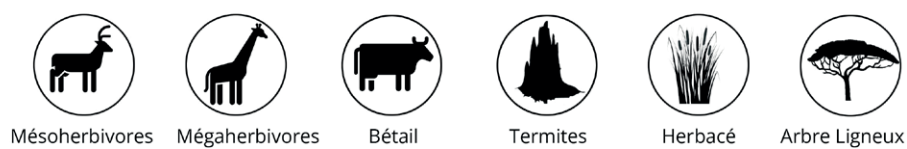


Figure 24 : Pictogrammes représentant les espèces présente dans l'écosystème

© Crédits: Travail de l'auteur

faire l'analyse. Dans mon cas le choix s'est porté sur l'un des cas d'étude choisis pour ce mémoire, car j'avais à ma disposition assez d'informations à l'issue de l'analyse pour les cas d'étude afin de pouvoir bien comprendre le fonctionnement de l'écosystème. L'écosystème d'étude a dans mon cas été celui des monticules de termites dans la savane kenyane.

Analyse de l'écosystème

Mon étude de l'écosystème s'est basée sur des documents de recherche scientifique qui m'ont permis d'établir les caractéristiques principales de l'écosystème. L'un des travaux de recherche était une expérimentation visant à observer l'influence des espèces de l'écosystème sur la présence des termitières. Cette étude s'est réalisée en séparant dix-huit parcelles sur un territoire où il y avait présence de termitières. Ils ont séparé l'accès aux différentes espèces présentes sur le territoire afin d'observer comment les espèces avaient une influence sur la parcelle.

D'après leur étude cela m'a permis de comprendre quelles espèces étaient présentes sur le territoire. Dans une démarche biomimétique telle que celle-ci ou l'objectif est d'observer les principes généraux d'organisations, nous pouvons nous permettre de regrouper les différentes espèces vivantes en groupe de même nature. Ce principe a été appliqué dans le cas de la faune et de la flore.

Selon leurs travaux j'ai pu établir qu'il y avait présence de trois types d'espèces animales principales, les mésoherbivores qui se constituent d'espèces telles que les zèbres, gazelles, ou éland. Ce sont des espèces herbivores qui consomment principalement des herbacés au niveau du sol. Il y a les mégaherbivores avec des espèces tels que les girafes, éléphants, qui consomment des végétaux à la fois au niveau du sol tel que les herbacés, mais aussi des arbres ligneux en l'air. Il y a aussi la présence de bétail avec des bovins de types buffle ou taureau. L'autre espèce animale présente est donc les termites avec leurs termitières qui sont ici l'objet de l'étude.

Dans les espèces végétales nous avons deux catégories de végétations qui sont les herbacés avec des espèces de graminées qui composent la couverture des prairies et les arbres ligneux avec des espèces telles que les acacias qui sont présentes sur le territoire.

L'écosystème fonctionne en réseau d'interdépendance et ainsi les termitières sont largement dépendantes de la biomasse végétale. Par ailleurs la biomasse végétale est-elle impactée par les mammifères herbivores qui modifient la présence, densité et diversité des espèces végétales.

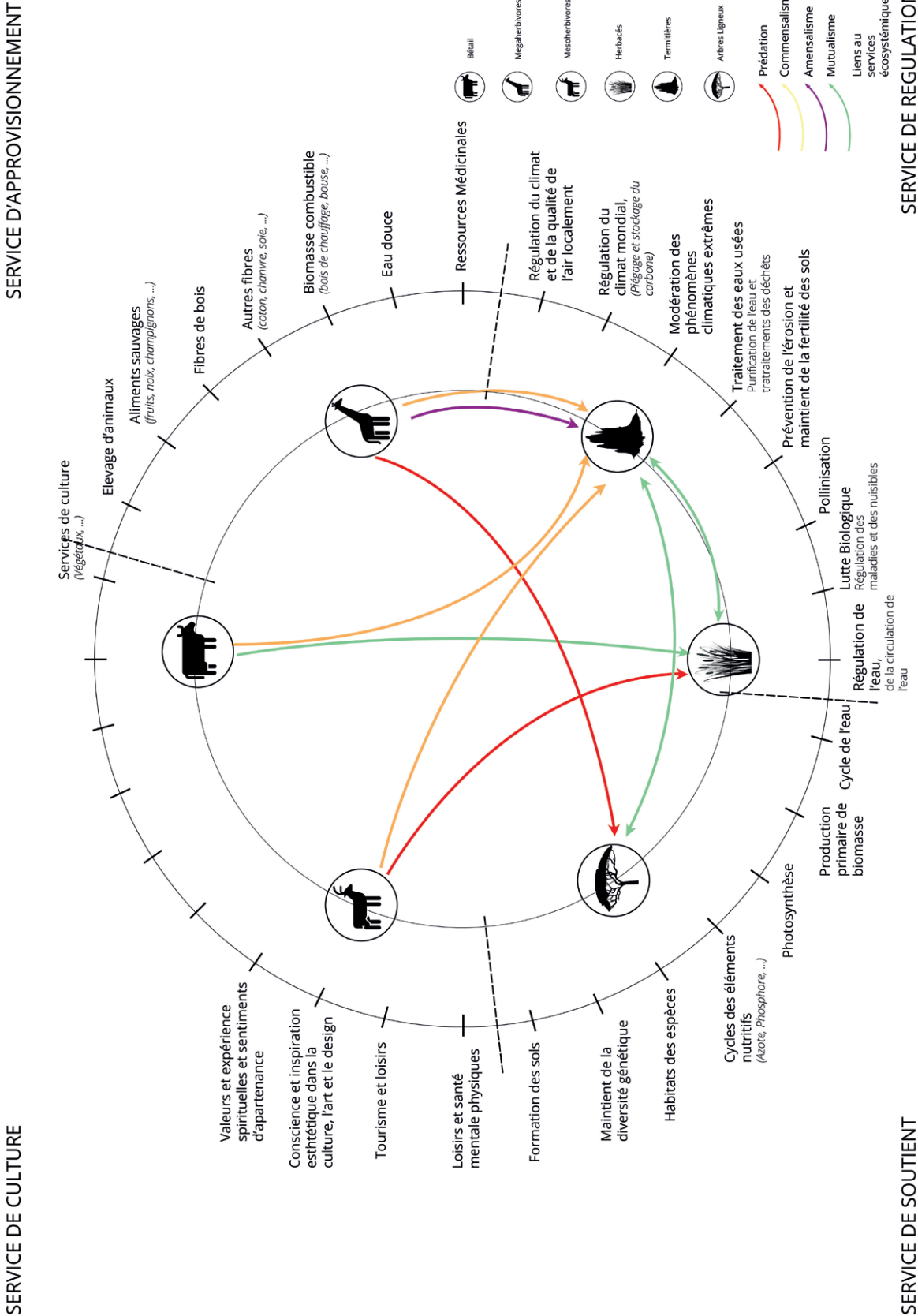


Figure 25 : Diagramme des interactions issu de l'écosystème

© Crédits: Travail de l'auteur

Sachant que les herbivores (Méga et méso) consomment les herbacés et espèces ligneuses on peut établir qu'ils entretiennent une relation de prédation vis-à-vis de ces végétaux. D'autre part, les mégaherbivores consomment à la fois les espèces ligneuses, mais impactent leurs disponibilités de 18%, cela a un impact pour les termites qui sont privés de cette biomasse. D'autant plus que l'étude nous apprend que la densité des termitières est plus abondante quand la densité des arbres ligneux l'est aussi. De cela nous pouvons établir qu'il y a une relation d'amensalisme des mégaherbivores vers les termitières, neutre pour les mégaherbivores et négatif pour les termitières (voir tableau de la partie 4.5). Cependant les termitières profitent de la biomasse ligneuse morte pour se nourrir, de ce fait une relation de commensalisme est aussi entretenue entre les mégaherbivores vis-à-vis des termitières.

L'expérience a aussi permis de montrer que la présence de bétail affectait de 60% la présence des termitières, de par ce constat nous pouvons considérer que le bétail entretient une relation de commensalisme avec les termitières, positif pour ces dernières et neutre pour le bétail.

Concernant les mésoherbivores, une relation de commensalisme peut aussi être établie d'après leurs productions de biomasse lors de leurs rejets d'excréments. Dans ce cas, la relation est neutre pour les mésoherbivores et positive pour les termitières.

Les termitières entretiennent des relations de mutualismes avec les végétaux, car les végétaux apportent la biomasse nécessaire à l'alimentation des termites. Mais dans un autre sens, les termitières permettent aussi aux végétaux de subsister lors d'une période de stress hydrique. Ce phénomène a lieu grâce à l'apport de nutriments, nitrates et phosphores issu de la décomposition des termites. Il est important de relever que cette relation est visible dans une temporalité longue, qui se déroulerait sur une année par exemple.

Dans le cadre de cette analyse ont été considérées uniquement les relations d'interaction directes. On aurait pu aussi considérer que les termitières avaient un impact sur les autres espèces dans la mesure où elles influencent la présence de végétaux qui est elle indispensable à la survie alimentaire des autres espèces. De par ces interactions indirectes, on aurait pu établir la présence d'une relation de commensalisme, neutre pour les termitières et positif pour les espèces animales. Dans une autre mesure, nous aurions aussi pu considérer selon les interactions de

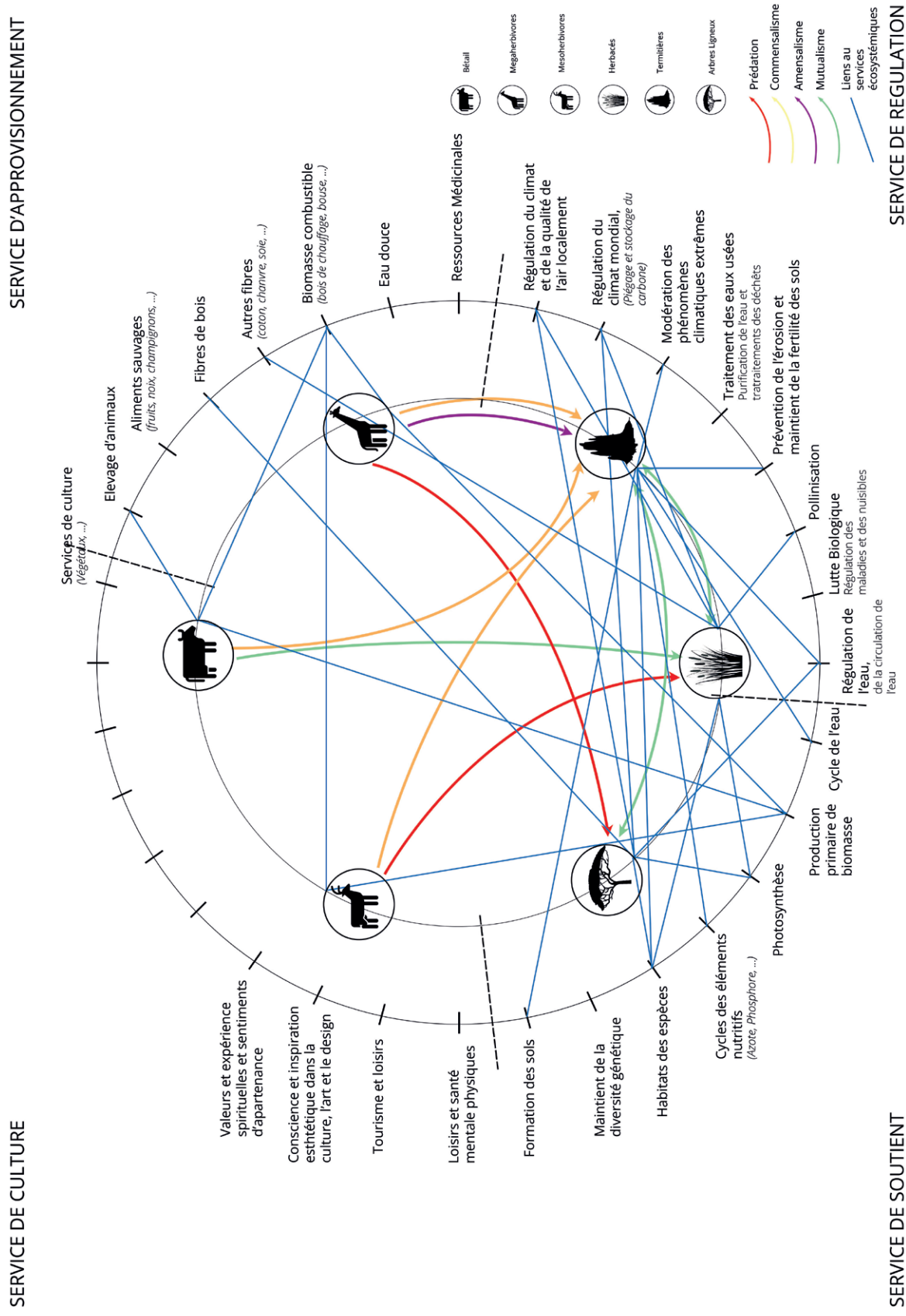


Figure 26 : Diagramme des interactions et des services écosystémiques issu de l'écosystème

© Crédits: Travail de l'auteur

commensalisme allant dans un sens (herbivores vers termitières) et dans l'autre (termitières vers herbivores), une relation de mutualisme ou de symbiose établie entre les espèces.

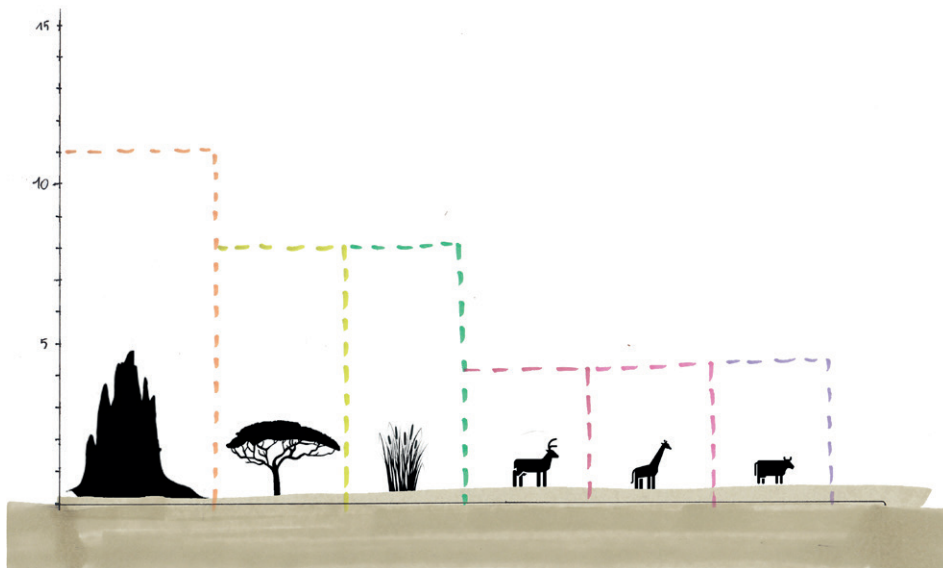


Figure 27 : Schéma du rapport de proportion des espèces avec l'écosystème

© Crédits: Travail de l'auteur

D'après les analyses des interactions, il m'a été permis d'établir l'organisation de ces interactions sur le diagramme ci-dessus.

L'étape suivante de la démarche est de lier les différentes espèces aux services écosystémiques qu'elles maintiennent. Pour expliquer la démarche je vais développer uniquement pour le cas des termitières afin de montrer comment les liens avec les services écosystémiques ont été établis. Pour visualiser les liens qui ont été faits graphiquement, il faut savoir qu'il sont tracés à l'intersection du cercle du pictogramme avec le cercle reliant toutes les espèces.

Dans le cas de la termitière, un lien a été établi avec la prévention de l'érosion et maintien de la fertilité des sols selon la structure de leurs habitats qui permettent de limiter l'érosion grâce à un système de drainage naturel permettant de limiter les inondations au sein de leurs termitières. De plus elles maintiennent la fertilité des sols avec leurs productions de nutriments que nous avons abordés précédemment. Un lien avec la régulation de l'eau et cycle de l'eau a été établi d'après le système de drainage naturel, qui permet aussi de maintenir la circulation de l'eau et ainsi son cycle. Elles maintiennent le cycle des éléments nutritifs d'après leurs productions de nutriment évoqué ci-avant.

En suivant la même démarche de réflexion, nous pouvons ainsi établir le diagramme suivant mettant en relation les différentes espèces avec les services écosystémiques qu'elles maintiennent.

Si l'on regarde ce diagramme d'une autre façon, on pourrait observer le nombre de liens qu'il y a entre les espèces et entre les espèces et les services écosystémiques. Selon cette réflexion nous pouvons voir que les termites maintiennent six liens avec les services écosystémiques et six interactions avec les espèces. On peut réaliser le compte des liens avec services écosystémiques et des interactions de la même manière pour toutes les autres espèces. En établissant de cette manière le décompte des liens et interactions, cela permet de définir le schéma suivant expliquant selon un rapport de proportion entre les différentes espèces.

Ce type de travail permet de voir la place que prennent les espèces dans un écosystème. Ça permet de visualiser les liens qui s'organisent naturellement et qui structurent les mécanismes d'interdépendance ayant lieu dans l'écosystème. Ces relations relatent d'un principe d'organisation au sein d'un écosystème. À ce stade la démarche reste encore purement analytique et ne détermine pas encore d'analogie avec un projet urbain. La projection dans un projet relèverait d'une étape supplémentaire ou l'on interpréterait ce principe d'organisation afin de le transposer dans un cadre urbain. Au moment où ce travail de recherche a été rédigé, le projet urbain n'a pas encore été réalisé, il m'est impossible de montrer dans quelle mesure l'analogie avec cet écosystème pourrait être réalisée.

Regard critique sur la démarche

Travailler avec la méthode développée dans cette recherche pour l'analyse d'un écosystème a permis de faire émerger certaines propriétés de l'écosystème. Cette démarche permet de mieux comprendre comment fonctionne l'écosystème d'étude, mais elle implique d'être remise en question à travers les complications qui ont pu apparaître.

D'après le paragraphe expliquant les relations sur une temporalité longue entre les termitières et les végétaux, cela nous permet de comprendre l'importance du cadre que l'on fixe

pour l'étude de l'écosystème. Ici c'est la temporalité de l'étude qui était importante à fixer afin de voir dans le long terme la relation entretenue par ces deux espèces. En revanche on peut considérer que ce type de critère ne relève pas uniquement de la fonction de l'architecte, mais aussi du travail d'analyse biologique effectué.

Cela nous amène à interroger l'intérêt des connaissances biologiques dans une démarche d'analyse de ce type. Cela nous renvoie ainsi à l'une des clés qui a été soulevé lorsque l'on effectue une démarche de conception dans la systémique, l'interdisciplinarité. Sans ce travail de recherche scientifique, l'architecte ne peut comprendre le fonctionnement de l'écosystème. C'est grâce à l'accès à la documentation sur l'écosystème ou la discussion avec des spécialistes du sujet que l'architecte peut comprendre les principes d'organisation de l'écosystème. Il apparaît alors indispensable d'avoir un travail collaboratif pour pouvoir réaliser la démarche.

Un des paramètres qui doit être prendre en compte lors d'une analyse de ce type est la durée de mise en place de la démarche. Il peut être très chronophage de comprendre le fonctionnement et les différentes relations qui ont lieu entre les différentes espèces d'un écosystème.

De plus si cette démarche prend du temps elle n'est pas forcément rentabilisée étant donné qu'il peut être compliqué de transposer les principes d'organisation de l'écosystème à un autre contexte, celui du projet urbain. En ce sens, même nous avons pu saisir des principes d'organisation d'un écosystème, un projet urbain ne répond pas forcément aux mêmes besoins que l'écosystème étudié. Cela pourrait venir du fait qu'il ne s'agit pas d'un écosystème en lien avec l'environnement du projet urbain.

Cependant cette démarche a quand même permis de faire émerger des principes d'organisation, dans une méthode biomimétique comprendre ces principes d'organisation pourrait permettre d'être interprétée par l'architecte. Nous avons alors une source d'inspiration qui peut faire naître une démarche de projet, un discours de l'architecte qui est nourri par un écosystème.

Vertical line segment on the left side of the page.

Vertical line segment on the left side of the page.

VII CONCLUSION

Ce travail de recherche à permis de voir comment la ville peut être réfléchi comme un ensemble qui se pense comme la nature, avec la nature. Repenser cette ville dans cette étroite relation nature/architecture permettrait de concrétiser le besoin d'une ville verte et harmonieuse comme ont pu le rêver des artistes comme Schuiten. On a pu voir à travers les outils d'évaluation écologiques que la durabilité dépend du référentiel que l'on fournit, ainsi la ville durable d'hier n'est pas la même que celle de demain. Si le référentiel à pu évoluer au cours du temps, la vraie ville écologique serait alors peut-être celle qui vit comme les écosystèmes et qui de par son organisation se structure naturellement dans la durabilité.

C'est à travers cette réflexion que nous avons pu voir en quoi consistait de s'inspirer du vivant avec la démarche biomimétique. Bien que de la nature les écosystèmes s'organisent systématiquement de manière efficace, nous avons pu voir qu'une telle approche n'était pas pour nous en tant que concepteur une attitude spontanée. Nous comprenons ainsi que ce n'est pas parce que nous faisons parti du vivant que nous savons penser comme le vivant.

L'enjeu qui apparaît dans une démarche écosystémique est de comprendre la place que prennent chaque éléments de l'écosystème. Cette place et ce rôle particulier que prennent les différents sous-ensembles de l'écosystème font naître des principes d'organisation et qui permettent de faire fonctionner l'écosystème comme un ensemble cohérent, stable et pérenne. Les interactions entre les sous-ensemble permettent de créer des émergences qui enrichissent le système, c'est en cela que nous avons pu faire apparaître des points communs entre la démarche écosystémique et la systémique.

La systémique nous a appris comment aborder un problème issu de la complexité, ce domaine de la conception est née dans la mesure où les concepteurs ont compris qu'ils ne pouvaient pas tout anticiper. En acceptant ce principe, les concepteurs cherchent à faire converger les divers éléments du systèmes vers un objectif. En adoptant cette démarche, même si nous ne maîtrisons pas l'ensemble des effets du système, nous posons comme ambitions de faire converger la démarche vers la durabilité.

Dans un processus d'analogie des écosystèmes avec un système urbain, nous pouvons apparenter les fonctions urbaines comme

étant les sous-ensembles du système. Ce serait alors le rôle que prennent les fonctions urbaines dans le système qui peuvent être réfléchies comme éléments structurant l'écosystème urbain. Que ce soit les réseaux (flux routiers, énergétique, eau, ...) ou encore les structures des bâtiments (fondations, toitures,...), Les cas d'études nous ont permis de voir qu'en adoptant de tel stratégie biomimétique on pouvait améliorer les performances écologiques d'un système urbain.

Ces cas ont montré une marge de progrès par rapport à un référentiel qui est celui d'un écosystème perturbé. Si l'on se réfère pour autant aux critères de performances écologiques ces projets qui ont été étudiés peinent encore à atteindre le niveau de performance d'un écosystème indigène. De plus nous avons pu voir dans les analyse comparatives des différent projets que ce type de démarche pouvait prendre beaucoup de temps à être réalisée. Ce type de démarche de conception prend du temps à la fois par les nombreuses compétences qui nécessairement besoin d'être mise en communs. Mais aussi par le côté analytique que demande cette démarche car beaucoup de données sont à prendre en compte.

L'une des limites de ce type de processus de conception serait alors la capacité des agences d'architectures à se donner le temps d'adopter cette démarche de conception. Effectivement dans une profession où l'on veut des projets conçus dans des laps de temps de plus en plus court, il pourrait paraître contradictoire d'employer une démarche nécessitant plusieurs années d'étude avant sa réalisation. Cependant c'est bien l'une des choses que nous apprend la nature dans la quête de la durabilité, le temps que prends un écosystème pour trouver son état de stabilité et d'équilibre peut s'étaler jusqu'à plusieurs siècles.

Par ailleurs avant de pouvoir confirmer que l'outil développé dans cette recherche constitue une démarche viable, il faudrait pouvoir l'approfondir dans ses différentes composante. De plus il faudrait pouvoir l'appliquer de manière prospective à des projets urbains concrets afin de visualiser les liens établis au sein du projet et ensuite voir si l'outil permettrait d'établir de nouveaux liens afin d'améliorer la durabilité.

La nature a encore beaucoup à nous apprendre dans la manière dont on conçoit, continuer à l'observer, s'en inspirer et réfléchir nos villes comme des écosystème constitue une réponse intéressante à la durabilité. En revanche à la différence

des écosystèmes, la ville relève d'un processus encore plus complexes de par l'exercice de la vie humaine qui s'y développe. A la fois par cette activité mais aussi par la présence déjà établie des ville , l'intégration du processus biomimétique se retrouve encore plus complexifié.

C'est en intégrant toutes la complexité de ces paramètres à la démarche et en réussissant développer la caractère régénératifs des écosystèmes aux systèmes urbains préexistants, que nous pourrions commencer à atteindre les enjeux de durabilités que nos professions de bâtisseurs doivent atteindre.

Vertical line segment on the left side of the page.

Vertical line segment on the left side of the page.

VIII BIBLIOGRAPHIE

Littérature

Adrien Faria.

Villes des quantifiables : fiction, espace, et information à l'ère de la ville intelligente. 2015

Alexandra Goudard.

Fonctionnement des écosystèmes et invasions biologiques : importance de la biodiversité et des interactions spécifique. 2007

Alix Goguey, Isabel Qamar, Katarzyna Stawarz, Simon Robinson, Céline Coutrix, Anne Roudaut.

Morphino: A Nature-Inspired Tool for the Design of Shape-Changing Interfaces. 2020

André Lannoy, Yves Mérian, Guy Planchette, Myriam Merad.

Approche Analytique et Approche systémique pour la maîtrise des risques. 21ème Congrès de Maîtrise des Risques et Sureté de Fonctionnement. 2018

Anne Jégou, Cédissia About de Chastenet, Cécile Guyot, Cécile Judéaux, François-Xavier Monaco et Pierre Pech, Vincent Augiseau.

« L'évaluation par indicateurs : un outil nécessaire d'aménagement urbain durable ? ». 2012

Aurore Cambien.

Une introduction à l'approche systémique : appréhender la complexité. 2007

Astrid Layton, Tirth Dave.

Procedia CIRP. Bio-inspired design for resilient water distribution network. 2019

Bertrand Cassaigne.

La ville durable. Revue projet. 2009

Cécile Rotereau.

La représentation du végétal dans l'art contemporain. 2018

Claire Bailly, Jean Magerand.

Vers les analyses algorithmiques de l'espace et des territoires. 2018

Claude Elwood Shannon.

A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical. 1948

Collectif Loco.

Biomimétisme, Science, Design et Architecture. 2017

Corinna Riginos, Grace K. Charles, Kari E. Veblen, Duncan M. Kimuyu, Truman P. Young.

Termite mound cover and abundance respond to herbivore-mediated biotic changes in a Kenyan savanna. 2021

Cyria Emelianoff.

Urbanisme Durable. Presse de Sciences Po- Ecologies & Politique. 2011

Edgar Morin.

Introduction à la pensée complexe. 2005

Emmanuel Raufflet, Philippe Terrier, Mathias Glaus.

Biomimétisme : outils pour une démarche écoinnovante en ingénierie. 2017

François Guéna, Natasha Chayaamor-Heil, et Nazila Hannachi-Belkadi.

Biomimétisme en architecture. État, méthodes et outils. 2018

Floriane de Roover.

Le rapport à la terre et au ciel. 2018

François Varin,

Vernacular architecture, ICOMOS. L'architecture vernaculaire : une définition difficile à cerner. 2011

Frédéric Héran.

La ville durable, nouveau modèle urbain ou changement de paradigme ? Métropolitiques. 2013

Giulia Giacchè, Jean-Baptiste Bahers.

Echelles territoriales et politiques du métabolisme urbain. 2018

Grégory Mollot.

Régulations biologiques de Cosmopolites sordidus dans le réseau trophique des bananeraies, Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse. 2012

Jacques-Francois Thisse.

Regards socioéconomiques sur la structuration de la ville. 1996

Janine M. Benyus.

Biomimicry, Innovation inspired by nature. 1998

Jean Luc Whippler.

Une approche paradigmatique de la conception architecturale des systèmes artificiels complexes. 2018

Jean-Pierre Chupin.

Analogie et Théorie en Architecture. 2013

Laurent Baechler.

La bonne gestion de l'eau : un enjeu majeur du développement durable. 2012

Ludwig von Bertalanffy.

General System Theory. 1968

Maibritt Pedersen Zari.

Ecosystem services analysis: incorporating an understanding of ecosystem services into built environment design and materials selection. 2017

Maibritt Pedersen Zari.

Regenerative urban design and ecosystem biomimicry. 2018

Marine Delbreil-Bergès.

Le biomimétisme en architecture : analyse d'une démarche en pleine émergence. Architecture, aménagement de l'espace. 2015

Maryline di Nardo.

Métabolisme urbain et résilience : articulations théoriques. Les cahiers du développement urbain durable. 2016

Maude Ligier, Mathieu Triclot.

L'art cybernétique de Nicolas Schöffer. 2018

Maurice Schwab.

La prolifération des labels environnementaux, vecteur de l'appauvrissement de l'architecture en France. 2015

Michael Pawlyn.

Biomimétisme et architecture. 2016

Monica Castro, Xavier Arnauld de Sartre.

Chapitre 2 De la biodiversité aux services écosystémiques : Approche quantitative de la généalogie d'un dispositif. 2014

Nicholas Rawitscher.

Computational Matters. 2017

Nicolas Prudhomme.

L'habitat, ses labellisations et ses certifications, Fédération française du bâtiment, « Constructif ». 2021

Norbert Wiener.

Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine. 1948

Richard James Mccowan.

Biomimicry + Urban Design. 2012

Sabine Barles.

Comprendre et maîtriser le métabolisme urbains et l'empreinte. 2008

Sabine Barles.

Ecologie territoriale et métabolisme urbain : quelques enjeux de la transition socioécologique. 2017

Serge Frontier.

Que sais-je , Les écosystèmes. 1999

Stewen Corvez.

Biomorphisme 1920-1950, Critique d'art. 2020

Sylvain Champy.

L'architecture symbiotique. L'approche systémique au service de la durabilité. 2020

Taous Messaoudi.

L'architecture vernaculaire une solution durable. 2018

Tarik Chekchak, Karim Lapp.

Biomimétisme, la nécessaire resynchronisation de l'économie avec le vivant, Ecologie & Politique. 2011

Thibaut Houette.

La gestion de l'eau en architecture : une approche biomimétique vers la durabilité. 2017

Internet

Biomimexpo', 6ème éditions, (2021), Cité des Sciences et de l'industrie

La ville biomimétique, la ville de vie(s) et d'avenir ?

Architectes.org

LEED RATING SYSTEM

Escsi.org

Les 14 cibles de la démarche HQE

Projetvert.fr

CEEBIOS

Websérie Nature = Futur
<https://images.cnrs.fr/serie/4896>

Centre FRAC

<https://www.frac-centre.fr/collection-art-architecture/rub/rubauteurs-58.html?authID=253>

https://www.frac-centre.fr/_en/art-and-architecture-collection/rub/rubauthors-316.html?authID=254

Métabolisme Urbain de la ville de Paris

<http://metabolisme.paris.fr/#article/matter/paris>

Google Ngram Viewer

<https://books.google.com/ngrams>

L'art Nouveau en 3 minutes

<https://www.beauxarts.com/grand-format/lart-nouveau-en-3-minutes/>

Vertical line segment on the left side of the page.

Vertical line segment on the left side of the page.

IX ANNEXES

Les monticules des termitières dans le Sahara (qui optimisent l'organisation spatiale pour l'accès aux ressources & support de re-végétalisation de l'écosystème suite à un stress hydrique) :

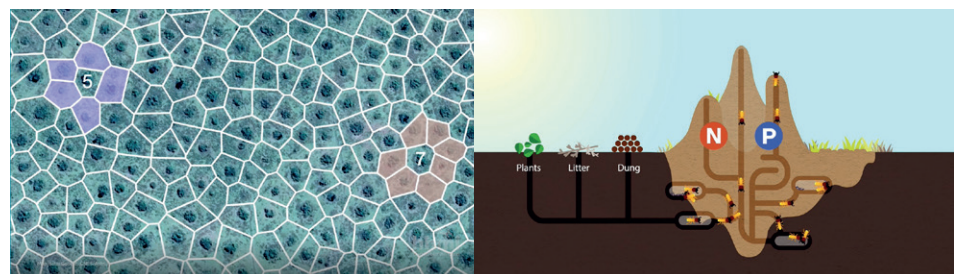
Mot-Clés : Résilience, Boucle fermé, optimisation spatiale,

Rôle :

- Par les galeries créées sous terre et leurs consommation de nutriment :
- Elles produisent des galeries qui aère le sol et lui permette de s'humidifier
- Par leurs déchets organiques produisent du Phosphore et du Nitrogène qui permettent aux plantes de subsister durant les périodes de stress hydrique

Impact sur l'organisation :

- Pour un accès optimal aux ressources :
- Elles remplissent l'espace de la manière la plus optimale possible (6 voisins en moyenne)
- Si l'on interprète mathématiquement , elles s'établissent selon un diagramme de Voronoï
- Créent un motif d'optimisation particulier



Capacité :

- Optimisation de l'espace en fonction des ressources et de la taille de leurs architectures(monticules)
- Optimisation du réseau de transport sous-terrain
- Support de résilience de l'écosystème
- Maintien de la végétation en temps de stress écologiques (stress hydrique, condition arides, ...)
- En conservant une partie de l'écosystème sur leurs monticules, les termitières offrent un support pour le redéploiement de cet écosystème

Source :

AskNature Mounds Maximize Ecosystem
Productivity : (<https://asknature.org/strategy/mounds-maximize-ecosystem-productivity/>)
Analyzing Patterns in the Savanna Landscape |
HHMI BioInteractive Video (<https://www.youtube.com/watch?v=nJGpABrEatc>)
How Termites Enrich Ecosystems | HHMI
BioInteractive Video

Lavasa Hill City, HOK Architects : Par l'analyse des services écosystémiques comment assurer le fonctionnement écologique de la zone.

Mots-Clés : Ecosystèmes, Bio-inspiration ,

Données du projet :

Superficie:	≈73 000 000m ²
Année de planification:	2008
Statut :	Réalisé
Localisation :	Lavasa city, Inde

Dans une logique écosystémique le projet doit permettre à la zone de conserver son fonctionnement sans être modifiée. A la fois en respectant ce qu'est le site actuellement mais aussi en lui permettant de se régénérer pour retrouver les capacités et qualités qu'il avait avant. Ce projet traite cette problématique à travers l'analyse des services écosystémiques.

Services écosystémiques :

- Collecte stockage de l'eau
- Apports et réflexion solaire
- Séquestration du Carbone
- Filtration de l'eau
- Evapo-transpiration
- Cycle de l'azote et du phosphore

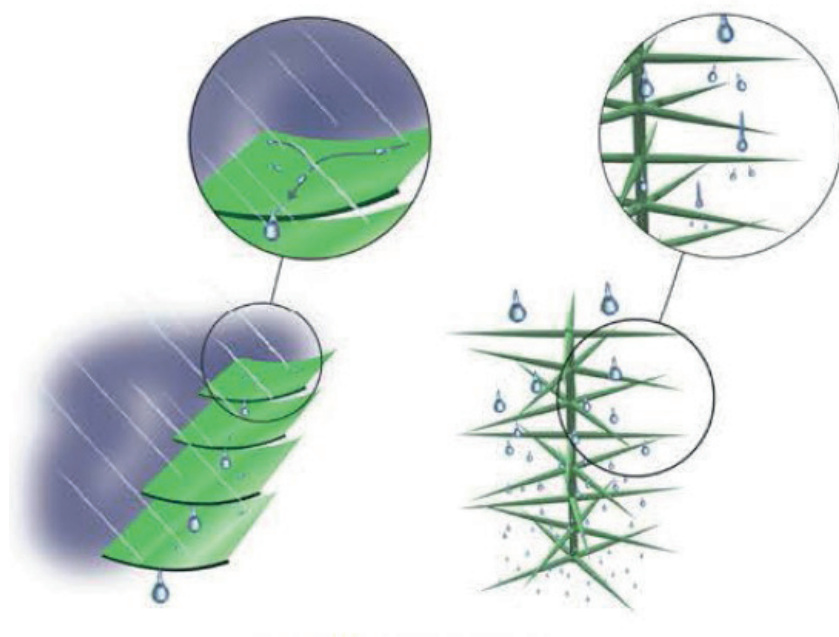
Rôle :

- Restaurer les terres précédemment déboisées.
- Réduire les émissions carbone
- Réduire la consommation d'eau potable
- Réduire les déchets mis en décharge



Impact sur l'organisation :

- 1 Forme du toit (Fig. 1)
 - S'inspire des feuilles de l'arbre ManikaraDes lignes de toitures qui favorisent la turbulence du vent
- 2 Forme des fondations (fig 2)
 - Fondation irrégulières, s'inspirent du système racinaire du Manikara
- 3 Conception des routes pour la gestion de gros volumes d'eau (mousson)
 - Routes avec des sinuosités en surface inspirés des fourmilières



Capacité :

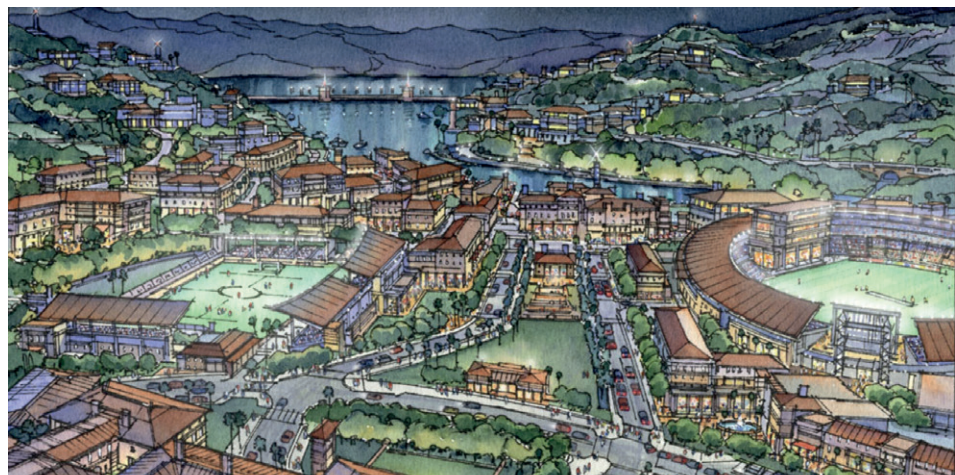
- 1- Maintenir l'évaporation de l'eau reçu en temps de mousson. Évacuer l'eau en conservant les propriétés d'évaporation présente sur site en maintenant les turbulences liées au vent. Réduire l'érosion en limitant l'énergie cinétique des gouttes d'eau tombant de haut qui érodent le sol.
- 2 - Limiter l'érosion, stabiliser/fixer la terre , à l'aide de la structure racinaire des arbres Manikara (Fig. 2). Ces racines participent à la structure de l'écosystème
- 3 - Laisser pénétrer l'eau dans le sol tout étant résistant aux

forces engendrées par l'écoulement de forte pluie type Mousson

Résultats du projet & note critique :

- Restauration de 70 % des terres précédemment déboisées
- Réduction de 30 % des émissions de carbone
- Réduction de 65 % de la consommation d'eau potable
- Une réduction de 95 % des déchets mis en décharge

Le projet de Lavasa Hill est à la fois très novateur pour son époque (2008) mais aussi l'un des seuls projet de référence en matière de conception biomimétique écosystémique. C'est un projet qui a fait évoluer les études sur le biomimétisme, de cela on a envie de s'interroger dans quel mesure ce projet a-t-il nourrit la connaissance en méthode biomimétique ? A travers la réalisation de HOK on a pu voir que la méthode de conception biomimétique au niveau écosystème est très coûteuse en terme de temps. Ce sont des projets qui nécessitent des étapes d'étude et de conseil préalable longues (Audit de Biomimicry 3.8), mais qui par la suite en terme de réduction énergétique offre des résultats intéressants. Et qui permet un gain en durabilité du site non négligeable, par exemple lors du maintien des sols inspirés des structures racinaires du Manikara, ce sont des données qui restent difficiles à chiffrer mais qui peuvent être considérées comme bénéfiques pour l'évolution de l'écosystème.



Regen Village, Effekt Architects : Faire évoluer les modes de conceptions de nos villes d'un mode ego-centrée à des villes éco-centrées. Réflexion autour de ville fonctionnant en autosuffisance.

Mots-clés : Autosuffisance, Circuits en boucle fermées, Linéaire à circulaire, Réseau trophique, Regenerative design

Données du projet :

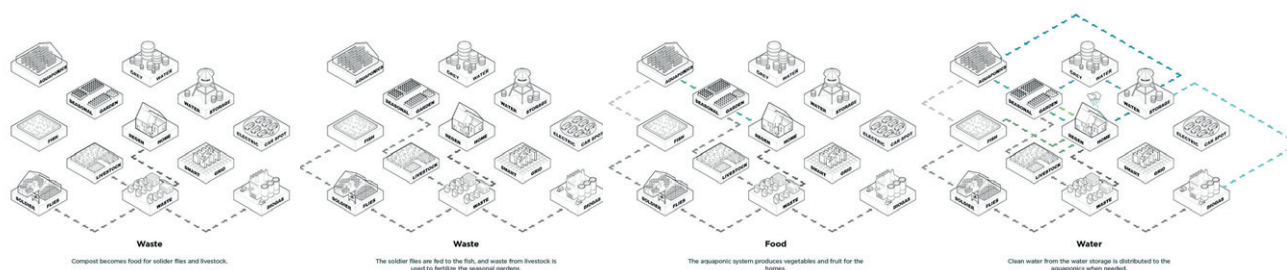
Superficie:	15 500m ²
Année de planification:	2016
Statut :	En cours d'étude
Localisation :	Almere, Pays-Bas.
	Puis d'autres doivent naître par la suite à travers le monde

Rôle :

- Fonctionner en autosuffisance
- Réduire les dépenses énergétiques liées aux importations/ exportations dans les villes
- Fonctionner en réseau d'échanges pour transformer les flux de déchets en produit de valeur pour un autre acteur du réseau
- Régénérer l'écosystème et permettre une cohabitation avec la nature

Impact sur l'organisation :

- 1 Organisation en plan concentrique, logements disposés autour de l'élément centrale du système ; La production alimentaire
- 2 Les logements sont conçu pour abriter des familles de 3 personnes minimum
- 3 Unités de logements ont une enveloppe de verre pour prolonger la saison de production alimentaire et d'usages des espaces extérieurs
- 4 Espaces sociaux de partage entre les habitations pour favoriser le bon fonctionnement du village



Résultats du projet & note critique :

Le projet de Regen Village est encore en cours de développement, actuellement c'est 22 000 familles qui sont inscrites au programme de développement du projet pour pouvoir vivre dans la communauté des Regen village.

Le but de ce village autosuffisant est d'offrir de nouvelles perspectives sur la manière d'habiter à l'avenir. A la différence des autres cas d'étude celui-ci ne porte pas l'ambition d'être biomimétique, mais ce qui intéressant c'est de comprendre la manière dont il a été conçu. Sans partir de modèle biomimétique on observe qu'il s'organise de manière similaire à un écosystème, avec un réseau d'échanges entre différents acteurs qui compose le système et dans une logique de réseau trophique ou tout déchet d'un acteur du système est valorisé pour devenir matière première de d'autres acteurs de ce même système.

Le processus de conception est fondé par deux éléments principaux ;

- Les données de consommation en ressource dans le monde qui résument une réalité peu écologique (transport de nourriture, surexploitation des terres, pollution des sols, ...)
- Les besoins globaux d'une famille de trois personnes (Habitat, Besoins alimentaires, consommation énergétique, consommation en eau), nécessitant pour tout cela une superficie de 639m²

De ça l'agence Effekt développe tout son modèle de village en regroupant tous ces besoins au même endroit et par une mise en relation de ces derniers. Cependant ils déterminent qu'un village doit faire 15450m², comment peut-on établir cette donnée en sachant qu'un village est amené à croître et évoluer dans le temps. Par ailleurs on observe de par son concept d'autosuffisance, ce type projet se retrouve très centré sur lui-même, ainsi dans une logique d'insertion urbaine comment ce type de village permet-il les connexions avec son contexte ? Effectivement un écosystème offre des possibilités d'intégration à ce qui l'entoure. Un autre enjeu de conception est de permettre une gestion agricole prolongée dans l'année par une gestion du climat, cela se fait avec l'usage prépondérant de serre en verre. Ce projet cherche à limiter les dépenses énergétique en réduisant au mieux les importations, mais l'emploi du verre est-il une solution réellement écologique compte de son coût énergétique de fabrication ? De plus à défaut de prolonger le climat estival par l'effet de serre, le verre ne crée-t-il pas des îlots de chaleur en été ?

Hammarby Sjöstad, Tangbom Architects : Hammarby est issu du développement de la ville de Stockholm, le modèle durable de ce quartier à voulu appliquer les principes de synergies et de réemploi afin de développer un modèle de quartier durable.

Mots-clés : Autosuffisance, Réemploi, Gestion durable des ressources,

Données du projet :

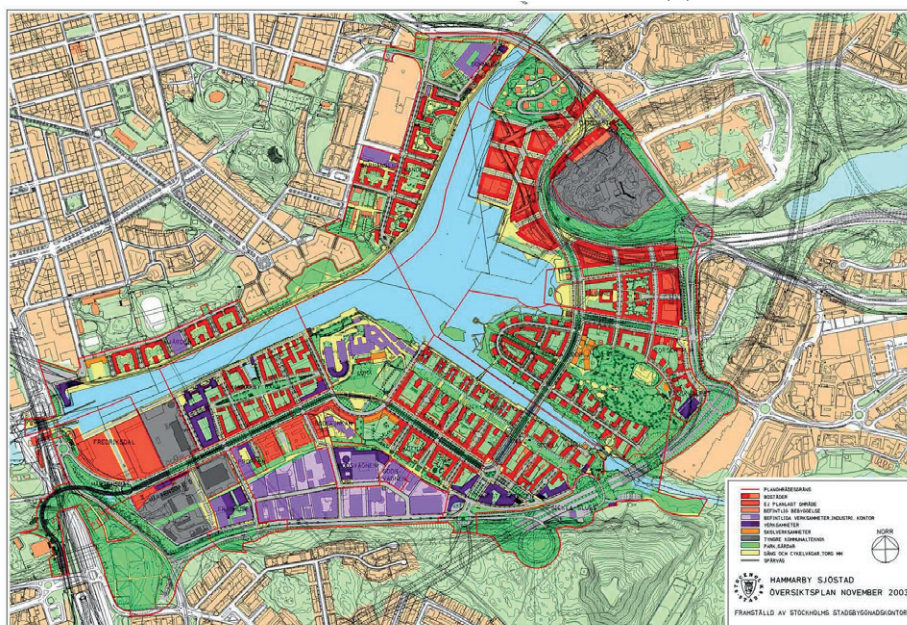
Superficie:	2 000 000m ²
Année de planification:	1991-2008
Statut :	Réalisé
Localisation :	Stockholm, Suède

Rôle & objectifs:

- Fonctionner en autosuffisance
- Réfléchir de la cellule à l'écosystème de la même manière
- Favoriser le réemploi afin de limiter les dépenses énergétiques
- Production énergétique durable
- Gestion cyclique de l'eau
- Développer une ville poreuse et inclusive

Impact sur l'organisation :

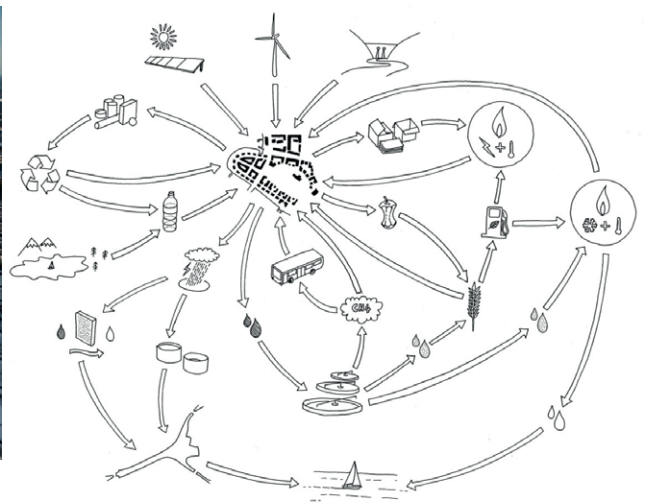
- 1 Définition des formes urbaine par le plan directeur, comme prolongement de la ville déjà existante
- 2 Rédaction de règle de développement urbain (Extraction des matériaux présent sur site, Bois traité non réutilisable pour le projet, Cuivre non utilisable pour les canalisation, ...)
- 3 Les limites du projets sont organisées de manière à se connecter avec l'existant ou un futur développement.



Hammarby apparaît aujourd'hui comme une figure de référence dans les projets urbains durables et bio inspirés. Il découle d'une planification ayant commencé il y a longtemps (1991) et étant déjà été réalisé ce projet à permit à la ville de Stockholm de se placer en tant que capitale Européenne verte, ceci a été permit car ce projet est actuellement sortit de terre et a montrer ses bénéfices en termes de durabilité ;

- Baisse des émissions de CO2 de 60 %
- Réduction de la consommation en eau potable de 60 %
- Consommation énergétique réduite de 40 %
- Part des trajets des citoyens via des moyens de transport durable 90 %
- Proportion de véhicules roulant au biogaz ou à l'électrique 25 %

Le quartier d'Hammarby présente ainsi des résultats intéressant, cependant au niveau social c'est projet qui a eu du mal à montrer ses qualités car la mixité social y est très faible. Ce problème est lié au fait que le quartier à su montrer ses qualités urbanistiques ce qui a largement attiré une classe social aisé, la planification de ce quartier a donner lieu à une gentrification. Si l'on rapproche ce phénomène à une biomimétisme, on pourra observer que dans la nature il n'y a pas de phénomènes d'exclusion d'acteur qui veulent prendre part au système. De manière générale ce projet offre une perspective intéressante sur l'intégration d'un projet biomimétique dans un milieu urbain dense. Les projets qui seraient issu du biomimétisme écosystémique ne peuvent être réfléchit de manière isolé, il faut que ces projets ai pour ambition de pouvoir s'adapter à différent contexte urbain et de rendre accessible les bénéfices qu'ils génèrent au sein de l'écosystème à son environnement.



L'école de la biodiversité, ChartierDalix : Cette école s'inscrit dans un réseau de biodiversité conçu dans le développement d'un nouveau quartier de Boulogne. En dehors d'une réflexion biomimétique ce projet reste convaincant à propos de la conception écosystémique.

Mots-clés : Biodiversité, Ecosystème, Régénératif, Paysage primaire,

Données du projet :

Superficie:	6 766m ²
Année de planification:	2014
Statut :	Réalisé
Localisation :	Boulogne Billancourt, France (92)

Rôle & objectifs:

- Développer un paysage primaire qui puise dans son territoire originel
- Régénérer l'écosystème
- Catalyser la biodiversité intégrée à un plan directeur Labellisation de durabilité (HQE)
- Proposer un modèle éducatif sur les écosystèmes afin de sensibiliser les générations à la biodiversité

Impact sur l'organisation :

- 1 Concevoir une structure qui permet d'accueillir les besoins nutritifs d'une forêt.
- 2 Adapter la forme de la façade afin d'en permettre l'appropriation par les oiseaux
- 3 Générer une forme de bâtiment permettant l'accès à la biodiversité en place sur l'édifice



Résultats du projet & note critique :

Cette école a rapidement suscité l'intérêt des architectes pour l'accueil de la biodiversité, plutôt que d'abord l'architecture et la biodiversité séparément, les concepteurs ont choisi d'abord les différents éléments du programme comme un système traitant conjointement les différents éléments du programme. Quatre ans après la réalisation du projet des résultats de régénération de la biodiversité sont déjà là :

- Le nombre d'espèce végétale a triplé
- Les insectes sont largement présents
- Présence de plus de 20 espèces d'oiseaux
- Présence de 250 espèces de plantes locales
- Un inventaire faunistique sera réalisé prochainement

A défaut de fonctionner comme un projet biomimétique, de par ses résultats ce projet relate une proposition intéressante sur l'intégration d'écosystème en ville. Il reste cependant important de rester critique à l'égard de ce type projet, ayant régénération de l'écosystème concluante, ce projet offre un bilan énergétique conséquent de par l'utilisation massive du béton (façade, structure, ...) , pourrions-nous développer le même type de projet en ayant une réflexion sur la durabilité des matériaux?

Ce modèle d'école offre une réponse intéressante pour la pédagogie et l'augmentation du capital vert dans nos villes , il serait alors intéressant de voir l'influence d'une pensée écosystémique sur toute la ZAC dont cette école est issue, cela amplifierait la portée et les échanges permis par cette école et son écosystème.



Lloyd Crossing Project, Mithun: Ce projet prend place dans la ville de Portland aux Etats-Unis, cette planification urbaine prévoit de ramener la performance environnementale de la forêt vierge qui était présente sur le site avant.

Mots-clés : Autosuffisance, Réemploi, Gestion durable des ressources,

Données du projet :

Superficie:	2 438 400m ²
Année de planification:	2004
Statut :	En étude
Localisation :	Portland, Etats-Unis

Rôle & objectifs:

- Offrir une gestion durable et optimisée de l'eau selon les besoins du site
- Régénérer l'écosystème présent
- Utiliser des matériaux renouvelable
- Acquérir le label LEED platine
- Offrir un rendement économique rendant le projet viable

Impact sur l'organisation :

- 1 Développer un plan urbain adapté à la grande hauteur des immeubles prévu afin de laisser un ensoleillement adapté à la production énergétique
- 2 Développer un plan urbain poreux qui permet la perméabilité des sols et la présence d'espace vert afin de restaurer les services écosystémique du site
- 3 Intégrer des systèmes de gestion de l'eau fonctionnant en synergie dans le quartier (bassin de rétention d'eau de pluie, eaux noires traités naturellement, ...)
- 4 Produire un réseau collaboratif de distribution de chaleur afin de minimiser les pertes d'énergies

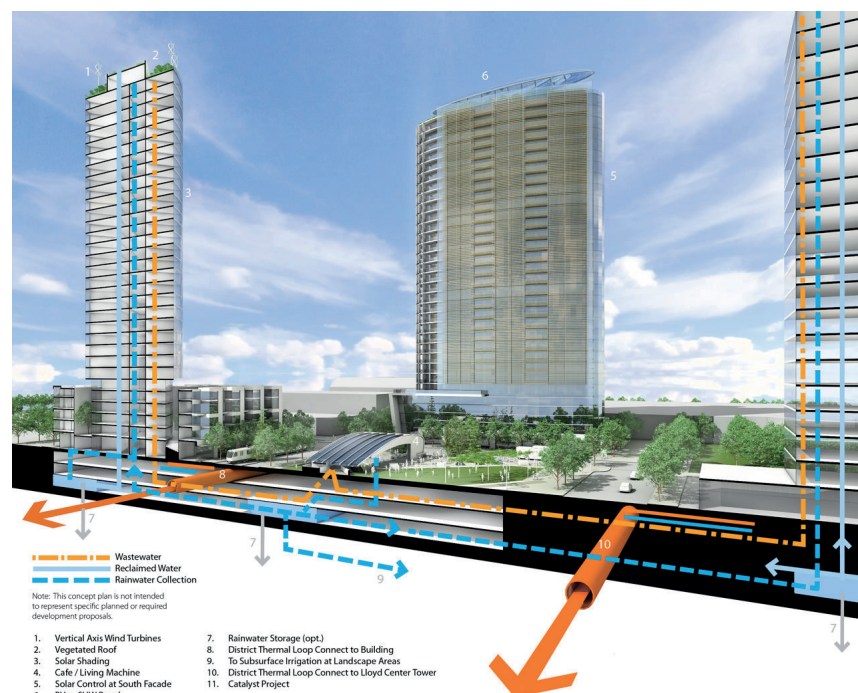


Résultats du projet & note critique :

Le projet de Lloyd crossing propose un plan de réhabilitation urbaine très performant qui est issu d'une analyse des services écosystémiques. En partant de cette étude de pré-développement ça permet aux concepteurs d'établir leurs objectifs à atteindre en terme de conception afin de pouvoir permettre la restauration des services écosystémiques présent sur le site avant le développement de la ville de Portland. Ce projet est censé devenir un catalyseur pour les opérations d'urbanisme portée sur durabilité à travers son modèle financier qui veut montrer que l'on peut réaliser des opérations de cette envergure tout en étant économiquement viable. L'agence Mithun propose les objectifs suivant :

- Rétablir une couverture d'arbre de 25 à 30 %
- Réduction de la consommation en eau potable de 62 %
- Fournir 100 % des ressources nécessaire en eau non potable
- Absorption de 5 tonnes de CO2 par an
- Utilisation de ressource renouvelable dans un rayon de 300 à 500km du site
- Rendement économique pour les promoteurs de 16 à 21 %

Les ambitions de ce projet offre une perspective très prometteuse, à tel point qu'il a été déjà récompensé par plusieurs prix (EDRA, Aiatopten), cependant encore à l'état d'étude et de planification il reste encore compliqué de réussir à définir si ces objectifs ont réellement le potentiel d'être atteint.



Langfang, Woods Bagot +HOK : Le projet de Langfang s'est établi dans une situation de profond trouble au sein de la ville, une ville qui était sujette à la pollution, aux sécheresses suite à la destruction de son écosystème initiale.

Mots-clés : Regenerative design, FIT method,

Données du projet :	Superficie:	??????
	Année de planification:	2010
	Statut :	En projet
	Localisation :	Langfang, Chine

Rôle & objectifs:

- Intégrer des systèmes écologiques afin de restaurer l'habitat naturel détruit par une agriculture chimique et non contrôlé
- Permettre la restructuration du sol qui s'affaisse à cause de la destruction de la forêt présente 4000ans auparavant
- Imiter les cycles naturels de l'eau afin de les restaurer
- Réintégrer la présence de la végétation disparue afin de recréer les services écosystémiques permis par cette forêt à feuille caduque

Impact sur l'organisation :

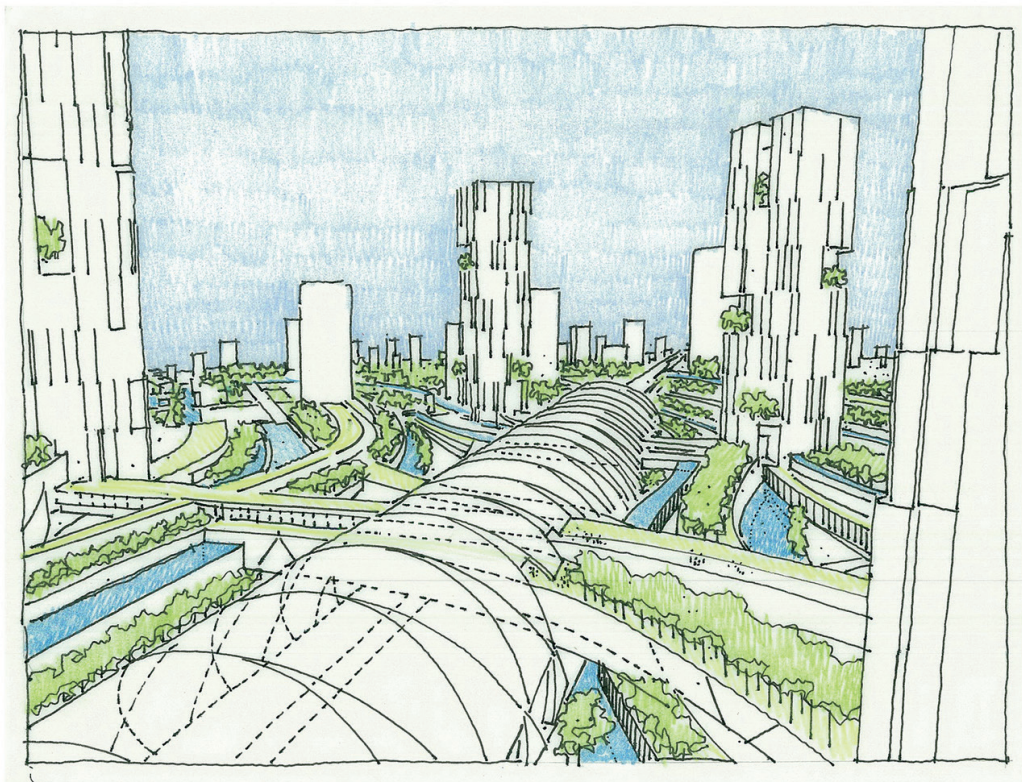
- 1 Constituer un plan urbain mettant en place des corridors verts afin de diriger l'eau vers l'aquifère
- 2 Développer un réseau d'eau qui s'inspire de la nature



Résultats du projet & note critique :

Le plan de redéveloppement de la ville de Langfang (Chine) était une nécessité dans cette ville qui souffrait de désintégration de l'écosystème. L'urbanisme de cette ville a presque totalement détruit la totalité de la forêt vieille de 4000 ans, et a ainsi causé des dégâts sur les cycles naturelles qui étaient présents, cycle de l'eau, ... Ce dérèglement en est venu à un tel point que l'eau du fleuve Yangtze baissaient de 1,5m par an, et ainsi cela impliquait à la population locale de venir pomper l'eau encore plus loin dans d'autres rivières, ce qui est à la fois coûteux et peu résilient lors des sécheresses qui peuvent survenir. A travers ce projet et celui de Lavasa, l'équipe de HOK a pu expérimenter avec le groupe Biomimicry 3.8 et Woods Bagot, le développement d'un nouvel outil biomimétique, la méthode FIT (Fully Integrated Thinking), à travers cette méthode ils ont développé quinze objectifs fonctionnant ensemble afin de répondre aux résultats du bilan climatique effectué sur la zone.

Le projet de Langfang est encore en développement, il est ainsi compliqué de pouvoir relever des résultats concernant ce projet urbain. Cependant on remarque l'intérêt de l'observation sur une longue période d'un site afin de pouvoir en définir les critères de durabilité, par ailleurs en apportant des réponses architecturales tel que les corridors verts qui vont être constituer dans cette ville, on ne peut qu'imaginer que la qualité de vie sera accrue au sein de cette ville, à la fois pour les citoyens mais aussi pour la nature qui y vit.



Living Machines, John Todd : Les Living Machines ou Eco-machines de John Todd

Mots-clés : Déchets, Boucle-fermée, Gestion Durable,

Données du projet :

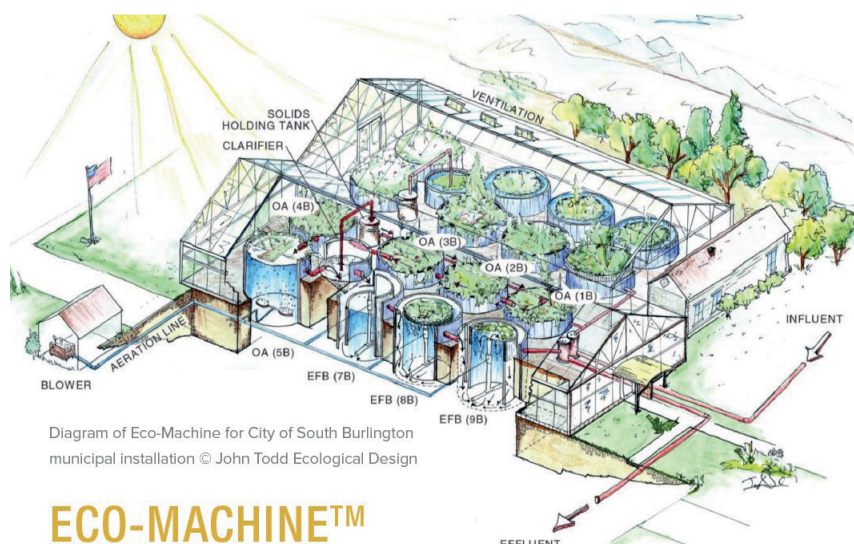
Superficie:
Année de planification:	1976
Statut :	Réalisé
Localisation :	Installée dans plusieurs villes

Rôle & objectifs:

- Considérer les déchets étant une ressource comme une autre qu'il est nécessaire d'intégrer dans les cycles naturels.
- S'inspirer de la gestion des déchets dans la nature pour produire un système de traitements sain, efficace et durable
- Recréer un écosystème afin de répondre à une problématique de gestion des ressources
- Diminutions de la prolifération d'algues non désirée dans des zones d'eau.
- Restaurer une pollué chimiquement proche à son état naturel
- Exploitation des processus biologiques présent dans la nature pour répondre à un besoin humain de gestion des déchets

Impact sur l'organisation :

- 1 Réaliser un écosystème clos sous une serre afin de maîtriser le cycle de gestion et de traitement de l'eau
- 2 Installer un système de production énergétique solaire afin d'atteindre un coût énergétique nulle.



Résultats du projet & note critique :

L'intérêt de ce genre de projet dans une réflexion biomimétique est que le processus de bio inspiration vient naturellement, le concepteur John Todd n'a pas eu besoin dans son procédé d'avoir recours à une méthode biomimétique telle que FIT, ESA, ... C'est uniquement par l'observation qu'il a pu développer son concept. L'intérêt que j'ai à porter ce concept au sein de ma recherche, est que le principe de Todd est fondé sur le concept d'écosystème et de la gestion durable des ressources, ainsi cela corrobore parfaitement avec le sujet de ma recherche. Les livings machines sont aujourd'hui largement développées au sein des Etats-Unis (on en dénombre une vingtaine sur le territoire), et ont su montrer leur efficacité. Avec sa méthode John Todd arrive à baisser les coûts de traitement des eaux usées de 200 000\$ par an, et ainsi se montrer rentable au bout de 4/5 ans. Tandis que le coût sur l'environnement est quasiment nulle (énergie solaire, aucun produit chimique, ...).

Ce genre de projet doit servir d'inspiration pour les projets urbains actuels portés sur le biomimétisme ou le développement durable, car en partant d'observation simple sur l'environnement il sait offrir une solution efficace et rentable et visuellement agréable tout en restaurant les services écosystémiques. De plus il a une certaine capacité régénératrice, par exemple lorsqu'il évoque la capacité de son système à pouvoir traiter des eaux polluées chimiquement et que ce système permet de rendre cette eau à son état d'origine.



|

|



« L'évolution d'une espèce induit compétition et optimisation alors que pensée à travers les échelles, de la cellule, infime partie d'un individu, à la totalité des acteurs sur notre planète, elle implique la coopération entre cellules, individus et espèces.

Ce principe d'entraide et de complémentarité permet l'exploration et la survie de solutions inefficaces, il constitue le fondement de l'exubérance et de la complexité du vivant.

Dans chacune de ces formes même d'apparence irrationnelle et dans la mémoire de leurs errances, dans la construction d'espèces non en compétition mais en complémentarité, non en interdépendance mais en interaction, réside la résilience du vivant. »

Jean Marc Chomaz