

JUIN 2014

Mémoire de recherche

*Le biomimétisme, clé de l'adaptation
pour des villes durables.*

KEDGE
BUSINESS SCHOOL

Auteurs :

Marie-Gabrielle GONZALEZ

Elsa ROUTIER

Professeur Directeur du Mémoire :

Monsieur Julien HANOTEAU

ESC MASTER 2 - KEDGE BUSINESS SCHOOL

Table des matières

Attestation de non plagiat	2
Résumé	3
Remerciements.....	4
I. Introduction	5
II. Le changement climatique, une multiplicité d'impacts	7
II.1. Revue des faits au travers de la littérature.....	7
II.2. De nombreuses notions témoignant d'une profonde mutation	10
III. Etude du terrain : L'urbanisme biomimétique face au changement climatique	25
III.1. Urbanisme biomimétique : villes d'aujourd'hui.....	27
III.2. Des villes sujettes à des pressions climatiques croissantes	29
III.3. Innovations biomimétiques et potentiel face à l'adaptation au changement climatique	44
IV. Conclusion.....	61
V. Bibliographie.....	64
VI. Annexes.....	73
Annexe 1 : Profil de nos interlocuteurs	73
Annexe 2 : Les types de stratégies d'adaptation	75
Annexe 3 : Définitions selon Gilles BOEUF: Bio-inspiration, Bio-assistance et Biomimétisme.....	76
Annexe 4 : Tableau « Bio-inspired design landscape », Dr MONTANA HOYOS, Australia	77
Annexe 5 : Double interprétation du couple vulnérabilité / adaptation	78
Annexe 6 : La résilience proactive ou risque climatique	79
Annexe 7: « Eastgate building », Harare, Zimbabwe.....	80
Annexe 8 : Évolution d'une rue de 1850 à 2150 - Prospective réalisée par Luc Schuiten	81

Attestation de non plagiat

Nous sous signés Marie-Gabrielle GONZALEZ et Elsa ROUTIER

Auteurs du mémoire de recherche intitulé : Le biomimétisme, clé de l'adaptation pour des villes durables ayant pour problématique : « En quoi le biomimétisme lorsqu'il est appliqué à l'urbanisme peut-il constituer une solution d'adaptation au changement climatique pour les grandes villes? »

Déclarons sur l'honneur que ce mémoire est le fruit d'un travail personnel, en binôme, que nous n'avons ni contrefait, ni falsifié, ni copié tout ou partie de l'œuvre d'autrui afin de la faire passer pour nôtre.

Toutes les sources d'information utilisées et les citations d'auteur ont été mentionnées conformément aux usages en vigueur.

Nous sommes conscient(e)s que le fait de ne pas citer une source ou de ne pas la citer clairement et complètement est constitutif de plagiat, que le plagiat est considéré comme une faute grave, pouvant être sévèrement sanctionnée par la loi.

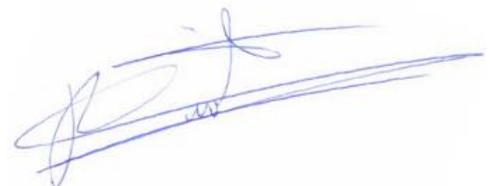
Fait à : Paris

Le : 28/06/14

Signatures des étudiant(e)s

Marie-Gabrielle GONZALEZ

Elsa ROUTIER



Résumé

Nous vivons dans un monde qui change sans cesse de visage, façonné par nos avancées technologiques et leurs externalités. L'une des plus importantes d'entre elles est le changement climatique, induit par l'activité humaine, qui se concentre majoritairement dans les grandes villes. Ce dérèglement climatique a de nombreux impacts sur notre environnement au sens large : qu'il s'agisse de notre environnement naturel, économique ou social, les répercussions sont conséquentes voire dramatiques. Il nous faut cependant nous adapter à ce changement inexorable pour en atténuer au maximum les impacts.

Ce mémoire de recherche est une occasion d'étudier les possibilités d'adaptation de nos modes de vie urbains offertes par le biomimétisme. La majorité des habitants vit d'ores et déjà dans les villes et, à l'échelle mondiale, l'urbanisation est encore appelée à s'amplifier au cours des décennies à venir. Pourquoi ne pas s'inspirer des mécanismes et merveilles naturelles pour adapter la ville du XXI^{ème} siècle aux bouleversements climatiques qui l'attendent ?

Summary

We are living in a changing world, shaped by technological progress and its externalities. One of the most striking of these externalities being the climate change, caused by human activity is highly amplified in big cities. The climate imbalance has many impacts on our broad environment: our natural, economic and social environment, will be impacted by substantial and even dramatic changes. Therefore, we must adapt to this inexorable change to minimize its possible impacts.

This research paper is an opportunity to explore the possibilities offered by biomimicry to adapt our urban lifestyles. Most of the people live in cities today and the ongoing urbanization phenomenon will deepen over the coming decades. Why not trying to be inspired by the mechanisms and the wonders naturally developed in our environment in order to adapt the city of the 21st century to the unescapable climate changes?

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier M. HANOTEAU, notre Directeur de Mémoire, pour nous avoir aidées à situer notre problématique et suivies tout au long de ce travail de recherche.

Nous adressons ensuite nos chaleureux remerciements à [M. CHEKCHAK](#), Secrétaire du Comité Français de Biomimicry Europa et Directeur Science et Environnement de la Fondation Cousteau, pour son aide des plus précieuses ; pour nous avoir consacré du temps, nous avoir accordé une interview et nous avoir aidées à affiner nos recherches en nous mettant en contact avec [M. ALLARD, M. PORCHERON, M. SCHEFFER et M. LAPP.](#)

Nous remercions M. ALLARD, M. PORCHERON, M. SCHEFFER et M. LAPP de leur disponibilité et pour les conseils d'experts, interviews et documents qu'ils nous ont transmis et qui nous ont permis d'étayer notre recherche et de compléter notre étude.

Merci également au Centre de Ressources Documentaires sur le Développement Durable, du Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie pour le prêt d'ouvrages, qui se sont avérés d'une aide précieuse au regard de nos travaux.

Nous tenons enfin à remercier nos employeurs - la *Mission Prospective du ministère* (MEDDE) et le cabinet de conseil *des Enjeux & des Hommes* - pour leur soutien lors de cette période de recherches.

Un grand merci à tous !

Marie-Gabrielle GONZALEZ et Elsa ROUTIER

I. Introduction

Exposé et justification de la problématique

Pour notre mémoire de fin d'études, nous avons fait le choix de croiser plusieurs disciplines auxquelles nous avons eu l'occasion de nous intéresser lors de notre parcours au sein de KEDGE Business School. Toutes deux très intéressées par les questions liées au développement durable et souhaitant poursuivre notre carrière dans ce domaine, nous avons voulu faire la part belle à la question d'un développement soutenable.

Conscientes des problématiques actuelles liées au développement durable nous nous sommes posé la question des grands enjeux de demain. Parmi ceux-ci, ont émergé les thématiques du changement climatique, de la pression qui existe sur l'urbanisation, et le monde du vivant. Il nous a paru essentiel de ne pas les séparer les uns des autres, ces trois enjeux étant inextricablement liés car interdépendants.

Prenant la mesure de la croissance démographique, de notre développement industriel et tant, de leurs impacts sur le climat, que des problématiques d'urbanisation que cela suppose, nous avons fait le choix de centrer notre recherche sur notre capacité à nous adapter aux changements climatiques engendrés par notre mode de développement.

Nous avons donc intégré à notre questionnement les impacts du changement climatique et notre capacité à nous y adapter, le monde du vivant au travers du biomimétisme et enfin la question du logement des populations via l'urbanisation durable.

Notre problématique : « en quoi le biomimétisme appliqué à l'urbanisme peut constituer une solution d'adaptation au changement climatique pour les grandes villes ? » intègre donc ces différentes questions.

Mais celles-ci relevant davantage du domaine des sciences humaines, de l'ingénierie, de l'architecture et des sciences du vivant, nous nous sommes concentrées et basées sur les recherches et projections existantes en ce qui concerne le changement climatique ; sur les projets réalisés, en cours de réalisation ou imaginés pour ce qui est de l'urbanisme et les avons traités au travers du prisme du biomimétisme.

Pour répondre à notre problématique, nous avons donc fait le choix d'adopter une démarche de recherche en plusieurs temps.

Tout d'abord notre étude portera sur la littérature propre aux domaines suscités à savoir le biomimétisme, le changement climatique et l'adaptation à celui-ci dans l'urbanisme (définition des termes, grands enjeux, etc.).

Pour parfaire notre connaissance de ces enjeux, après avoir étudié la littérature, nous rencontrerons des spécialistes du changement climatique, du biomimétisme et de l'urbanisme pour mieux évaluer, comprendre et connaître les tendances actuelles de sorte à répondre au mieux à notre problématique.

Enfin, nous avons tenté de répondre à la question du biomimétisme comme solution d'adaptation au changement climatique pour les grandes villes en étudiant les applications existantes avec l'hypothèse de départ suivante :

Hypothèse : Sur des territoires donnés l'application des principes du biomimétisme dans l'urbanisme a un réel potentiel concernant l'adaptation au changement climatique pour les villes de demain.



II. Le changement climatique, une multiplicité d'impacts

II.1. Revue des faits au travers de la littérature

L'adaptation au changement climatique, longtemps mise de côté au profit de l'atténuation, occupe désormais les agendas scientifiques et politiques. L'urgence de la situation a notamment été résumée par les scientifiques ayant participé au cycle de séminaires franco-qubécois: villes; zones vulnérables; forêts, espace naturels et biodiversité en 2010.

« La meilleure compréhension du fonctionnement du système climatique et des influences anthropiques sur son évolution, à travers des modèles climatiques de plus en plus affinés, a permis aux climatologues de montrer que la mise en place de mesures drastiques de réduction d'émissions de GES ne suffira pas. Désormais, la variabilité climatique globale est en train de se modifier avec une tendance au réchauffement et à une intensification dans l'ampleur et la fréquence d'événements climatiques extrêmes. S'adapter à cette nouvelle réalité climatique globale est inéluctable et il s'avère essentiel de mieux cerner les vulnérabilités des systèmes humains et naturels face aux impacts du changement climatique ».

En mars dernier, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) publiait le second volet de son 5ème rapport ; volet intitulé « Changements climatiques 2014 - les impacts, les vulnérabilités, l'adaptation ». L'un des points à retenir à la lecture de ce rapport est que « les impacts des événements climatiques survenus récemment, tels que vagues de chaleur, inondations, cyclones et feux de forêt, mettent en évidence la vulnérabilité importante et l'exposition de certains écosystèmes et de nombreux systèmes humains à la variabilité climatique actuelle ». En effet, les événements climatiques dits aléas climatiques sont de plus en plus nombreux et impactent chaque fois davantage nos systèmes et infrastructures modernes.

Nous savons également que, bien qu'accrus par le changement climatique, ces aléas ont toujours eu lieu dans des proportions plus ou moins importantes au cours des siècles. L'homme s'est toujours adapté, au milieu au sein duquel il évoluait. Que ce soit dans des milieux désertiques ou au contraire luxuriants, il a toujours fait face avec plus ou moins de succès aux évolutions du climat. Aujourd'hui nos moyens

technologiques et nos avancées scientifiques devraient nous permettre d'innover chaque jour, pour agir de sorte à atténuer les impacts du climat, ou mieux encore, nous pourrions nous en servir pour nous y adapter. Mais comme l'évoque l'anthropologue américain Jared DIAMOND (2006) les sociétés modernes sont souvent moins efficaces que leurs homologues « traditionnelles » sur nombre d'aspects de leur organisation; notamment lorsque l'on considère leur évolution qui s'avère incompatible avec la résilience de leur environnement.

L'occurrence de nombreuses catastrophes naturelles au cours des dernières années a eu des impacts non négligeables sur notre environnement, que ce soit sur les milieux naturels avec les conséquences écologiques qui en découlent ou encore sur nos infrastructures : des villes entières ont été détruites après des ouragans, des inondations, des typhons et encore bien d'autres évènements climatiques. Ainsi, nous nous rendons bien compte que nos infrastructures ne sont pas toujours durablement adaptées à notre environnement. En parallèle, nous notons que nombre de civilisations dites « traditionnelles » ont vécu et vivent toujours en parfaite harmonie avec leur écosystème, tout comme le font de nombreuses espèces animales plus à même de s'adapter au changement climatique et à ses impacts. D'après Christiane WEBER, (2010) « les systèmes urbains apparaissent dans le paysage mondial comme des territoires particulièrement vulnérables face à l'évolution climatique en raison de leur concentration en population, en infrastructures et en activités socio-économiques et culturelles » et surtout face à la rapidité critique des changements des paramètres climatiques.

Des sociétés modernes plus éloignées de leur environnement que leurs homologues « traditionnelles »

Toujours selon Christiane Weber, il apparaît en effet que « la population urbaine dépasse aujourd'hui en nombre la population rurale et devrait atteindre en 2030 selon l'ONU presque cinq milliards d'individus (4,9 milliards d'ici à 2030) pour un peu plus de huit milliards d'habitants sur la planète (8 milliards en 2027) (Conseil économique et social, 2007) ». D'après ces mêmes prévisions « plus de 70 % de la population mondiale sera urbaine en 2050, la majeure partie de cette croissance s'effectuant dans les pays en développement ». Ces données mettent en évidence une constante croissance de la population urbaine notamment dans les pays du Sud et dans une moindre mesure dans les pays développés qui font souvent le choix de l'étalement urbain. Ainsi « entre 2006 et 2009, ce sont par exemple en moyenne 86 000 ha qui se sont artificialisés par an en France » (MOREL et JEAN, 2010). Le véritable challenge pour les villes des

pays du nord est donc celui d'une transformation du maillage urbain via un renouvellement des stratégies d'urbanisation de sorte à, notamment, limiter l'étalement urbain. Étalement qui ne peut être infini aux vues de l'espace limité dont disposent les pays du nord et compte tenue de l'actuelle croissance démographique (voir l'engouement actuel pour les villes « compactes »).

Le choix de se concentrer sur les villes se justifie par le triple rôle qu'elles ont à l'égard du changement climatique. Premièrement, elles sont les principales responsables de ce phénomène (UNEP/ONU-Habitat, 2005) avec une concentration de près de 80% des émissions mondiales de CO2 ainsi que d'une part significative des autres gaz à effet de serre (GES). En effet, plusieurs facteurs anthropiques peuvent se combiner pour intensifier les aléas météorologiques et climatiques: pression démographique, modification de l'occupation des sols, dépenses énergétiques et émissions de GES (QUENAULT, 2011). Deuxièmement, elles en sont par retour de boomerang les principales victimes (IIED, 2007) de par leur forte concentration en termes de population, d'activités, et d'infrastructures qui tendent à intensifier leur vulnérabilité. Enfin, troisièmement, elles ont été identifiées comme une des sources principales de solutions à ce problème (BETSILL et BULKELEY, 2007) notamment à travers des politiques territoriales vouées à l'atténuation et/ou à l'adaptation.

D'après Morgane COLOMBERT et Philippe BOUDES (2012), « les systèmes urbains sont des acteurs majeurs du développement et, de manière croissante, de l'adaptation des sociétés humaines aux changements climatiques ». Les villes sont aujourd'hui de hauts lieux d'innovation et les « préoccupations environnementales, plus sensibles en milieux urbains, sont venues s'ajouter à ces tendances lourdes pour faire des villes, aujourd'hui les principaux laboratoires de la mutation engagée » (HAENTJEN, 2008). Les populations sont d'ailleurs les premières à exprimer leur désir de changement notamment du point de vue des paysages. Elles souhaitent qu'une place plus importante soit faite à la nature (EMELIANOFF et STAGASSY, 2010). Cette dernière, jusqu'à il y a peu rejetée hors des agglomérations est désormais réclamée au cœur même des villes pour diverses raisons, qu'elles soient récréatives, esthétiques (BRADY et BLANC, 2007), éducatives notamment dans l'optique de mettre fin à

«Les systèmes urbains sont des acteurs majeurs du développement et, de manière croissante, de l'adaptation des sociétés humaines aux changements climatiques ».
COLOMBERT et BOUDES (2012)

la « fracture végétale » que connaissent les jeunes populations urbaines, pour contribuer à faire reculer les inégalités sociales et/ou écologiques, mais aussi pour favoriser et conserver la biodiversité.

«Les réflexions en cours sur l'adaptation aux changements climatiques font écho à cette demande sociale d'amélioration du cadre de vie urbain et de végétalisation des villes. Ces problématiques sont notamment figurées par la prise en compte, dans les politiques urbaines, des enjeux climatiques, principalement avec les plans climats décidés à l'échelle des villes ou des agglomérations, et des enjeux de végétalisation, cette fois avec les politiques de biodiversité et de trames vertes [...] portées par les travaux des Grenelles de l'environnement. Ces enjeux concernent autant la vie politique et la sphère civile que le monde académique. Ils demeurent toutefois étanches entre eux ou faiblement ouverts, alors même que des thèmes émergents, à commencer par les îlots de chaleur urbains ou les fonctions épuratrices des végétaux, révèlent des connexions heuristiques, mais également politiques et techniques, entre des questionnements climatiques et atmosphériques et des recherches abordant la végétalisation des villes. L'évolution des villes questionne ainsi un grand nombre de disciplines, dont les sciences de l'atmosphère, des écosystèmes et des sociétés» (COLOMBERT et BOUDES, 2012).

Malgré ces enjeux les villes restent un point focal de potentiel d'action de la lutte contre le changement climatique et d'adaptation, avec nombre de leviers à actionner. Dans un tel contexte, la transition vers une ville « basse consommation carbone » ou encore « post-carbone » et adaptée aux évolutions du climat, ne pourra s'effectuer sans réflexions profondes quant aux infrastructures et aux réseaux urbains, liés à une forte composante sociale, illustrée par la revendication de nouveaux modes de vie urbains (DOBRE et JUAN, 2009).

II.2. De nombreuses notions témoignant d'une profonde mutation

Fortes de ces constats, nous avons fait le choix de concentrer nos recherches sur les implications existantes entre dérèglement climatique, urbanisme et solutions innovantes inspirées de notre écosystème. Nous avons donc décidé de nous pencher sur la question du biomimétisme comme solution d'adaptation au changement climatique pour les grandes villes. Dans ce contexte, apporter des solutions d'adaptation devient un impératif pour les territoires. Nous intéresser au biomimétisme nous a apparu évident dans la mesure où penser biomimétisme signifie penser de façon systémique, globale et donc

cohérente par rapport à un environnement, car le biomimétisme suit le principe de durabilité (DALY, 1990).

Pour ce faire il nous a semblé évident de concentrer notre travail sur le cadre territorial, lieu au sein duquel les questions d'adaptation sont les plus lourdes en termes d'enjeux, et de potentiel d'action et dont la vulnérabilité nécessite davantage de mettre en place une stratégie d'adaptation spécifique (voir la typologie des stratégies d'adaptation, [Annexe n°2](#)), source d'une plus grande résilience. En effet, les territoires et notamment les villes sont particulièrement vulnérables « en raison de leur concentration en population, en infrastructures et en activités socio-économiques et culturelles » (Christiane WEBER, chercheur au CNRS ; présentation 1 sur les villes, séminaire franco-québécois, session 1 sur les villes).

«Les villes sont des socio-éco-systèmes dynamiques et complexes évoluant au gré de leur capacité techniques et de leur auto-organisation, d'où un forte territorialisation des stratégies d'adaptation au changement climatique »
WEBER (2010)

Les notions qui vont être abordées au sein de ce mémoire de recherche sont des notions larges, croisées et interdépendantes, dont il est nécessaire de préciser le contour. Préalablement au traitement de notre problématique nous sommes efforcées de définir les termes qui en découlent, parmi lesquels biomimétisme, changement climatique, vulnérabilité, résilience, adaptation, grande ville, risques.

a. Qu'est-ce que le biomimétisme ?

Le biomimétisme est « avant tout une approche scientifique émergente de la recherche qui s'appuie sur des concepts [...], que sont la bio-inspiration, la bionique et la bio-assistance » (ALLARD et LEQUETTE, 2014). La forte porosité de ces termes a récemment poussé l'Allemagne à déposer une demande auprès du comité technique ISO afin d'entamer une concertation européenne dans le but d'élaborer une nouvelle norme ISO. Ainsi une définition claire du biomimétisme pourrait bientôt voir le jour (définitions de Gilles BOEUF, [Annexe n°3](#)).

Du grec « bios » signifiant vie et « mimesis » signifiant imitation, « le biomimétisme est une méthode innovante cherchant des solutions soutenables en s'inspirant de concepts et de stratégies ayant fait leurs preuves dans la nature, comme par exemple le capteur solaire imitant la feuille végétale » (ETOPIA, 2005).

« De tout temps, l'Homme, de manière plus ou moins consciente, s'est inspiré de la nature dans sa façon de vivre, de construire ou de produire. Qu'il s'agisse de chasser, pêcher ou encore de se chauffer, les Hommes ont tiré des leçons de leur environnement pour reproduire ou transformer divers procédés naturels pouvant leur être utiles, afin de trouver des réponses à des problèmes simples et complexes. » (Dossier de Presse, Ville biomimétique ville de demain)

Léonard de Vinci dît « apprenez de la nature, vous y trouverez votre futur », telle est l'essence du biomimétisme.

Par exemple, en 1505, Léonard de Vinci avait pris comme inspiration la structure des ailes des oiseaux afin de réaliser son engin volant, si connu aujourd'hui. Pourtant, ce n'est qu'en 1997 que le terme de "biomimétisme" a été popularisé par Janine BENYUS, soit près de 500 ans plus

tard. Dans son ouvrage intitulé « Biomimétisme: Quand la nature inspire des innovations durables », cette biologiste naturaliste et écrivaine définit ce terme comme le fait de « s'inspirer des procédés et stratégies élaborées par les organismes vivants pour innover dans nos industries en imitant les écosystèmes qui nous entourent de sorte à mieux vivre et produire en harmonie avec notre environnement . Ce mode de production inspiré du vivant nous permet de produire nos biens et services de façon plus durable, en harmonie avec la nature mais également de façon plus efficace pour une optimisation économique».

Nous avons déjà trouvé de nombreux terrains d'application dans le domaine industriel au biomimétisme, mais les pistes de progrès restent nombreuses (exemple en [Annexe 4](#))

D'après l'association Biomimicry Europa, référente dans le domaine en Europe, « depuis 3,8 milliards d'années, la vie s'est diversifiée en d'innombrables espèces [...] interagissent dans un équilibre dynamique avec la planète. Aujourd'hui, on estime à 15 millions le nombre d'espèces vivantes. Chacune a obtenu sa survie à long terme grâce à un processus d'adaptation naturelle par essais et erreurs et représente donc une application concrète des principes de la durabilité ». Le biomimétisme apparaît donc comme l'un des meilleurs moyens d'adaptation car il nous permet de nous mettre au diapason avec notre écosystème en sélectionnant ce qu'il y a de meilleur en termes de réponse à des problématiques identifiées. Ainsi en pratiquant le biomimétisme nous pouvons imiter les meilleures solutions développées par les organismes vivants, les plus performantes pour répondre à des problématiques qui sont celles de nos sociétés technologiques, économiques.

D'après Biomimicry Europa, « Le biomimétisme détaille trois niveaux d'inspiration d'exigence croissante en termes de durabilité :

- les formes adoptées par les êtres vivants ;
- les matériaux et les processus de 'fabrication' opérant chez les êtres vivants ;
- les interactions que les espèces développent entre elles et le fonctionnement global des écosystèmes naturels ».

On peut alors se demander, quelles applications concrètes peuvent en être tirées. Selon les agents de la ville de Vélizy-Villacoublay « les applications du biomimétisme recouvrent à peu près tous les champs de la connaissance, des technologies de l'information, de l'informatique au bâtiment en passant par la gestion de réseaux, les transports ou la production d'électricité à partir de nouveaux modes d'exploitation ». La création biomimétique est donc « perçue comme une source d'inspiration pour développer l'ingéniosité de l'Homme et mettre en valeur ce qu'il y'a de meilleur en lui, dans l'optique d'être en symbiose avec la nature [...] ».

On voit donc que la nature est capable d'apporter des solutions sur trois niveaux en s'inspirant de la forme des organismes, de leur procédé de synthèse ainsi que de leur mode d'organisation écosystémique, à l'instar du Shinkansen. Ce train japonais à grande vitesse, un des exemples de design biomimétique les plus connus, a vu la forme de sa tête être inspirée de celle du martin-pêcheur afin d'être plus rapide, plus silencieux et plus sobre en énergie. Si le biomimétisme est aujourd'hui relativement utilisé en R&D (Recherche et Développement) dans le but d'améliorer des produits, les procédés, eux, en sont encore peu empreints. L'architecte visionnaire, Luc SCHUITEN ajoute que « le biomimétisme est une démarche novatrice encourageant le transfert d'idées, des concepts, et des stratégies en provenance du monde vivant dans le but de concevoir des applications humaines visant un développement soutenable ».

b. Comment définir le changement climatique ?

D'après le GIEC (2007) le changement climatique peut être défini comme suit :

«Certaines espèces existent depuis 300 millions d'années. Nous devons nous inspirer de leur capacité à durer dans le temps pour les villes de demain» Olivier ALLARD.

« Variation de l'état du climat, que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Les changements climatiques peuvent

« Les vagues de chaleur vont très probablement se produire plus fréquemment et durer plus longtemps,[et] nous nous attendons à voir les régions humides recevoir plus de pluies et les régions les plus sèches à en recevoir moins, même s'il va y avoir des exceptions. »

Thomas STOCKER,
Coprésident du groupe de travail du GIEC.

être dus à des processus internes naturels, à des forçages externes ou à des changements anthropiques persistants dans la composition de l'atmosphère ou dans l'utilisation des terres. On notera que la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), dans son article premier, définit les changements climatiques comme des « changements qui sont attribués directement ou indirectement à une 78 activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la

variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables». La CCNUCC fait ainsi une distinction entre les changements climatiques attribuables aux activités humaines altérant la composition de l'atmosphère et la variabilité du climat imputable à des causes naturelles ».

D'après les recherches et rapports du GIEC, le changement climatique se manifesterait de diverses façons. L'apparition plus fréquente d'aléas climatiques et d'extrêmes météorologiques auraient des conséquences nombreuses sur nos sociétés et sur notre environnement.

Le réchauffement climatique, provoqué par l'activité humaine, pourrait atteindre les 4,8°C d'après les estimations du GIEC qui recommande une limitation à 2°C pour ne pas aggraver la situation, bien qu'il soit évident que cet objectif de limitation de puisse être ni atteint ni suffire. D'après Hervé LE TREUT, intervenu le 25 avril 2014 à la conférence *Des risques du changement climatique aux solutions d'adaptation : quels enjeux pour nos sociétés d'ici à 2100*, « Les émissions de CO2 n'ont de cesse de s'accroître or il faudrait qu'elles diminuent voire soient négatives pour rester sous la barre des 2°C » (H. LE TREUT 25/04/2014).

Ce changement climatique pourrait avoir nombre de conséquences environnementales - hausse du niveau des mers, accroissement du nombre et de la durée des sécheresses, fortes pluies et inondations, cyclones, tempêtes et tornades, vagues de froid, atteintes à la biodiversité etc.. – mais également engendrer des externalités sur nos modèles économiques (voir rapport STERN sur le coût de l'inaction), exacerber l'insécurité alimentaire, accroître davantage encore les problèmes sanitaires et provoquer plus de conflits et rivalités entre les pays où les risques sont les plus importants.

c. Qu'est-ce que la vulnérabilité d'un territoire vis-à-vis du changement climatique ?

D'après le GIEC, il est nécessaire de se limiter à une hausse maximale des températures de 2C° pour parvenir à stabiliser le réchauffement climatique, mais quelle que soit la capacité d'un territoire à réduire ses émissions de gaz à effet de serre (GES) dans les années et décennies à venir, le climat sera inexorablement modifié, du fait des activités anthropiques depuis l'ère industrielle. Selon Jean-Paul NICOLAÏ, ancien Directeur Général du CGSP (Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective, ex Centre d'analyse stratégique), il existe de nombreuses définitions du concept de vulnérabilité:

« Plusieurs études commanditées par des organismes internationaux ont essayé récemment de faire le point sur les différentes approches. Mais la rapidité avec laquelle les travaux se multiplient aujourd'hui autour de ce concept réclame encore un grand pragmatisme dans sa définition à des fins d'application : la vulnérabilité est la prédisposition d'un système à souffrir d'un choc ou d'un stress ».

Selon le dictionnaire Larousse la vulnérabilité désigne le « caractère vulnérable de quelque chose ou de quelqu'un », ainsi ce qui est vulnérable est défini comme quelque chose « qui, par ses insuffisances, ses imperfections, peut donner prise à des attaques ». Dans le domaine de la gestion des risques le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) définit ce concept comme « l'aptitude d'un milieu, d'un bien, d'une personne à subir un dommage à la suite d'un événement, naturel ou anthropique ».

Ici nous retiendrons la définition du GIEC (2007) d'après laquelle

« La vulnérabilité est le degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes du changement climatique, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme du changement climatique auquel un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation » (IPCC, 2007).

La vulnérabilité climatique est le résultat de l'interaction de 3 paramètres (figure 1) :

- l'exposition aux aléas, c'est à dire les événements climatiques : le type, l'ampleur et le rythme des variations du climat et des événements climatiques auxquels les communautés et les écosystèmes sont exposés ;

- la sensibilité : la proportion dans laquelle un élément exposé, une collectivité ou une organisation est susceptible d'être affecté (positivement ou négativement) par la manifestation d'un aléa (événement climatique) ;
- la capacité d'adaptation : « La capacité d'adaptation est le degré d'ajustement d'un système à un changement climatique (y compris la variabilité climatique et les extrêmes) afin d'atténuer les dommages potentiels, de tirer parti des opportunités ou de faire face aux conséquences. » (ADEME)

$$\frac{\text{EXPOSITION X SENSIBILITE}}{\text{ADAPTATION}} = \text{VULNERABILITE}$$

Figure 1: Vulnérabilité fonction de trois éléments.

Ainsi, la vulnérabilité d'un territoire est fonction de sa capacité de réaction au moment d'un changement climatique, d'un aléa climatique, c'est à dire sa résistance, mais aussi de sa capacité de réaction après le choc, soit sa résilience. Elle repose sur la capacité potentielle du système à s'adapter à l'aléa, avant et après sa survenue, c'est à dire anticiper puis gérer la crise pour ensuite retrouver un fonctionnement normal (VAL et CAMPELLA, 2005). Ainsi la vulnérabilité d'un territoire peut être réduite grâce à des mesures d'adaptation au changement climatique et est lié de manière complexe à la notion de résilience.

Enfin, l'adaptation au changement climatique peut être traitée de manière intéressante à travers le prisme de la vulnérabilité qui renvoie directement aux études de vulnérabilité au niveau local (territoire), rendant l'objectif de l'adaptation plus concret et tangible, à savoir: « réduire les vulnérabilités sociales et physiques des systèmes face à l'inévitable évolution des impact climatiques » (Synthèse des séminaires franco-québécois ; session 3 - Forêts de biodiversité, François LETOURNEUX, 2010). Il convient d'ajouter que nous avons choisis l'interprétation du couple vulnérabilité/adaptation relative à l'approche « descendante » ou « top-down » c'est à dire par une vision scientifique « aléa-centrée » (voir schéma, [Annexe n°5](#)).

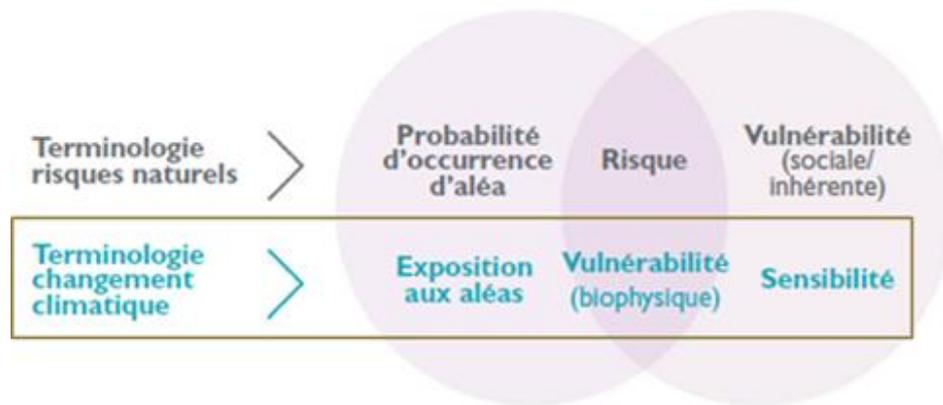


Figure 2 : Terminologie des risques naturels et du changement climatique. SOURCE : ADEME

Par exemple, les catastrophes naturelles sont l'expression des « vulnérabilités » des sociétés urbaines exposées aux aléas climatiques en raison de leur sensibilité ainsi que de capacités limitées à y faire face (PELLING, 2003).

Notre thème de recherche portant sur le changement climatique et les solutions à déployer pour s'y adapter, nous avons décidé de nous intéresser uniquement à la vulnérabilité découlant directement du changement climatique et d'en délaissier les conséquences indirectes. Ainsi nous faisons le distinguo entre conséquences indirectes - événements impactant nos sociétés de façon non directement liés au changement climatique (évolution du prix du pétrole et du cours des matières premières) – et conséquences directes – qui sont des événements provoqués par le changement climatiques tels les effets des aléas climatiques. Ainsi, les conséquences socio-économiques et sanitaires seront brièvement traitées car étant critiques (maladies, conflits dû au manque de ressources, réfugiés climatiques...), (Synthèse des séminaires franco-québécois ; Session 2 séminaire: zones vulnérables, Marie-Pierre LARDEAU, 2010) sans cependant traiter de la vulnérabilité technologique (conséquences sur les réseaux électriques etc.).

À cet effet l'ADEME définit l'aléa climatique comme « un évènement climatique ou d'origine climatique susceptible de se produire (avec une probabilité plus ou moins élevée) et pouvant entraîner des dommages sur les populations, les activités et les milieux ». Ainsi, « les aléas peuvent être soit des évolutions tendanciennes, soit des extrêmes climatiques ». Nous nous sommes donc intéressées qu'aux seules conséquences directes pour étudier les mesures d'adaptation dont elles ont fait ou pourraient faire l'objet.

d. Qu'est-ce que la résilience ?

D'après le GIEC (2014) la résilience est :

« la capacité des systèmes sociaux, économiques et environnementaux à faire face à un événement ou une tendance ou une perturbation dangereuse, en répondant ou en se réorganisant de manière à maintenir la capacité d'adaptation, d'apprentissage, et de transformation. »

e. Qu'est-ce que l'adaptation ?

D'après le GIEC (2014) l'adaptation est « définie comme un processus d'ajustement au climat présent ou attendu et à ses effets. Dans les systèmes humains, l'adaptation cherche à modérer ou éviter les nuisances ou à exploiter les opportunités bénéfiques. Dans certains systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'ajustement au climat attendu et à ses effets ».

Cette définition sera reprise par l'ADEME et l'ONERC (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique en France métropolitaine et dans les départements et territoires d'outre-mer), réelles autorités en la matière en France.

L'adaptation peut passer par diverses mesures: changements de comportements, évolution des réglementations ou législations et modifications technologiques, organisationnelles ou structurelles. Se pose également la question de la "mal-adaptation" puisqu'en amont des aléas climatiques, la vulnérabilité implique l'existence de mesures ou de politiques plus ou moins adéquates en réponse au changement climatique pour atténuer les impacts sur le système urbain. L'adaptation est donc une stratégie pour augmenter la résilience d'un territoire. La résilience des territoires urbains, qui sont des systèmes socio-écologiques complexes, recouvre trois dimensions (CARPENTER et al. 2001).

- Le degré de perturbation pouvant être absorbé par le système: capacité d'absorption ou résistance,
- Le degré d'auto-organisation dont le système peut faire preuve pour faire face au choc,

- Le degré de capacité d'apprentissage et d'adaptation appeler aussi la « résilience proactive » (DOVERS et HANDMER, 1992). (voir [Annexe n°6](#))

Enfin, une capacité d'adaptation améliorée est comprise dans ce qui est appelé les stratégies d'adaptation planifiées et anticipatrices planifiées de types « sans regret » (BROOKS et al. 2005). Nous nous sommes concentrées sur ces dernières dans ce mémoire de recherche tout en n'oubliant pas l'incertitude liée à des évènements futurs incertains en fonction « des probabilités de ruptures éventuelles de systèmes (cycles, flux) qui se situent aussi bien dans la sphère des dimensions physiques (cycle du carbone, courants océan-atmosphériques) qu'humaines » (Synthèse des séminaires franco-québécois ; Session 2 - Zones vulnérables, François BERTRAND, 2010). L'aspect proactif, quant à lui est primordial et incontournable dans la mise en œuvre de la durabilité (SMIT et al. 1999; DOVERS, 2009) voir une « condition critique » de toute implémentation d'une trajectoire de développement durable (GODARD, 1996).

La Commission Européenne estime le coût de l'absence d'adaptation à un minimum de 100 milliards d'euros (en 2020) puis à 205 milliards (en 2050), pour l'ensemble des pays membres de l'Union. Par exemple, la Commission a estimé qu'« 1€ dépensé pour la prévention des inondations évite 6€ de dommages ». La rapide mise en place de mesures d'adaptation ainsi que l'échange de bonnes pratiques sur le sujet sont donc un enjeu capital chez nous comme ailleurs. Le rapport STERN réalisé par le Royaume Uni renforce ce constat en faisant état de dégâts causés par le changement climatique « 5 à 20 fois supérieurs aux sacrifices que les systèmes économiques devraient supporter pour lutter efficacement contre l'effet de serre ». Autrement dit, le coût de couverture de l'ensemble des risques liés au changement climatique serait équivalent à perdre chaque année 5 à 20% de PIB de nos jours ainsi que dans le futur.

« Les experts mettent en garde contre le coût économique de l'inaction [...] Plus les gouvernements tardent, plus la charge sera lourde pour les générations futures »

Audrey GARRIC, Le Monde.

f. **Comment peut-on définir les termes de territoire et de grande ville ?**

Par le terme de territoire nous entendons indifféremment une collectivité territoriale, une communauté d'agglomération, un département une région, un État...

Nous en préciserons la nature si nécessaire, notamment les exemples.

Notre périmètre d'étude est celui des villes telles que définies par le dictionnaire Larousse «Agglomération relativement importante et dont les habitants ont des activités professionnelles diversifiées. (Sur le plan statistique, une ville compte au moins 2 000 habitants agglomérés)». Nous ne traiterons ici que les grandes villes, à savoir les villes d'au moins 100 000 habitants telles que définies par l'INSEE (2011) ou encore par le CREDOC (1998). A titre indicatif, en 2011, Montreuil (103 068 habitants) Nancy (105 382 habitants) ou encore Perpignan (118 238 habitants) peuvent être considérées comme des grandes villes ; loin derrière Marseille et Paris (respectivement 850 638 et 2 249 975 habitants).

g. Qu'est-ce qu'un risque ?

D'après le GIEC, un risque est :

« Défini comme potentiel de conséquences, dans lequel quelque chose de valeur est en jeu, et dont l'issue est incertaine. Nous reconnaissons par ailleurs la diversité des valeurs au sein des sociétés. Le risque s'exprime souvent en termes de probabilité d'occurrence d'événements dangereux ou de tendances multipliée par les impacts si ces événements ou ces tendances se produisent. Le risque résulte de l'interaction entre la vulnérabilité, l'exposition et le danger [...]. Dans le présent rapport, le terme de risque est principalement utilisé pour faire référence aux risques d'impacts du changement climatique».



Figure 3 : Carte des risques naturels en France. SOURCE : Mission Climat d'après le GIEC, Météo France, l'OCDE et le Conservatoire du littoral.

«En matière de risque, anticiper et, lorsque c'est possible, prévenir est plus efficace que de subir et de réparer »

DE PERTHUIS, 2010.

Les évènements à risques peuvent faire de nombreuses victimes à travers le monde. La France n'est pas à l'abri, bien que largement moins touchée que d'autres (voir figure 3 ci-dessus). L'Asie et l'Afrique notamment sont des zones considérées comme extrêmement risquées

(voir [figure 8](#)). Avec des épisodes tels que la tempête de Noël de 1999, les réguliers feux de forêt se propageant dans le sud, ou encore la tempête Xynthia en 2010 (voir figure 4 ci-dessous), des préjudices importants peuvent découler en termes tant humains que matériels; poussant les institutions publiques à s'intéresser à ces enjeux de plus en plus près. A titre d'exemple, de fortes tensions s'exercent déjà et s'intensifieront en ce qui concerne le secteur agricole, particulièrement vulnérable aux fluctuations climatiques, et ce, de manière accrue dans les pays chauds (Hervé LE TREUT). Dans son document intitulé la démarche française de réduction du risque de catastrophes, le MEDDE (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie) affirme que « deux-tiers des communes françaises sont exposées à au moins un risque naturel; 15 000 au risque inondation, principal risque majeur national ». Pour y faire face l'instrument national de référence se trouve être la politique française de gestion des risques majeurs. Elle répond à trois objectifs principaux : « prévenir les dommages, réduire leur ampleur et les réparer ; informer les citoyens afin qu'ils deviennent acteur de cette gestion ; gérer efficacement les crises et les catastrophes quand elles surviennent » et s'inscrit dans différentes formes de lignes directives et de coopération internationales.



Figure 4: Les dégâts de la tempête Xynthia. SOURCE Association Initiatives Dyonisiennes

Ainsi on voit que la vulnérabilité et l'adaptation se confondent avec la gestion des risques climatiques, répondant à une double-logique de prévention et d'intervention, mais faisant cependant l'objet d'un vocabulaire dédié. L'adaptation comprend ainsi une partie conjoncturelle avec la gestion de crise (réactivité) et une partie structurelle (pro-activité).

Toujours d'après ce document du MEDDE, les risques majeurs sont caractérisés par une faible fréquence et une gravité énorme et sont en partie ceux qui nous intéressent en plus des risques naturels tendanciels. Ils peuvent être regroupés en cinq grandes familles : les risques naturels, les risques technologiques, les risques de transports (collectifs et de

matières dangereuses), les risques de la vie quotidienne puis les risques de conflit. Les risques naturels quant à eux comprennent les avalanches, les feux de forêt, les inondations, les mouvements de terrain, les cyclones, les tempêtes, les séismes et les éruptions volcaniques. Il convient d'ajouter que la plupart de ces risques majeurs naturels attirent notre attention car, comme en témoignent les précédents rapports du GIEC, il est de notoriété publique que le changement climatique peut influencer sur l'apparition, la fréquence ou encore l'intensité des aléas climatiques.

Parmi les sept piliers de la politique française de prévention se trouve la prise en compte des risques dans l'aménagement et l'urbanisme au travers d'un contexte réglementaire spécifique :

« Afin de réduire les dommages lors des catastrophes naturelles, il est nécessaire de maîtriser l'aménagement du territoire, en évitant d'augmenter les enjeux dans les zones à risque et en diminuant la vulnérabilité des zones déjà urbanisées. Les plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR), institués par la loi Barnier du 2 février 1995, ont cette vocation. Ils constituent l'instrument essentiel de l'État en matière de prévention des risques naturels. [...] Pour les risques naturels, les zones à risques doivent être identifiées dans le plan local d'urbanisme (PLU), ex-plan d'occupation des sols, qui réglemente les constructions dans les zones exposées à un risque d'inondation, de tremblement de terre, d'éboulement, de glissement de terrain ou de crue torrentielle».

Le schéma ci-dessous (figure 5) permet de mieux comprendre le fonctionnement du millefeuille réglementaire lié à la gestion des risques naturels, ainsi que les différents cadres politiques de l'adaptation

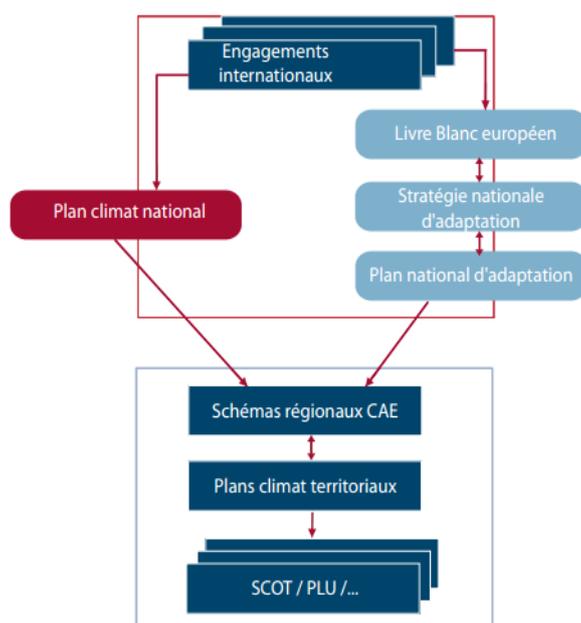


Figure 5 : Les différents cadres politiques de l'adaptation en France. SOURCE : Michel Galliot, 2010, ONERC

en France.

Il convient d'ajouter que l'ONERC reste le point focal du GIEC pour la France en termes d'adaptation. Suite aux négociations internationales et européennes - Livre Vert de la Commission, 2007, auquel les maires des grandes villes de France ont participé; puis Livre Blanc de la Commission, 2009 et Stratégie d'adaptation de l'Union Européenne, 2013 - ayant eu lieu la France valide en 2006 sa « Stratégie nationale d'adaptation » regroupant des mesures dites « sans regret » c'est à dire « gagnants-»

gagnants » ; des mesures réversibles réglementairement et des mesures visant à augmenter le marge de sécurité dont bénéficient les territoires. Cette stratégie a donné naissance à un « Plan d'adaptation » (PNACC) en 2011 sur programmation du Grenelle de l'environnement (MEDDTL; 2011) qui rend notamment obligatoire l'élaboration d'un Schéma régional Climat Air Énergie (SRCAE) comprenant une analyse de vulnérabilité ainsi qu'un volet « adaptation ». Ce dispositif est complété par un Plan Climat Énergie territorial (PCET) devant s'acquitter d'un volet relatif à l'adaptation (Michel GAILLOT 2010; voir Figure 5).

III. Etude du terrain : L'urbanisme biomimétique face au changement climatique

Comme nous l'avons dit plus tôt, la démarche biomimétique répond à une batterie de critères et de lois naturelles. Elle est complète car elle tient compte de tout un écosystème, et en ce sens nous paraît être idéale afin d'analyser les interactions entre l'adaptation et les autres dimensions essentielles de la durabilité. Elle offre une vision systémique, multidimensionnelle et dynamique permettant d'analyser la mesure dans laquelle les villes peuvent évoluer vers une résilience proactive (DOVERS et HANDMER, 1992) afin d'éviter de futurs aléas climatiques dommageables, voire de futures catastrophes naturelles. A ce titre, il est nécessaire de rappeler « qu'en matière de risque, anticiper et, lorsque c'est possible, prévenir est plus efficace que de subir et de réparer » (DE PERTHUIS, 2010).

Lesdites lois naturelles peuvent être représentées au travers de 9 principes devant être respectés (J.BENYUS, 2011) :

1. « La nature utilise principalement l'énergie solaire
2. La nature n'utilise que la quantité d'énergie dont elle a besoin
3. La nature adapte la forme à la fonction
4. La nature recycle tout
5. La nature récompense les coopérations
6. La nature parie sur la diversité
7. La nature travaille avec des ressources locales
8. La nature limite les excès de l'intérieur
9. La nature utilise les contraintes comme des opportunités ».

Ces lois imposent, pour un problème donné, de faire le choix des solutions les plus évidentes, de celles qui utilisent le moins d'énergie suivant un processus d'optimisation comme celui suivi par l'évolution longue des espèces. C'est donc essentiellement observer le fonctionnement d'un organisme, en déduire un principe ou un algorithme simple et l'appliquer ensuite pour des actions complexes que de les suivre (Janine BENYUS).

La démarche « Natural Step » est une démarche de développement durable reposant sur ces mêmes lois essentielles et constitue un cadre méthodologique simple mais intéressant pour créer et produire dans une démarche biomimétique. Les 4 grands principes retenus sont repris ici :



Figure 6 : Une démarche systémique - Les 4 Principes de Durabilité », SOURCE : The Natural STEP

« Le vivant utilise des ressources simples mais abondantes : carbone, hydrogène... quand les humains utilisent des ressources puissantes mais rares »

Gilles BCEUF, Muséum national d'histoire naturelle, Paris.

Ces quatre grands principes sont tout à fait calqués sur la nature. En effet, dans la nature les organismes et les espèces animales et végétales se développent en évitant les substances toxiques, en réduisant au minimum l'apport en énergie nécessaire, en ne dégradant pas leur environnement direct et en s'approvisionnant de manière

optimale et locale, dans un but ultime de survie. Les espèces utilisant plus de ressources que ce qui peut être renouvelé, sont vouées à disparaître. Elles appliquent à merveille le principe du zéro déchets ou de l'utilisation en boucle de matières premières que nous avons retraduits en termes économiques pour correspondre à nos modes de fonctionnement comme : « un système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement » (ADEME 2013).

III.1. Urbanisme biomimétique : villes d'aujourd'hui

La ville est un "berceau historique des principales civilisations [...] concentrant les richesses commerciales, culturelles et cognitives" (Session 1: Villes, Christiane WEBER), c'est le lieu privilégié de la vie humaine moderne et c'est aussi le lieu d'expression privilégié de l'art architectural. La nature a toujours été source d'inspiration dans l'histoire de l'architecture avec des architectes tels que Victor HORTA (Belgique), Antonio GAUDI (Espagne) ou encore Santiago CALVATRA (Espagne). Selon l'architecte belge Luc SCHUITEN « après ce biomorphisme vient l'étape suivante : le biomimétisme, afin de dépasser l'esthétisme en l'agrémentant de propriétés fonctionnelles et durables ». Ainsi la ville est l'interface par excellence entre l'Homme et la Nature, d'où notre focus sur ce périmètre.

De plus, de nombreux sociologues et prospectivistes ont récemment noté des transformations majeures

« Quand villes et forêts seront fonctionnellement indiscernables, nous serons vraiment chez nous sur cette planète ». Janine BENYUS

de société opérant depuis l'après-guerre et s'accéléralent notamment depuis la récente crise économique. Les valeurs et les modes de vie des citoyens occidentaux semblent alors se « verdir » et avec une conscience environnementale et planétaire augmentée (Penser autrement les modes de vie en 2030, CGDD, 2014). Dans ce contexte sociétal, UP

MAGAZINE affirme que « Le temps des villes « froides » et « hors sol », c'est-à-dire déconnectées de leur milieu naturel, quadrillant l'espace social est, depuis longtemps, dépassé. Aujourd'hui, la ville doit être chaleureuse, vivante et en lien directe avec sa biosphère. Se régénérant grâce aux maisons énergétiquement autonomes, des quartiers s'ouvrent en corolles, des balcons se moissonnent et des toits se reboisent ». Ainsi, l'Homme semble se rapprocher de nouveau de sa « biosphère » d'où un intérêt grandissant pour les « villes durables », les « villes post-carbones » (ADEME, Mission prospective du MEDE) et depuis peu les « villes biomimétiques ». Cela illustre bien le fait qu' « on ne peut pas parler de biomimétisme sans humanisme » (Gilles BCEUF, Muséum national d'histoire naturelle, Paris).

A titre d'illustration la ville de Vélizy-Villacoublay a organisé un évènement autour des « ville biomimétiques, ville de demain ». Ainsi le biomimétisme urbain commence à se frayer un chemin et la ville de Vélizy-Villacoublay se positionne en tant que pionnière française en la matière ; elle espère notamment établir un cahier des charges définissant la ville biomimétique.

Selon Guillaume PORCHERON (chargé de mission éco-région à Vélizy) une ville biomimétique serait alors:

“Une ville qui fonctionne comme un écosystème abouti, où les organismes utilisent les déchets en tant que ressources et où la diversification et la coopération est la vraie loi de la jungle, et non la compétition comme nous avons trop tendance à le croire...[...] Ce serait une ville qui fonctionne exclusivement à l'énergie solaire (et à ses énergies secondaires telles que le vent), une ville où l'optimisation remplace la maximisation et qui puise sa créativité dans les limites qui lui sont imposées. Ce serait une ville open source qui se nourrit d'informations et enfin qui se fournit localement. Et les exemples se multiplient pour illustrer cela : l'économie circulaire - valorisant et optimisant le recyclage - fait ses preuves dans nombre d'endroits comme par exemple dans la ville Danoise de Kalundborg, l'architecture symbiotique se concrétise, l'agriculture urbaine se développe ou s'étudie, les « smart cities » deviennent petit à petit une réalité...”.

Ainsi, si la biomimétique ne commence que timidement à être appliquée à des projets urbains, nous allons dans la suite de ce document tenter d'étudier le potentiel qu'a cet art de s'inspirer des formes et des matériaux naturels pour rendre les grandes villes plus résilientes au changement climatique.

« En Inde et en Chine les premières villes conçues selon les principes du biomimétisme voient le jour. Inspirées des biomes locaux et de la performance de leurs écosystèmes et des principes du vivant, elles allient des solutions durables aux enjeux sociaux, économiques et environnementaux » (exposition « ville biomimétique, ville de demain », Vélizy, 2014). A titre d'illustration, architectes et urbanistes tentent actuellement de comprendre comment les espèces des environs de KHED (Inde), ont su s'adapter à des conditions locales difficiles dans le but de développer cette ville. De

« **Ville biomimétique, ville de demain** » exposition à Vélizy-Villacoublay (78)

Applications présentées lors de l'exposition de mai 2014 à Vélizy :

« - Nature en ville : Module bioclimatique urbain NEOBAB® : apporter une réponse innovante d'agriculture urbaine en associant architecture, environnement et économie sociale et solidaire.

- Transports et déplacements : Modulobus : s'inspirer du fonctionnement des phéromones pour développer un système de transport à la demande, en temps réel.

- Architecture : Agora Garden : s'inspirer de la structure en double hélice de l'ADN pour construire une résidence végétalisée et durable qui vise à limiter l'empreinte écologique de ses habitants.

- Organisation de la ville : Spider Towns : tirer les leçons du savoir arachnéen et les utiliser afin d'améliorer l'aménagement des villes et de leurs réseaux de transports urbains »

même, dans le cas de la ville de LAVASA (Inde), c'est l'aspect fonctionnel de la forêt humide qui a été étudié. Aussi, en France des chercheurs essaient d'apprendre de la structure des toiles d'araignée, fascinant outil d'un développement urbain plus équilibré et plus efficace entre le centre et les périphéries notamment à travers sa forme « radioconcentrique ».

Le cas de Paris

Il en va de souligner l'importance de la quantité et de la qualité des données dans ce type d'analyse. Ainsi, pour la France la ville de Paris bénéficie, par exemple, d'un volume et d'une qualité supérieure des données climatiques et des données relatives au PCET et à la politique d'adaptation par rapport à nombre d'autres villes françaises. Cette disponibilité des données, nous permettra de faire souvent référence au bassin parisien et donc, d'avoir un terrain d'étude intéressant. En effet, selon Météo France, l'observatoire météorologique de Paris-Montsouris est l'un des plus anciens de France et a vu le jour en 1872. Il a été rattaché directement à la ville en 1887 et ses champs d'activité se sont diversifiés au fil du temps, comprenant l'étude de

III.2. Des villes sujettes à des pressions climatiques croissantes

Une des meilleures manières d'étudier le potentiel du biomimétisme comme solution d'adaptation aux changements climatiques est de raisonner par type d'aléa ; d'en étudier les impacts et les mesures sur les événements extrêmes type inondations, d'adaptation potentielles. A cet effet, pour chaque territoire étudié au travers des études de cas, nous avons répertorié les aléas ou tendances climatiques majeures étant facteurs de vulnérabilité pour ensuite exposer des mesures d'adaptation possibles ou souhaitables en les illustrant notamment par un focus sur la ville de Paris .

Il est important de s'intéresser aux conséquences qu'ont les aléas climatiques notamment car « lors de ces événements, les territoires dévastés produisent en quelques heures 5, 10, 20 fois, ou davantage encore le volume de déchets qu'elles produisent normalement en une année, ce qui entraîne d'importants problèmes sanitaires et environnementaux » (PRIM.net). Ils peuvent également avoir indirectement un impact négatif sur la compétitivité économique des territoires.

Le cas de Paris

l'atmosphère ainsi que de ses variations, l'étude chimique de l'air, des eaux, du sol et également l'analyse micrographique de l'eau et de l'air. Ces données sont précieuses à la « compréhension des climats, passé, présent, futur », afin d'enrichir le « patrimoine climatologique » relatif au bassin parisien (Météo France).

« L'étude du climat passé et futur révèle le fait que ces événements extrêmes ont toujours existé et que dans le contexte du changement climatique actuel, ils persisteront voire s'amplifieront pour certains d'entre eux. Qualifier au mieux leurs évolutions futures en fréquence et en intensité est donc une nécessité pour mieux évaluer l'exposition et la vulnérabilité d'un territoire. (...) De plus, « à Paris on ne note pas d'évolution significative sur les événements extrêmes type inondations, fortes pluies, grêle, tornades, tempêtes. [...] En revanche, on note une évolution pour ce qui est des fortes chaleurs et grands froids ».

Cela peut être expliqué par sa localisation géographique mais également par l'existence d'un micro-climat parisien, que nous évoquerons plus en détail plus tard.

Afin de connaître la vulnérabilité d'un territoire et d'y apporter des solutions, il est très important de connaître le passé climatique d'un territoire car « garder une mémoire des aléas et des fluctuations climatiques constitue une des meilleures protections » (GIEC) contre le changement climatique car « le vivant agrège un grand nombre de signaux climatiques » (Hervé LE TREUT).

La démarche conseillée, par l'ADEME notamment, est d'étudier l'évolution du climat d'un territoire donné au travers des tendances climatiques et événements extrêmes appelés aussi aléas climatiques selon les autorités en la matière, telles que Météo France au niveau national. Cet exercice est utile afin de mettre en exergue le type de vulnérabilités auxquelles doivent faire face les grandes villes de par le monde..

Il convient de préciser que les extrêmes météorologiques sont essentiellement définis par le GIEC comme « le fait qu'une variable météorologique ou climatique prenne une valeur située au-dessus (ou au-dessous) d'un seuil proche de la limite supérieure (ou inférieure) de la plage des valeurs observées pour cette variable. Par souci de simplicité, cette expression est utilisée pour désigner les phénomènes extrêmes à la fois météorologiques et climatiques ». Ces extrêmes, ou aléas climatiques sont rares et ponctuels et se manifestent, par, des inondations, des sécheresses, des fortes chaleurs, des grands froids, des tempêtes et la montée des océans».

La majorité des dommages induits, par le changement climatique, sur des environnements dits « construits » à savoir comprenant des infrastructures, sont repris dans le tableau ci-dessous :

Potential Direct Climate Change Impacts:	Consequences for the built environment:
Changes in temperatures (Likely to increase in most areas)	Increased overheating and air conditioning load Decreased winter space heating Decreased water heating energy
Increased intense weather events.	Damage to buildings and infrastructure
Changes in precipitation patterns	Damage to foundations Increased inland flooding Damage to facades and internal structure due to rain penetration Increased subsidence Increased erosion, landslips, rock falls Changes in aquifers and urban water supply and quality. Increase pressure on storm drainage Increased storm water run off and leaching of pollutants into water ways or aquifers
Thermal expansion of oceans and changes in the cryosphere (ice systems) such as retreating snow lines, ice packs and melting glaciers	Increased coastal flooding Increased erosion Changes in sedimentation patterns Changes in water tables and possible infiltration of aquifers. Relocation from coastal areas Loss of inter tidal areas acting as buffer zones

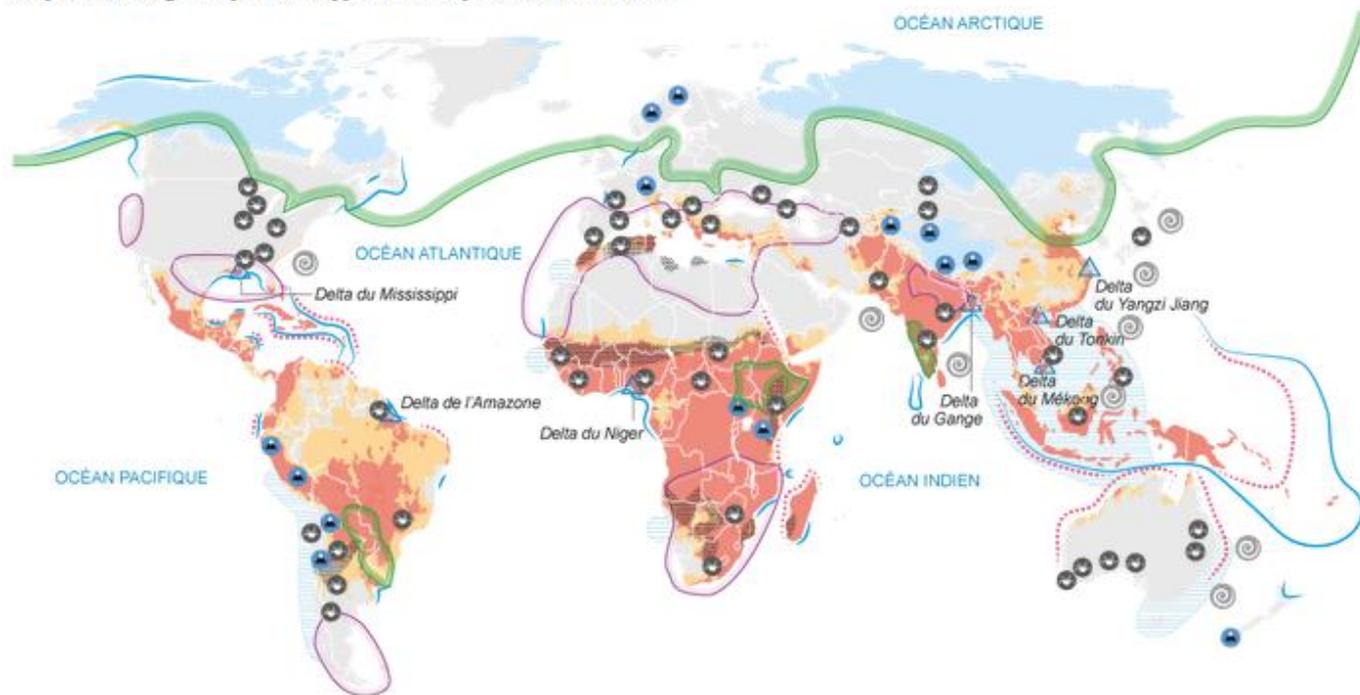
Figure 7: Tableau : Impacts directs du changement climatique sur le patrimoine bâti (PEDERSEN ZARI, 2008).

Une fois de plus, nous rappelons que ces impacts varient en fonction de la zone géographique, tous les territoires n'étant pas sujets aux mêmes aléas. La carte ci-dessous (figure 8) met en avant les principaux impacts du réchauffement climatique dans le monde d'après les projections. On voit ainsi que tous les continents seront touchés par ce phénomène d'ampleur mondiale. Chaque territoire a à faire face à des aléas différents, fonction de sa position géographique. Les risques extrêmes se concentrent davantage sur l'Amérique Latine, la partie Subsaharienne de l'Afrique et l'Asie. La hausse des précipitations se fera davantage ressentir pour les pays du Nord. Nombre de territoires connaîtrons une forte désertification.

La carte des impacts du réchauffement climatique

Le Monde.fr | 27.09.2013 à 16h41 - Mis à jour le 27.09.2013 à 17h14

Cliquez sur les légendes pour faire apparaître et disparaître les informations



Zone de risque lié au changement climatique

- Risque extrême*
- Risque élevé
- Grands deltas menacés

Effets multiples et difficiles à mesurer

- Hausse des précipitations
- Baisse des précipitations
- Désertification
- Activité cyclonique accrue
- Montée du niveau de la mer
- Fonte du pergélisol
- Fonte des glaciers
- Dégradation des systèmes agricoles
- Dégradation des ressources halieutiques
- Dégradation des récifs coralliens

*selon l'Index "Climate Change Vulnerability"

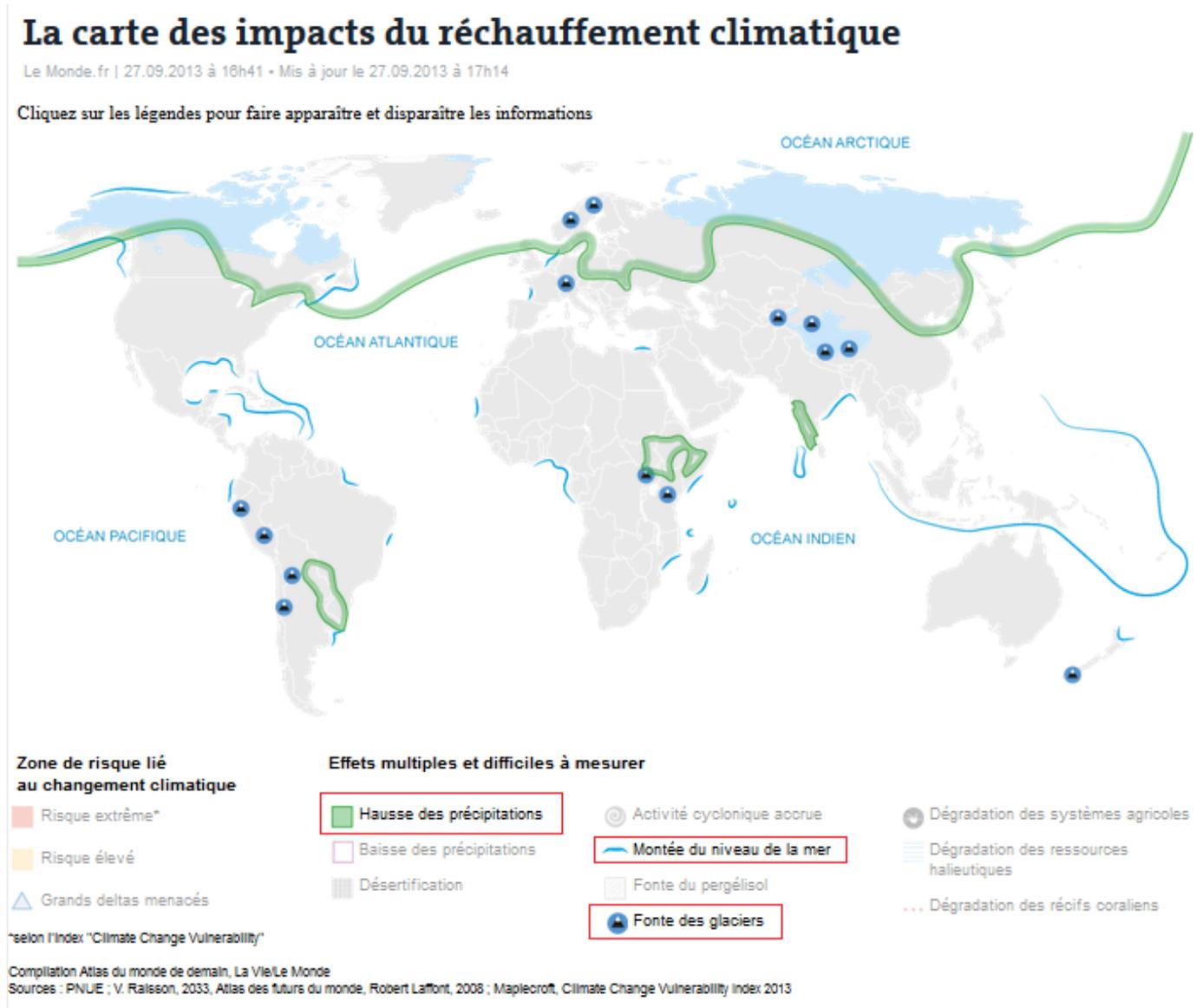
Compilation Atlas du monde de demain, La Vie/Le Monde

Sources : PNUF ; V. Raisson, 2033, Atlas des futurs du monde, Robert Laffont, 2008 ; Maplecroft, Climate Change Vulnerability Index 2013

Figure 8: Carte des impacts du réchauffement climatique. SOURCE : http://www.lemonde.fr/planete/visuel_interactif/2013/09/27/la-carte-des-impacts-du-rechauffement-climatique_3486190_3244.html

Nous nous servirons également de cette même carte interactive pour mettre en exergue les impacts du changement climatique en fonction des aléas que nous traiterons l'un après l'autre ci-dessous.

a. Inondations, fortes pluies



Projections : Selon les experts du GIEC (GIEC, 2012) les précipitations devraient suivre une évolution à la hausse, que ce soit en quantité ou en fréquence, avec une pluviosité totale qui augmentera dans de nombreuses régions au cours du siècle. Cette intensification « vaut surtout pour les hautes latitudes et les zones tropicales et, en hiver, pour les latitudes moyennes de l'hémisphère nord ». Ces évolutions pourraient modifier les paramètres liés aux crues et provoquer des inondations.

Le cas de Paris

Conséquences : Outre le risque pesant sur les vies humaines, les conséquences des fortes pluies (pluies torrentielles...) et des inondations (crues...) les plus connues sont liées aux infrastructures et à l'agriculture. En voici quelques exemples :

- la saturation des réseaux d'évacuation des eaux et indirectement les risques sanitaires qui peuvent en découler,
- des dysfonctionnements des réseaux de distribution d'électricité qui peuvent avoir à leur tour des conséquences économiques et sociales fort dommageables,
- dommages aux habitations, commerces et infrastructures (métro...),
- perte dans le secteur agricole : récoltes et bétail

Derniers « événements extrêmes mémorables » à Paris, selon Météo France :

- 06/07/2011 : plus de 100mm en 24 heures ;
- Crues de la seine en 1910, 1924, 1955, 1959 et 1982.

Evolution et projections (Météo

France): Une évolution du climat parisien a été mise en évidence par Météo France, permettant de voir les tendances climatiques à l'œuvre notamment concernant le régime des précipitations. Ainsi entre 1901 et l'an 2000 une hausse des précipitations annuelles a été observée, « plus marquée pendant l'hiver (+15%) que durant l'été (+5%), cependant cette tendance semble s'inverser « dans la mesure où la première décennie du XXIème siècle a été particulièrement sèche, avec un déficit de 10% par rapport aux normales climatiques ». De plus, un contraste hiver/été devrait être plus marqué au cours du XXIème siècle et "le nombre de jours très pluvieux (>10 mm par jour) pourrait s'intensifier".

b. Grands froids

Là encore un risque humain est indéniable surtout vis-à-vis de population vulnérables tels que les sans-abri ou les personnes en grande précarité ne pouvant se chauffer, sans compter les accidents civils. Des conséquences au niveau des infrastructures sont très probables avec une usure et des dysfonctionnements : coupures d'électricité, des problèmes d'aiguillage des trains, impossibilité de circuler, gèle des récoltes, augmentation des pathologies infectieuses, intoxication au monoxyde de carbone (dû au chauffage).

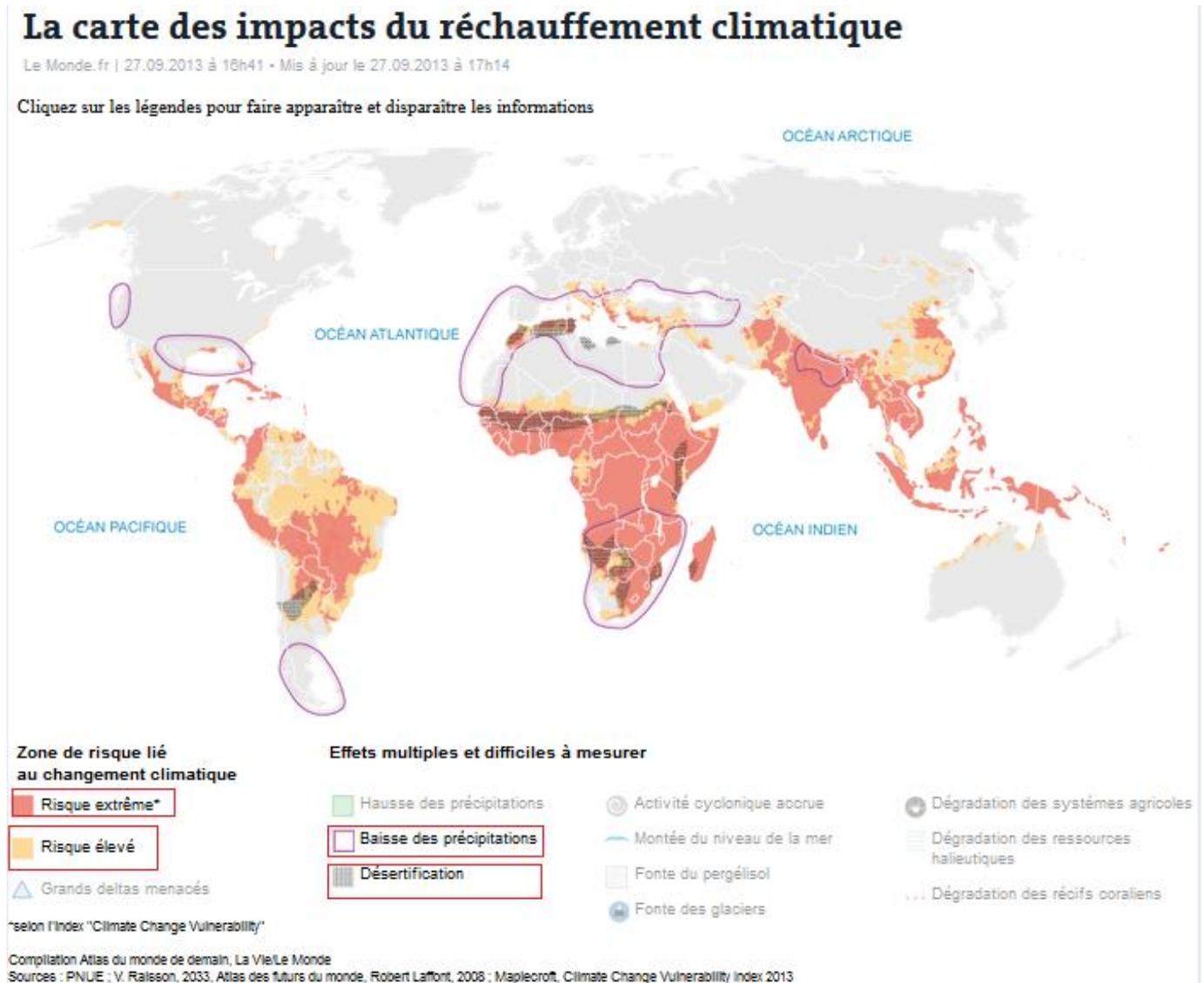
Le cas de Paris

Derniers « évènements extrêmes mémorables » à Paris,

- 1978, Gel de la St Sylvestre : en 24 heures la température est passée de +11,8°C à -10,3°C,
- Vagues de froid de 1985, 1986, 1991, 1997, 2003, 2005 puis 2012.

Evolution et projections : “Une tendance au maintien des épisodes de froid” est prévue par Météo France avec cependant une moindre fréquence du nombre de jours de gel, une période hivernale plus courte et des évènements de grand froid moins fréquents et moins intense.

c. Fortes chaleur, îlot de chaleur urbain et sécheresses



Projections : Les modèles du GIEC (GIEC, 2012) "prévoient une élévation prononcée des températures extrêmes d'ici à la fin du XXIème siècle". A l'échelle mondiale il devrait y avoir une augmentation en fréquence et/ou en intensité des vagues de chaleur et des périodes chaudes, avec notamment "une augmentation en ordre de grandeur des valeurs extrêmes des températures maximales quotidiennes". De plus, selon la région et le scénario retenu (B1, A1B, A2) "il est probable que la valeur extrême de la température maximale quotidienne [...] s'élèvera de 1 à 3°C d'ici au milieu du XXIe siècle et de 2 à 5°C d'ici à la fin du XXIe siècle". Conséquemment, il a été estimé "avec un degré de confiance moyen" que les épisodes de sécheresses s'intensifieront durant ce siècle "au cours de certaines saisons et dans plusieurs régions", notamment à cause d'une baisse de la pluviosité et/ou d'une hausse de l'évapotranspiration

globale. Les sécheresses peuvent occasionner d'importantes conséquences sanitaires (déshydratation...) concernant les populations vulnérables : enfants, personnes âgées et isolées. Le train de vie économique peut être ralenti à cause de conditions de travail inhabituelles, sans mentionner les conséquences parfois catastrophiques sur le secteur agricole nécessitant d'avoir recourt (si autorisé) à des systèmes d'irrigation. De plus, les ressources en eau douce peuvent gravement être amoindries par ces situations d'extrême chaleur.

Conséquences : Une caractéristique spécifique et aggravante présente dans les grandes villes est l'îlot de chaleur urbain. Les milieux urbanisés subissent de fortes modifications en fonction de leurs caractéristiques climatiques et topographiques, et de manière plus locale en fonction du degré de densité et de caractéristiques thermiques, notamment les caractéristiques radiatives du tissu urbain. La densité urbaine favorise alors des températures supérieures en ville par une conjonction de facteurs aggravants.

Le cas de Paris

Derniers « événements extrêmes mémorables »

- 2006 : canicule sur quinze jours, 37°C atteints avec des températures maximales et minimales avoisinant ou dépassant les 20°C.

- Sécheresses de 1921, 1959, 1976 et 2011.

Evolution et projections : Selon Météo France, « le nombre d'heures d'insolation, a diminué d'environ 150 heures par an durant la période 1930-2000, cependant « une augmentation des températures moyennes quotidiennes (+2 à 4°C) » devrait être observée d'ici la fin du siècle, avec « une augmentation du nombre de jours chauds, très chauds et extrêmement chauds ». Enfin, il devrait y avoir plus d'épisodes caniculaires prévus avec « 10 à 20 jours par an, au lieu d'un jour par an en moyenne actuelle amplifiant par là le stress thermique parisien, amplifié par l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU) ». Ainsi la France devrait subir des épisodes caniculaires tels que celui de 2003 de plus en plus fréquemment avec notamment un assèchement des régions méditerranéennes (DUFRESNE et al. 2006).

Le cas de Paris

d. Tempêtes, tornades et grêle

Ces types d'aléas occasionnent de lourdes pertes humaines et matérielles à travers des enjeux économiques, environnementaux et sociaux :

- personnes blessées ou décès,
- pertes ou perturbations d'activités plus ou moins importants dus à des destructions ou des dommages portés aux bâtiments privés ou publics, aux infrastructures : industrielle ou de transport, dont l'interruption de services tel que les trafics routier, ferroviaire et aérien imposant à leur tour des réparations et remises en service ayant un coût.
- atteintes à l'environnement, c'est-à-dire à la faune, la flore, les milieux terrestres et aquatiques de manière directe par rapport aux des tempêtes : destruction par les vents de forêts... et de manière indirecte : pollution du littoral et des terres à la suite de dégâts portés aux infrastructures.

Exemple d'«événements extrêmes mémorables,

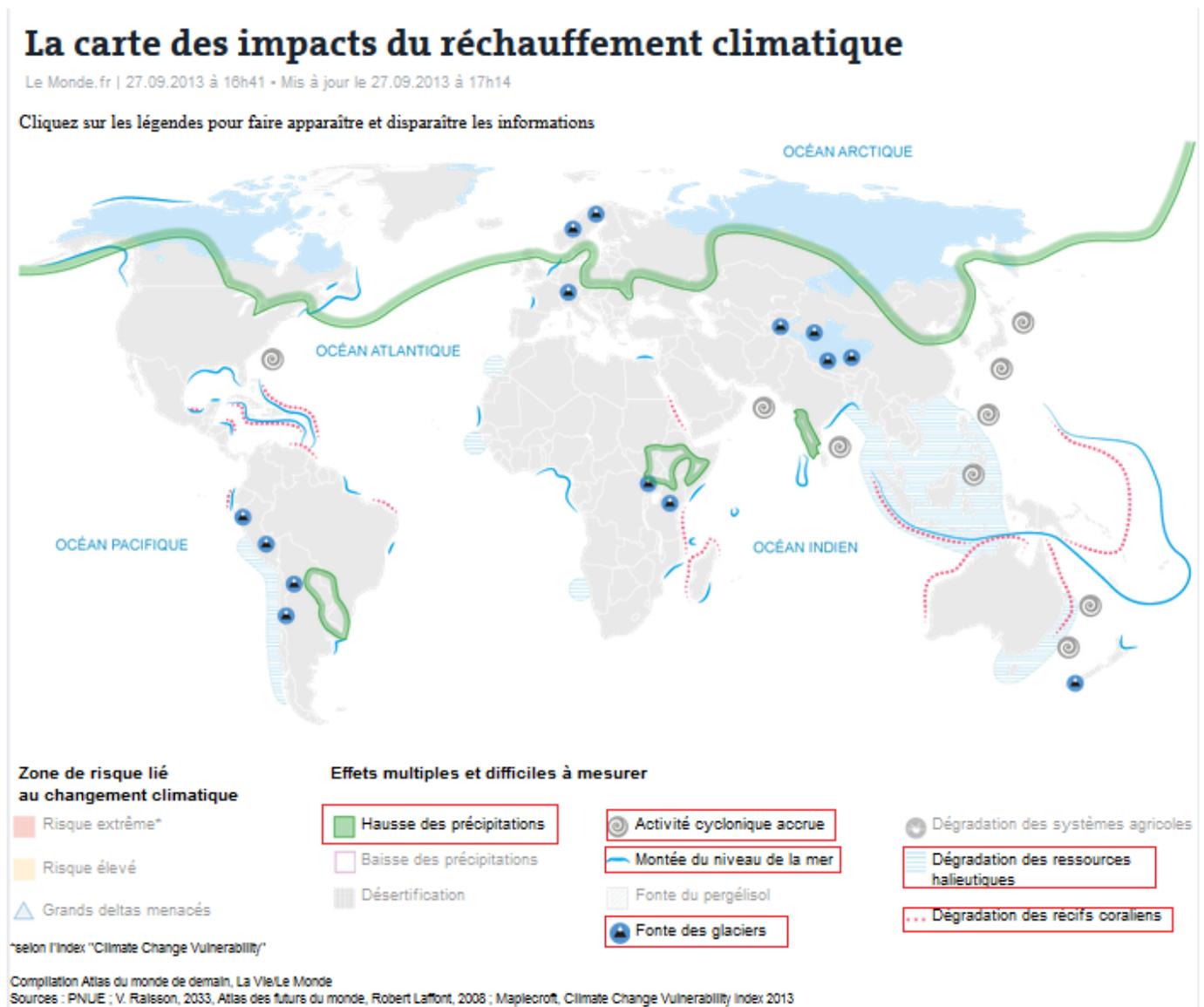
- Septembre 1896 : tornade de niveau 2 avec des vents estimés à 180 Km/h, Paris

- Février 2010 : tempête Xynthia avec des vents à 122 km/h, Paris

Evolution et projections: "Aucune projection climatique ne permet d'affirmer avec certitude une évolution à la baisse ou à la hausse du nombre de tempêtes" affirme Météo France

e. Montée des eaux

Concernant la montée des eaux, la carte présentée pour les fortes pluies et inondations est également valable. Nous avons fait le choix d'y ajouter certains critères, en tenant compte des impacts que cela peut avoir si la vie marine (dégradation des ressources halieutique et des récifs coralliens notamment)



D'après l'ONERC (2013), la montée des eaux s'est accélérée au cours des deux dernières décennies et l'on projette une hausse pouvant atteindre de 40 à 63 cm d'ici à 2100. Cette hausse du niveau marin est due principalement à 3 facteurs que sont ; les mouvements naturels de la croûte terrestre, la dilatation thermique des eaux et la fonte des glaces continentales. Les deux derniers facteurs étant directement liés au changement climatique. Il est indéniable que le phénomène graduel d'élévation du niveau des eaux

continuera au-delà des années auxquelles s'arrêtent les projections, à savoir 2100. En 2007, le rapport du GIEC prévoyait une hausse allant de 18 à 59 centimètres en fonction de la zone géographique étudiée en 2100. Or dans son rapport de 2013, les prévisions ont été largement revues à la hausse pour atteindre les 80 centimètres ! Le GIEC ne prévoit de hausse d'environ un mètre que pour des scénarios dits catastrophiques. Seulement, aucune projection n'est aujourd'hui établie avec certitude et nombre de scientifiques ont des résultats différents (les climatologues de la NASA l'estiment à 2,25 mètres d'ici la fin du siècle) c'est pourquoi le GIEC reste la référence en la matière.

D'après la banque mondiale (2013)

« Avec le développement des villes côtières en Afrique et en Asie, les plus pauvres de leurs résidents sont pour la plupart rejetés aux confins des zones habitables, là où les conséquences du changement climatique entraînent les plus grands dangers. Accrochées dans des baraques de fortune sur les berges des cours d'eau ou entassées dans des zones situées à peine plus haut que le niveau de la mer, mal drainées et mal desservies par les services publics, ces populations sont totalement exposées aux assauts des tempêtes, à la montée des eaux et aux crues. Un rapport qui vient de paraître montre que ces communautés pauvres des villes du littoral et des îles de faible altitude sont parmi les plus vulnérables du monde face au changement climatique. Et que ce sont aussi les moins à même de mobiliser des moyens pour s'adapter. »

En effet, les zones littorales sont extrêmement exposées et vulnérables aux changements climatiques et plus précisément à l'élévation du niveau de la mer. D'après les projections, la hausse du niveau de la mer pourrait faire disparaître un grand nombre de villes littorales. Le sujet est donc plus que sensible pour nombre de villes côtières, de deltas et d'Etats insulaires. Une étude parue dans la *revue Nature Climate Change* chiffre le coût des inondations à 1000 milliards de dollars si rien n'est prévu pour prévenir leur engloutissement même partiel.

Près de 40% de la population mondiale vit sur le littoral à moins de 60 kilomètres des côtes. Les Nations Unies prévoient même qu'en 2010, 80% des hommes habiteront sur une bande côtière de 100 kilomètres. Les villes côtières sont très attractives en raison de leurs prestations : climat et paysage agréables, activités nombreuses, ports de commerce, tourisme etc.

D'après les estimations de l'OCDE une hausse de 50 cm du niveau des mers exposerait 150 millions de personnes à des inondations et selon le Haut-Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés (UNHCR)

les catastrophes naturelles liées au changement climatique pourrait faire passer le nombre de réfugiés de 25 millions (2013) à 250 millions d'ici 2050. Avec plus de 40 % de la population vivant en zone côtières et 13 % de la population urbaine mondiale vivant sur ces côtes à risques, qui ne couvrent pourtant que 2% de la surface mondiale, la montée des eaux laisse présager de nombreuses catastrophes. La majeure partie des grandes villes d'Asie est bâtie sur des zones côtières, autour de ports de commerce ce qui en fait l'une des régions du monde les plus à risques (3/4 de la population vit en zone côtière).

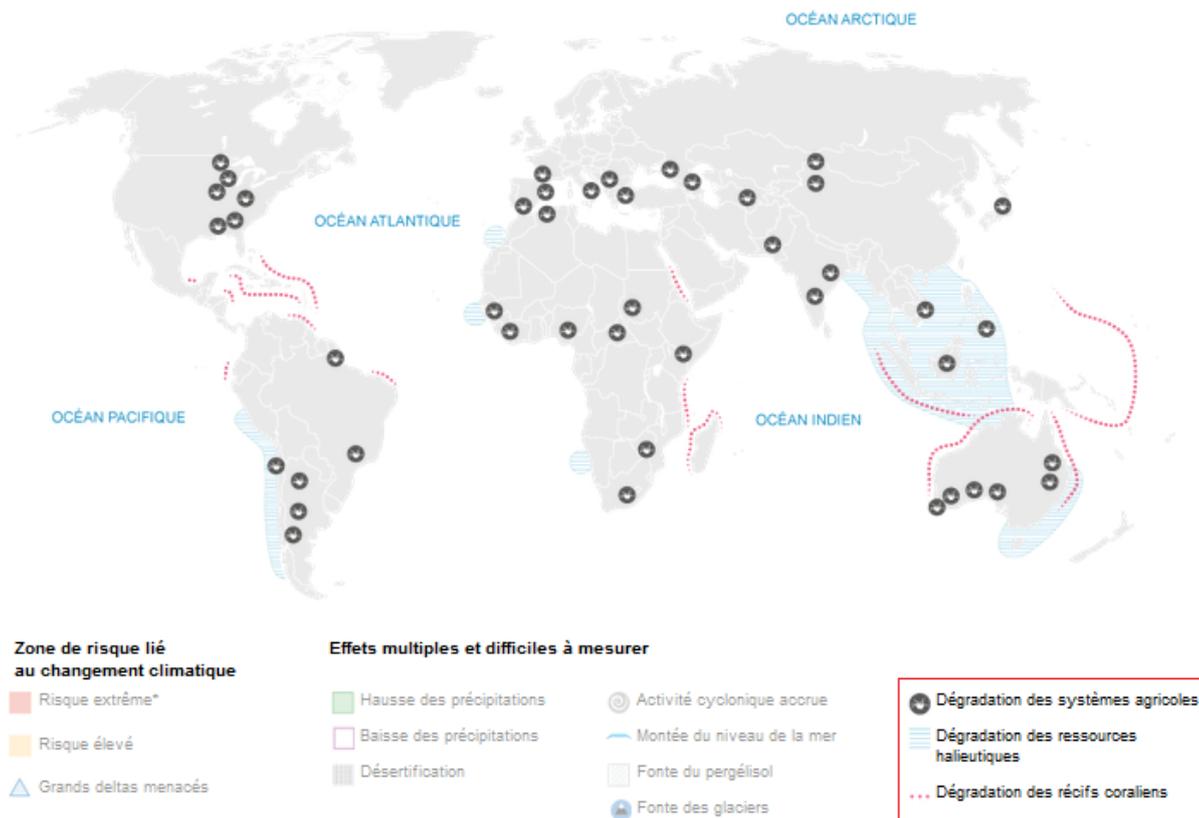
La montée des océans engendrerait un cercle vicieux en termes d'urbanisation. Les populations contraintes à fuir les zones littorales se verraient forcées d'aller gonfler les chiffres de l'urbanisation dans des villes déjà saturées. Les zones agricoles inondées par les eaux salées ne seraient plus cultivables, provoquant également des conséquences alimentaires au niveau international. Sans parler des eaux potables. D'un point de vue écologique, l'eau salée modifierait de façon critique les écosystèmes des zones inondées.

f. Une insécurité alimentaire exacerbée

La carte des impacts du réchauffement climatique

Le Monde.fr | 27.09.2013 à 16h41 • Mis à jour le 27.09.2013 à 17h14

Cliquez sur les légendes pour faire apparaître et disparaître les informations



Compilation Atlas du monde de demain, La VieLe Monde
Sources : PNUE ; V. Ralison, 2033, Atlas des futurs du monde, Robert Laffont, 2008 ; Maplecroft, Climate Change Vulnerability Index 2013

«Les scientifiques nous disent qu’avec de 2 degrés de plus (scénario qui risque de se concrétiser d’ici 20-30 ans), le monde connaîtra des pénuries alimentaires généralisées, des vagues de chaleur sans précédent et des cyclones plus intenses ».

Jim Yong Kim

Président du Groupe de la Banque mondiale

Il est un point que nous n’avons pas traité comme faisant partie des aléas climatiques, mais qui va cependant très fortement impacter les populations. Il s’agit de celui de l’insécurité alimentaire exacerbée. « L’agriculture est en première ligne des impacts du réchauffement – et souffre déjà du changement en cours. Selon le GIEC, les rendements des grandes cultures pourraient perdre en moyenne 2 % par décennie sans réel effort d’adaptation, alors que, pour répondre à la demande

mondiale, il faudrait en augmenter la production de 14 % par décennie. La pêche sera aussi touchée, avec des espèces marines moins nombreuses autour des tropiques et de forts taux d’extinction au niveau local. Enfin, le GIEC évoque des pénuries d’eau en Afrique, en Asie et dans le sud de l’Australie. Conséquence : la sécurité alimentaire en sera affectée et la pauvreté augmentera, particulièrement dans les pays d’Afrique et d’Amérique du Sud. » (GARRIC A., 2014).

Le changement climatique dans les PED

« Afrique subsaharienne

En Afrique subsaharienne, les chercheurs ont identifié la question de la sécurité alimentaire comme le défi suprême, en raison des risques de sécheresse et d'inondation et sous l'effet de la modification des régimes de précipitations.

Avec un réchauffement de 1,5 à 2 °C, sécheresse et aridité rendront entre 40 et 80 % des terres agricoles impropres à la culture du maïs, du millet et du sorgho à l'horizon 2030-2040.

Avec 4 degrés supplémentaires, à l'horizon des années 2080, les précipitations annuelles pourraient diminuer jusqu'à 30 % en Afrique australe tandis que l'est du continent risque de connaître, selon de multiples études, un phénomène inverse. Le niveau de dioxyde de carbone augmentant, les écosystèmes pastoraux se modifient (des prairies qui deviennent des savanes boisées par exemple), ce qui risque de réduire la disponibilité de fourrages pour le bétail.

Asie du Sud-Est

En Asie du Sud-Est, les villes côtières sont soumises à un stress immense à cause du changement climatique.

Une élévation du niveau des océans de 30 centimètres, attendue dès 2040 si rien n'est fait, provoquerait des inondations importantes dans les villes et gorgerait de sel les champs situés en contrebas, qui deviendraient ainsi impropres à la culture. Dans un pays gros producteur de riz comme le Viet Nam, ce phénomène menace sérieusement le delta du Mékong : une élévation du niveau de la mer de 30 centimètres entraînerait une perte de production d'environ 11 %. Dans le même temps, les tempêtes devraient redoubler d'intensité.

Le rapport montre aussi comment l'acidification des océans décime les récifs coralliens dont la triple fonction — servir d'habitat aux poissons, protéger les côtes contre les tempêtes et assurer des recettes touristiques — est ainsi menacée. Le rapport prévient aussi du risque de réduction des prises en mer dans le sud des Philippines, en raison du réchauffement de l'eau et de la destruction des biotopes.

Asie du Sud

En Asie du Sud, le changement climatique se manifeste avant tout par des pénuries d'eau dans certaines régions et par des excédents dans d'autres, d'après les chercheurs.

Moussons erratiques et vagues de chaleur sans précédent auront des répercussions sur les cultures. Avec le recul des glaciers himalayens, le débit de fleuves comme l'Indus, le Gange et le Brahmapoutre sera en perte de vitesse, ce qui pourrait priver des centaines de millions d'habitants de sources suffisantes d'eau et de nourriture et d'un accès fiable à l'énergie. Le Bangladesh et les villes indiennes de Calcutta et de Bombay subiront la recrudescence des inondations, l'intensification des cyclones, l'élévation du niveau de la mer et le réchauffement des températures » Banque Mondiale, 2013

III.3. Innovations biomimétiques et potentiel face à l'adaptation au changement climatique

Malgré la relative jeunesse de la recherche sur l'adaptation quelques mesures usuelles ont pu être réalisées à différentes échelles. Il est vrai que les études de vulnérabilité et les stratégies d'adaptation existantes sont souvent réalisées au sein de grandes villes, de communautés d'agglomérations ou encore à l'échelle régionales. Dans ce contexte, certaines mesures pourront apparaître comme étant à double emploi de par leur fonction complémentaire d'atténuation du changement climatique.

J.E. Coffee et al. / Journal of Great Lakes Research 36 (2010) 115–117

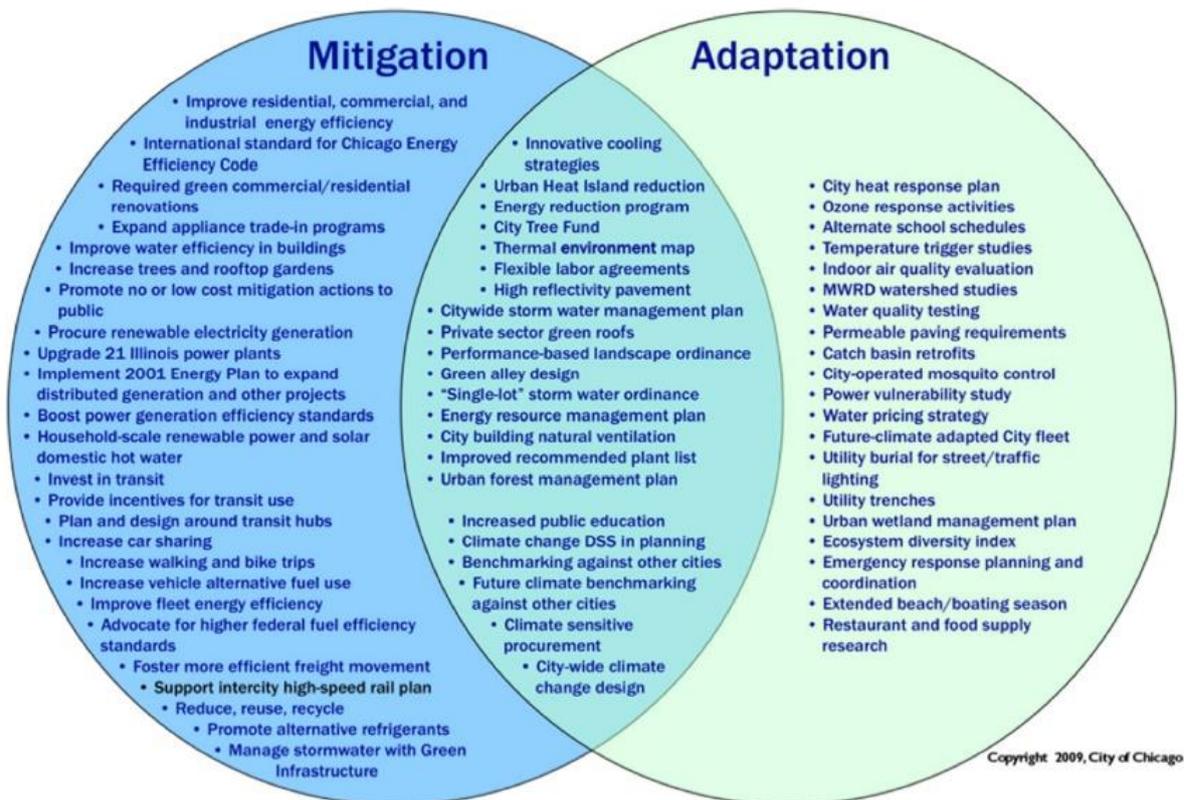


Fig. 2. Mitigation and adaptation nexus.

Figure 9: Mitigation and adaptation nexus. SOURCE : Ville de Chicago 2009

Afin d'affirmer ou d'infirmer notre hypothèse de recherche nous avons décidé de nous appuyer sur plusieurs études de cas parmi les grandes villes mondiales. Il conviendra de catégoriser la majorité des

risques auxquels font face les grandes villes tout en gardant à l'esprit l'adaptation étant un enjeu local qui ne peut pas être sorti d'un certain contexte territorial.

Jeanine Benyus distingue trois niveaux au biomimétisme : les formes, les fonctions et les processus/systèmes.

Le premier des niveaux consiste à s'inspirer des formes présentes dans la nature. Il est ainsi possible de les reproduire dans un but artistique comme le fait remarquer Olivier Scheffer (2011)

« La nature a été depuis toujours une source d'inspiration sur le plan stylistique pour de nombreux artistes, designers et architectes des feuilles d'acanthé de l'ordre corinthien au motif rocaille du XVIII^e siècle, des papiers et papyrus représentés sur les murs et colonnes de l'Égypte antique aux premières arabesques végétales arabes, ou plus près de nous le mouvement Arts & Crafts en Grande-Bretagne (William Morris, John Ruskin) à la fin du XIX^e siècle, et bien-sûr l'Art Nouveau, qui, au tournant du XIX^e siècle (1890-1905), s'inspira fortement des arbres, fleurs, insectes, animaux, avec par exemple l'hôtel Tassel de Victor Horta à Bruxelles (1893), puis les lampes de Tiffany (1900) ou Behrens (1902), les bijoux de Lalique, et l'œuvre prolifique d'Hector Guimard (dont le métro de Paris). » O. SCHEFFER

Mais nous pouvons également nous en inspirer pour nous adapter à notre environnement et dans ce cas, la forme prend une fonction précise : aérodynamisme, adhésion, camouflage etc.

Le second niveau concerne la fonction et en ce sens consiste à s'inspirer des particularités fonctionnelles étudiées dans la nature et à les reproduire pour servir l'homme (technologie, architecture etc.). La bio-filtration inspirée des végétaux, appliquée aux eaux usées en est un exemple.

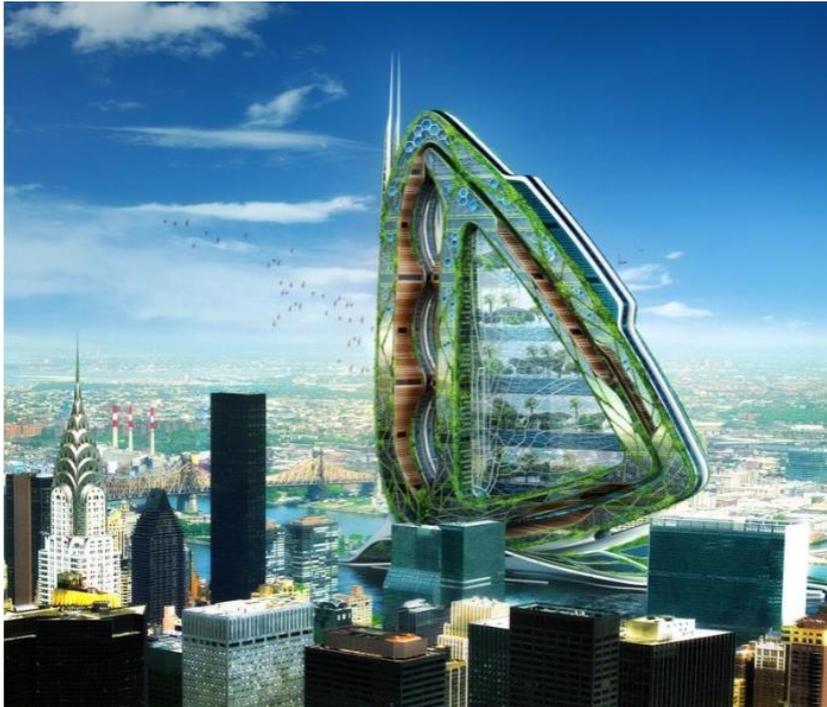
Enfin, le troisième niveau, celui des processus et systèmes, consiste à reproduire le fonctionnement et les interactions des différents éléments de notre écosystèmes. C'est de là que sont inspirées certaines de nos pratiques managériales telles la co-construction ou l'intelligence collective ou encore certains des modèles basés sur l'économie circulaire.

Comme l'explique Olivier Scheffer, depuis des millénaires, l'homme s'inspire de la nature – elle est notre premier contact avec le monde du vivant, ce qui nous entoure et nous permet de vivre – et s'en sert pour créer, s'adapter à son environnement et adapter son environnement à ses activités. De nombreux exemples historiques en sont la preuve :

- « les études du vol des oiseaux de Léonard de Vinci pour la conception de ses machines volantes (jamais cependant fabriquées),
- le premier engin volant à vapeur de Clément Ader (Eole, 1890) dont les ailes imitaient celles des chauves-souris,
- une aile plus stable conçue par Ignaz et Igo Etrich en 1904 imitait la large (15 cm) graine ailée d'une liane poussant sur des îles du Pacifique et qui peut planer sur des distances considérables,
- le velcro inventé par George de Mestral en 1948 à la vue des fleurs de bardane accrochées à son manteau et aux poils de son chien après une promenade » Olivier Scheffer (2011) ».

De nombreuses applications du biomimétisme ont déjà vu le jour dans des projets industriels. Parmi les plus connus on citera le Shinkansen (mentionné plus haut dans cette étude) ou encore le velcro inspiré des fleurs de bardane. Des études ont montré que certaines autres inventions avaient des tenants biomimétiques. En effet, selon un travail de recherche effectué par Alban MORINIERE (2009), « l'architecture de la Tour Eiffel serait le résultat de longues analyses d'un spécialiste en anatomie, Hermann von Meyer, qui s'est intéressé à la structure des os, notamment du fémur, capable de résister à une masse d'une tonne en position verticale. En regardant de près la structure interne de l'os et ses principes de tenue, on aurait ensuite été capable de les reproduire à grande échelle après qu'un ingénieur allemand, Karl Culmann (1821 -1881) ait su théoriser ces lois naturelles » (O. ALLARD)

Lorsque l'on parle d'architecture biomimétique, certains cabinets d'architectes viennent tout de suite à l'esprit. Pionnier de l'architecture inspirée de la nature, Vincent Callebaut, architecte au sein du cabinet éponyme, propose de très nombreux projets, dont certains ont vu le jour. Il s'inspire largement des processus, formes et matériaux que l'on trouve dans la nature pour proposer des projets plus grandioses et ambitieux les uns que les autres. Chacun de ses projets, parce qu'ils intègrent nombre de propriétés propres à la nature, permet de répondre à plusieurs aléas découlant du changement climatique. A son palmarès on compte notamment :



a. Le projet Dragonfly : une ferme métabolique pour l'agriculture urbaine.

Faisant le constat de la pression démographique sur les villes, des besoins alimentaires à couvrir et des défis énergétiques à venir, Vincent Callebaut propose une structure verticale qui puisse servir de ferme urbaine.

Cette tour se veut véritable lieu de vie. Elle fonctionne autour de deux pôles :

« Logement et travail. Autour des habitats, des bureaux et des laboratoires de recherche, s'organisent ainsi les espaces agricoles et de loisirs, des plus privés au plus publics, en jardins, potagers, vergers, prairies, rizières, fermes, et champs suspendus. La répartition des flux se fait autour d'une véritable colonne vertébrale sécurisée répartissant en boucle les batteries d'ascenseurs, les monte-charges et les cages d'escaliers desservant tous les niveaux tout en scindant les inputs et outputs recyclés des végétaux, des animaux et des humains. »

La structure de Dragonfly répond à plusieurs des défis que nous devons nous préparer à affronter. Selon le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), la population urbaine mondiale passera de 3.1 milliards d'habitants en 2009 à 5.5 milliards d'habitants d'ici 2025, ce qui implique des besoins

«En 2050 nous serons 9 milliards de boches à nourrir [...] il est important de repenser dès aujourd'hui notre production ».

Vincent CALLEBAUT,
Vidéo Arte 2013

alimentaires croissants. Par ailleurs, avec le changement climatique, ce type de structure pourrait permettre de palier à la salinisation des cultures en cas de montée des eaux sur les villes côtières notamment. Ce projet initialement prévu pour la ville de New-York, s'il était transposé dans une autre ville côtière à risque (comme celle de Singapour qui a déjà fait le choix d'un

développement à la verticale) pourrait permettre d'introduire l'agriculture urbaine, et donc de nourrir la population densément installée, et de mettre les cultures à l'abri pour que les eaux salées ne viennent

pas impacter les récoltes. De même, cette structure verticale, propre à l'habitation, mettrait les populations à l'abri des eaux. La tour Dragonfly se veut également bionique et énergétiquement autosuffisante.

En ce sens « L'ensemble forme une architecture « double-peau » en résille de nid d'abeille qui exploite au maximum l'énergie solaire passive en accumulant l'air chaud l'hiver dans l'épaisseur de l'exo-structure et en rafraichissant l'atmosphère par ventilation naturelle et par évapotranspiration des plantes l'été. Mettant ainsi à l'abri les cultures des forts contrastes climatiques [...] En complémentarité de ce dispositif thermique dit « passif », l'intégration des énergies renouvelables a été pensée dès la conception de Dragonfly pour répondre aux attentes d'un projet complètement autosuffisant énergétiquement en centre urbain. En effet, la proue sud de la tour reçoit sur toute la hauteur de son galbe un bouclier solaire produisant la moitié de l'énergie électrique nécessaire à son fonctionnement. L'autre moitié étant assurée par les trois éoliennes à axe vertical de type Darrieus qui se lovent dans les trois lentilles creusés dans la partie nord de la coque micro-perlée».

Cette innovation architecturale permet ainsi une adaptation à plusieurs des aléas climatiques mentionnés plus haut parmi lesquels :

- la montée des eaux : en mettant les populations à l'abri, la structure étant sur élevée, elle permet à la fois de permettre aux habitants de conserver leur habitation en cas de montée des océans mais également de continuer à pouvoir se nourrir dans la mesure où les sols ne sont pas atteints par les eaux salées.
- Les Ilots de chaleurs urbains et fortes chaleurs : la structure hors-sol a en effet une plus grande surface de contact avec le vent ce qui permet une meilleure aération. Elle a beau être exposée davantage au soleil, les parois permettent une aération en continu et évitent la surchauffe ce qui permet à la faune et la flore de s'y développer (en conservant notamment l'humidité).
- Cette structure permet «également de pallier à l'insécurité alimentaire dans la mesure où elle recrée des surfaces agricoles au cœur des villes jusque-là urbanisées. Cela augmente les surfaces de production et donc la production alimentaire. A ces zones s'ajoutent des bassins de viviculture dans le socle de la structure.

De plus, étant autosuffisante et utilisant les énergies renouvelables, et parce qu'elle fonctionne selon le principe de l'économie circulaire, cette structure pollue beaucoup moins et ne participe pas au cercle vicieux qui existe entre urbanisation intensive et changement climatique.



b. Le projet Lylipad : Une Ecopolis flottante pour refugies climatiques

D'après les scientifiques, une hausse de la température d'1 °C pourrait avoir comme conséquence une hausse du niveau des océans de près d'1 mètre. Cette montée des eaux pourrait engloutir nombre des terres comme les îles des Atolls Majuro en Océanie (80% des îles pourraient disparaître sous l'eau) ou encore une partie des Pays-Bas, et du Bangladesh.

« Si le premier mètre n'est déjà pas très drôle avec plus de 50 millions de personnes affectées dans les pays en développement, la situation se corse à partir du second. Des pays comme le Viêt-Nam, l'Égypte, le Bangladesh, la Guyane ou les Bahamas verront leurs lieux les plus peuplés inondés à chaque crue et leurs terres les plus fertiles dévastées par la salinisation altérant les écosystèmes locaux. New

York, Bombay, Calcutta, Hô Chi Minh-Ville, Shanghai, Miami, Lagos, Abidjan, Djakarta, Alexandrie... Pas moins de 250 millions de réfugiés climatiques et 9 % du PIB mondial menacé si l'on ne bâtit pas des protections à la hauteur de la menace. » (Vincent Callebaut)

Pour faire face à ce nombre croissant de réfugiés climatiques, forcés de quitter leurs terres, Vincent Callebaut a imaginé un autre projet tout aussi ambitieux permettant aux populations de retrouver une zone habitable, sur l'eau ! Dans une logique d'adaptation au changement climatique, changement inexorable, il a conçu une solution permettant à la fois « d'étendre [de façon viable] en offshore les

territoires des pays les plus développés comme par exemple la Principauté de Monaco [pour laquelle le projet a initialement été imaginé et] de garantir l'habitat aux futurs réfugiés climatiques des prochains territoires ultra-marins submergés comme les atolls polynésiens ». Parmi les nombreux avantages qu'octroie cette Ecopolis, on notera sa structure inspirée du Nénuphar qui lui permet d'avoir une base flexible et donc de se déplacer au grès des courants marins mais également de nos besoins. Cela pourrait par exemple permettre aux populations l'habitant de se mettre à l'abri en cas de tempête.

**«Une ville à émissions carbone zéro,
autosuffisante en énergie et qui recycle elle-
même des déchets».**

Vincent CALLEBAUT,
Vidéo Arte 2013

projet a initialement été imaginé et] de garantir l'habitat aux futurs réfugiés climatiques des prochains territoires ultra-marins submergés comme les atolls polynésiens ». Parmi les nombreux avantages qu'octroie cette Ecopolis, on notera sa structure inspirée du Nénuphar qui lui permet d'avoir une base flexible et donc de se déplacer au grès des courants

Une partie de l'île flottante et immergée l'autre en surface. Elle peut atteindre jusqu'à 50 000 personnes, pouvant vivre en autosuffisance. La structure est bordée de 3 montagnes lune pensée pour les loisirs l'autre pour le travail et enfin la dernière au commerce. Les logements y sont végétalisés, un lagon au centre y purifie l'eau de pluie.

La structure est directement inspirée de ce qu'a pu observer Vincent Callebaut dans la nature. Elle reprend la forme du « nénuphar géant d'Amazonie Victoria Regia agrandie 250 fois ». La coque extérieure permet d'absorber la pollution atmosphérique, en ce sens elle s'approprie la fonction d'épuration de l'air propre aux plantes.

« Totalemment autosuffisante, Lilypad relève ainsi les quatre principaux défis lancés par l'OCDE en mars 2008 : climat, biodiversité, eau et santé. Elle atteint un bilan énergétique positif à émission de carbone zéro par l'intégration de toutes les énergies renouvelables (énergies solaires thermique et photovoltaïque, énergie éolienne, énergie hydraulique, maréthermique, marémotrice, osmotique, phyto-épuration, biomasse) produisant ainsi durablement plus d'énergie qu'elle n'en consomme ! ».

« Au-delà de l'aspect clairement impressionnant des travaux de Vincent, les projets qu'il propose sont issus d'une réflexion sur l'intégration plus harmonieuse des constructions architecturales dans la nature. Ses architectures « organiques » s'inspirent de trois concepts clés : le biomorphisme, la bionique et le biomimétisme. Le biomorphisme, c'est s'inspirer des formes biologiques. La bionique, c'est s'inspirer des fonctions développées par les organismes biologiques. Le biomimétisme qui

recouvre à la fois le biomorphisme et la bionique, est une méthode d'innovation qui s'inspire en plus des écosystèmes naturels pour proposer des modèles de développement plus écologiques, plus en accord avec notre biosphère. Les villes et bâtiments conceptualisés sont en effet des constructions intelligentes qui visent à l'autosuffisance énergétique, au recyclage total de ses déchets voir même à l'autosuffisance en matière de production agricole. Ce concept architectural est appelé l'Archibiotique. Concept qui partage beaucoup de points communs avec le concept d'Archiborescence proposé par l'architecte Luc Schuiten. L'image ci-dessous met en parallèle une architecture et un organisme biologique d'où provient l'inspiration. » Olivier ALLARD (2014)

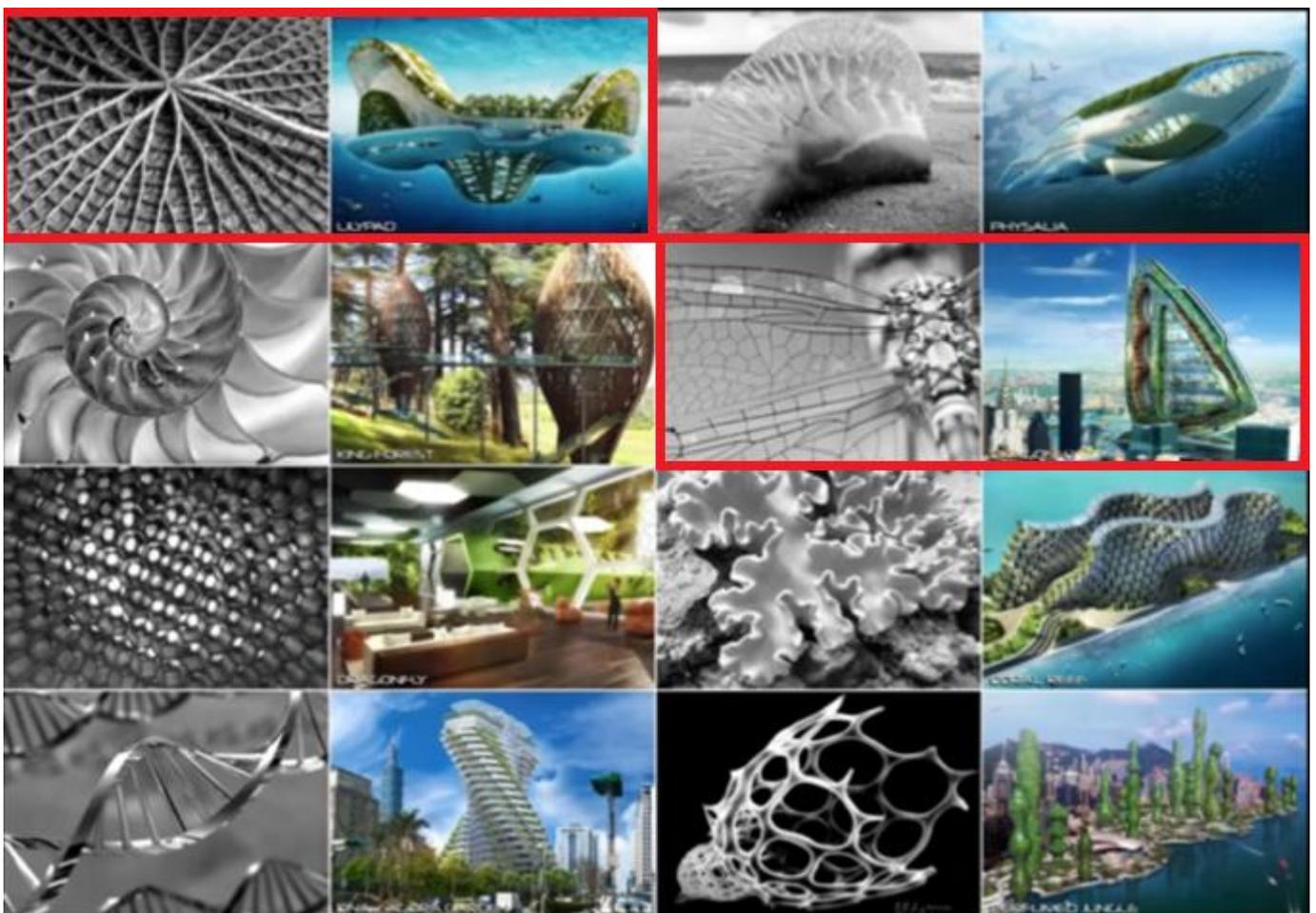


Figure 10: architecture et un organisme biologique d'où provient l'inspiration. SOURCE : blog d'Olivier ALLARD

On y voit clairement l'inspiration de Lylipad du nénuphar (en haut à gauche) et celle de l'aile de la libellule pour Dragonfly (à droite).

Chacun de ces 2 projets fait la part belle à la nature en s'inspirant de ce qu'il y a de meilleur chez elle pour s'en servir. La renaturation de la en ville est l'un des principes en vogue aujourd'hui et s'est aussi un aspect

clef défendu par le biomimétisme qui s'appuie sur divers disciplines (biologie, l'écologie ou la physique etc.) pour développer des villes faisant cohabiter la biodiversité et les modes de vie humain.

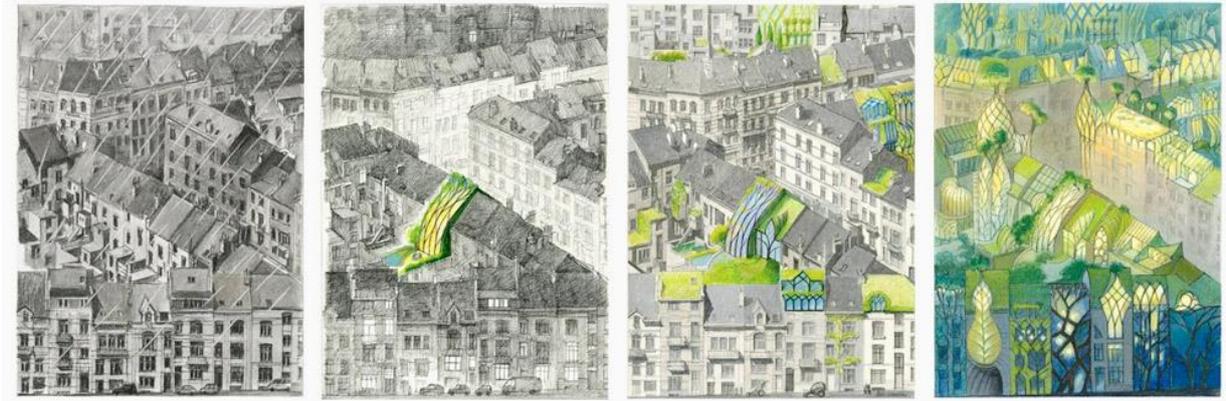


Figure 11: Renaturalisation de la ville à travers le temps. SOURCE : vegetal city, Luc Schuiten

c. Re-naturalisation des villes

“On peut imaginer [...] que les services écosystémiques pourraient être utilisés comme « marges de sécurité » : par exemple, dans le cas du drainage urbain, multiplier les zones perméables (sols des écosystèmes) peut servir de complément aux systèmes de drainage classiques en cas de fortes pluies ; les stratégies douces, comme la préservation des zones agricoles périurbaines et le développement de cycles d’approvisionnement courts (basés sur la production locale) peuvent favoriser la résilience d’une région par rapport aux fluctuations des prix des matières premières par exemple ; l’aménagement de certains écosystèmes (toits végétalisés par exemple) peut être relativement modulable dans le temps (et nécessite de toute façon un entretien régulier, même modéré), ce qui peut permettre de réduire les horizons temporels de décision”. Luc SCHUITEN

Redévelopper les services écosystémiques utiles contre les inondations ou l’îlot de chaleur urbain (par évapotranspiration) suppose de renaturaliser les villes. Une des mesures d’adaptation au risque de vague de chaleur, fortes pluies et aux possibles inondations en découlant est déjà mise en application. Cette mesure est la végétalisation des toits et des murs en centre-ville, mesure favorisée depuis la modification du plan local d’urbanisme parisien (PLU) de 2009 par exemple. En effet, ce principe permet selon la Mairie de Paris la rétention des eaux pluviales entre « 4 à 38 mm selon l’épaisseur du substrat », réduisant le risque de saturation du réseau d’évacuation d’eau et réduit les risques liés aux inondations, en plus de

favoriser la biodiversité et d'améliorer la qualité de l'air (Cahier Habiter durable n°1, Mairie de Paris, 2012). Ainsi une « toiture végétalisée consiste en l'installation d'un espace vert, accessible au public ou non, sur un toit, une terrasse, ou une dalle » ; elle peut être de type extensif, semi-intensif ou intensif. Les mesures végétalisées, eux, « apportent une multitude d'avantages à la fois sur le plan environnemental et esthétique, mais aussi pour la pérennité de la façade ». La végétation peut être suspendue (modulaire ou sur feutre) ou en pleine terre mais il faut ensuite faire la part entre l'art floral et une mesure cohérente globalement suivant des principes biomimétiques ne nécessitant que peu d'entretien, d'eau notamment. La toiture végétalisée est un moyen très apprécié par le service en charge de l'assainissement de Paris pour sa capacité d'absorption hydrique, illustrant encore inspiration de la nature réussie.

En termes d'architecture Luc SCHUITEN a élaboré un concept de « cité des vagues » incarnée par des bâtiments reproduisant la forme d'une vague et étant recouverts de végétation. Un tel type d'architecture, construit le long d'un fleuve pourrait constituer un rempart à l'eau, s'il était construit en ligne continue à certains endroits stratégiques. De plus, si elle était étalée de manière hermétique (sans ouvertures, ou alors des ouvertures résistantes à l'eau), la couche de végétation présente au dos de l'édifice et faisant office de toit, permet d'isoler le bâtiment et constituerait une zone supplémentaire d'absorption des pluies ou bien, dans une moindre mesure, du surplus d'eau provenant d'une inondation. Ce concept pourrait également être efficace contre les tempêtes car les vents violents viennent le plus souvent d'une direction donnée. Ainsi la sa façade végétalisée et arrondie ferait face au vent.

Bien sûr, si la meilleure façon d'éviter les conséquences néfastes des inondations est de ne pas construire en zone inondable, certaines inondations ne sont pas toujours prévisibles ou interviennent très rarement, dans ce contexte des bâtiments en forme de vagues peuvent être une bonne piste de recherche en terme d'architecture adaptative



Figure 12: Vegetal City. SOURCE: Luc SCHUITEN

En effet, les services écosystémiques rendus par les trames vertes et bleues ou les zones végétalisées en général peuvent être un bon atout grâce aux services de drainage des eaux de pluie qu'elles rendent. A ce titre, les toits végétalisés peuvent offrir un option intéressante des eaux de pluie, notamment dans un contexte de rareté de l'espace disponible (GILL et al., 2007). Ainsi dans une étude sur la région de Manchester, il a été estimé que le verdissement de tous des toits (centres-villes, zones résidentielles et commerçantes) permettrait de réduire le ruissellement d'environ 20% par rapport à un scénario sans verdissement. Ces techniques alternatives pourraient aisément être également installées le long des trottoirs, sur les ronds-points et les emplacements de stationnement (LOVELL et JONHSTON, 2009).



Figure 13: Flood control areas with tidal systems help to restore the basis of the food chain for innumerable plants and animals ». Photo: ©Afdeling Zeeschelde, Waterwegen en Zeekanaal SOURCE : EU – Inspiration book

d. Adaptation aux des épisodes de grands froids

Concernant les fortes ou les faibles températures, certains animaux et certaines plantes maintiennent certaines propriétés internes à leur corps quelques soient les conditions climatiques extérieures. Par exemple le Notothenioidei est un poisson de l'Antarctique qui a une substance similaire à l'« antigel » dans son sang. D'autres espèces préfèrent migrer en sortant de la zone de risque et d'autres sèchent et meurent de manière temporaire afin de se préserver du froid comme les tardigrades (oursons d'eau)., Certains oiseaux conservent leur chaleur à l'aide d'un système interne d'échange thermique à contre-courant au travers de leurs vaisseaux sanguins, comme les mouettes.



Figure 14nhm.ac.uk ; 20minutes ; wired.com

La littérature actuelle et l'état des recherches ne permet pas de mettre en avant les propriétés précises des animaux qui pourraient être utilisées à des fins d'adaptation aux grands froids, mais les recherches et réflexions sont en court.

e. Adaptation aux épisodes de fortes chaleurs, sécheresse et du phénomène d'îlot de chaleur urbain

En terme de rafraîchissement de nombreuse mesures d'adaptation sont déjà utilisées avec notamment le recourt à l'évapotranspiration (phénomène de transfère de l'eau des systèmes sol-plantes vers



l'atmosphère par évaporation) et l'ombrage apporté par les végétaux, surtout les arbres. L'évapotranspiration est en effet un important modulateur du microclimat urbain (TAHA, 1997) via la création d' « oasis de fraîcheur » qui peuvent en moyenne faire varier la température de 2 à 8°C en moins par rapport aux zones sans « oasis de fraîcheur ». Le faible taux d'évapotranspiration est considéré dans la littérature comme l'un des facteurs majeurs d'augmentation des températures diurnes en ville, et il est reconnu que les espaces verts urbains ont généralement des températures plus fraîches. A cet égard il a été mesuré qu'à Tokyo « les zones à couvert végétal étaient en moyenne 1,6°C plus fraîches que les zones sans couvert végétal » (TAHA, 1997), et « une différence de 2,5°C a été mise en évidence entre des parcs urbains et le milieu bâti alentour à Montréal [...] ainsi qu'à Valence » (GOMEZ et al., 1998).

«Les mesures biomimétiques de rafraîchissement ont un fort potentiel en ce qui concerne les îlots de chaleur urbains».

Par ailleurs, selon la revue scientifique en ligne, Vertigo, de nombreuses solutions pour un climat ressenti comme plus confortable, un meilleur cadre de vie, et pour une meilleure adaptation aux changements climatiques « s'appuient sur une ville moins perméable et avec une présence forte du végétal, de la nature ». En effet, plusieurs climatologues ont désigné la végétation urbaine comme outil de mitigation du phénomène d'îlot de chaleur urbain à partir du XVIIIème siècle (Noah WEBSTER, 1799 cité par MEYER, 1991). Le pionnier des questions de santé publique aux USA, le chirurgien Stephen SMITH fut notamment à l'origine d'un rapport mettant l'excès de chaleur en cause dans la surmortalité estivale (1872) ; soulignant la nécessité de réduire les températures en ville. Des mesures biomimétiques de rafraîchissement ont donc un fort potentiel pour accroître la résilience des villes en s'intégrant dans un cadre urbain en évolution perpétuelle.

Les trames vertes (végétaux) et bleues (cours d'eau) sont un outil d'aménagement récent dont la vocation est premièrement de réduire la fragmentation des territoires, servant ainsi de nombreux enjeux urbains et ruraux. Ce type de dispositif favorise la biodiversité locale et régionale tout en revalorisant les paysages. Les trames vertes aussi appelées « greenways » par F.L OLMSTED fin XIXème à Boston, sont des continuités d'ensembles végétalisés qui assurent un lien entre les systèmes urbains et écologiques soit entre patrimoines culturels et naturels (COLOMBERT et BOUDES, 2012). Les trames vertes peuvent être intuitivement assimilées à des mesures d'adaptation biomimétiques en remettant la nature au cœur des villes notamment en s'inspirant de la manière systémique d'interaction entre les espèces animales et végétales. Ainsi ce paysage « vivant » vient « en réponse aux questions d'adaptation au changement climatique et de reconnections des citoyens à la nature » (COLOMBERT et BOUDES, 2012). On parlera davantage de bio inspiration que de biomimétisme mais l'objectif reste le même.

Ainsi selon Vertigo « on peut imaginer que le recours aux services écosystémiques pourrait constituer une stratégie sans regrets (par exemple, réduire dès aujourd'hui l'îlot de chaleur urbain via la végétation) ; qu'il pourrait s'apparenter à des options réversibles et flexibles (ajuster la trajectoire d'un écosystème pour optimiser son effet thermique pourrait être plus aisé que de devoir modifier toute une installation de climatisation) ». Ce qui témoigne de la relative efficacité globale de ce type de mesure d'adaptation.

Dans cette même optique, l'ONERC (2010) s'appuie régulièrement une simulation numérique traitant de la ville de New York qui conclut « que la combinaison de plantation d'arbres et de toitures végétalisées

permettrait de réduire la température de l'air urbain de 0,4°C en moyenne, et jusque 1,1°C dans certains quartiers où le potentiel de végétalisation est le plus élevé ». De même, des simulations numériques portant sur la région de Manchester évoquent que la végétalisation de la totalité des toits des centre-ville alentours aboutirait, en cas de forte hausse des températures, à une diminution de 7,6°C si on les compare à un scénario sans végétalisation (GILL et al., 2007). De plus, planter des arbres à proximité d'habitation, après une étude d'impact préalable, peut permettre de réduire la climatisation en été et donc de réduire la demande d'énergie de climatisation de 2 à 6%, en plus de réduire la force de pénétration du vent et de fournir des services d'épuration de l'air (RANKOVI, PACTEAU, ABBADIE, 2012). En effet, les études d'impact (résistance au stress hydrique et thermique, impact micro-climatique, bilan net sur la qualité de l'air...) sont notamment vouées à anticiper d'éventuels services écosystémiques, qu'ils soient

Une étude d'impact est nécessaire avant d'implanter de nouvelles espèces dans une zone donnée pour ne pas courir le risque externalités négatives.

environnementaux, sanitaires ou sociaux; c'est à dire « l'ensemble des risques de nuisances liés aux écosystèmes pour un secteur donné » (ZHANG et Al., 2007). Dans ce contexte, les plantes utilisées en ville devront être soigneusement sélectionnées en fonction de leur résistance au climat local afin de limiter

l'irrigation, risquant par exemple que l'apport supplémentaire en eau ne rentre en conflit avec d'autres usages de cette ressource, suivant un processus accéléré mais similaire à celui de la sélection naturelle des espèces locales. Par exemple, le tilleul argenté est une espèce originaire du bassin méditerranéen qui est résistante aux conditions urbaines telles que la sécheresse et la pollution atmosphérique; elle est donc très utilisée comme arbre d'alignement dans nombre de villes en Europe occidentale. Or, cette espèce augmente fortement le taux de mortalité de plusieurs espèces d'abeilles et de bourdons (RASMONT, 2010).

Outre la présence amplifiée de végétation en ville d'autres solutions rafraîchissantes inspirées de la nature peuvent s'y greffer. A titre d'exemple la termitière a été étudiée afin de concevoir des systèmes de climatisation naturelle ne nécessitant aucune consommation énergétique. Il est vrai que la termitière garde une chaleur constante en son sein grâce à un système d'aération naturelle, inspirant déjà aujourd'hui les constructeurs de bâtiments. L'air chaud circule vers le haut par des cheminées créant un appel d'air dû à leur forte insolation. Cet appel d'air est ressenti au niveau des entrées au niveau bas. L'air est alors refroidi avant de pénétrer dans les galeries. Ce principe a notamment été repris au Zimbabwe lors de la conception du « Eastgate building » par Michael Pierce (voir photo et système en [Annexe n°7](#)).

On voit donc que le potentiel de rafraîchissement de la nature est élevé et les aménageurs publics ont tout intérêt de s'inspirer et de cette capacité naturelle de rafraîchissement, tout en étudiant de manière globale chaque mesure pour éviter le piège de la « mal-adaptation ».



Figure 15.: « l'urbacanyon », *Vegetal city*. SOURCE : Luc SCHUITEN

Pour les endroits très chauds, on pourrait imaginer un développement urbain à mi-chemin entre les maisons à bulle et les termitières afin d'allier zones d'ombre et climatisation naturelle ressemblant à « l'urbacanyon » de L.SCHUITEN. Ce concept consiste en une ville aménagée sur le modèle d'un labyrinthe profond.

Les grandes structures le composant utiliseraient du silico-béton transparent afin de laisser pénétrer la lumière nécessaire à la vie, copiant ainsi les propriétés des coraux et de la coque des mollusques. Pour compléter le dispositif chaque toit aurait son récupérateur d'eau de pluie et quelques fenêtres pourraient être prévues. Ces dernières s'inspireraient de l'étoile de mer qui change de couleur entre le jour et la nuit avec sous sa peau des alvéoles se remplissant d'un liquide coloré lui permettant la journée de se protéger de la lumière. De même, les fenêtres pourraient se teinter en fonction de l'intensité des rayons du soleil.

Suite à ces exemples étonnants de la Nature, il en faut tirer des leçons en termes d'architecture adaptative : des bâtiments tel que le « Mick Pearce's Council House II » à Melbourne (Australie) peuvent expulser l'air chaud non désiré en changeant un solide gelé, en liquide fondu, passant à travers des tuyaux à l'intérieur de l'édifice (Tom McKEAG). Sur le même modèle, les architectes MITH et GILL ont élaboré le « Pearl River Guangzhou » en Chine, qui est notamment équipé de poutrains réfrigérés. Un autre projet intéressant a



Figure 16: Coléoptère du désert de Namibie; SOURCE : :photographersdirect.com

été réalisé par l'EAWLYN. Il prend comme modèle un coléoptère du désert qui utilise un procédé de captation capable de condenser l'eau présente dans le désert sous forme d'humidité, et même d'en filtrer le sel. Ce procédé peut alors être utilisé à des fins de rafraîchissement de l'air ambiant et de lutte contre

la pénurie de ressource en eau (due notamment aux sécheresses). Sur le même modèle, les architectes du cabinet GRIMSHAW ont conçus des bâtiments capables de désalinisation en ayant besoin de peu d'énergie

Ces différentes inspirations du vivant appliquées aux bâtis semblent donc être à la fois des mesures d'atténuation, via leurs systèmes très efficaces énergétiquement parlant, mais aussi d'adaptation, en répondant à des défis auxquels auront à faire face de plus en plus les villes

f. Mesures d'adaptation vis à vis des tempêtes et tornades



Figure 17: Illustration : La cité Lotus ; SOURCE : Vegetal city, Luc Schuiten

A l'image de la fable « Le chêne et le roseau », la flexibilité et l'adaptation des formes architecturales aux contraintes paraît être une nécessité. Ainsi, comme l'adaptation des formes dans la nature (courbe des arbres...), les toits pourraient avoir des formes plus souples et adaptatives. Les toits pourraient par exemple changer de forme en fonction des vents (voir ci-dessus, figure 18, le concept de cité Lotus de Luc Schuiten) et être raccordés au bâti par des structures flexibles et ultra résistantes à l'image du byssus de

« Les moules ont des années-lumière d'avance sur nous »

Janine BENYUS.

la moule. En effet, le « complexe byssal » généré par la moule est comme une colle pouvant adhérer à tout sous l'eau, sans métaux lourds ou substances gonflantes au CFC. Ce procédé fait de l'agitation de la mer un allié (nourriture via la filtration de l'eau). Cet adhésif résistant à l'humidité est encore hors de notre portée, « les moules ont des

années-lumière d'avance sur nous » (J.BENYUS). Nous irions alors vers une architecture dynamique, plus efficace et résiliente

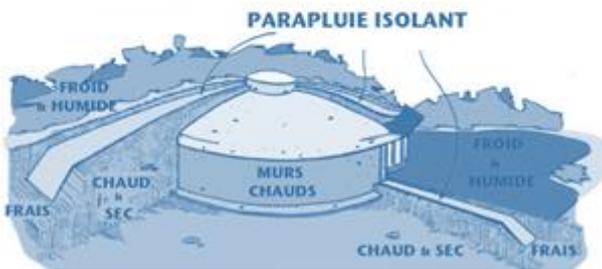


Figure 18: Les maisons bulles. SOURCE : www.habitat-bulles.com

Ensuite, un autre concept de maison résistante aux aléas et aux courbes en harmonie avec la Nature a récemment vu le jour et s'inspire des terriers animaliers. Selon le français Philippe DELAGE, « une maison bulle en voile de béton est antisismique et anticyclonique et ne craint ni la pluie, ni la tempête, du fait que le sol, le mur et le toit ne forment qu'une seule structure homogène et autoportante ».

Son éco-conception globale (au regard de son analyse de cycle de vie) peut être remise en cause, cependant sa forme et sa facilité opératoire, rendent ce dispositif utilisable à grande échelle. La maison bulle s'intègre parfaitement dans le paysage, elle est bioclimatique et

passive puisque « durant la journée, le soleil chauffe la maison qui chauffe la terre derrière ses murs en béton, la chaleur se déplace toujours vers le froid, la terre emmagasine la chaleur durant 6 mois et en hiver lorsque la maison se refroidit, la terre chauffe la maison. On parle ici de « stockage inter saisonnier de chaleur » (encore appelé technique du parapluie). Ce dispositif pourrait être amélioré avec les futures avancées en termes de « bio-ciments » qui captent le CO₂, sur lesquels travaillent certains groupes du bâtiment dont Lafarge.

IV. Conclusion

Le champ des possibles

Pour conclure, il apparaît que le biomimétisme a un fort potentiel en termes d'adaptation au changement climatique car « la nature a plusieurs millions d'années de recherche et développement d'avance sur nous ». A ce titre, J.BENYUS affirme qu' « imiter la Nature peut épargner des dizaines d'années de recherche ». Cette démarche peut être considérée comme ancienne, si l'on regarde son historique, pourtant elle est très innovante par rapport à nos modes de fonctionnement modernes, en plus d'être structurée et reproductible. Autrement dit, « les exemples bio-inspirés sont très anciens, mais la formulation d'une démarche rentrant en résonance avec le développement durable, elle, est très récente » (ALLARD et LEQUETTE, 2014). Elle peut alors être une opportunité et une barrière essentielle face au développement de la menace de la géo-ingénierie. Cette dernière nous inscrirait durablement dans le modèle de société actuel qui arrive à ces limites et nous empêcherait de changer de paradigme, à savoir « une ère fondée non pas sur ce que nous pouvons extraire de la nature mais sur ce que nous pouvons en apprendre » (Tarik CHEKCHAK). Le potentiel du biomimétisme est donc très élevé pour résoudre le défi de l'adaptation au changement climatique car c'est un « accélérateur d'innovations qui augmente la probabilité d'innovations de rupture » (T. CHEKCHAK) surtout lorsqu'il permet de s'inspirer d'organismes évoluant dans des « milieux extrêmes ».

Le biomimétisme serait alors un tremplin vers une nouvelle révolution industrielle, où l'organisation humaine serait en équilibre durable avec la Terre, avec pour objectif le « zéro déchets – zéro pollution ». ALLARD et LAQUETTE

Au travers des exemples donnés tout au long de ce document, il apparaît clair que la démarche biomimétique a un fort potentiel de réduction de l'empreinte carbone du patrimoine bâti mais également de hausse de sa capacité d'adaptation (PEDERSEN ZARI, 2008). L'incorporation d'une certaine compréhension du vivant dans le design des bâtiments, outre les bienfaits physiques et psychologiques impactant positivement le bien-être (PEDERSEN ZARI, 2008) et KELLERT, 2005) et la productivité de leurs occupants (HEERWAGEN et Al., 1998), permettrait d'avancer vers une création d'un patrimoine bâti plus durable et régénératif c'est-à-dire notamment plus résilient.

La forme d'expression privilégiée de l'adaptation est aujourd'hui le territoire, et ce, pour une efficacité accrue. En effet, « les gens sont très attachés à leur territoire » affirme Hervé LE TREUT rapporteur français du GIEC. C'est donc l'unité permettant de forts leviers de mobilisation et de prise de conscience.

Ensuite, si l'adaptation devient désormais inéluctable, la lutte contre le changement climatique et la recherche d'adaptation à ces impacts doivent être menées de manière imbriquée, tout en gardant à l'esprit le fait que dans les pays du sud les enjeux sont actuellement bien plus marqués que dans l'hémisphère nord où nous sommes encore à un stade de perception (Karim LAPP).

De nos jours encore le manque d'intérêt et d'anticipation, les conflits d'intérêt locaux, la difficile distribution de responsabilité liée aux impacts du changement climatique ou encore la faible

« Le changement climatique est désormais vu comme le challenge majeur auquel l'humanité doit faire face [...]. Nous pensons que le biomimétisme à un potentiel énorme pour résoudre des problèmes majeurs érigés par ce changement mondial » (affirmation de BIOMIMICRY EUROPA, 2006)

appropriation des politiques de ces questions, freinent la réflexion concernant la problématique de l'adaptation (ADEME, 2007). Ceci étant renforcé par une mise en œuvre opérationnelle de l'adaptation au changement climatique se trouvant confrontée à de nombreuses barrières d'ordre social, cognitif, psychologique ou encore institutionnel (SMITH et Al., 2011) ou bien découlant de difficultés d'identification des périmètres respectif de la mitigation (atténuation) et de l'adaptation au changement climatique (SIMONET, 2011). À ce cortège de difficultés conceptuelles

et opérationnelles s'ajoute la dualité conceptuelle: l'adaptation est à la fois un processus continu et un état (BERTRAND et SIMONET, 2012; BLANC et SIMONET, 2012) auquel les territoires répondent de manière très hétérogène. Ce type de réponse est pourtant « délicat puisque [...] la pertinence des réponses locales en termes d'adaptation dépendra très largement des valeurs et représentations associées aux effets potentiels du changement climatique » (QUENAULT et BERTRAND, 2010).

Si la thématique de la gouvernance n'a pas été traitée dans ce mémoire, il est tout de même important de souligner son rôle majeur dans l'efficacité d'une stratégie d'adaptation et la nécessité de s'y intéresser à l'occasion de travaux ultérieurs. Il est vrai que la prise de décision locale peut être plus ou moins délicate à mettre en œuvre, puisque l'adaptation est une problématique complexe dont les barrières à l'application restent non négligeables. Ainsi une démarche participative et intégrée sera privilégiée par les instances territoriales afin de guider leurs décisions dans le sens de l'efficacité (p17/18, synthèse

séminaire 2010) car cette démarche permet souvent de prévoir les freins qui pourront être rencontrés, permettant ainsi de réduire les coûts et d'améliorer l'acceptabilité sociale des mesures (Session 1: Villes, Isabelle THOMAS MARET). La résilience est fortement dépendante de la capacité d'un territoire à apprendre des épisodes climatiques et de ses vulnérabilités passées dans un processus d'amélioration continu. Par exemple à la suite de l'ouragan Katrina à la Nouvelle-Orléans (États -Unis) en 2005, outre la phase de « réparation » des digues, des réseaux d'eau, d'électricité, de déchets, de communication et d'assainissement, une phase d'adaptation plus proactive a vu le jour: les choix d'urbanisation et de sécurité sont désormais étudiés de plus près dans le but de guider le futur développement urbain plus résilient. Dans ce sens ont été créés des guides de construction des bâtiments, des schémas de sécurité civile et des normes environnementales rigoureuses ainsi que des îles barrières et des levées naturelles en ce qui concerne les mesures physiques.

De plus, nous avons étudié en partie les services écosystémiques pouvant aider les territoires à s'adapter aux changements climatiques auxquels ils doivent faire face. Il convient, dans ce cadre, de préciser que cet exercice a imposé un travail d'une revue critique de la littérature. Nous avons trouvé que de nombreux projets d'adaptation basés sur les écosystèmes ont été répertoriés et publiés, cependant ils se concentrent la majorité du temps sur les écosystèmes agricoles, forestiers et marins, étant moins directement liés à notre problématique. De plus, la grande diversité d'enjeux (changement climatique, protection de la biodiversité, gestion des services écosystémiques...) que comprend l'adaptation rend complexe une issue systématique de type « gagnant-gagnant », chaque mesure étant à remettre dans son contexte territorial et nécessitant une étude d'impacts préalable (RANKOVIC, PACTEAU et ABADIE, 2012). Il est néanmoins indéniable « que les services écosystémiques [sont] une source importante du bien-être humain, et que la dégradation des biocénoses [affectent] leur fonctionnement et donc les « services » que les humains en [retiennent] » (MOONEY et EHRLICH, 1983). À cet égard, la biodiversité rend nombre de services écosystémiques, même si sa relation n'est pas universellement positive sur le fonctionnement des écosystèmes (THOMPSON et STARZOMSKY, 2006).

“D'un point de vue général je pense que le biomimétisme dans sa philosophie ne cherche pas l'adaptation au changement climatique anthropique mais l'adaptation à la biosphère globale et locale et à ses fluctuations climatiques naturelles en cherchant à faire disparaître l'impact négatifs de nos activités. Ceci réalisé nous serons alors réconcilié avec la nature et donc adaptés à tout” (Olivier ALLARD)

V. Bibliographie

IV.1. Etudes, ouvrages et articles scientifiques

- ADEME, 2007, « Gestion du risque climatique et adaptation aux changements ». ADEME & Vous
- ADEME, 2013; « Economie circulaire : notions », Direction Consommation durable et déchets, Fiche technique Octobre 2013
- AHERN.J, 1995, «Greenways as a planning strategy». Landscape and Urban planning 33
- ALLARD et LEQUETTE, 2014, Ville biomimétique, ville de demain,dossier de presse, exposition, avril 2014 : http://www.datapressepremium.com/rmdiff/2008930/DP_VILE_BIOMIMETIQUE_VILLE_DE_DE_MAIN_DEF.pdf
- ARNELL N. W., LOWE J. A., S. Brown, GOSLING S. N., GOTTSCHALK P., HINKEL J., 2013, A global assessment of the effects of climate policy on the impacts of climate change, Nature Climate Change
- BENYUS Janine M. ,2011, « Biomimétisme: Quand la nature inspire des innovations durables », Rue de l'échiquier, Edition 1, janvier 2011
- BLANC, N., 2007, "Vers une esthétique environnementale", Éditions Quae Coll, Nss Indisciplines, Paris. DOI : 10.1051/nss/2009045
- BOUDES P. et COLOMBERT M., 2012, "Adaptation aux changements climatiques en milieu urbain et approche globale des trames vertes", Propos introductifs : Adaptation aux changements climatiques et trames vertes : quels enjeux pour la ville?, Vertigo, Hors-série 12,
- BRADY, E., 2007, "Vers une véritable esthétique de l'environnement : l'élimination des frontières et des oppositions dans l'expérience esthétique du paysage", Cosmopolitiques, 15, pp. 61-72
- Cahier Habiter durable, 2012, "Végétalisation des murs et des toits à Paris", Edition 1, octobre 2012, consulté en février 2014 : http://www.paris.fr/pratique/urbanisme/demandes-autorisations/vegetalisation-des-toitures-terrasses/rub_6785_stand_63491_port_15473
- CARPENTER S., WALKER B., ANDERIES J.M.,ABEL N., 2001. "From metaphor to measurement: resilience of what to what?" Ecosystems, vol. 4

- CIRCLE-2, 2013, "Adaptation inspiration book - 22 implemented cases of local climate change adaptation to inspire European citizens", www.circle-era.eu
- Commission des communautés européennes, 2007, Livre Vert, "Adaptation au changement climatique en Europe: les possibilités d'action de l'union européenne."
- DALY H., 1990, "Toward some operational principles of sustainable development". Ecological Economics.
- DAILY et al. 2000, "The Value of Nature and the Nature of Value". Science, 289
- "DE PERTHUIS, 2010. ""Et pour quelques degrés de plus, Nos choix économiques face au risque Climatique"". Paris: Pearson"
- DIAMOND J., 2006, "Effondrement : Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie", Gallimard, Nrf essais, 648 pages, ISBN 978-2-07-0776672-6 ; édition originale : Collapse. How societies chose to fail or succeed, Viking Penguin, Londres, 2005.
- DIAMOND J., 2013, "Le monde jusqu'à hier. Ce que nous apprennent les sociétés traditionnelles", Paris, Editions Gallimard, coll. « NRF Essais »,
- Direction générale du Trésor et de la Politique économique (France), 2008, "Conséquences économiques à long-terme du changement climatique", Egalement en ligne : <https://www.tresor.economie.gouv.fr/file/326872>
- DOBRE et JUAN, 2009, "Consommer autrement. La Réforme écologiques des modes de vie", Paris, l'Harmattan, Coll. Environnement
- DOVERS S.R., HANDMER, J.W., 1992. "Uncertainty, sustainability and change". Global Environmental Change, vol. 2, n° 4
- EEA, 2012. "Urban adaptation to climate change in Europe - Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies", EEA Report N° 2/2012, www.eea.europa.eu
- EMELIANOFF et STAGASSY, 2010, "Voyage en ville durable, Récits d'une mobilisation européenne", Autrement, ISBN 10: 2746713624
- EUROPEAN COMMISSION, 2013, "An EU Strategy on adaptation to climate change", Bruxelles
- European Commission, 2013, "Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions: An EU Strategy on adaptation to climate change", Disponible en ligne ci-dessous: http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/docs/com_2013_216_en.pdf

- GAILLOT M., 2010, "Synthèse du cycle de séminaires franco-qubécois : villes, zones vulnérables, forêts, espaces naturels et biodiversité, Session 1 : Villes." par le Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie, UQAM, NSS Dialogues et Climat Environnement Société. Egalement en ligne : http://www.gisclimat.fr/sites/default/files/ACC2010_A5.pdf
- GIEC, 2012, « Gestion du risque de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation au changement climatique - Résumé pour les décideurs ».
- GIEC, 2014, "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability", également en ligne <http://ipcc-wg2.gov/AR5/>
- GILL, S. E., HANDLEY, J. F., ENNOS, A. R., et PAULEIT, S., 2007, "Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure". Built Environment,
- GODARD, à paraître, "Cette incertaine et ambiguë adaptation au changement climatique", Nature Sciences Sociétés,
- GOMEZ, F., E. GAJA et A. REIG, 1998, "Vegetation and climatic changes in a city". Ecological Engineering.
- HAENTJEN, 2008, "Les « villes lièvres ». Rendre désirable le développement durable", Futuribles, n° 342, pp. 49-53.
- HEERWAGEN, JOHNSON, BROTHER, LITTLE and ROSENFELD, 1998, "Energy effectiveness and the ecology work: links to productivity and wellbeing", Washington DC.
- HORTONA Benjamin P. ,RAHMSTORF S. , ENGELHARDT Simon E., KEMPE Andrew C., 2014, "Expert assessment of sea-level rise" by AD 2100 and AD 2300"
- LOVELL, S.T. et D.M. JOHNSTON, 2009, "Designing Landscapes for Performance Based on Emerging Principles in Landscape Ecology". Ecology And Society,
- MEYER, W., 1991, "Urban Heat Island and Urban Health: Early American Perspectives". The Professional Geographer
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE), "Démarche française de prévention des risques majeurs", consulté en mars 2013 Egalement en ligne: http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/10010-1_Demarche-francaise-prevention-risques-majeurs_DEF_Web.pdf
- MITH, S., 1899, "Vegetation a remedy for the summer heat of cities". Appleton's Popular Science Monthly

- MOONEY et EHRLICH, 1983. "Nature's services: societal dependence on natural ecosystems", Chap. 2, Ecosystem services: a fragmentary history. Island Press
- MOREL, M.-P. et R. JEAN, "L'utilisation du territoire entre 2006 et 2009". Agreste Primeur, n° 249, juillet 2010
- MORINIERE A., 2009, « Le biomimétisme pour un design durable », Mémoire de recherche au sein de l'ENSAD consultable [en cliquant ici](#)
- NICOLAÏ J-P., 2007, "Le concept de vulnérabilité "– OCT Conseil, consulté en septembre 2013, également en ligne : <http://www.otc-conseil.fr/fre/High/publications/lettre-otc/lettre-n-37-septembre-2007/2171/concept-vulnerabilite.pdf>
- O'CONNELL et HARGREAVES, 2004; "Climate change adaptation », Study report n°130, Building Research Levy, BRANZ, ISSN: 0113-3675.
- ONERC, 2010, "Villes et adaptation au changement climatique". Rapport au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française, Paris.
- ONU Conseil économique et social, 2007, "Tendances démographiques à l'échelle mondiale".
- PEDERSEN ZARI, M., 2010. "Biomimetic design for climate change adaptation and mitigation". Architectural Science Review (ASR)
- PELLING, 2003, "The vulnerability of cities: natural disasters and social resilience", London, Earthscan.
- PNACC (plan national d'adaptation), 2011, également en ligne : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ONERC-PNACC-complet.pdf>
- QUENAULT, 2013. "La dialectique vulnérabilité/adaptation des villes au changement climatique comme potentiel destructeur/créateur dans la fabrique d'un développement urbain durable", à paraître chez Presses Polytechniques Universitaires Romandes.
- QUENAULT, 2014, "Retour critique sur la mobilisation du concept de résilience en lien avec l'adaptation des systèmes urbains au changement climatique", également en ligne : <http://echogeo.revues.org/13403#bibliography>
- RANKOVIC A., PACTEAU C. et ABBADIE L., 2012, "Services écosystémiques et adaptation urbaine interscalaire au changement climatique : un essai d'articulation". Vertigo hors-série n°12.
- RASMONT, P., 2010, "Note de synthèse sur la mortalité des butineurs de *Tilia tomentosa*", Janvier 2010, Mons, Belgique. Egalment en ligne : <http://www.longchamp-messidor.be/documents.php>

- REYSSET B., 2013, "Impacts du changement climatique sur le littoral", ONERC - Rencontres IFFO-RME, Nantes Octobre 2013
- SIMONET et BLANC, 2012, "L'adaptation de la gestion des espaces naturels urbains aux changements de la variabilité climatique régionale : exemple de Paris et Montréal". Hors-série 12, VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement.
- SMIT, B., O. Pilifosova, 2003, "From adaptation to adaptive capacity and vulnerability reduction", In Smith J.B., R.J.T. Klein, S. Huq (Eds.), "Climate change, adaptive capacity and development", Imperial College Press.
- STERN, 2006, "The economics of climate change". Stern Review on Economics of Climate Change, Egalement en ligne: <http://siteresources.worldbank.org/INTINDONESIA/Resources/226271-1170911056314/3428109-1174614780539/SternReviewEng.pdf>
- TAHA, H., 1997, "Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat". Energy and Buildings.
- THOMPSON et STARZOMSKI, 2007, "What does biodiversity actually do? A review for managers and policy makers". Biodiversity and Conservation, May 2007, Volume 16, Issue 5, pp 1359-1378
- UNEP/ONU-Habitat, 2005, Annual report, Responding to the challenges of an urbanizing world »: Consulté en novembre 2013, également en ligne http://ww2.unhabitat.org/documents/UN-HABITAT_AR_2005.pdf
- WEBER C., 2010, "La ville comme système complexe, Synthèse du cycle de séminaires franco-québécois : villes, zones vulnérables, forêts, espaces naturels et biodiversité", 2013, par le Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie, UQAM, NSS Dialogues et Climat Environnement Société. Egalement en ligne : http://www.gisclimat.fr/sites/default/files/ACC2010_A5.pdf
- ZHANG, W., RICKETTS T., KREMEN C., CARNEY K., WINTON, "Ecosystem services and dis-services to agriculture". Ecological Economics

IV.2. Sites internet

- ALLARD O., 2014, "Quand les projets d'architecture font faire Wouah !!!" - blog Biomimesis consulté le 30 avril 2014 à l'adresse suivante : <http://lefourtout-dolivier.over-blog.net/article-quand-les-projets-d-architecture-font-faire-woua-116217267.html>
- ALLIX G, 2012, Les vagues de chaleur vont être plus intenses, Le MONDE.fr, consulté en mars 2014 à l'adresse suivante : http://www.lemonde.fr/planete/article/2012/08/17/les-vagues-de-chaleur-vont-etre-plus-intenses_1747026_3244.html
- Banque Mondiale, 2013, "Changement climatique : quelles conséquences pour l'Afrique, l'Asie et les populations côtières pauvres ?" ; article consulté le 20 mai 2014 à l'adresse suivante : <http://www.banquemondiale.org/fr/news/feature/2013/06/19/what-climate-change-means-africa-asia-coastal-poor>
- CALLEBAUT V., Vincent Callebaut Architectures, Projets : Dragonfly – Lylipad - et autres, consultés le 2 juin 2014 à l'adresse suivante : <http://vincent.callebaut.org/>
- Centre de ressources pour les Plans Climat Énergie Territoriaux, "Changement Climatique - Clarification des concepts", consulté en mai 2014, à l'adresse : <http://www.pcet-ademe.fr/content/risques-climatiques-et-impacts>
- Centre de ressources pour les Plans Climat Énergie Territoriaux, "Méthode pour un diagnostic de vulnérabilité du territoire", consulté en mars 2014, à l'adresse : <http://www.pcet-ademe.fr/content/pr%C3%A9parer-l%E2%80%99analyse>
- Définition de la vulnérabilité, Ministère français du développement durable, consulté le 25/02/2014 à l'adresse : http://www.developpement-durable.gouv.fr/spip.php?page=article&id_article=21336
- Définition du mot « ville », consulté en février 2013 <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/ville/82000>
- DELAGE P., "Habitat bulles", concept des maisons bulle: <http://habitat-bulles.com/>
- ETOPIA, 2005, "Introduction au biomimétisme", traduction libre par Lydia Blaise, consulté en décembre 2013 : <http://www.etopia.be/IMG/pdf/biomimetisme.pdf>
- FLEPP A., 2014, "Biomimétique : quand la nature redessine les villes de demain", consulté en mai 2014 à l'adresse suivante : <http://www.maisonapart.com/edito/immobilier-logement/urbanisme-ville/biomimetique---quand-la-nature-redessine-les-ville-9107.php>

- FLOCH et MOREL, 2011, "Panorama des villes moyennes", INSEE, document de travail. Consultable à l'adresse suivante : http://www.insee.fr/fr/publications-et-services/docs_doc_travail/h2011-01.pdf consulté en avril 2013
- GARRIC A., 2014, "Réchauffement : les 10 points marquants du rapport du GIEC", Le Monde.fr, 17/04/2014. Consulté le 20 mai 2014 à l'adresse suivante : http://www.lemonde.fr/planete/article/2014/04/14/rechauffement-les-dix-points-marquants-du-rapport-du-giec_4399907_3244.html
- INSEE, 2011, "Taille des communes les plus peuplées en 2011", Recensement de la population, consultable à l'adresse suivante : http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=0&ref_id=nattef01214
- Institut océanographique Paul Ricard , 2013, « BIO- INSPIRATION – La Nature comme modèle », Lettre d'information n°12.
- KILLEN M., 2002, "Water web", Metropolis Magazine, May
- KOUBI G., 2011, "La communication sur la gestion sanitaire des grands froids", Décembre 2011, consulté en avril 2014 en ligne : <http://koubi.fr/spip.php?article596>
- LESNES C., 2014, "Aux Etats-Unis, grand froid et sécheresse", LE MONDE.fr; 17/02/2014, consulté en avril 2014 à l'adresse suivante: http://www.lemonde.fr/planete/article/2014/02/15/aux-etats-unis-grand-froid-et-secheresse_4367246_3244.html
- MARESCA B., 1998, "Les villes de 100 000 à 200 000 habitants peuvent devenir les plus attractives", CREDOC Consommation et mode de vie, N°131 - Deembre 1998. consulté en avril 2013 à l'adresse suivante : <http://www.credoc.fr/pdf/4p/131.pdf>
- Météo France et Agence parisienne du climat, version 2014, "Le changement climatique à Paris" et "L'îlot de chaleur urbain à Paris", consultés en janvier 2014, versions pdf ici: <http://www.apc-paris.com/points-de-reperes/le-changement-climatique-a-paris.html>
- Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2013, « Penser autrement les Modes de vie », programme de prospective du CGDD, consulté le 16 juin 2014 à l'adresse suivante : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-programmes,33465.html>
- NOTRE-PLANETE.info; "Augmentation du niveau de la mer : de nombreux experts très pessimistes", consulté en mai 2014: <http://www.notre-planete.info/actualites/3924-augmentation-niveau-mer-rechauffement-climatique>
- PRIM.net, "Les risques majeurs" : <http://www.risquesmajeurs.fr/le-risque-tempete>

- SCHUITEN L., 2009, "Vegetal City - A vision by Luc SCHUITEN", dossier pédagogique consulté en janvier 2014 à l'adresse suivante : http://citevegetale.net/vegetal_city_francais.pdf
- Site de Vélizy-Villacoublay, consulté en mai 2014 : <http://www.velizy-villacoublay.fr/fr/dev-durable/ville-biomimetique.html>
- Site internet de "UP'Magazine", consulté en janvier 2014: <http://www.up-magazine.info/index.php/urbanisme-architecture>
- THEYS J. et VIDALENC E., 2013, « Repenser les villes dans la société post-carbone », Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, consulté le 3 juin 2014 à l'adresse suivante : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/VPC2013_web2_1_.pdf

IV.3. Vidéos

- "Biomimétisme, le génie de la nature", reportage regardé le 25 mai 2014 sur ARTE: <http://www.arte.tv/guide/fr/042636-002/biomimetisme-le-genie-de-la-nature>
- LAPP K., "Biomimétisme: inspiration pour des territoires durables », regardé en juin 2014: <https://www.youtube.com/watch?v=nQsqNWOxPVM>
- « Le projet Dragonfly », projet architectural de Vincent CALLEBAUT, 2013, ARTE disponible à l'adresse suivante : <https://www.youtube.com/watch?v=VtTBBg4Cgkg>
- « Le projet Lylipad », projet architectural de Vincent CALLEBAUT, 2013, ARTE disponible à l'adresse suivante : <https://www.youtube.com/watch?v=3JODPT1Ocm4>
- REHSE A., 2010, "Biomimétisme - Naturellement génial : Construire efficacement", (Allemagne, 2010, 52mn) ZDF, Arte. Regardé 28 janvier 2014 à l'adresse suivante: http://www.dailymotion.com/video/xjnf4b_biomimetisme-naturellement-genial-construire-efficacement-2-4_news
- "Ville biomimétiques, Ville de demain", de la Ville de Vélizy-Villacoublay, regardée en mai 2014: <https://www.youtube.com/watch?v=nQsqNWOxPVM>

IV.4. Conférences

- CHEKCHAK T. et BŒUF G., 2014, "Le biomimétisme vous donne rendez-vous avec l'avenir", 13 mars 2014 à la maison de la chimie, organisé par le CEEBIOS : <http://biomimetismeconference.wordpress.com/>
- LE TREUT H., 2014, "Changement climatique : quels enjeux pour nos sociétés d'ici à 2100 ?", le 25 avril 2014, organisée par le Comité 21 et la CDC : <http://www.cdclimat.com/Conference-debat-changement.html>
- "Ville biomimétique, ville de demain", du 17 au 22 mai 2014, organisé par la ville de Vélizy-villacoublay. <http://www.velizy-villacoublay.fr/fr/dev-durable/ville-biomimetique.html>

VI. Annexes

Annexe 1 : Profil de nos interlocuteurs

Tarik CHEKCHAK (Biographie Viadeo)

« Tarik est le Directeur Sciences et Environnement de l'Equipe Cousteau, en Europe, et de la Cousteau Society, aux USA. Il développe une approche favorisant la gestion intégrée des territoires côtiers et des bassins versants de rivières, prenant aussi bien en compte les aspects socio-économiques que naturels et culturels. Ingénieur écologue de formation, il est spécialiste de la valorisation et de la gestion des milieux naturels. Formé à l'école canadienne, il a collaboré en tant que scientifique avec le ministère de l'environnement canadien ainsi qu'en France avec le Muséum National d'Histoire Naturelle et plus récemment comme expert dans le cadre du Grenelle de la Mer. Fasciné par les régions polaires, il est régulièrement chef d'expéditions en arctique comme en Antarctique. Tarik s'intéresse par ailleurs dès 2008 au Biomimétisme, ou comment créer de l'innovation compatible avec la biosphère en s'inspirant des organismes et processus vivants. Il rejoint le CA de Biomimicry Europa et est membre fondateur du Bureau Français de cette ONG. Il devient à la même période Secrétaire Général de Cousteau Divers, une association créée par le fils du Commandant Cousteau, Pierre-Yves Cousteau, et qui vise à impliquer les milieux de la plongée sportive dans l'observation et le suivi des milieux aquatiques ».

Adresse mail : t.chekchak@gmail.com

Karim LAPP

Karim Lapp est ingénieur écologue, a été conseiller auprès de l'adjoint au maire de Paris pour les questions relatives au développement durable et l'environnement. Il est aujourd'hui Chef de projet Plan Climat à la Région Ile de France (UAD-Environnement) et Secrétaire général de Biomimicry Europa. Articles de revue :

- « *Biomimétisme, la nécessaire resynchronisation de l'économie avec le vivant* »; Ecologie & politique 2011/3 (N° 43)
- « *La ville, un avenir pour la biodiversité ?* »; Ecologie & politique 2005/1 (N°30)

Adresse mail : karim.lapp@iledefrance.fr

Guillaume PORCHERON

Chargé de mission Développement Durable de la ville de Vélizy-Villacoublay. Il a une double expertise: le développement durable des collectivités territoriales et la communication des organisations, avec une inclination pour la prospective territoriale.

Publication : <http://lesclesdedemain.lemonde.fr>

Adresse mail : gporcheron@icloud.com

Olivier ALLARD

Ce spécialiste en innovation bio-inspirée et biomimétisme a 8 ans d'expérience dans le management de projets scientifiques complexes. Il est aussi responsable de la veille sur les domaines de R&D bio-inspirée, biomimétisme, bionique pour Biomimicry Europa.

Chargé média et communication.

Adresse mail : olivier.allard@biomimesis.fr

Site internet : www.biomimesis.fr

Olivier Scheffer

Adresse mail : olivier.scheffer@symbiopolis.org

Ce directeur de Recherche et Développement du cabinet X'TU Architects a pour spécialisations: design, architecture, urban planning, new product & business development, management, strategy, marketing, internet. Il est également membre de Biomimicry Europa.

Annexe 2 : Les types de stratégies d'adaptation

Type de stratégie	Définition
Stratégies sans-regrets	Stratégies fournissant des bénéfices même en l'absence de changement climatique, et elles visent en premier lieu des problèmes actuels pouvant être aggravés par celui-ci. Il s'agirait par exemple de diminuer dès à présent les risques liés à l'îlot de chaleur, à la pollution atmosphérique ou encore au stress hydrique (mais nous pourrions citer quasiment tous les risques listés en note 5), qui sont déjà problématiques aujourd'hui et qui pourraient être aggravés par le changement climatique.
Choix préférentiel d'options réversibles et flexibles	Les choix s'orientent vers des options flexibles, qui peuvent s'adapter en fonction de l'acquisition d'information (par exemple, le choix des zones constructibles autour d'un hydrosystème doit appliquer le principe de précaution, et se moduler en fonction des nouvelles connaissances sur les zones qui seront exposées aux inondations dans le futur).
Ajout de marges de sécurité dans les investissements	L'ajout de marges dans la conception d'infrastructures (par exemple, la ville de Copenhague construit son système de drainage des eaux de pluie en se basant sur des chiffres de 70 % supérieurs au ruissellement actuel) permet une adaptation à moindre coût (ou en tout cas à un coût moindre que si l'adaptation doit se faire ultérieurement – "retrofitting" – et implique de changer tout le système de drainage).
Promotion de stratégies douces d'adaptation	Les solutions techniques ne sont pas les seuls moyens à disposition pour l'adaptation. Des outils institutionnels ou des instruments financiers peuvent entrer en jeu : par exemple, l'institutionnalisation d'horizons de planification à long terme (en Californie par exemple, tous les fournisseurs d'eau ayant plus de 3000 clients doivent, tous les 5 ans, procéder à un exercice prospectif sur la disponibilité en eau à 25 ans). De même, des changements organisationnels dans l'aménagement du territoire peuvent également être compris comme des stratégies douces (même s'ils auront, ensuite, des conséquences en termes de stratégies « dures », sur les plans de construction par exemple)
Réduction des horizons temporels de décision	Puisque l'incertitude climatique augmente rapidement avec l'éloignement de l'horizon temporel, une solution est de réduire la durée de vie des investissements en privilégiant les investissements à rotation temporelle plus rapide (dans la foresterie par exemple, il est déjà recommandé d'utiliser des essences à plus courte rotation).

Annexe 2: Tableau: Types de stratégies d'adaptation au changement climatique, d'après HALLEGATTE (2009)

Annexe 3 : Définitions selon Gilles BOEUF: Bio-inspiration, Bio-assistance et Biomimétisme.

« En fait, ces termes recouvrent une même démarche, et l'usage de mots différents est purement historique.

La bionique est née dans les années 1960 avec une démarche, en fait, très ingénierie : on allait observer finement des phénomènes naturels et on essayait de les comprendre sans les copier – je n'aime pas ce mot –, mais les utiliser dans le bon sens du terme, soit dans la conception d'un système, soit dans l'imitation de systèmes qui fonctionnent, avec une finalité industrielle.

Il est clair que l'on ne se situe pas dans une conception intellectuelle pure, mais à la charnière entre les sciences fondamentales et les sciences de l'ingénieur, et leurs applications par les entreprises.

C'est à la fin des années 1990, que la biologiste américaine Janine M. Benyus publie le livre fondateur du biomimétisme. Elle y présente une philosophie extrêmement attractive d'une démarche intellectuelle qui ferait beaucoup mieux regarder, scruter, observer la nature pour en répliquer le génie dans de nombreuses applications : agriculture, fabrication de matériaux, production d'énergie, médecine...

Au terme de biomimétisme, je préfère celui, un peu plus moderne, de bio-inspiration, car il y a une dimension philosophique dans le fait de s'inspirer du monde naturel, mais aucune sémantique ne dresse de barrières très hautes entre bionique, biomimétisme et bio-inspiration. En anglais, il n'y a d'ailleurs qu'un seul mot pour désigner ces trois termes, c'est biomimicry.

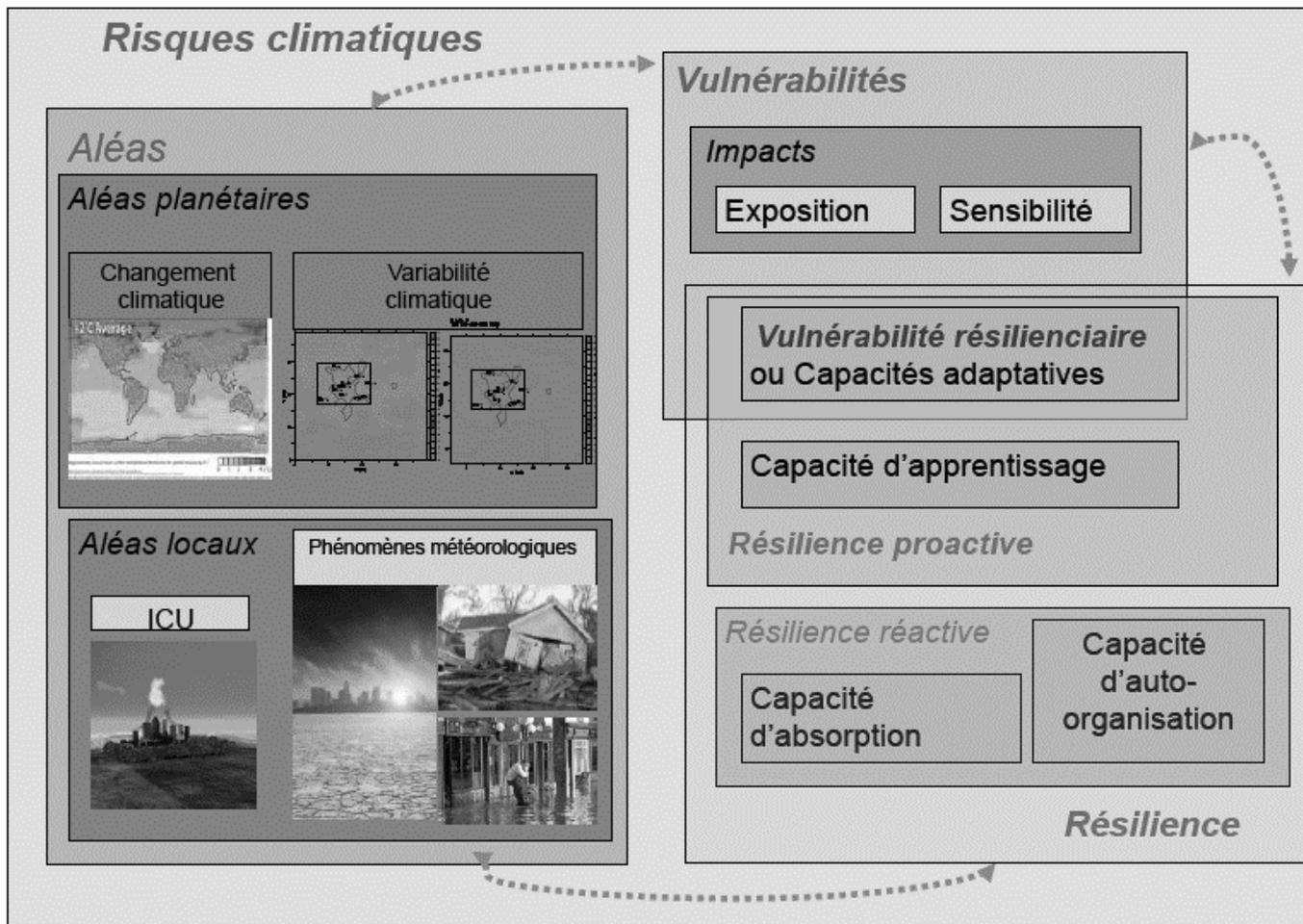
En fait, chacun y met ce qu'il a envie de mettre, et dans la mesure où l'on parle du même sujet, c'est une bonne chose ».

Annexe 5 : Double interprétation du couple vulnérabilité / adaptation



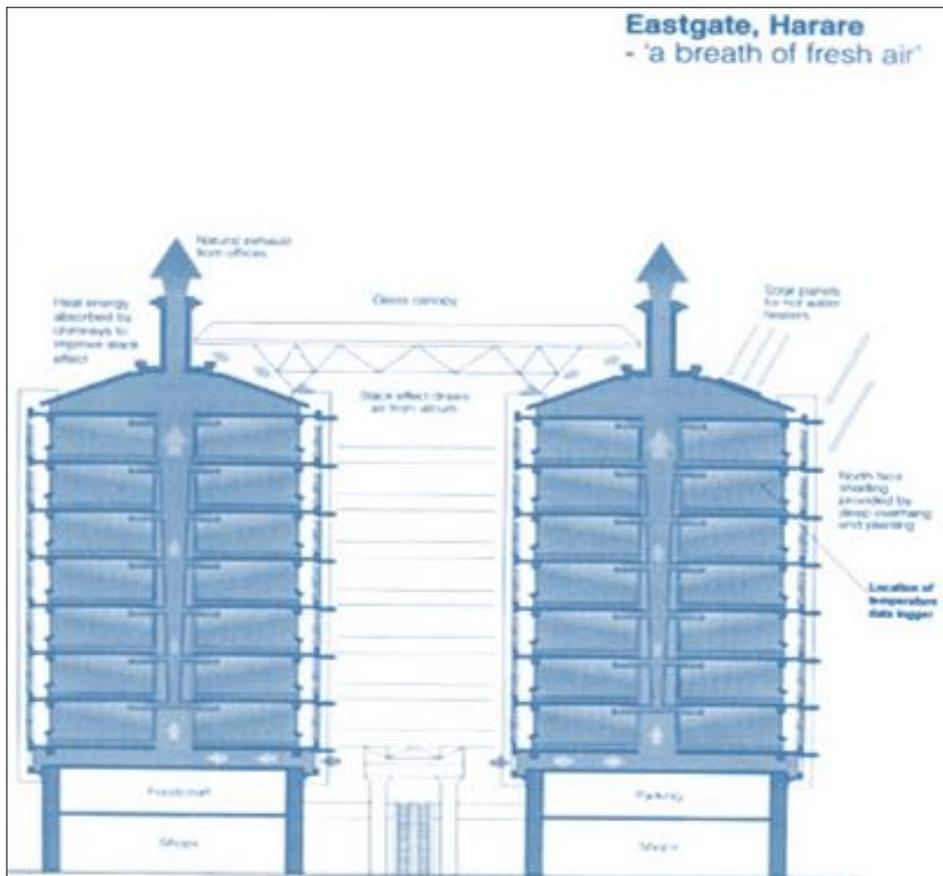
Schéma adapté de Dessai et Hulme (2004), repris par Vertigo dans son Hors-série 12. (couleur retouchée)

Annexe 6 : La résilience proactive ou risque climatique



Annexe 3 « Pour des trajectoires urbaines résilientes et durables face au défi climatique », QUENAULT (2011), couleur retouchée.

Annexe 7: « Eastgate building », Harare, Zimbabwe



Annexe 4: <http://inhabitat.com/building-modelled-on-termites-eastgate-centre-in-zimbabwe/>

Annexe 8 : Évolution d'une rue de 1850 à 2150 - Prospective réalisée par Luc Schuiten



1850 - « L'amélioration des techniques agricoles a rejeté une part de la main d'œuvre des campagnes. Pour retrouver du travail, elle a gagné la ville où la révolution industrielle a concentré les nouvelles usines. À partir de ce moment, la ville va connaître un développement ininterrompu, modifiant sans cesse son apparence. Quelques rares rues rectilignes traversent le tissu dense du bâti, maillé d'impasses. Au-delà des boulevards de ceinture, récemment tracés à l'emplacement des enceintes, la

citée s'étire le long des chaussées et gagne de proche en proche les faubourgs. L'eau est encore cherchée aux puits et aux fontaines. Les eaux usées s'écoulent au bas du pavé par des fossés et des rivières. À la nuit tombée, quelques rues s'éclairent déjà à la lueur des réverbères au gaz de houille ».



1900 - « La ville a grandi proportionnellement à la population qui a plus que doublé en 50 ans. Partout, des infrastructures publiques nouvelles s'implantent et se développent dans le tissu urbain : gares de chemin de fer, complexes scolaires et hospitaliers, bourse, musées, bibliothèques, marchés couverts... En cette période d'essor économique, les initiatives privées ne sont pas en reste : les immeubles d'appartements, les hôtels, les grands magasins apparaissent sur les nouveaux boulevards. La cité s'équipe. Les cours d'eau sont voûtés et transformés en égouts; des réseaux souterrains d'eau courante et de gaz desservent les nouveaux bâtiments, tandis que les lignes électriques et télégraphiques se croisent par-dessus les

rues et les toits.

Les rues résonnent des premiers moteurs à explosion et des tramways hippomobiles ou électriques. Pour l'éclairage des rues et des bâtiments, le gaz se généralise, tandis que le chauffage au charbon remplace



les feux de bois. L'architecture, l'urbanisme, la décoration, le mobilier urbain et la publicité naissante s'expriment partout avec une unicité et une cohésion remarquables ».

1950 - « Deux guerres mondiales ont marqué profondément les consciences mais étrangement, dans les rues, peu de traces subsistent de ces faits dramatiques. Au contraire, la ville affiche un air optimiste dû à la paix retrouvée et à une économie en plein développement. La voiture, née avec le siècle, reste l'apanage des plus nantis, tandis que les bus et le métropolitain diversifient les réseaux de transports publics. Le cinéma est à l'apogée de sa popularité. Des maisons de toutes époques et de tous

styles se côtoient dans une grande diversité. Les déplacements à vitesse réduite des véhicules, tant publics que privés, permettent encore de jouir de l'environnement. L'électricité s'est généralisée à tous les immeubles et éclaire les rues. Le mazout de chauffage se substitue progressivement au charbon ».



2000 - « L'augmentation du pouvoir d'achat du citoyen a notamment provoqué une expansion considérable du parc automobile. Les voies de circulation des rues, des boulevards ont été élargis; des autoroutes urbaines ont été tracées afin de faciliter la circulation des voitures.

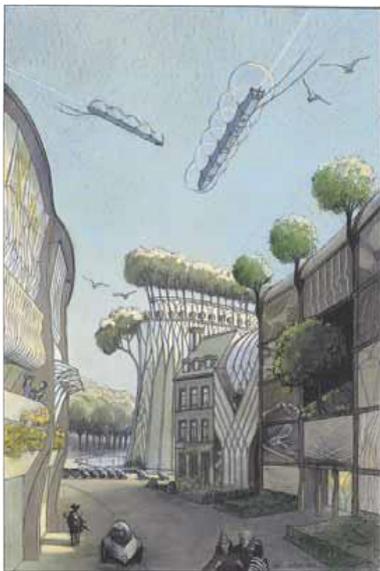
Les nouveaux immeubles à l'architecture fonctionnaliste s'érigent en rupture formelle avec le bâti ancien et transforment radicalement la silhouette de la cité. L'uniformisation mondiale du design urbain contribue grandement à la perte d'identité et de spécificité de chaque ville. Des

quartiers mono-fonctionnels tertiaires se développent au centre; l'habitat se paupérise partout où le manque de qualité de l'environnement fait fuir les investisseurs ».



2050 - « Le développement du travail à domicile et des achats par Internet ont eu pour conséquence d'alléger la circulation automobile et de libérer des espaces occupés précédemment par des fonctions tombées en désuétude. Les pouvoirs publics ont alors entrepris une politique d'expropriation des intérieurs d'îlots et les ont progressivement curetés afin de leur rendre leur vocation première d'espaces verts. Dans un vaste plan de réaménagement de la ville, ceux-ci ont été restructurés sur un schéma de maillage vert permettant de traverser la ville à pied par des chemins les reliant les uns aux autres. Ce qui a fondamentalement bouleversé la ville, c'est la suppression des voitures privées et des

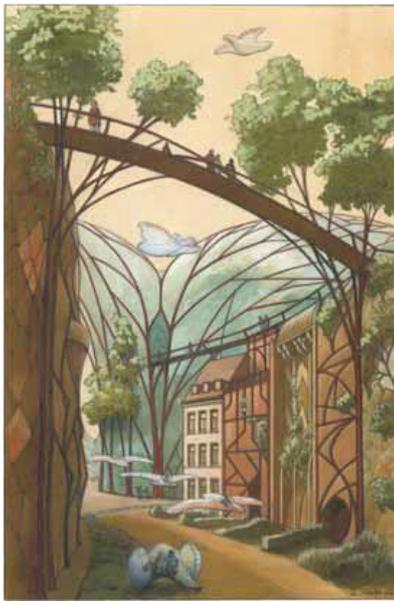
transports publics, et leur remplacement par un nouveau moyen de communication : le chenillard. Les façades des maisons deviennent des enveloppes translucides laissant passer la lumière ou la filtrant, avec une gamme infinie de possibilités. L'aspect extérieur de ces enveloppes est constitué d'une part de membranes rigides en matériaux composites, et d'autre part d'éléments structurels ou décoratifs adaptés au goût de chacun ».



2100 - « La mise au point d'édifices utilisant exclusivement des structures vivantes, à croissance génétiquement programmée, a mis des décennies avant d'être totalement maîtrisée. Cette évolution technique fondamentale, permettant de nouvelles formes d'espaces habitables, a eu une très grande répercussion sur le mode de vie de tous les citoyens. Outre les avantages d'une construction entièrement bio, la main d'oeuvre a pu être divisée par un facteur 5. Ces mêmes techniques appliquées dans tous les secteurs ont réduit le temps de travail hebdomadaire moyen à 7 heures. Le temps d'apprentissage dans les écoles a, lui aussi, considérablement diminué grâce aux progrès des méthodes mnémotechniques. De ce fait,

chaque individu dispose d'un potentiel de temps libre encore jamais atteint dans son histoire. Les loisirs de consommation passifs (téléhologramme – sport de compétition – show-bizz) arrivés à saturation ne pouvant plus se développer, les loisirs créatifs comblent le vide. Les rues et parcs publics deviennent des lieux d'expression physique et artistique. Les façades des maisons affichent dessins, polychromies en mouvement, photos ou poèmes, tandis que dans les espaces publics, les gens vêtus de leurs créations

s'interpellent dans des jeux théâtraux. En peu de temps, une variété extraordinaire de nouveaux sports ludiques voit le jour et envahit les rues. Le moyen de déplacement le plus courant reste le chenillard. En dehors de cela, une très grande variété d'engins créatifs circule à vitesse limitée dans les rues. Beaucoup d'engins fonctionnent aux énergies solaire et musculaire. Les dirigeables sont surtout utilisés pour les transports de marchandises. Les déplacements sur grande distance ne se font pratiquement plus que par des engins aériens silencieux de tous types : les zeppos, les ornithoplanes à ailes battantes ou les N.H.V. (navettes à hyper vitesse) ».



2150 - « À la période de foisonnement créatif du début du 22e siècle a succédé une période plus sage, tournée vers les valeurs artistiques du passé. De vastes biosphères réalisées à partir de structures vivantes couvrent une bonne partie des îlots intérieurs. En périphérie, elles se prolongent au-dessus des jardins privés et viennent s'accrocher aux façades arrière des maisons. Ces nouveaux espaces couverts et aut climatisés forment un microclimat adapté à une faune et une flore sélectionnées. Tous sont reliés entre eux par des couloirs souterrains afin d'augmenter les chances de reproduction. Grâce à leur climat constant, ces lieux de détente et de promenade sont très prisés par la population.

Le chenillard a été remplacé avantageusement par toute une gamme d'engins de type levitator, plus souples et beaucoup plus amusants. Ces appareils émettent de puissantes ondes gravitationnelles qui interagissent avec le sol pour induire une suspension, par l'utilisation de fréquences de résonances des noyaux du sol ».