

VERNOMIMETISME

Exploration d'un nouveau paradigme pour promouvoir la durabilité de l'architecture biomimétique



Saida TERAA

Sous la direction de Natasha Heil et
Co-direction de Nazila HANNACHI

Résumé :

Cette étude consiste à analyser les productions architecturales biomimétiques du point de vue de leur durabilité, et propose une alternative pour optimiser celle-ci. L'idée principale est de puiser dans le savoir-faire ancestral de l'architecture vernaculaire pour en extraire des stratégies passives, et les réintégrer dans le design architectural biomimétique contemporain. Dans ce contexte, une nouvelle méthodologie, nommée "Vernomimétisme", a été explorée. Elle vise à fusionner les atouts du biomimétisme et de l'architecture vernaculaire afin de renforcer la durabilité des bâtiments.

Pour mettre en œuvre cette méthodologie, nous avons sélectionné les climats chauds comme champ d'étude. Le défi principal dans ces régions est d'assurer le confort d'été à travers un refroidissement passif.

Suite à l'implémentation de cette approche, nous avons élaboré une série de nouveaux concepts Vernomimétiques, notamment la « Cuticule Vernaculaire », le « Malkaf Termitière », le « Patio Homéostatique » et le « Biome Troglo ». Chacun de ces concepts se base à la fois sur les principes du biomimétisme et sur les techniques vernaculaires, dans le but de créer un refroidissement qui est à la fois bio-inspiré et passif.

En conclusion, cette étude révèle que les approches biomimétiques et vernaculaires sont complémentaires. D'un côté, le biomimétisme offre une multifonctionnalité et une adaptabilité en temps réel, ce qui apporte une dimension dynamique à la conception. De l'autre côté, l'architecture vernaculaire, bien que statique et généralement monofonctionnelle, se distingue par sa passivité et sa durabilité, des atouts essentiels face au changement climatique actuel.

Mots clés : Biomimétisme, architecture vernaculaire, approche Vernomimétique, confort d'été, rafraîchissement passif, durabilité, adaptabilité, changement climatique, canicule.

Sommaire

Introduction

Chapitre I : Contextualisation

I.1 Habiter l'anthropocène, comme un nouveau défi.

I.2 Le Biomimétisme

I.2.1 Biomimétisme Benyusien

I.2.2 Le mythe de la durabilité

I.2.3 Architecture Biomimétique: Origine, Méthodes et état des lieux

I.2.3.1 Origine : De la bio-inspiration au biomimétisme :

I.2.3.2 Méthodes: Top down ou bottom-up?

I.2.3.3 Une question d'échelles

I.2.4 Du constat à la réflexion : Vers une problématisation

I.3 Le Vernaculaire

I.3.1 Vernaculus !

I.3.2 Architecture sans architectes

I.3.3 Penser vernaculaire : penser lowtech

I.3.4 Vers un vernaculaire contemporain

I.3.5 L'architecture vernaculaire, levier du développement d'une architecture durable

I.3.6 Est-il également bio-inspiré ?

Chapitre II : Exploration

II.1 Contexte d'étude

II.1.1 Confort d'été : Un défi planétaire à l'heure du dérèglement climatique

II.1.2 Rafraichissement passif

II.2 Exploration des stratégies adoptées dans un climat chaud par le vivant humain et non-humain :

II.2.1 Adaptation biologique au climat chaud

- a. Acclimatation des plantes du désert
- b. Homéostasie : Préserver l'équilibre de l'environnement interne
- c. Termitières : l'Auto-régulation de l'environnement intérieur
- d. Chien de prairie : Adaptation sous-terrain au climat chaud

II.2.2 Stratégies vernaculaires pour faire face aux conditions climatiques chaudes

- a. L'inertie thermique des parois

- b. Malkaf (ou tour à vent)
- c. Le patio
- d. L'habitat souterrain
- e.

Chapitre III: Méthodologie proposée : Vers un Vernomimétique

III.1 Approfondissement de la réflexion

III.2 Méthodologie proposée : Vers un Vernomimétique

III.3 Présentation de l'application possible du Vernomimétisme en climat chaud et sec

Conclusion générale

Perspectives

Annexes

Références bibliographiques

Remerciement

Tout d'abord, j'aimerais remercier ma directrice de mémoire, Natasha Heil, et ma co-directrice, Nazila Hannachi, qui ont été de véritables mentors tout au long de cette recherche. Je suis reconnaissante pour la richesse de leurs enseignements, le partage de leurs connaissances, leur pédagogie bienveillante et leur disponibilité inébranlable.

Ensuite, je tiens à exprimer ma gratitude envers toutes les personnes qui ont pris le temps de répondre à mes nombreuses interrogations : Clément Gaillard, Olivier Bocquet, Ahmed Khoja, Estelle Cruz, ainsi que tous ceux qui ont croisé mon chemin et accepté de participer à nos échanges et discussions.

Je souhaite également remercier Guillian Graves, Simon d'Hénin, Adrien Payet et Tobias pour la mise en place de ce master qui nous permet de progresser ensemble.

Enfin, je tiens à remercier chaleureusement tous les étudiants du Master NID pour leur contribution à cette dynamique engagée et optimiste.

Une mention spéciale à mes proches pour leur soutien inconditionnel dans la finalisation de mes études.

Introduction

J'ai eu la chance de grandir dans un pays doté d'une diversité naturelle, géographique, environnementale et biologique immense. En tant qu'architecte, cette réalité m'a naturellement conduit vers un intérêt prononcé pour le biomimétisme et son potentiel pour influencer la conception architecturale spécifique à chaque région biogéographique. Cette réflexion m'a mené à me poser la question suivante : « Face à une telle diversité naturelle, ne devrions-nous pas envisager une diversité d'architecture aussi, en fonction du patrimoine génétique local ? ». C'est cette question que j'ai choisi d'explorer dans ma thèse de doctorat à l'Université de Constantine en Algérie, intitulée « *L'apport de l'endémisme floristique dans le design biomimétique de l'espace architectural balnéaire : cas du hotspot de la biodiversité Kabylie-Numidie au Nord-Est algérien* ».

En parallèle, mes études en architecture et l'exploration de ses multiples styles et tendances à travers le monde m'ont amenée à développer un intérêt particulier pour la diversité des cultures constructives, éveillant en moi la volonté d'apprendre de toutes ces cultures et d'établir un lien avec ma formation NID à l'ENSCI Les Ateliers. L'année précédente, en janvier 2022, j'ai eu l'occasion d'effectuer une immersion en biomimétisme à la station marine de Concarneau, dans le cadre de mon Master NID, ce séjour a renforcé mon intérêt pour l'approche Lowtech. Nous avons eu l'occasion de visiter « le lowtech-lab » où j'ai découvert le véritable potentiel de l'approche Lowtech. J'ai été impressionnée par sa capacité à innover tout en respectant les identités culturelles. Cette expérience a fait germer en moi l'idée d'explorer si je pourrais m'engager moi-même dans cette voie."

L'ouvrage « *Architecture without Architects* » de Bernard Rudofsky a éveillé en moi une réelle fascination pour ces architectures réalisées par et pour les peuples dans le respect de leurs traditions millénaires. Lors de mes recherches sur le sujet, une critique de Valéry Didelon sur le livre « *Learning from Vernacular* » de Pierre Frey, concernant le paradoxe consistant à mettre la « *nouvelle architecture vernaculaire* » dans les mains des architectes contemporains, m'a amenée à tenter d'en savoir plus sur la relation entre celle-ci et le biomimétisme, et j'ai donc décidé d'y consacrer le propose de ce mémoire.

CHAPITRE I :

CONTEXTUALISATION

Ce premier chapitre « Contextualisation » est un état de l'art, un support théorique qui vise à faire émerger les rapprochements possibles entre deux disciplines, l'une appartenant au passé, et l'autre étant d'actualité : le biomimétisme et le vernaculisme . Nous verrons en quoi l'architecture vernaculaire détient certains clés dont l'architecture biomimétique pourrait

I.1 Habiter l'anthropocène, comme un nouveau défi ...

Lorsque le naturaliste et mathématicien Buffon (1707-1788) énonçait dans « Les Époques de la nature » en 1778 que « La face entière de la Terre porte aujourd'hui l'empreinte de la puissance de l'homme »¹, il était probablement loin d'imaginer qu'au bout de trois siècles, les géologues formaliseraient cette observation en définissant une nouvelle ère géologique «l'Anthropocène».

Ce terme issu de la fusion des mots grecs "anthrôpos" qui signifie homme et "kainos" qui signifie nouveau, ou encore "Ère de l'humain", a été introduit pour la première fois par le biologiste américain Eugène Stoermer dans les années 1980 ainsi que par le météorologue et chimiste de l'atmosphère Paul Josef Crutzen lors d'une réunion de travail du *programme international sur la géosphère et la biosphère* (IGBP) à Cuernavaca au Mexique, en février 2000², pour désigner une nouvelle ère géologique ou période de l'Histoire de notre planète³.

Les deux auteurs affirment qu'il faut définir une *époque géologique nouvelle*, l'Anthropocène, pour « mettre l'accent sur le rôle central de l'homme en géologie et en écologie ». Cela découle du constat que, collectivement, les hommes sont à présent une *force géologique*, du même ordre de grandeur que d'autres forces naturelles. Ce constat prend en compte plusieurs facteurs naturels, tels que l'exploitation de la moitié de la surface terrestre, la déforestation, les changements du cycle de l'azote, l'augmentation des gaz à effet de serre, le trou dans la couche d'ozone et la diffusion des polluants industriels. Les auteurs expliquent que toutes ces variables ont dépassé les niveaux observés pendant l'Holocène, conduisant la planète vers une situation inédite, en terre inconnue⁴.

« Le terme Anthropocène suggère que la Terre a maintenant quitté son époque géologique naturelle, l'état interglaciaire actuel appelé Holocène. Les activités humaines sont devenues si généralisées et profondes qu'elles rivalisent avec les grandes forces de la nature et qu'elles poussent la Terre dans une terra incognita planétaire. La Terre évolue rapidement vers un état

1 Francois Gemenne et Marine Denis, 2019 « Qu'est-ce que l'Anthropocène ? »

2 A bien des égards, l'Anthropocène est le produit du cadre institutionnel qu'a été l'IGBP. Officiellement adopté et lancé à Berne en 1986 par le conseil international des unions scientifiques (CIUS, ou *international Council of scientific Union*, ICSU en anglais), l'IGBP était un programme de recherche qui étudiait le changement global et avait pour objectif de réduire les incertitudes quant au fonctionnement de la biosphère. Il s'est terminé à la fin 2015. De nombreux scientifiques qui défendent l'Anthropocène ont participé, souvent à des postes importants, à l'IGBP. Will Steffen l'a même dirigé de 1998 à 2004.

3 Lors d'un échange animé à propos de l'ancienneté et l'intensité des impacts humains sur la planète au cours de l'Holocène, Crutzen se serait levé pour s'écrier : « Non ! Nous ne sommes plus dans l'Holocène, mais ... dans l'Anthropocène ! » (thèse philosophie de l'anthropocène)

4 Alexander FEDERAU, (2016) Thèse de doctorat Lausanne & Dijon « philosophie de l'anthropocène Interprétations et épistémologie »

de moins grande biodiversité, moins forestier, plus chaud et probablement plus humide et tempétueux »⁵.
 Crutzen, 2017.

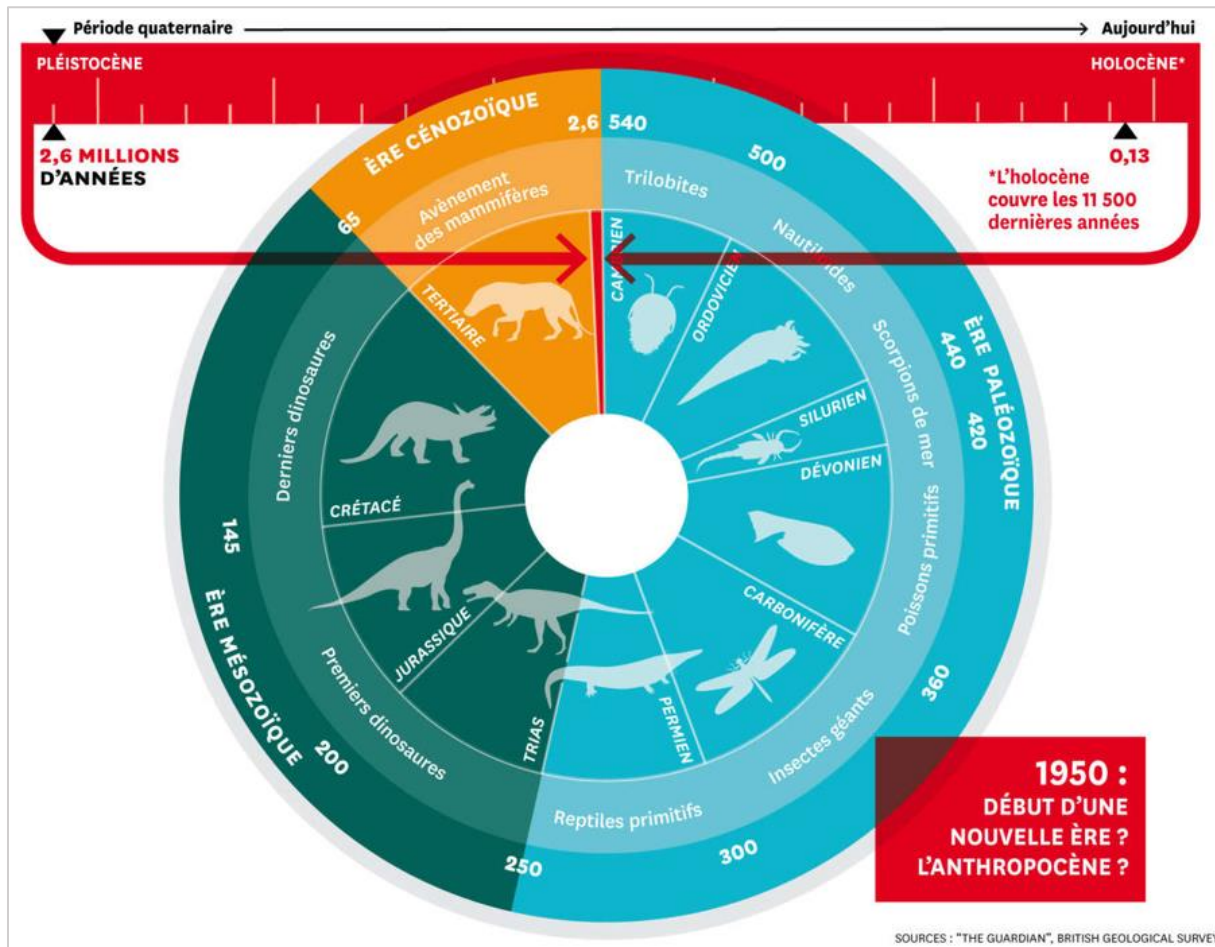


Figure 01: Les périodes géologiques depuis 540 millions d'années.

Références : The Guardian , British Geological Survey , 2016.

Cette nouvelle ère est caractérisée par la prédominance des êtres humains en tant que force géophysique majeure sur Terre, capable de transformer la planète et d'altérer durablement son environnement, y compris les écosystèmes, les ressources naturelles, le climat et la biodiversité, dépassant ainsi les processus géophysiques naturels.

Depuis le XVIIIe siècle, les activités d'Homo sapiens ont commencé à exercer un impact négatif croissant sur les processus naturels qui soutiennent la vie sur Terre, en raison de l'essor de la mécanisation et de l'exploitation des ressources minières pour la mise en place d'industries polluantes. « Le monde est désormais plus artificiel que vivant » (Larmagnac-Matheron, 2021).

⁵ Sauf indications contraires, les traductions des citations sont les nôtres. Will Steffen, Paul J. Crutzen et John R. McNeill, « The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature? », *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2007, vol. 36, no 8, p. 614-621.

Cette transition d'une économie agricole vers une économie de production à grande échelle a provoqué des bouleversements majeurs sur les plans social, économique et environnemental. Ceci est attribuable à l'apparition d'une civilisation thermo-industrielle, dépendante des énergies fossiles et fortement consommatrice d'énergie (Delannoy, 2021, p.33).

Cette culture du progrès, axée sur l'innovation technique et technologique, associée à une forte croissance démographique et à la mondialisation, conduit à l'émergence d'une nouvelle sphère : la technosphère, dont la masse dépasse désormais celle de l'ensemble de la biomasse de la planète. La technosphère, bien qu'illustrant la présence humaine sur Terre, révèle également la relation prédatrice que l'homme entretient avec son mode de vie et son évolution. Reprenant l'expression évocatrice de Philippe Descola, « *Nous sommes devenus des virus pour la planète* »⁶. L'homme, par sa présence, met en péril l'habitabilité de la planète, ce qui est mesurable grâce au concept des limites planétaires.

Au cours des cinquante dernières années, les scientifiques ont constaté la diminution rapide des fonctions et des services écosystémiques de la planète, notamment sa capacité à réguler le climat à long terme dans les zones habitables et cultivables⁷. « *Nous ne sommes plus un petit monde sur une grosse planète mais un énorme monde sur une minuscule planète ayant atteint son point de saturation* »⁸.

L'étude menée par Johan Rockström, directeur du Stockholm Résilience Center de l'université de Stockholm, identifie neuf limites planétaires qui définissent un cadre sûr pour l'humanité. Ce « terrain de jeu délimité » agirait comme un garde-fou pour prévenir les activités humaines susceptibles d'entraîner des changements environnementaux non durables.

Plusieurs de ces « neuf limites » ont déjà été franchies, comme le changement climatique et l'érosion de la biodiversité. Dans cette étude, les scientifiques estiment que la concentration atmosphérique de dioxyde de carbone (CO₂) ne doit pas excéder une valeur située entre 350 et 450 ppm (parties par million). Cependant, la concentration moyenne actuelle dépasse les 400 ppm. L'érosion de la biodiversité semble également irréversible. Les biologistes considèrent que le déclin de la biodiversité animale est le signe avant-coureur d'une sixième crise d'extinction biologique massive sur la planète. La limite de l'érosion de la biodiversité ayant été

6 N. Truong, Nous sommes devenus des Virus pour la planète., Le Monde.2020,[Lien en bibliographie.](#)

7 François Gemenne et Marine Denis, 2019 « Qu'est-ce que l'Anthropocène ? »

8 Johan Rockström, Directeur exécutif Stockholm Resilience Centre (2016)

largement dépassée, la question de la capacité de résilience et de renforcement des systèmes naturels et biologiques se pose également ⁹.

Dans cet esprit, le rapport « Planète Vivante » du WWF, publié en 2016¹⁰, dresse un triste bilan de l'état de la planète en illustrant, via de nombreuses données, l'évaluation de l'état de la biodiversité de notre planète et les pressions qui pèsent sur elle. Les résultats sont alarmants : la population mondiale de vertébrés a diminué de 58 % entre 1970 et 2012, principalement à cause de l'activité humaine.

Les principales causes de cette diminution sont la destruction de l'habitat, la surexploitation des ressources, la pollution et le changement climatique. Le rapport souligne également que la biodiversité est essentielle pour la survie de l'humanité, car elle fournit des services écosystémiques tels que la régulation du climat, la purification de l'eau et la pollinisation des cultures. Selon les conclusions de ce rapport, l'équilibre qui a permis à nos civilisations de prospérer pendant plus de 11 700 ans a été rompu, avec des menaces croissantes qui pèsent sur le climat, la biodiversité, les océans, les forêts et les cycles naturels de l'eau, de l'azote et du carbone. Le rapport propose aussi des solutions pour inverser cette tendance, telles que l'investissement dans la conservation de la biodiversité et la réduction de notre empreinte écologique.

Le changement climatique bouleverse et transforme considérablement le monde vivant. En effet, les gaz à effet de serre et le CO₂ produits par les activités humaines s'intensifient et perturbent la température atmosphérique. Ces phénomènes entraînent des modifications des différents cycles des espèces animales et végétales, influencent les périodes de migrations et menacent à la fois la biodiversité et les êtres humains, comme le souligne le rapport du GIEC de 2021 : « *Le changement climatique est une menace pour le bien-être humain et la santé planétaire* » (GIEC, 2021). Malgré ces constats, l'homme continue à exercer des pressions sur la biodiversité sans tenir compte de l'importance de l'équilibre et de la stabilité dans ses interactions avec l'environnement.

C'est dans ce contexte que Baptiste Morizot traite la question de la crise de l'habitabilité du monde dans son livre "Manière d'être vivant" : « C'est notre manière d'habiter qui est en crise, notamment en raison de notre aveuglement face au fait qu'habiter, c'est toujours cohabiter avec d'autres formes de vie, car l'habitat d'un être vivant est tissé des autres êtres vivants » (Morizot,

⁹ François Gemenne et Marine Denis, 2019 « Qu'est-ce que l'Anthropocène ? »

¹⁰ https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2017-07/161027_rapport_planete_vivante.pdf

2020). En conséquence, c'est notre mode de vie actuel (anthropocentrique) qui est problématique !

D'un point de vue scientifique, l'hypothèse de l'Anthropocène a d'abord été formulée dans les domaines de la climatologie et de la stratigraphie. Par la suite, elle a été largement adoptée par les sciences humaines et sociales au cours des années 2000. Au début des années 2010, cette notion a également trouvé un écho chez les architectes, notamment grâce aux travaux de l'architecte française Léa Mosconi¹¹.

Habiter l'Anthropocène signifie donc vivre et agir en reconnaissant notre rôle en tant qu'humains dans cette nouvelle ère, et en cherchant des solutions pour s'adapter et pour atténuer les effets négatifs de nos actions sur la planète. Cela implique de repenser notre mode de vie, notre économie et notre relation avec l'environnement, en adoptant des pratiques plus durables et en cherchant à préserver la biodiversité et les ressources naturelles pour les générations futures¹².

L'architecture joue donc un rôle essentiel dans cette histoire d'anthropocène, selon l'architecte Philippe Chiambaretta : l'architecte est au cœur des défis urbanistiques qui permettront à la ville de s'adapter aux profondes mutations globales de l'âge de l'Anthropocène (Philippe Chiambaretta, 2014). Ainsi, selon l'anthropologue Marc Angré, l'urbanisation et la mondialisation représentent un changement majeure de l'humanité.

« L'architecture est en première ligne pour se battre contre le réchauffement climatique : les bâtiments sont responsables de 39 % des émissions mondiales de CO₂, contre 23 % pour les transports, majoritairement par les voitures, dont 2 % pour l'avion. En arrêtant d'émettre du CO₂ dans les bâtiments, on réduirait d'un tiers les émissions de gaz à effet de serre ». Philippe Rahm (2021), L'architecture météorologique .

L'architecte est au cœur des défis urbanistiques qui permettront à la ville de s'adapter aux profondes mutations globales de l'âge de l'Anthropocène. L'hypothèse de l'Anthropocène en architecture implique donc la nécessité de dépasser une approche purement énergétique des changements climatiques, il s'agit plutôt de concevoir une nouvelle façon d'interagir avec le monde, de créer de nouvelles manières d'habiter et de construire notre environnement en harmonie avec toutes les entités vivantes¹³. C'est pour cette raison que Philippe Rahm a

11 Alexander FEDERAU, (2016) Thèse de doctorat Lausanne & Dijon « philosophie de l'anthropocène Interprétations et épistémologie »

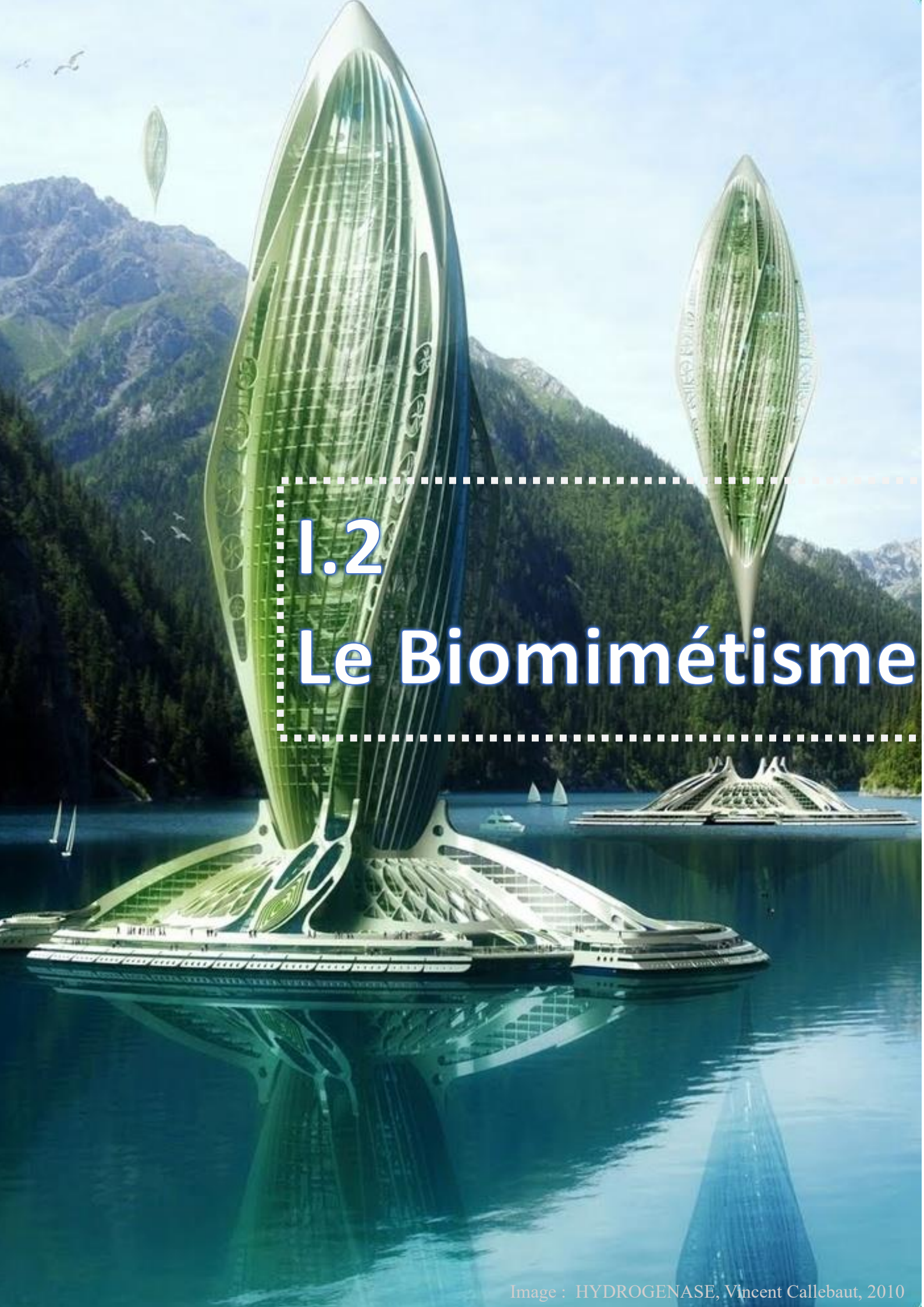
12 Philippe Chiambaretta 2014, « Habiter l'Anthropocène » .

13 L'architecture doit s'ouvrir à la nature (2021) : <https://theconversation.com/larchitecture-doit-souvrir-a-la-nature-148426>

également souligné que la finalité même de l'architecture est climatique. Il a justifié cela en citant Vitruve (Ier siècle av. J.-C.), qui affirme que l'architecture transforme artificiellement les aspects inconfortables du climat pour les rendre habitables : le toit nous protège du soleil, le mur nous abrite du vent et du froid, et le tapis nous préserve de l'humidité du sol ¹⁴.

Bâtir, habiter, concevoir le monde au XXI^{ème} siècle est devenu une question fondamentale qui demande une nouvelle vision de l'architecture et de la planification urbaine. Le concept de l'Anthropocène met en évidence la nécessité d'un changement profond notamment de reconnaître et de considérer les impacts de nos actions, tout en adaptant nos méthodes de conception, nos pratiques architecturales et nos relations avec l'environnement et les autres espèces. Cela peut impliquer des efforts pour diminuer notre empreinte écologique, préserver la biodiversité et la redéfinition de notre lien avec la nature. Le biomimétisme représente une des voies à explorer pour accomplir cette transition : Habiter l'Anthropocène à travers l'intégration de cette nouvelle approche dans la ville et l'architecture de notre habitat signifie adopter des pratiques respectueuses de l'environnement et des processus de conception inspirés de la nature. Cette approche permet de relever les défis architecturaux spécifiques de notre ère marquée par l'impact humain sur la planète. En adoptant une approche bio-inspirée, nous proposons une vision essentielle pour guider le monde vers un avenir durable, en mettant la nature au service de l'humanité.

14 La Maréchalerie centre d'art contemporain de l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Versailles, colloque : ville et architecture à l'ère de l'anthropocène : (8 juin 2016).



I.2

Le Biomimétisme

I.2.1 le Biomimétisme

Le mot "biomimétisme" tire son origine du grec ancien avec les termes βίος bíos (vie) et μίμησις mímêsis (imitation). Il est défini dans le dictionnaire comme « démarche d'innovation durable qui consiste à transférer et à adapter à l'espèce humaine les solutions déjà élaborées par la nature (faune, flore.. etc.) » (Larousse, Dictionnaire français, Biomimétisme). Otto Herbert Schmitt, un biophysicien et inventeur américain du 20e siècle, a été le premier à employer le terme "biomimétique" ¹⁵ dans sa thèse doctorale en 1958, après l'avoir inventé lui-même un an auparavant (Chekchak & Lapp, 2011).

Schmitt était persuadé, tout comme de nombreux contemporains, que les enseignements tirés de la biophysique¹⁶ auraient un impact majeur sur l'innovation moderne (Harkness, 2002).

Par la suite, le Major Jack Steel utilise également un nouveau terme, la "bionique", qu'il définit comme "la science des systèmes qui, dans une certaine mesure, s'inspirent de la nature ou présentent des caractéristiques de systèmes naturels et les imitent" (Kapsali, 2017).

Au cours des années 70, la collaboration entre deux scientifiques britanniques, George Jeronomidis, ingénieur, et Julian Vincent, zoologiste, a conduit à l'établissement du premier centre de biomimétique à l'Université de Reading en 1991. La complémentarité de leurs domaines d'expertise a été à l'origine de recherches significatives, en particulier dans le développement de matériaux intelligents inspirés par la nature.

C'est dans les années 1997, subséquemment à des recherches sur le sujet, que la biologiste Janine Benyus publie son livre « Biomimicry : Innovation inspired by nature », Dans cet ouvrage, elle définit le concept de biomimétisme de la manière suivante :

« une démarche d'innovation, qui fait appel au transfert et à l'adaptation des principes et stratégies élaborés par les organismes vivants et les écosystèmes, afin de produire des biens et des services de manière durable, et rendre les sociétés humaines compatibles avec la biosphère. » (M. Benyus, 2002).

Dans cet ouvrage, Janine a défini trois principes fondamentaux sur lesquels le concept de biomimétisme repose :

¹⁵ La biomimétique (= biomimetics) : « coopération interdisciplinaire de la biologie et de la technologie ou d'autres domaines d'innovation dans le but de résoudre des problèmes pratiques par le biais de l'analyse fonctionnelle des systèmes biologiques, de leur abstraction en modèles, ainsi que le transfert et l'application de ces modèles à la solution ». (ISO/TC266, 2015)

¹⁶ La **biophysique** est une discipline à l'interface de la physique et la biologie où les outils d'observations des phénomènes physiques sont appliqués aux molécules d'intérêt biologique. **Source:** [Wikipédia sous licence CC-BY-SA 3.0.](#)

- **La nature comme modèle** : Le biomimétisme est une nouvelle science qui étudie les modèles de la nature, puis imite ou s'inspire de ces idées et procédés pour résoudre des problèmes humains.
- **La nature comme mesure** : Le biomimétisme utilise des critères écologiques pour déterminer si nos innovations sont « bonnes ». Au bout de 3.8 milliards d'années d'évolution, la nature a appris à reconnaître ce qui marche, ce qui est approprié, ce qui dure.
- **La nature comme maître** : le biomimétisme est une nouvelle manière de considérer et d'apprécier la nature. Il introduit une ère fondée non pas sur ce que nous pouvons extraire du monde naturel mais sur ce que l'on peut apprendre de lui.

Selon Janine, il est possible d'appliquer ces trois principes à trois niveaux différents. Au plus bas niveau, il s'agit d'imiter les formes du vivant. Dans cette perspective, les formes du vivant peuvent être étudiées à toutes les échelles et dimensions. Cette analyse conduira à la création de produits qui imitent non seulement la forme étudiée, mais également la fonction de cette forme.

Au second niveau, l'objectif est d'imiter les fonctions organiques et les processus naturels. Ce niveau se concentre sur les matériaux, les procédés et les fonctions du vivant. La nature est capable de créer des matériaux extrêmement fonctionnels et complexes dans des conditions de température et de pression ambiantes, sans recourir à des substances toxiques. C'est pourquoi la bio-inspiration tirée de la chimie des matériaux vivants pourrait permettre de rompre avec les méthodes de production actuelles.

En outre, le biomimétisme offre un troisième niveau d'inspiration basé sur les écosystèmes. Au lieu de se concentrer sur les astuces ou les stratégies d'une seule espèce, cette approche étudie le fonctionnement des écosystèmes et examine les relations entre les espèces qui contribuent à maintenir une dynamique de stabilité et de durabilité (Chapelle, 2010).

Emmanuel Delannoy et d'autres vont même jusqu'à proposer un quatrième niveau, qui englobe les dynamiques d'évolution et de coopération permettant aux organismes vivants et aux écosystèmes de s'adapter de manière créative aux changements environnementaux. Ce niveau est actuellement moins développé sur le plan théorique. En France, l'agence Pikaia se concentre sur la recherche de solutions concrètes dans ce domaine ¹⁷.

¹⁷ Eléonore Sas, (2021) « Design biomimét(h)ique S'inspirer du vivant dans une optique de durabilité ». la boussole des designers : <https://medium.com/la-boussole-des-designers/design-biomim%C3%A9t-h-ique-50c0fba162c6>

Au sein de chacun de ces trois niveaux, il existe cinq dimensions supplémentaires d'imitation (figure 2). Par exemple, une conception biomimétique peut concerner l'apparence (forme), la composition (matériau), la manière dont elle est réalisée (construction), la façon dont elle fonctionne (processus) ou ce qu'elle fait (fonction) (Voir Annexe 01) (Zari, 2007) ¹⁸.

Le livre a eu un impact majeur sur la perception du biomimétisme en tant que discipline de recherche et a encouragé de nombreux chercheurs et innovateurs à s'intéresser à cette approche. Benyus présente une série d'exemples à différentes échelles de la manière dont les scientifiques, les ingénieurs et les designers peuvent s'inspirer de la nature pour développer de nouvelles technologies et approches pour résoudre des problèmes dans des domaines tels que l'énergie, l'agriculture, le transport, la santé, l'architecture et la gestion des ressources en eau.

Suite au succès de son livre, Janine Benyus a contribué à faire évoluer la pratique du biomimétisme en présentant ses idées à travers le monde. En 1998, elle a cofondé la première entreprise de conseil en bio-inspiration au monde, Biomimicry 3.8, et en 2006, elle a cofondé le Biomimicry Institute. Cet institut à but non lucratif s'engage à intégrer la biologie dans le processus de conception et d'innovation technologique. Il sert également de réseau pour des milliers d'étudiants et de praticiens et propose la base de données la plus complète en matière d'inspiration biomimétique, « AskNature » (Biomimicry Institute, 2020).

Les pays asiatiques et les États-Unis sont les plus avancés dans ce domaine, mais les pays européens s'y intéressent de plus en plus. Par exemple, en 2010, l'Europe a créé une nouvelle association, Biomimicry Europa, suivie du Centre Européen d'Excellence en Biomimétisme (CEEBIOS) à Senlis, en France, en 2012 (Chayaamor-Heil, Guéna & Hannachi-Belkadi, 2018). avec la volonté de « ...catalyser la richesse des compétences nationales du monde académique, de l'enseignement et de la R&D industrielle » (Ceebios, 2017). La structure française est aussi coorganisatrice (avec NewCorp Conseil) de la conférence Biomim'Expo (Biomim'expo, 2023) constituant une plateforme d'échange entre les acteurs et les parties prenantes du biomimétisme et les innovations inspirées du vivant. Selon le rapport de la dernière édition en 2022¹⁹, l'événement sur le biomimétisme a réuni plus de 500 intervenants depuis 2006. Il a proposé 230 conférences en ligne et a attiré un total de 10 000 visiteurs cumulés.

¹⁸ Chayaamor-Heil, Guéna & Hannachi-Belkadi, (2018) « Biomimétisme en architecture. État, méthodes et outils » Article in Cahiers de la Recherche Architecturale Urbaine et Paysagère p :05/ DOI: 10.4000/craup.309

¹⁹ "Vivre sur terre" saison 07 (2022) biomimexpo.com .

L'Allemagne, avec le Royaume-Uni et la Suisse, reste cependant la plus performante en termes de recherche biomimétique, avec un investissement de 100 millions d'euros par l'État allemand dans la R&D biomimétique (centres d'excellence dans le domaine des matériaux et structures bio-inspirés) depuis le début des années 2000 (Ceebios, 2013).

En étudiant le monde vivant et ses stratégies d'adaptation, l'auteure Janine Benyus a élaboré une vaste gamme de principes qui constituent désormais les fondements du concept de biomimétisme. Le Biomimicry Institute, a intégré certains de ces principes, parmi d'autres, à leurs méthodes de conception et a créé ce qu'ils appellent les principes du vivant ou principes du biomimétisme (Voir Annexe 02). Ces stratégies sont issues d'une observation des processus d'évolution du vivant, afin d'en dégager certaines caractéristiques pour guider l'oeuvre humaine.

Comme Janine le souligne dans son chapitre 7, ces principes peuvent constituer une contribution décisive pour élaborer des stratégies de durabilité pour les entreprises et les communautés. En particulier, ils peuvent aider à façonner une vision d'organisation humaine fonctionnant en équilibre avec la Terre et ses habitants, à court ou long terme (Chapelle, 2010). Parmi les principes énoncés par Janine Benyus dans son ouvrage, on retrouve les suivants : La nature fonctionne à l'énergie solaire. La nature n'utilise que l'énergie dont elle a besoin. La nature adapte la forme à la fonction. La nature recycle tout. La nature récompense la coopération. La nature parie sur la diversité. La nature valorise l'expertise locale. La nature limite les excès de l'intérieur. La nature transforme les limites en opportunités." (Benyus, 1997, p.23). D'après Guillaume Chapelle, ces principes du vivant constituent un véritable instrument de conception durable, agissant comme "un code de conduite des êtres vivants"²⁰. Ils permettent de développer, à l'instar d'un cahier des charges, des approches pertinentes pour stimuler l'innovation et la créativité.

Grâce à son lien avec la nature, le biomimétisme a rapidement gagné en popularité et est perçu comme « *une approche qui inspirera de nouveaux modes de pensée, de valeurs et de nouveaux récits concernant la relation entre les humains et la nature mais aussi une vision alternative au développement* »²¹. Selon Freya Mathews²², le biomimétisme pourrait même engendrer une

²⁰ Chapelle, G. Decoust, M., Schuiten, (2020). *Le vivant comme modèle: Pour un biomimétisme radical*.

²¹ Mead, T., & Jeanrenaud, S. (2017). The elephant in the room: biomimetics and sustainability?. *Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials*, 6(2), 113-121.

²² **Freya Mathews** est une philosophe australienne et une écologiste spécialisée en philosophie environnementale. https://fr.wikipedia.org/wiki/Freya_Mathews

seconde révolution industrielle, transformant le monde bien au-delà de toutes les attentes ²³. Selon une autre source, Durand et al. (2012), le biomimétisme est considéré comme l'une des boîtes à outils de la prochaine révolution industrielle.

De l'aéronautique (Bar-Cohen, 2012) au biomédical (Zhang, 2012) en passant par l'architecture (Chayaamor-Heil et al., 2018), le militaire (Pace et al., 2001), l'informatique (Floreano et al., 2008) ou la robotique (Bar-Cohen et al., 2003), le potentiel du biomimétisme est reconnu dans de nombreux domaines de conception innovante. De ce fait, le biomimétisme n'est pas seulement un outil de conception durable, il englobe aussi les trois piliers du développement durable en favorisant la collaboration et le partage de connaissances. Par conséquent, le biomimétisme est perçu comme une nouvelle approche pour comprendre et interagir avec la nature, en réponse aux défis de l'Anthropocène.

1.2.2 Le mythe de la durabilité

Comme mentionné plus haut, l'approche de Janine Benyus consiste à s'inspirer des idées géniales développées dans la nature pour répondre aux enjeux du développement durable (sociaux, environnementaux et économique). Le potentiel du biomimétisme est reconnu dans de nombreux domaines de conception innovante, y compris l'informatique (Floreano et al., 2008), le biomédical (Zhang, 2012), le militaire (Pace et al., 2001), l'aéronautique (Bar-Cohen, 2012) et l'architecture (Chayaamor-Heil et al., 2018) dans le but principal de guider les décisions vers la voie de la durabilité. Cette nouvelle approche englobe les trois axes du développement durable, en mettant l'accent sur la collaboration et le partage de connaissances (Ricard, 2015).

Dans ce contexte, le modèle de représentation collective du développement durable, qui s'appuie sur le diagramme de Venn²⁴ illustré dans la Figure 02 ci-dessous (à gauche), suggère une importance équivalente entre les trois dimensions du développement durable. Cependant, il convient de noter que l'économie et la société dépendent fondamentalement de la nature. Médiaterre (2018) a proposé une représentation alternative sur la Figure 02 (à droite) pour illustrer la hiérarchie des systèmes. Cette représentation met en évidence que « *sans nature, il n'y a pas d'humains, et sans humains, il n'y a pas d'économie* » (Mediaterre, 2018). Cette nouvelle perspective positionne la Nature et le Vivant comme incontournables bases pour le

²³ Mathews, F. (2011). Towards a deeper philosophy of biomimicry. *Organization & Environment*, 24(4), 364-387.

²⁴ Un diagramme de Venn est un diagramme qui montre toutes les relations logiques possibles dans une collection finie de différents ensembles. Les diagrammes de Venn ont été conçus autour de 1880 par John Venn. [Wikipédia](#)

développement de la société humaine, en parfaite adéquation avec les principes de biomimétisme (Benyus, 2011).

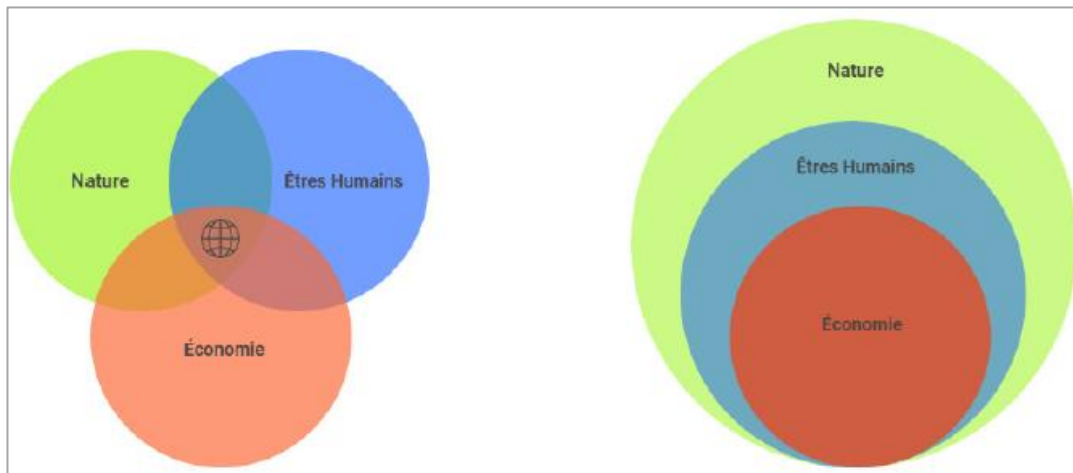


Figure 02 : Représentations du concept de développement durable avec hiérarchisation des constituantes Nature, Êtres humains, Économie. Source : Philippe Terrier, 2021 ²⁵.

La plus grande difficulté pour établir une connexion entre biomimétisme et durabilité réside dans la définition de durabilité en elle-même : la définition écologique de la durabilité provient du rapport Brundtland rédigé en 1987 et décrit le développement durable comme un mode de développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre les capacités des générations futures.

En d'autres termes, le développement durable vise à concilier la croissance économique et la préservation de l'environnement. Le biomimétisme est par essence en accord avec les valeurs du développement durable puisqu'il permet de répondre à des enjeux contemporains et humains en s'inspirant de l'ingéniosité de la nature²⁶.

Selon les propos de Gauthier Chapelle (2010), l'ingénieuse intuition de Janine M. Benyus, a consisté à mettre l'accent sur **la durabilité**. En effet, les organismes vivants ne nous inspirent pas seulement, mais ils sont également des experts en matière de "prospérité durable et à long terme" sur terre. La civilisation industrielle nous a détournés du principe de durabilité, qui est au cœur du biomimétisme. Cette approche représente un changement de paradigme majeur dans notre relation avec la biosphère et nous rappelle l'existence d'un outil puissant pour apprendre la durabilité : les nombreuses stratégies, fonctions, mécanismes et modes d'organisation

²⁵ Philippe TERRIER, 2021 « BiomiMETRIC: développement d'un outil pour la conception biomimétique et application à l'étude de scénarios de mobilité urbaine », thèse de doctorat.

²⁶ Bioxegy (2022) : « Le biomimétisme, synonyme de développement durable » : lien : <https://www.bioxegy.com/post/d%C3%A9veloppement-durable-et-biomimetisme>

développés par les 10 millions d'espèces actuelles, résultat de 3,8 milliards d'années d'évolution, y compris celles qui sont aujourd'hui disparues (Gauthier, 2011).

Dans un article intitulé "*Promesses et présuppositions du biomimétisme*"²⁷, les auteurs ont mené une analyse approfondie des différentes communications sur le biomimétisme à travers le monde. Ils ont dressé un état de l'art et ont constaté que le biomimétisme semblait offrir une promesse. Cette promesse se réfère à une révolution technologique, environnementale, voire sociale. Cette promesse se traduit par la recherche de solutions durables et respectueuses de l'environnement en s'inspirant des formes, systèmes et stratégies éprouvées par la nature.

*« Nous sommes aujourd'hui à la croisée des chemins. Après vingt ans d'essor, le concept de biomimétisme risque d'être dilué, greenwashed, instrumentalisé pour s'acheter une bonne conscience sans réelle remise en question. »*²⁸.

Les opposants au biomimétisme considèrent que le concept est si étendu qu'il est difficile de le définir clairement, Il existe même des doutes quant à son origine, certains se demandant si des chimistes ne l'auraient pas créé comme un simple slogan pour se positionner dans le domaine du développement durable. Certains critiques du biomimétisme soulèvent l'ampleur du concept, allant jusqu'à se demander si cela ne relève pas purement et simplement d'une création des chimistes, pour s'intégrer dans le domaine du développement durable. *« s'il n'a pas été créé de toute part par des chimistes, comme un slogan, pour leur permettre de jouer un rôle dans le domaine du développement durable »*²⁹.

Olivier Allard (2012), rejoint par ailleurs cette idée que *« L'accent est mis sur des solutions techniques découplées des systèmes biologiques, environnementaux et sociaux. Le risque est de perdre au passage les pratiques de conception aboutissant à une production durable et saine, intégré à l'environnement, en soutien à la vie »*³⁰.

« Actuellement, le terme de « biomimétisme » est souvent compris sans la notion de durabilité qu'il était censé intégrer. Aujourd'hui on assiste d'ailleurs à un schisme entre des pratiques orientées productivité technique et d'autres prônant des valeurs éthiques fortes » Eléonore Sas 2021³¹.

²⁷MacKinnon, R. B., Oomen, J., & Pedersen Zari, M. (2020). Promises and presuppositions of biomimicry. *Biomimetics*.

²⁸ Chapelle, G., & Decoust, M. *biomimétisme*, Albin Michel, Paris 2015, pp. 352. *oma.*, 221

²⁹ Blok, V., & Gremmen, B. (2016). *Ecological innovation: Biomimicry as a new way of thinking and acting ecologically. Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 29(2), 203-217.

³⁰Olivier Allard, « Biomimétisme: Comment les entreprises peuvent-elles intégrer le biomimétisme dans leur stratégie d'innovation ?, Chambre de commerce et de l'industrie Paris. ESIEE Paris.

³¹ Eléonore Sas, (2021) « Design biomimét(h)ique S'inspirer du vivant dans une optique de durabilité ». la boussole des designers

I.2.3 Architecture Biomimétique: Origine, Méthodes et état des lieux :

I.2.3.1 Origine : de la bio-inspiration au biomimétisme :

Au cours de l'histoire, les architectes ont observé la nature et s'en sont inspirés pour définir la forme de leurs constructions ainsi que leurs aspects décoratifs (Pawlyn, 2011). L'espèce humaine a ainsi souvent cherché à imiter la nature, bien que celle-ci puisse évoquer quelque chose de surnaturel et de mystique (Piaget, 2007). Selon Lenau (2009) et Vincent et al. (2006), il est très difficile de déterminer précisément la date d'apparition de la conception bio-inspirée en raison de sa complexité. L'architecture puise alors son inspiration dans la nature depuis au moins l'Antiquité. Les colonnes des temples de l'Égypte antique, par exemple, ont substitué la pierre au bois d'origine tout en conservant la forme des palmiers, ou en choisissant d'autres végétaux tels que le lotus et le papyrus.

Un exemple célèbre est celui d'Antonio Gaudi, qui s'est inspiré des arbres pour la construction de la "Sagrada Familia". Les piliers de la nef de cette œuvre rappellent les ramifications d'un arbre, illustrant ainsi l'influence de la nature sur l'architecture .

« je n'invente rien, je copie le grand livre toujours ouvert de la nature. l'architecte du futur construira en imitant la nature, parce que c'est la plus rationnelle, durable et économique des méthodes » . Antonio Gaudi

Puis, sous l'élan de Janine (1997) et avec l'émergence des problématiques environnementales à la fin du XX^e siècle, c'est l'architecture biomimétique qui prend ensuite son essor. Selon Janine Benyus : "*Architecture is the discipline with the most fertile ground for practicing Biomimicry* " (Janine Benyus 1997)³² : cette citation signifie que l'architecture est un domaine très propice à la pratique du biomimétisme. En effet, l'architecture est étroitement liée à l'environnement naturel dans lequel elle est construite, et la nature elle-même peut offrir de nombreuses solutions innovantes et efficaces pour répondre durablement aux défis architecturaux et environnementaux actuels.

S'inspirer de la nature pour écoconcevoir des projets architecturaux n'est pas une nouveauté, le biomimétisme s'inscrit dans la continuité des courants architecturaux précédents ayant adopté une approche de bio-inspiration³³, et ceux-ci peuvent être regroupés sous le terme générique de « bio-inspiré ». Ce terme fait référence à la pratique consistant à puiser dans la

³² Janine Benyus, *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, New York, Harper Collins Publishers, 1997.

³³ La bio-inspiration : « approche créative basée sur l'observation des systèmes biologiques » (ISO/TC266, 2015).

nature pour créer de nouveaux objets ou procédés qui n'existent pas naturellement (Chayamoor & Hannachi, 2018)³⁴.

Dans un contexte similaire, le concept de conception bio-inspirée (Bio-Inspired Design) émerge également comme une terminologie intermédiaire qui se réfère à la "découverte des principes biologiques fondamentaux et à leur transfert analogique à l'ingénierie humaine, avec le potentiel de concevoir de manière encore plus performante que la nature" (Sharma et al., 2019).

Pour bien comprendre les réalités couvertes par l'architecture biomimétique, il apparaît nécessaire de comprendre au préalable les influences de chacun de ces courants bio-inspirés qui ont pu ou ont eu des répercussions sur le biomimétisme architectural. Chacun de ces courants dans leur contexte historique montre également des évolutions dans le rapport à la nature, aux organismes vivants et dans l'angle adopté pour concevoir les espaces architecturaux.

Le schéma présenté ci-dessous (figure 03) illustre l'évolution et les principes des différentes approches architecturales modernes inspirées du vivant (bio-inspirés), allant de la biomimétique au biomimétisme, en passant par la bionique et le biomorphisme. Ce schéma a été élaboré pour clarifier ces différents concepts et éviter toute confusion sémantique (Voir également l'annexe 03). Dans ce contexte, plusieurs courants architecturaux peuvent être identifiés :

- **L'art nouveau:**

L'un des premiers mouvements architecturaux transcrivant l'idée de nature à l'échelle internationale est sans nul doute l'art nouveau. Ce courant artistique qui s'est développé à la fin du XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème} siècle s'est cristallisé autour d'une esthétique basée sur les formes de la nature (végétaux, animaux). Compte tenu de la variété des contextes géographiques, culturels, politiques, le mouvement s'est décliné en des particularismes locaux: quasiment chaque pays disposait d'un art nouveau qui lui était propre (le Jugendstil en Allemagne, l'arts and Crafts en Grande-Bretagne, le style Tiffany aux Etats-Unis...).

³⁴ Natasha Chayaamor-Heil, François Guéna et Nazila Hannachi-Belkadi, « Biomimétisme en architecture. État, méthodes et outils », *Les Cahiers de la recherche architecturale urbaine et paysagère* [En ligne], 1 | 2018, mis en ligne le 30 janvier 2018, consulté le 10 décembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/craup/309> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/craup.309>

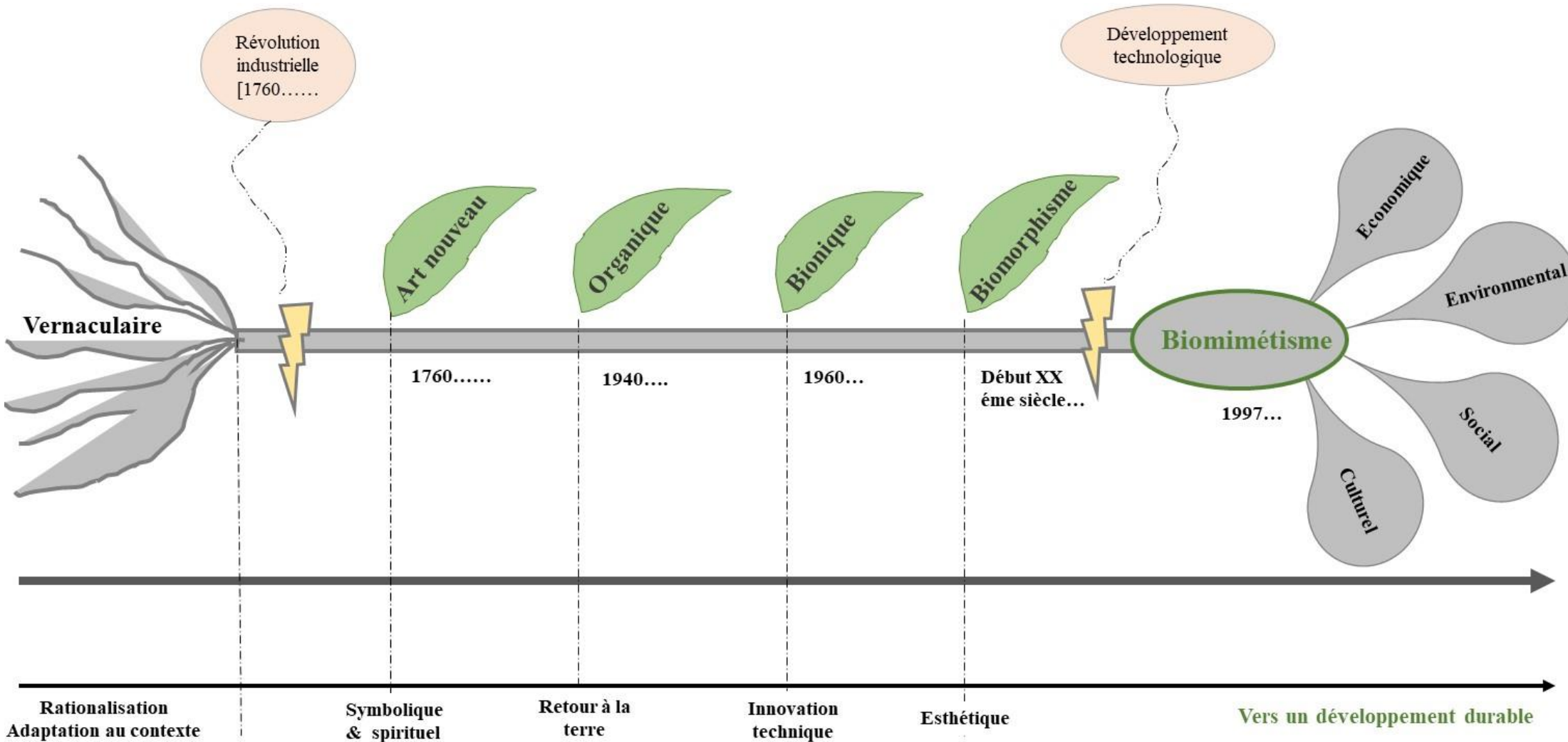


Figure 03 : Présentation des principaux mouvements architecturaux inspirés de la nature.

Source : Auteur, 2023.

les architectes de l'art nouveau vont ainsi faire l'éloge de la nature copiée pour ses qualités esthétiques, influencés par les beautés du monde naturel, ils vont retranscrire les dimensions formelles dans leurs œuvres avec des arabesques, des courbes et autres sinuosités. ils vont essayer de refléter "l'énergie dynamique " de la nature en exprimant les phénomènes de croissances. plusieurs figures de proue vont marquer ce mouvement (Horta à Bruxelles, Hector Guimard à Paris, Gaudí à Barcelone ...). l'art Nouveau apparaît ainsi comme le premier grand mouvement architectural "naturaliste". il aura traité de l'espace architectural à travers le prisme morphologique: la forme du bâti et le traitement de ses détails (décoration).

- **Architecture organique**

Dans le prolongement de l'art nouveau (style Tiffany aux Etats-Unis), l'architecte américain Louis Sullivan initie le mouvement organique. popularisé par Frank Lloyd Wright, ce mouvement s'intéresse à l'harmonie entre l'habitat humain et le monde naturel, au moyen d'une approche conceptuelle à l'écoute du site. Contrairement à l'art Nouveau qui a une vision essentiellement formelle, l'architecture organique se base sur une géométrie sensible du vivant. il s'agit de poursuivre le principe édicté par Louis Sullivan « la forme suit la fonction » mais en opérant une plus grande liberté d'intervention. ainsi, F.L Wright entend par architecture organique « une architecture qui se développe de l'intérieur vers l'extérieurs en harmonie avec les conditions de son existence, ce qui la distingue d'une architecture appliquée de l'extérieur ».

- **L'architecture biomorphique**³⁵

Correspond à une conception directement influencée par les formes organiques des animaux, des végétaux et du corps humain (Feuerstein, 2002). Il prend ses racines dans le mouvement Art nouveau. Il s'agit d'imiter la nature en effectuant des associations symboliques.

- **L'architecture bionique**³⁶

est un mouvement de conception de bâtiment dont l'expression et les configurations constructives sont empruntées à la nature. Le mouvement bionique se focalise sur le transfert des formes de la vie. Son but est la synthèse de la nature dans des technologies constructives modernes (Cervera et Pioz, 2015). Les pratiques bioniques de l'architecture donnent naissance à des nouvelles formes efficaces du point de vue fonctionnel et originales dans leur qualité

³⁵ Le biomorphisme désigne la reproduction de formes naturelles dans le style architectural. Pawlyn (2011) p: 19

³⁶ La bionique (= *bionics*) : « discipline technique qui cherche à reproduire, améliorer ou remplacer des fonctions biologiques par leurs équivalents électroniques et/ou mécaniques » (ISO/TC266, 2015).

esthétique, mais sans tenir compte des principes de la nature ni nécessairement du développement durable.

- **L'architecture biomimétique**

Est une philosophie contemporaine de l'architecture qui cherche des solutions durables dans la nature (Pawlyn, 2011), sans vouloir en répliquer les formes, mais en identifiant les règles qui les gouvernent. Il s'agit d'une activité interdisciplinaire de développement durable qui cherche à s'inspirer des principes de la nature qui permettent aux organismes de vivre durablement dans leur environnement et de survivre à de soudains bouleversements. Les organismes sont résilients, optimisés, adaptables, basés sur des systèmes et des valeurs qui permettent la vie.

L'architecture biomimétique se positionne donc comme la dernière évolution de ces courants bio-inspirés, mettant l'accent sur l'utilisation des principes et des stratégies du monde biologique comme référence pour la conception durable des bâtiments. Aujourd'hui, les concepteurs et architectes biomiméticiens vont au-delà de l'esthétique formelle du monde biologique, ils s'intéressent également aux fonctionnalités et à d'autres dimensions environnementales, telles que la création de bâtiments capables de produire de l'énergie en s'inspirant de l'ingéniosité de la nature (Pawlyn, 2011)³⁷ (Chayamoor & Hannachi, 2017)³⁸.

Egalement, le biomimétisme joue un rôle crucial dans le développement de projets architecturaux visant à réduire leur empreinte environnementale (Cruz, 2016). Il permet également l'émergence d'une architecture régénératrice (Hes & du Plessis, 2015) qui ne repose plus sur l'exploitation du vivant, mais qui vise à avoir un impact positif en contribuant à la régénération des écosystèmes (Brown, et al., 2018).

I.2.3.2 Méthodes: Top down ou bottom-up?

De manière générale, l'implémentation du biomimétisme dans la recherche architecturale en tant que processus de conception se matérialise scientifiquement à travers deux approches distinctes : soit c'est à partir d'un problème architectural bien défini que l'on cherche des solutions dans la nature « approche directe » (identifié dans la littérature comme : Design referencing to biology [Pedersen Zari, 2012], problem-based [Vattam et al, 2009 ; Badarnah et Kadri, 2015], problem-driven [Vattam et al., 2007, Helms et al., 2009], challenge to biology [Baumeister et al., 2013 ; Biomi micry 3.8], technology pull [ISO/TC266, 2015b], top down [Speck et al., 2006].

³⁷ Micheal Pawlyn, *Biomimicry in Architecture*, London, RIBA publishing, 2011

³⁸ Natasha Chayaamor-Heil et Nazila Hannachi-Belkadi, « Towards a Platform of Investigative Tools for Biomimicry as a New Approach for Energy-Efficient Building Design », *Building Journal*, vol. 7, n° 1, 6 mars 2017, Basel, MDPI AG.

Cette approche directe « Top down » est la plus courante et la plus pratique dans le domaine de l'architecture. Les concepteurs se tournent vers la nature pour trouver des réponses à des problèmes architecturaux spécifiques, en transformant ces réponses en nouveaux concepts architecturaux inspirés du vivant.

Soit on cherche dans la nature des phénomènes biologiques intéressants qui sont susceptibles de répondre à des enjeux de développement durable et on essaye de les transférer à des applications potentielles en architecture « approche indirecte » (identifié dans la littérature comme : biology influencing design [Pedersen Zari, 2007], solution-based [Vattam et al, 2009 ; Badarnah et Kadri, 2015], solution-driven [Vattam et al., 2007, Helms et al., 2009], biology to design [Baumeister et al., 2013 ; Biomimicry 3.8], biology push [ISO/TC266, 2015b], bottom-up (Speck et al., 2006).

Cette approche indirecte « Bottom Up » est celle où les connaissances en biologie influencent la conception humaine , elle exige une analyse scientifique sophistiquée des mécanismes biologiques et demande un suivi qui prend longtemps, de sorte que cette approche a besoin d'une équipe de scientifiques pour découvrir une idée qui peut améliorer une conception.

Ces deux approches présentent une disparité dans leur point de départ et leurs caractéristiques de processus de conception (Goel et al, 2014). (Figure 04).

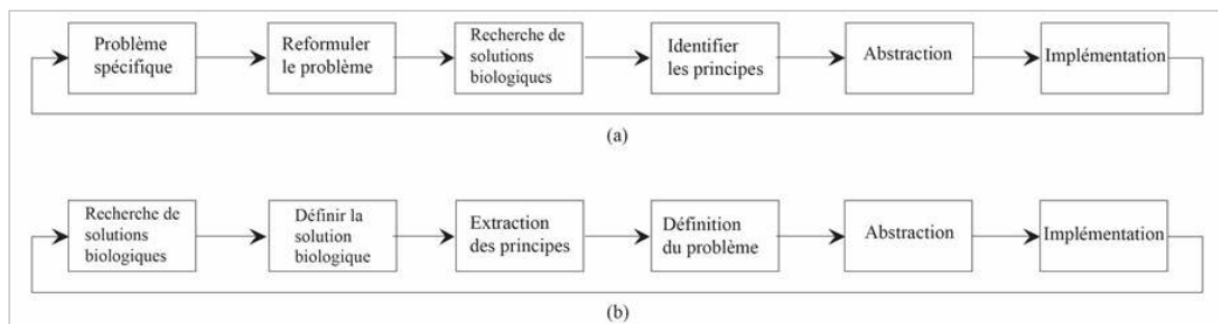


Figure 04 : Séquences de processus dans la recherche biomimétique : progression d'un projet biomimétique à partir de modèles biologiques aux produits biomimétiques. (a) Processus orienté problème, (b) Processus orienté solution.

Source : Chayamoor & Hannachi, 2018 (inspiré des travaux de Helms, 2009).

Au sein de ces deux approches, les concepteurs pourraient imiter trois niveaux possibles forme, fonction et écosystème (Benyus, 1997 ; Pedersen, 2007 ; Badarnah & Kadri, 2015). Notamment, ces deux approches requièrent une coopération avec une équipe pluridisciplinaire sensibilisée à l'approche biomimétique et coordonnée par un membre polyvalent et expert en biomimétisme (architectes, biologistes, écologues, géographes, philosophes, chercheurs

biomiméticiens...) afin d'optimiser et faciliter le transfert de connaissance du champ biologique au champ technologique.

En tant qu'architecte, je considère que l'approche directe "challenge to biology" est plus directement liée aux besoins de l'architecture contemporaine axée sur la durabilité. C'est pourquoi notre mémoire se concentre sur cette approche, car elle offre un potentiel d'innovation en architecture.

I.2.3.3 Une question d'échelles :

Dans la continuité des trois niveaux d'inspiration proposés par Janine Benyus (Voir section I.2.1), Maibritt Pedersen Zari (2007) a élaboré une méthode permettant de classer et de comprendre les applications biomimétiques dans le domaine de l'architecture. Dans cette méthode, elle identifie cinq sous-niveaux distincts : la forme : quelle ressemblance avec le monde vivant ; le matériau : quels en sont les éléments constitutifs ; la construction : quel est le processus de construction ; le process : comment cela fonctionne ; la fonction : ce que le système est capable de réaliser. Dans ce contexte, Natasha Chayaamor-Heil (2023)³⁹ a résumé de manière concise ce cadre théorique pour les projets architecturaux (Annexe 01).

L'imitation de la nature en architecture se fait donc à différentes échelles, offrant ainsi un large éventail d'opportunités créatives. À l'échelle microscopique, l'observation des structures et des processus biologiques permet d'élaborer des matériaux bio-inspirés. Par exemple, les recherches se concentrent sur les propriétés des ailes de papillon pour concevoir des revêtements de bâtiments autonettoyants, imitant la structure microscopique des écailles pour empêcher l'adhérence des saletés et faciliter le nettoyage. De plus, les caractéristiques de résistance des polymères sont utilisées comme source d'inspiration afin de concevoir des structures ultra-efficaces. Parallèlement, les matériaux à base de carbone atmosphérique sont utilisés pour développer des systèmes zéro déchet, permettant ainsi une utilisation plus efficace et durable des ressources.

À une échelle plus large, des projets architecturaux sont développés en s'inspirant des organismes vivants et de leur comportement. Les concepteurs cherchent à imiter la structure et le fonctionnement des organismes pour créer des bâtiments et des espaces qui répondent de manière adaptative à leur environnement.

³⁹ Chayaamor-Heil, N. From Bioinspiration to Biomimicry in Architecture: Opportunities and Challenges. *Encyclopedia* 2023, 3, 202–223. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010014>.

L'application du biomimétisme s'étend également à l'échelle des écosystèmes. Les projets architecturaux peuvent prendre en compte les interactions complexes entre les êtres vivants et leur environnement, cherchant à créer des espaces qui favorisent la biodiversité et la régénération.

L'application du biomimétisme en architecture à cette échelle représente actuellement un défi majeur en raison de la nécessité de mener des recherches approfondies et de gérer les interactions entre de nombreux paramètres du projet et les éléments de l'écosystème environnant. Cette approche exige une compréhension approfondie des principes et des mécanismes présents dans la nature, ainsi qu'une capacité à les intégrer de manière harmonieuse dans la conception architecturale. Parmi les pionniers qui explorent cette perspective, on trouve l'architecte belge Vincent Callebaut, dont l'approche est fortement axée sur l'écosystème et empreinte d'une vision futuriste de l'architecture biomimétique (voir la prochaine section : I.2.4 pour plus de détails).

I.2.4 Du constat à la réflexion : vers une problématisation

En septembre 2015, le Conseil économique social et environnemental a publié un avis intitulé « Le biomimétisme : s'inspirer de la nature pour innover **durablement** » (Ricard, 2015), dans lequel l'architecture est présentée comme l'un des domaines d'application les plus prometteurs qui peut répondre aux enjeux environnementaux actuels.

Selon Pawlyn (2019), le biomimétisme offre des perspectives et des solutions pour relever les défis de l'architecture durable. Madame Gruber (2011) met également en garde en soulignant que l'architecture biomimétique vise à favoriser une véritable interaction entre le bâtiment et son environnement, permettant ainsi une **durabilité** dans le temps et un impact positif sur son environnement immédiat.

Il est important de noter que l'architecture biomimétique est un domaine en évolution et en développement constant, et il existe différentes perspectives et critiques parmi les architectes et les chercheurs. Par exemple, les chercheurs du laboratoire MAP-Maacc de l'école d'architecture de la Villette Paris⁴⁰ ont souligné dans leur article intitulé "Biomimétisme en architecture : état, méthode et outils"⁴¹ que les exemples de productions architecturales bio-inspirées sont nombreux, mais ceux fondés sur une activité de conception biomimétique à vocation de durabilité sont rares.

⁴⁰ <https://www.maacc.archi.fr/>

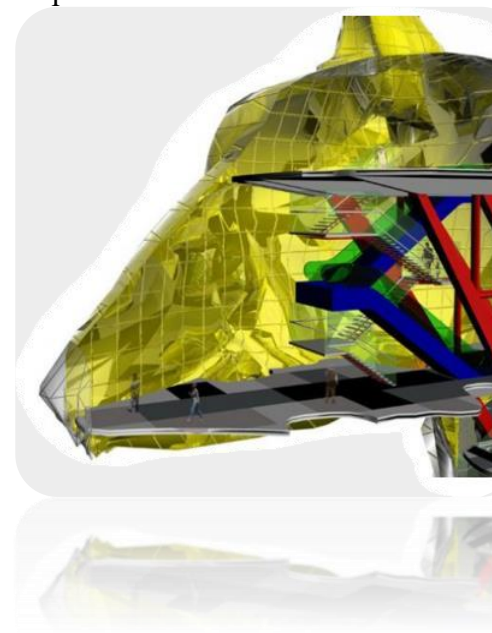
⁴¹ Article natatsha craup

Je partage pleinement leur point de vue, car l'objectif principal de l'architecture biomimétique demeure la durabilité. Les architectes d'aujourd'hui se sont toujours inspirés de la nature, c'est encore le cas aujourd'hui et ça le sera sans doute dans le futur, mais il faut distinguer une bio-inspiration principalement formelle à visée esthétique ou symbolique (Brayer & Migayrou, 2013) d'une bio-inspiration dont l'objectif est la durabilité.

Au fur et à mesure de mes recherches, j'ai également constaté que la production architecturale biomimétique d'aujourd'hui présente à la fois des aspects positifs et négatifs en termes de durabilité, conformément aux principes du biomimétisme Benyusien. De multiples paramètres entrent en jeu dans cette constatation, c'est pourquoi j'ai choisi d'examiner quelques projets biomimétiques de différentes échelles et ambitions. L'intention derrière cette sélection est de comprendre de manière globale et réfléchie les enjeux du design architectural biomimétique en termes de durabilité. Cette analyse me permettra certainement d'ouvrir des perspectives méthodologiques pour ma future pratique en tant qu'architecte passionné par la durabilité offerte par l'approche du biomimétisme.

Sur le plan scientifique, certains autres critiques soulignent que l'architecture biomimétique peut parfois être limitée à une simple apparence esthétique inspirée de la nature sans véritable intégration des principes fonctionnels et écologiques. C'est pourquoi l'architecte Michael Pawlyn (2011), souligne l'importance de dépasser les considérations purement esthétiques et de se concentrer sur les principes fonctionnels et durables.

Par exemple, le projet « the yellow lost dog » (figure 06), un musée à Shanghai conçu par l'architecte français Francois Scall, exprime à travers son enveloppe architecturale la morphologie d'un organisme vivant, un chien. Ce bâtiment ne vise pas à résoudre des problématiques environnementales spécifiques.



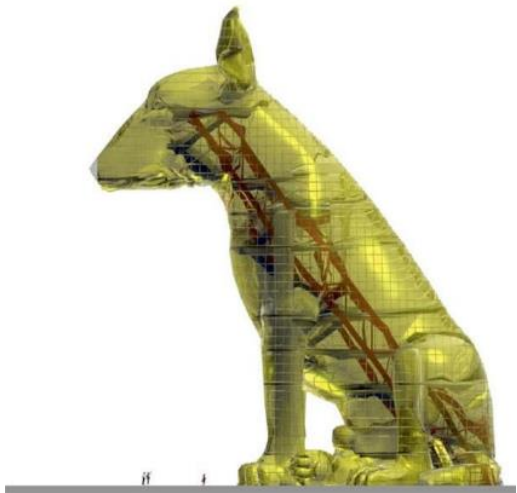


Figure 05 : yellow lost dog Project.

Source : Francois Scall.

A cet effet, l'ambiguïté principale du biomimétisme en architecture est de créer des projets qui ressemblent étroitement aux éléments naturels des organismes dont ils s'inspirent. « *Dans la nature, ce sont les matériaux qui sont précieux, pas la forme* » professeur Julian Vincent. Cependant, cette ressemblance ne peut pas être systématiquement positif sur le plan environnemental.

Un exemple de cela est le Stade Olympique de Pékin conçu par les architectes Suisses Herzog et Demeurons (2003) (figure 06), ce dernier présente une forme qui ressemble à un nid d'oiseau. Sa structure complexe repose sur un enchevêtrement de poutres en acier, donnant l'illusion de brindilles entrelacées.

Cependant, l'utilisation de matériaux traditionnels tels que l'acier et le verre, ainsi que la conception structurelle adoptée, ne sont pas directement liées aux principes du biomimétisme.

Effectivement, le stade présente une apparence entièrement organique, ce qui peut tromper les observateurs quant à ses véritables objectifs environnementaux. L'enveloppe organique peut donner l'impression que le projet est respectueux de l'environnement, en évoquant une inspiration bio-inspirée. Cependant, en réalité, le projet ne satisfait ni aux critères du développement durable ni aux principes du biomimétisme. Il est important de noter que l'architecture biomimétique va au-delà de l'apparence esthétique et vise à intégrer des principes durables dans tous les aspects de la conception architecturale.

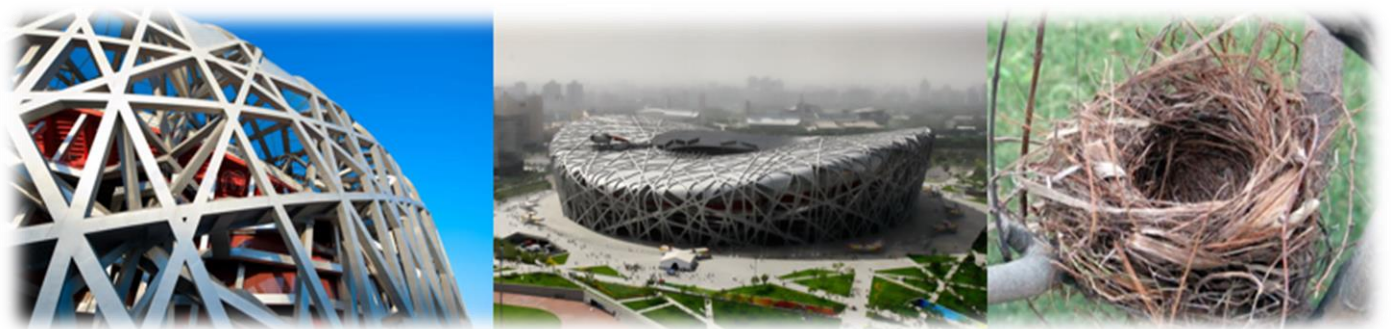


Figure 06 : Stade Olympique de Pékin. Source : Herzog & Demeurons, 2003

Un des exemples emblématiques de l'architecture biomimétique se trouve à Harare, au Zimbabwe, un centre commercial conçu par Meak Pearce (1996). Inspiré du fonctionnement des termitières, ce bâtiment intègre un système de galeries qui assure une ventilation naturelle. Ces termites possèdent d'incroyables vertus thermiques : elles restent à température intérieure constante, quel que soit le niveau de chaleur à l'extérieur, l'architecte a donc repris ce principe pour créer un bâtiment capable de se refroidir naturellement sans aucune climatisation (figure 07). Le système de ventilation passif permet de ne consommer que 10% d'énergie par rapport à un bâtiment d'une grande taille refroidi par air conditionné (Estelle Cruz, 2016).

Ce projet vise à maintenir une température intérieure confortable malgré les températures élevées de l'extérieur tout au long de l'année. L'objectif de cette conception passive inspirée par la nature était de créer un bâtiment capable de se climatiser de manière autonome, sans recourir à la climatisation traditionnelle.

Bien que cet exemple soit tourné vers la durabilité, l'idée qu'il pourrait y avoir des limites est une réalité. En effet, ce bâtiment a été conçu spécifiquement pour le climat unique du Zimbabwe et ne pourrait pas s'adapter à un climat changeant, par conséquent, il ne serait pas possible de le construire dans un contexte climatique différent, comme en Europe. Du coup, malgré ce système ingénieux, qui permet d'obtenir une température ambiante toute l'année et ainsi un certain confort de vie pour ses habitants, il existe des failles et ici notamment de doute que génère l'organisation sociale des termites à l'échelle humaine.

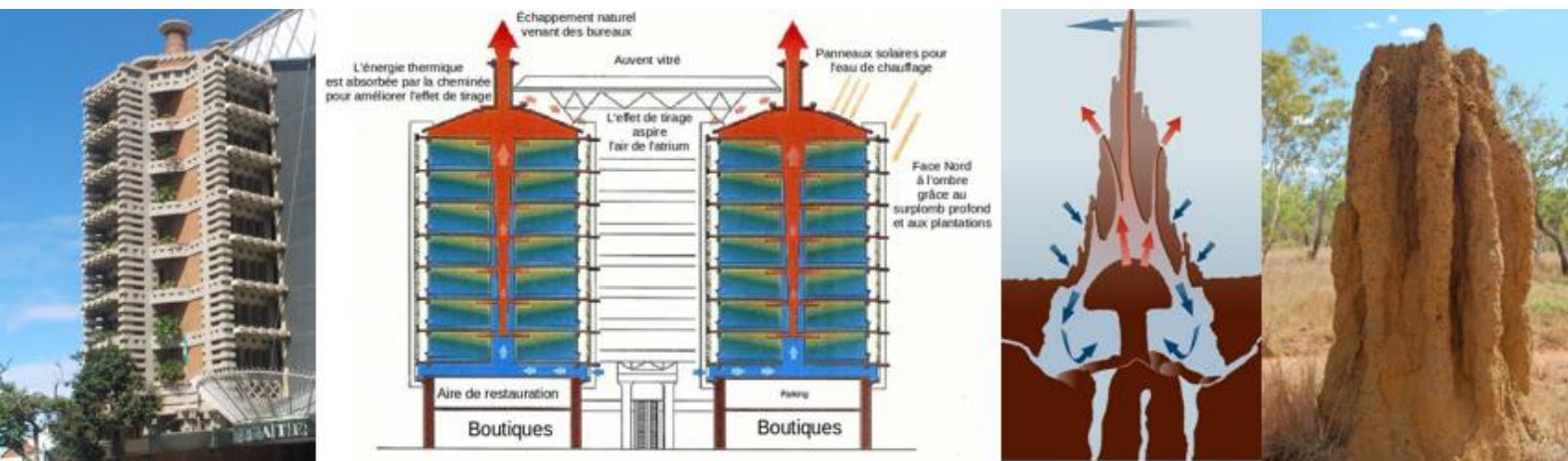


Figure 07 : Schéma du fonctionnement de l'Eastgate Center.

Au fil de mes recherches sur la durabilité de l'architecture biomimétique, j'ai progressivement constaté que l'application du biomimétisme dans la conception architecturale peut donner lieu à des projets qui paraissent utopiques en raison des défis techniques et des limites scientifiques auxquels ils sont confrontés. Tout d'abord, parce qu'ils cherchent souvent à imiter et à reproduire les systèmes et les formes complexes présents dans la nature, ce qui peut être extrêmement difficile à réaliser sur le plan technique et financière. Les contraintes liées à la fabrication, à la construction et à la durabilité des matériaux peuvent rendre leur concrétisation plus complexe dans la réalité. De plus, la mise en œuvre de ces idées peut être entravée par des obstacles réglementaires, en particulier dans le cas des projets à grande échelle.

Un exemple remarquable est celui de Vincent Callebaut, un Archibiotecte visionnaire belge qui a conçu une vision futuriste de « Paris 2050 » (Figure 08) mettant en avant un retour manifeste de la nature en milieu urbain. Cette approche place la nature au premier plan et la considère comme une composante essentielle de la "modernité-futuriste" de la ville de Paris.



Figure 08 : a+b : Paris 2050 ; c : Lilypad ; d : DragonFly. Source : Vincent Callebaut.

Un autre exemple de Vincent Callebaut qui peut être considéré comme utopique est "Lilypad", également connu sous le nom de "La Cité Flottante" (figure.08 b). Ce concept propose la création d'une cité auto-suffisante et écologique, inspirée par les nénuphars et les écosystèmes aquatiques. Le projet vise à offrir une solution face à la montée des eaux et au changement climatique en créant des structures flottantes capables d'accueillir une population importante. Bien que le concept de "Lilypad" soit visionnaire et présente des aspects intéressants sur le plan environnemental, sa mise en œuvre pratique à grande échelle soulève plusieurs défis.

La construction et la gestion de structures flottantes de cette envergure nécessitent des technologies et des matériaux avancés, ainsi qu'une planification et une logistique complexes.

De plus, le projet biomimétique de DragonFly (Figure 08 c) de Vincent Callebaut est considéré comme utopique en raison de son caractère ambitieux et futuriste, qui peut sembler difficile à réaliser dans la pratique. Le concept de DragonFly propose la construction de tours résidentielles auto-suffisantes, inspirées par la forme et les fonctionnalités d'une libellule. Le projet prévoit des systèmes avancés d'énergie renouvelable, de recyclage des déchets et d'agriculture urbaine intégrée.

Cependant, certaines caractéristiques du projet, telles que sa taille, sa complexité et son intégration complète des systèmes écologiques, peuvent poser des défis techniques, économiques et réglementaires importants. La mise en œuvre d'un tel projet à grande échelle nécessiterait des avancées technologiques significatives, une coordination étroite entre différentes parties prenantes et une volonté politique forte pour adopter des normes et réglementations adaptées.

Dans le même esprit, Luc Schuiten, un architecte visionnaire et dessinateur engagé dans la cause écologique, propose des visions poétiques où la nature joue un rôle central. Il imagine de nouveaux modes d'habitat en harmonie avec la nature en s'inspirant des vivants. La cité végétale de Luc Schuiten (figure 09) illustre une approche biomimétique de la ville. Dans cette vision, la nature reprend sa place et devient un élément fondamental et structurant de l'organisation urbaine. Ces villes végétales se distinguent des utopies "futuristes" du début du 20ème siècle, caractérisées par des constructions en acier et en béton, vertigineuses, où les bâtiments et l'organisation spatiale priment sur les habitants eux-mêmes, et où la nature est absente à l'exception de quelques espaces verts destinés à satisfaire des critères d'hygiène.

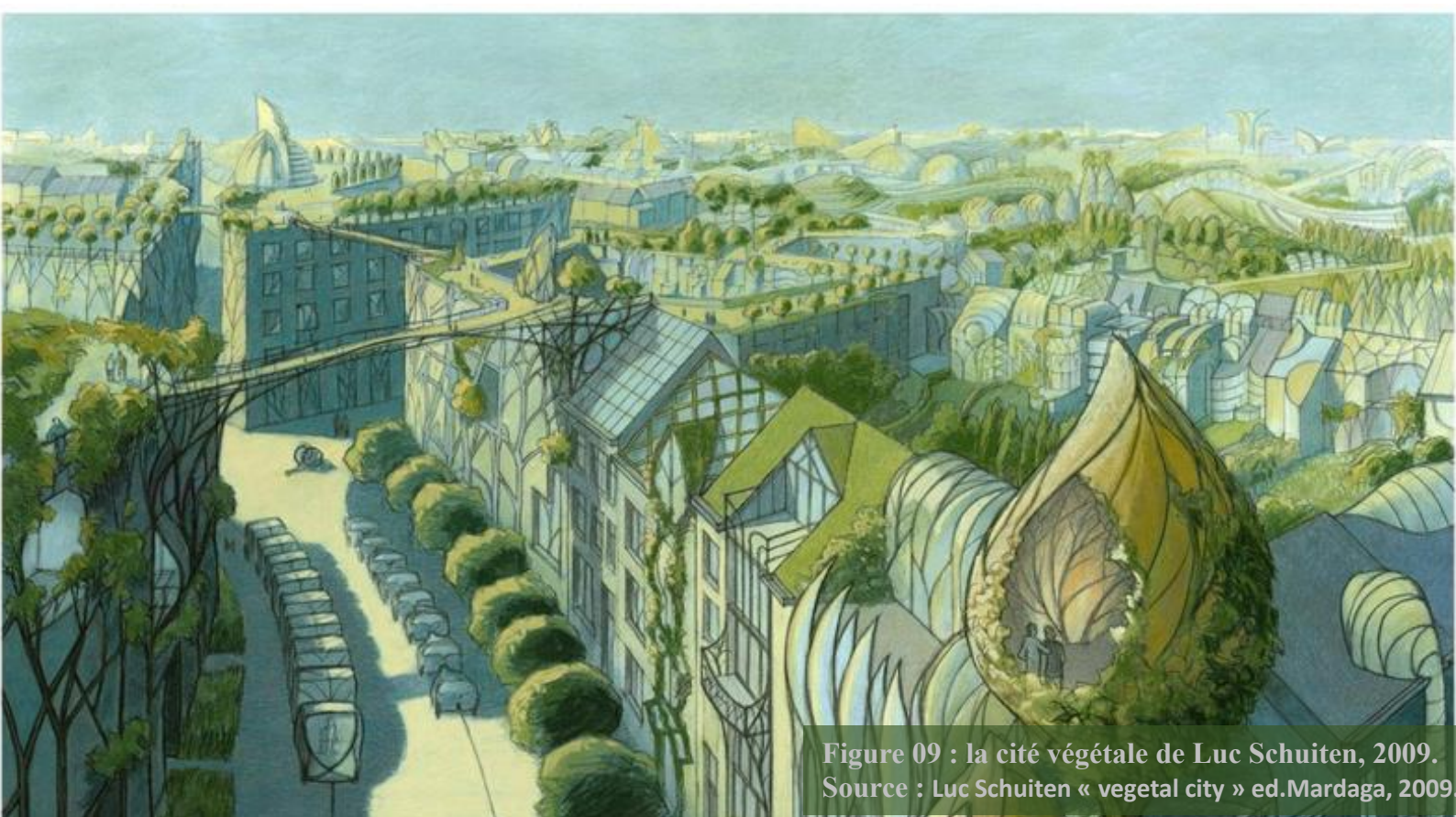


Figure 09 : la cité végétale de Luc Schuiten, 2009.
Source : Luc Schuiten « vegetal city » ed.Mardaga, 2009

Personnellement, je suis totalement consciente que le vivant, après des milliards d'années de recherche et de développement, innove en permanence de manière économique en utilisant peu de moyens et de matières pour résoudre des problèmes similaires aux nôtres. Je considère cette approche du vivant comme étant "lowtech", mettant l'accent sur des solutions simples et efficaces plutôt que sur des technologies complexes.

Contrairement aux nouvelles technologies complexes que nous pouvons développer en tant qu'êtres humains, le vivant a développé des stratégies simples et efficaces pour répondre à leur besoins et maximiser leur survie. Dans cette optique, le biomimétisme s'inspire de cette rationalité et de la simplicité des stratégies du vivant pour concevoir des solutions innovantes et notamment durables. Cependant, le caractère utopique de quelques projets biomimétiques comme de Vincent Callebaut et Luc Schuiten ne signifie pas qu'ils sont dépourvus de valeur pour atteindre les objectifs de durabilité visés par le biomimétisme. En revanche, ces projets utopiques jouent souvent un rôle de catalyseur pour stimuler l'innovation sur l'avenir de l'architecture, ouvrant ainsi la voie à de nouvelles approches et perspectives en termes d'architecture et de durabilité.

Après avoir analysé les différents exemples de projets biomimétiques, il est possible d'affirmer que l'approche actuelle de production architecturale basée sur le biomimétisme présente certaines limites en termes de durabilité. Bien que le biomimétisme soit généralement associé à la durabilité, il est paradoxal de constater que cela ne se reflète pas nécessairement dans la pratique actuelle. D'après certains chercheurs, il est même suggéré que les solutions biomimétiques pourraient être plus dommageables à l'environnement (Volstad & Boks, 2012).

Dans ces conditions, est-ce que le biomimétisme en architecture conduit systématiquement à des conceptions durables ?

Quels chemins alternatifs la pratique de l'architecture biomimétique pourrait-elle emprunter pour améliorer sa durabilité ? quels sont les apports réels et limites ? Comment le savoir-faire ancestral peut-il nous inspirer pour répondre aux défis de l'architecture durable ?

Le biomimétisme en architecture vise à atteindre la durabilité au même titre que les systèmes biologiques qui en sont l'inspiration, cependant, certains soulignent que la relation entre le biomimétisme et la durabilité reste fragile, et que les tentatives d'imiter la nature dans le développement d'innovations durables n'ont pas encore abouti à des réussites. Cette situation pourrait être due, entre autres, à la complexité des nombreuses interrelations présentes dans la nature, qui permettent aux organismes de mettre en œuvre des stratégies et des fonctions souvent difficiles à reproduire dans les innovations humaines (Organisation internationale de normalisation [ISO], 2015).

Désormeaux (2020) soulève également ce point, mettant en évidence une certaine ambiguïté concernant la durabilité du biomimétisme. Il propose de renforcer la démarche de conception biomimétique en développant davantage les concepts du biomimétisme et en les promouvant dans le contexte de l'innovation pour le développement durable (Pour plus d'informations sur ses recommandations, veuillez consulter l'annexe 04).

Il a également rejoint ma réflexion et mes interrogations concernant le manque des outils d'évaluation de la durabilité des projets biomimétiques. Il a suggéré d'établir des liens entre les principes du biomimétisme et ceux de la Loi sur le développement durable de chaque région, ce qui permis de concevoir des critères qui intègrent les deux types de principes et qui, de ce fait, sont concis et précis facilitant subséquemment leur insertion dans la démarche de conception ⁴².

Dans ce cadre, Desormeaux (2020) a tenté d'identifier des instruments pour évaluer la durabilité des conceptions biomimétiques basée sur la norme ISO 18458 ⁴³. Selon lui, certains

⁴²Valérie Desormeaux (2020), « Outil d'analyse de la durabilité de la démarche de conception biomimétique basée sur la norme iso 18458 »

⁴³Valérie Desormeaux & Philippe Terrier (2020), OUTIL D'ANALYSE DE LA DURABILITÉ DE LA DÉMARCHE DE CONCEPTION BIOMIMÉTIQUE BASÉE SUR LA NORME ISO 18458. [Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maîtrise en environnement (M. Env.)]. MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE.

outils de conception environnementale actuels, tels que l'analyse de cycle de vie, visent à minimiser l'impact des produits et services sur l'environnement, mais ne permettent pas de cheminer vers une durabilité à proprement parler (Stoppa, 2013). Selon lui, l'absence de prise en compte des impacts sociaux et environnementaux dans la démarche de conception des innovations ne permet pas de confirmer leur durabilité, mais simplement leur aspect environnemental (P. Terrier, courriel, 2019). Donc, cette stratégie n'est pas suffisante pour réduire les impacts, protéger la biodiversité de manière efficace, et satisfaire les besoins des futures générations (Stoppa, 2013).

Il est donc crucial de saisir que le biomimétisme ne se résume pas à une méthode de conception, mais est également un outil qui peut nous conduire vers un développement durable. Il intègre les trois piliers du développement durable en stimulant la collaboration et le partage de savoir-faire.

Constat : Je tiens à souligner ceci, car j'ai personnellement constaté que certaines personnes et entreprises confondent le biomimétisme avec d'autres formes de bio-inspiration qui ne visent pas spécifiquement la durabilité. Par exemple, lors de ma participation au salon du biomimétisme "Biomim Expo" (2022), j'ai noté que certaines entreprises utilisaient le terme « biomimétisme » à des fins commerciales, et ce, simplement pour suggérer que leurs méthodes s'alignent avec les principes du développement durable.

Par exemple, lors de cet événement, une entreprise s'engageait dans l'agriculture de demain en exploitant les champignons mycorhiziens comme biostimulants naturels des plantes pour améliorer les rendements et la qualité des productions. Personnellement, je trouve cette approche très intéressante, notamment en termes d'amélioration de la performance agricole. Cependant, je reste convaincu que cette démarche ne relève pas du tout du biomimétisme, mais pourrait plutôt être considérée comme de la bio-assistance, qui consiste à utiliser des organismes vivants ou des matériaux naturels pour atteindre des objectifs spécifiques au bénéfice de l'humanité.

la bio-assistance représente le niveau ultime du biomimétisme, où l'humain s'harmonise pleinement avec la nature. Cette approche ne se concentre pas sur la duplication des caractéristiques des organismes vivants (la forme, la fonction, la structure, etc.), mais plutôt sur l'utilisation des organismes eux-mêmes pour atteindre des objectifs spécifiques. Par exemple, les mycéliums de champignons peuvent être cultivés pour former un matériau solide et léger, durable et biodégradable qui peut être utilisé comme isolant thermique ou acoustique.

Sur le plan architectural, les exemples mettant en œuvre cette approche sont pratiquement absents. Un projet qui s'en rapproche est le "Auerworld Palace" de Marcel Kalberer, situé à Weimar en Allemagne, qui s'appuie sur la croissance des végétaux, mais il ne s'agit pas de projet « habitable ». L'ensemble du processus est un bel exemple de bio-assistance en architecture - au lieu de simplement imiter la nature, cette approche implique de travailler avec elle pour créer des structures durables et respectueuses de l'environnement.



Figure 10 : "Auerworld Palace" de Marcel Kalberer.⁴⁴

Le projet "Fab Tree Hab" est un autre exemple de la bio-assistance en architecture proposé par Mitchell Joachim et ses collègues de Terreform ONE⁴⁵. Dans ce projet, des arbres sont cultivés et guidés pour créer les structures principales des maisons. La technique ancestrale utilisée, appelée pleaching, consiste à entrelacer des arbres et autres plantes pour concevoir des structures vivantes.



Figure 11 : Fab Tree Hab (structure vivante greffée préfabriquée) , par : Terreform

⁴⁵ Source: <https://c8.alamy.com/zoomsfr/9/2e10b46182cd400aa412ec8bbe18a676/c7acy7.jpg>

⁴⁶ <https://www.terreform.org/>

Ces habitations, renforcées par des matériaux naturels comme l'argile et les copeaux de bois, sont non seulement vivantes et en croissance, mais aussi parfaitement intégrées à leur environnement naturel.

Un autre exemple se trouve dans le domaine de la biologie où des ingénieurs et designers cherchent à utiliser les bactéries pour fabriquer des matériaux naturels. En d'autres termes, les bactéries sont transformées en véritables unités de production de matériaux ou de structures, comme l'a démontré l'entreprise Oxman en 2020.

Hypothèse :

Scientifiquement, l'architecture durable est considérée comme un nouveau paradigme du développement humain appartenant au temps présent, qui se base sur la coordination entre l'homme et la nature. C'est une architecture qui se fonde dans l'idée d'élaborer une activité de conception en continuité avec la topographie, qui retient attention à l'intégration dans le contexte local et une conception qui soutient l'environnement et tout ce qui doit être durable.

Globalement, les chercheurs préoccupés par la notion de la durabilité ont développé certains objectifs et stratégies comme des solutions pertinentes, qui peuvent garantir la prospérité et la coexistence des conceptions durables: Préserver l'énergie, Conformité au climat, Diminution de l'utilisation de nouvelles ressources matérielles, Satisfaire les besoins des résidents, Conforme au site, Holisticisme (Damirchi et Mahdavinejad, 2017). L'annexe 05 fournit un résumé des principes qui doivent être respectés pour qu'une conception soit reconnue comme une architecture durable.

Aujourd'hui, des architectes conçoivent en intégrant la préservation de l'environnement naturel, le recyclage des matériaux locaux, l'utilisation des matériaux biosourcés, les énergies renouvelables basées sur la chaleur géothermique ou l'énergie solaire. Ils s'adaptent et prennent en considération l'existant et les problématiques de leur époque. C'est selon moi, une forme d'architecture vernaculaire contemporaine et, dans une certaine mesure, on pourrait dire qu'elle a des similitudes avec l'architecture biomimétique car elle intègre des principes inspirés du vivant: le respect de l'environnement, la réutilisation des matériaux produits par la nature, l'exploitation des ressources disponibles sur place, notamment les énergies renouvelables comme le soleil et le vent. Ainsi, on pourrait conclure qu'il y a des points communs entre ces deux types d'éco-conception (le vernaculaire et le biomimétique) et qu'ils partagent le même objectif, celui de parvenir à la durabilité.

Comme mentionné précédemment, l'efficacité de l'architecture biomimétique en termes de durabilité a été remise en question par certains chercheurs. Certains ont même avancé que d'autres approches, telles que l'architecture vernaculaire contemporaine, pourraient aboutir à des résultats similaires sans nécessairement s'inspirer exclusivement de la nature.

A cet effet, suite à la définition de notre problématique par le biais de l'analyse critique que nous avons menée sur la production actuelle de l'architecture biomimétique en termes de durabilité, l'hypothèse que nous proposons dans le cadre de ce mémoire est la suivante :

« L'exploration des stratégies passives de l'architecture vernaculaire combinée avec les principes du vivant pourrait potentiellement améliorer l'aspect durable de l'architecture biomimétique ».

J'ai suggéré cette hypothèse car elle m'apparaît rationnelle pour plusieurs raisons, notamment :

En premier lieu, l'architecture vernaculaire est souvent considérée comme durable en raison de son approche contextuelle, de l'utilisation efficace des ressources et de la transmission des savoir-faire locaux. En tant que reflet de son époque et de son lieu, elle peut également être une source d'inspiration pour de nombreux architectes biomiméticiens aujourd'hui. Gissen (2003), a souligné qu'il est très nécessaire de tourner vers les anciennes constructions pour chercher les meilleures méthodes sur la façon de construire durablement notre avenir.

Ainsi, l'architecture vernaculaire a souvent développé des solutions adaptées au contexte local et intègre des **techniques bioclimatiques passives** pour optimiser l'efficacité énergétique et le confort des bâtiments. Cela se fait sans recourir à des équipements énergétiques coûteux qui consomment beaucoup d'énergie et nécessitent un entretien important.

En combinant ces stratégies avec les principes biologiques de l'architecture biomimétique, comme l'adaptation aux écosystèmes naturels et aux conditions variables, la régénération, la multifonctionnalité et l'emploi de matériaux durables, nous pourrions concevoir des bâtiments non seulement adaptés à leur environnement spécifique (à l'instar de l'architecture vernaculaire), mais aussi capables de s'adapter à un climat changeant grâce à leur inspiration tirée de l'efficacité et de la durabilité des systèmes naturels (comme le fait le biomimétisme). Ceci pourrait sans doute mener à des solutions architecturales durables.

Pour ce faire, la section suivante examinera de près l'architecture vernaculaire et ses stratégies passives pour une architecture durable. La question de l'intégration de ces deux approches sera ensuite abordée dans le chapitre 2 et 3.



I.3 Le Vernaculisme

(La ville fortifiée de Beni Isguen en Algérie)

Source : <http://maison-monde.com/ville-fortifiee-de-beni-iguen-algerie/>

I.3.1 Vernaculus :

Avant de pouvoir traiter de ce que l'on entend par l'architecture vernaculaire, il est important de comprendre l'origine du mot « *vernaculaire* ».

Le mot **vernaculaire** provient du latin **vernaculus** qui signifie « indigène, domestique », et verna fait plus particulièrement référence aux « *esclaves nés dans la maison* » (La Gde Encyclop., Paris, Larousse, t. 16, 1973, p. 3255, col. 1). Ce mot est donc employé pour qualifier quelque chose de propre à un pays et/ou à une population. selon Ivan Illich, théoricien de l'écologie politique et critique de la société industrielle, le terme " *vernaculaire*" remonte à l'époque du Code Théodosien « *était vernaculaire tout ce qui était confectionné, tissé, élevé, à la maison et destiné non à la vente mais à l'usage domestique* »⁴⁶. Cette définition renvoie à deux thèmes importants en rapport avec l'architecture, celui de l'ancrage à un milieu et celui d'une manière de voir dans laquelle la marchandisation n'est pas l'élément moteur.

L'idée d'enracinement dans un milieu pose la question de l'identité culturelle d'une région et de son peuple et est inévitablement liée à des facteurs socio-culturels. Ivan Illich emploie le mot « vernaculaire » pour désigner " les activités des gens lorsqu'ils ne sont pas motivés par des idées d'échange, un mot qualifiant les actions autonomes, hors-marché, au moyen desquelles les gens satisfont leurs besoins quotidiens"⁴⁷.

Suite à mes recherches sur le sujet, j'ai trouvé que le terme est utilisé dans une grande diversité de contexte et de sens, il recouvre de nombreuses interprétations ? et peut être défini de nombreuses manières, parfois éloigné, parfois proches, parfois contradictoire. C'est dans ce cadre que j'ai conçu le nuage de mots (illustré ci-dessous dans la figure 12), qui rassemble tous les termes que j'ai croisés au cours de ma revue de littérature, tous synonymes de l'architecture vernaculaire.

⁴⁶ Illich Ivan, 1983. Le genre vernaculaire, Paris, Seuil, p:179

⁴⁷ Illich Ivan, "le travail fantôme" dans ouvres complètes vol.1, Paris : Fayard, 2003.p.152

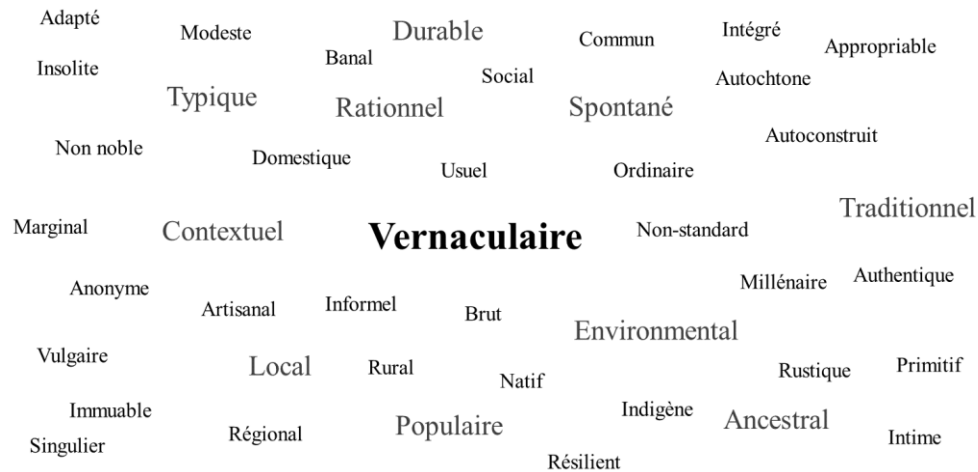


Figure 12 : Nuage de mots associés au terme « vernaculaire ». Source : Auteur, 2023 (d’après plusieurs travaux de recherches).

La diversité de ces synonymes témoigne bien de la complexité de s’entendre sur ce terme. Comme l’a déclaré Edith Hallauer en 2017 dans sa thèse de doctorat à l’ENSCI Les ateliers « Ce terme paraît en effet tellement complexe, c’est pour ça il est très souvent accompagné d’un synonyme pour le caractériser, ou du moins aider à circonscrire son champ »⁴⁸.

Sur le plan architectural, le terme « vernaculaire » est souvent utilisé pour désigner l’architecture spécifique à un pays ou à une nation. Dans ce contexte, nous adopterons l’approche de Pierre Frey, qui s’inspire elle-même de la définition d’Ivan Illich⁴⁹: « *Est vernaculaire tout ce qui n’est pas destiné au marché dans la domus romaine, mais réservé à l’autoconsommation domestique* ».

Dans son ouvrage « *Learning from vernacular* », Pierre FREY souligne qu’une approche peut être considérée comme vernaculaire lorsqu’elle se développe en dehors des courants mondiaux du capital et échappe à son contrôle. Ces approches se distinguent par leur simplicité volontaire, leur sobriété énergétique et économique, et une attention particulière portée à l’aspect social. Ainsi, en matière d’architecture, cela pourrait impliquer l’utilisation optimale et pragmatique des ressources et matériaux locaux disponibles en abondance et à faible coût, y compris la main-d’œuvre⁵⁰.

⁴⁸ Edith Hallauer, 2017 « Du vernaculaire à la déprise d’œuvre : urbanisme, architecture, design » thèse dirigée par Thierry Paquot, Université Paris Est.

⁴⁹ Ivan Illich, *Le genre vernaculaire*, Paris : Seuil, 1983.

⁵⁰ Frey & Bouchain, *Learning from Vernacular*

I.3.2 Architecture sans architectes

"Une "nouvelle architecture vernaculaire" peut apprendre des pratiques traditionnelles pas osmose, par analogie, par interprétation, mais certainement pas par imitation"

Frey Pierre

L'architecture vernaculaire, malgré son importance en tant que représentation de la culture traditionnelle, de l'habitat, des techniques de construction ancestrales d'un peuple, est souvent peu documentée dans l'histoire. Elle témoigne de réalisations humaines exceptionnelles, conçues pour répondre à des besoins humains ⁵¹. Actuellement, les architectes s'orientant vers le biomimétisme sont de plus en plus préoccupés par la durabilité et cherchent des techniques de construction respectueuses de l'environnement. Pourtant, les abris que l'homme a construits depuis les origines de l'humanité étaient déjà en accord avec leur environnement, que ce soit les grottes utilisées comme refuges ou les maisons paysannes des époques ultérieures. Ces structures sont le témoignage de l'ingéniosité de leurs créateurs et des compétences acquises au fil du temps accumulés au fil du temps avant que la construction ne devienne une spécialité ⁵². Nous devons nous en inspirer d'avantage et tirer les leçons de notre passé, car comme le disait Benedetto Croce, "toute histoire qui compte est une histoire contemporaine" ⁵³.

Sur la base de mes lectures, l'expression « architecture vernaculaire » est utilisée depuis les années 1980 en France, sous l'influence de l'anglais « vernacular architecture », cette expression désigne un type d'architecture propre à une aire géographique, un territoire et à ses habitants⁵⁴. L'architecture vernaculaire est initialement construite sans architectes de formation et sans dessin préalable. La société qui l'érige est par la suite celle qui l'habite. Elle est fortement influencée par le contexte local (climat, site, plans topographiques et géographiques, mais également par les traits culturels, éthiques, social et technique) (Isac Chiva, 1990). A cet effet, lorsqu'on parle du design vernaculaire, nous faisons référence à tout ce qui la caractérise d'un point de vue constructif in situ (Isac Chiva, 1990).

En réalité, la définition de l'architecture vernaculaire présente une certaine difficulté à cerner, car chaque architecte ou historien abordant ce sujet possède ses propres définitions et terminologies. Au fil du temps, la conception du vernaculaire en architecture a évolué de

⁵¹ Rudofsky Bernard, l'architecture insolite: une histoire naturelle de l'architecture concernant, en particulier, ses aspects le plus souvent négligés ou totalement ignorés, Paris: Tallandier, 1979 p:13

⁵² Id.architecture sans architectes p:4

⁵³ CROCE Benedetto, théorie et histoire de l'historiographie, Dalloz, 1968

⁵⁴ Rapport final : bâti vernaculaire et développement urbain durable (2012) (Nomadéis, 2012)

manière constante et a été régulièrement remise en question depuis les premières études qui lui ont été consacrées.

Globalement, l'architecture vernaculaire est une architecture d'inspiration populaire qui a développé et développe ses caractéristiques propres dans une région spécifique où souvent elle utilise les matériaux locaux, des façons de faire et des formes traditionnelles. Habituellement, l'architecture vernaculaire se comprend dans un contexte environnemental et culturel particulier à chaque région. ses manifestations reflètent, dans leur diversité, les différents groupes ethniques et socio-économiques. Elle intègre des savoir-faire et des modèles transmis d'une génération à l'autre et elle évolue en fonction des besoins nouveaux tout en assimilant les influences extérieures⁵⁵. Pour Clément Gaillard, un chercheur en design et conception bioclimatique, l'architecture vernaculaire désigne l'ensemble des constructions typiques d'une aire géographique donnée et d'une époque définie⁵⁶.

De plus, les concepts d'Ivan Illich concernant la décentralisation, l'autonomie locale et la critique de la société industrielle peuvent être rapprochés des principes de l'architecture vernaculaire. L'architecture vernaculaire, par nature, se réfère à une architecture spécifique à un lieu donné qui utilise des matériaux et des techniques de construction locaux. Elle est souvent créée et mise en œuvre par les résidents du lieu plutôt que par des architectes professionnels. Ces principes s'alignent avec la vision d'Illich d'une société qui valorise l'autonomie locale et résiste à une industrialisation excessive.

Éric Mercer, dans ses recherches, propose une définition des bâtiments à l'architecture vernaculaire en les décrivant comme “ appartenant à un ensemble de bâtiments surgis lors d'un même mouvement de construction ou de reconstruction”. Selon lui, ces ensembles de bâtiments témoignent non seulement de l'époque de leur construction, mais également de la classe sociale responsable de leur édification.

En effet, le savoir-faire ancestral du design vernaculaire connaît un certain regain d'intérêt de la part des acteurs de la construction, souvent des penseurs et des architectes engagés dans la promotion d'une architecture durable et en harmonie avec l'environnement.

Le contributeur le plus important au vernacularisme était l'Égyptien, Hassan Fathy qui a consacré plus d'un demi-siècle de sa vie professionnelle à encourager de nombreux architectes

⁵⁵ François Varin « l'architecture vernaculaire : une définition difficile à cerner » chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.icomos.org/public/publications/vernacular2.pdf

⁵⁶ Clément Gaillard. L'approche énergétique de l'architecture vernaculaire : genèse et développement. Socio-anthropologie, Publications de la Sorbonne, 2020, pp.67-80.

à suivre cette tendance, en montrant au monde entier que l'architecture vernaculaire est l'une des manifestations les plus concrètes de l'interaction entre l'homme et son environnement. Egalement, il est important de noter que Fathy a adopté cette approche pour exprimer la communauté plutôt que de créer une tendance pour elle-même, tout en évitant de lui transmettre ni une fausse tradition ni une fausse modernité (Fathy, 1973).

Bernard Rudofsky, lors de son exposition «*Architecture sans architecte* » qui a eu lieu au musée de l'art moderne à New York en 1964, a fait des études approfondies sur l'histoire et la culture des peuples, afin de renforcer les connaissances, les attitudes et les intérêts des ingénieurs et architectes vis-à-vis de l'importance de faire un retour aux traditions ancestrales, à l'interprétation de quelques éléments traditionnels dans la réalisation des projets modernes (Rudofsky, 1977 ; Hitchcock et Johnson, 2001).

Glenn Murcutt: cet architecte australien lauréat du prix Pritzker (2002), a longtemps défendu une architecture qui respecte et répond à son environnement naturel. Ses bâtiments, qui utilisent souvent des matériaux locaux et des stratégies de conception passive, s'inspirent de l'architecture vernaculaire australienne, en particulier des habitations autochtones.

Pierre Frey, professeur à l'école polytechnique fédérale de Lausanne, explore dans son ouvrage⁵⁷ l'idée d'une "nouvelle architecture vernaculaire" qui se présente comme une alternative face aux enjeux contemporains tels que les questions écologiques, politiques, économiques, philosophiques, esthétiques et sociétales.

Dans le même esprit, L'architecte Bernard Rudofsky recommande de réexaminer et de s'inspirer des formes et des techniques de l'architecture vernaculaire pour repenser l'approche de l'architecture contemporaine. Il remet en question les normes et les pratiques conventionnelles de l'architecture moderne et encourage à adopter des solutions plus adaptées aux contextes locaux, aux ressources disponibles et aux besoins des habitants.

De plus, Elsa Frangeard souligne que le vernaculaire peut être à la fois perçu comme un mode de penser l'architecture et ses pratiques d'une manière théorique et conceptuelle mais peut également s'étudier et se concevoir de façon plus pragmatique lorsque l'on s'intéresse à un cas d'étude précis, c'est à dire à une architecture et à son contexte spécifique⁵⁸.

⁵⁷ Pierre Frey & al, (2010) « Learning from vernacular: Pour une architecture vernaculaire »

⁵⁸ Elsa Frangeard. Architecture(s) vernaculaire(s), pensées, pratiques, politiques : étude d'une théorisation et étude de cas d'une ville, Addis-Abeba, Éthiopie. Architecture, aménagement de l'espace. 2020. dumas-03132733

I.3.3 Penser vernaculaire : Penser Lowtech

« Une dichotomie est apparue dans le domaine de l'architecture durable, écologique ou "verte" , Elle suppose ceux qui croient que seule la science peut remédier à la dégradation accélérée de la nature à laquelle nous assistons aujourd'hui à ceux qui pensent que, pour agir, nous ne devons recourir qu'à des moyens passifs et non-technologiques ». ⁵⁹

James Steele, docteur en architecture, professeur américain

Dans son ensemble, le design architectural lowtech offre une réponse à l'hyper-complexité et à la surconsommation inhérentes à la culture high-tech, en adoptant une approche de conception qui privilégie la simplicité, l'efficacité et la durabilité, « *la simplicité est la sophistication suprême* » (Léonardo da Vinci, XV^{ème} siècle). Il se caractérise essentiellement par l'emploi de matériaux simples, durables et indépendants de technologies complexes. L'orientation lowtech cherche à minimiser la consommation d'énergie en exploitant les ressources naturelles disponibles sur place, telles que le soleil et le vent, afin de réduire l'empreinte carbone. Le lowtech se concentre également sur l'utilisation des compétences des habitants locaux pour soutenir l'économie locale et promouvoir la durabilité et l'inclusion sociale. Par conséquent, l'architecture vernaculaire intègre naturellement tous les principes du design low-tech, illustrant ainsi l'étroite interrelation entre la pensée vernaculaire et la pensée low-tech dans le cadre de l'architecture durable.

I.3.4 Vers un vernaculaire contemporain :

Dans le contexte actuel de réchauffement climatique, le secteur de la construction est parmi les plus impliqués dans les enjeux de développement durable. Des architectes modernes ont souligné que des solutions existent pour concevoir une architecture véritablement durable, en puisant dans le passé. En effet, ils proposent d'étudier les modèles d'habitations vernaculaires afin d'en extraire des principes et des stratégies de durabilité.

Grâce à un dialogue international, les architectes parviennent à s'ouvrir à différentes visions architecturales provenant du monde entier. Cela leur permet de redécouvrir et d'incorporer d'anciennes techniques vernaculaires tout en intégrant des systèmes avancés de l'architecture contemporaine. En conséquence, la promotion et le développement des traditions vernaculaires locales deviennent essentiels pour une gestion efficace des ressources non renouvelables,

⁵⁹ James Steele & al (2009) " Habiter écologique, quelles architectures pour une ville durable? Arles, Actes Sud /Cité de l'architecture et du patrimoine, 2009 p:34.

l'amélioration du confort des occupants, la réduction des impacts environnementaux négatifs de l'architecture, ainsi que pour relever les défis des constructions futures à l'échelle mondiale (Hui et Xiaomin, 2012).

De nombreux chercheurs ont souligné l'importance de l'architecture vernaculaire contemporaine, qui cherche à trouver un équilibre entre tradition et technologie pour créer de nouvelles formes hybrides adaptées à l'environnement local. Cette approche suscite un grand intérêt, comme le mentionne Punpairoj (2013), qui explore comment la fusion entre tradition et technologie peut répondre aux besoins actuels. De même, Lim et Beng (1998) soutiennent que l'architecture vernaculaire contemporaine est une évolution dynamique de la pratique architecturale, offrant une perspective différente face aux défis de la mondialisation et aux changements en cours. Ils soulignent également que cette approche est le fruit d'efforts conscients de la part des architectes contemporains, qui cherchent à découvrir les réponses uniques que chaque tradition offre en termes de climat et d'environnement local, afin de sélectionner les meilleures techniques pour créer de nouvelles formes architecturales (Hosseini et al., 2014). En outre, Gissen (2003) ajoute qu'il est essentiel de puiser dans les connaissances des anciennes constructions pour trouver des méthodes optimales afin de construire durablement notre avenir.

Richards explore la transmission des principes vernaculaires en tant qu'antidote perçu aux préjugés du modernisme. L'objectif est de développer une nouvelle architecture vernaculaire contemporaine axée sur l'application de méthodes de construction traditionnelles telles que l'utilisation de matériaux locaux, l'ancrage au sol et l'intégration dans le paysage (Al Haroun, 2015). Dans ce contexte, la chercheuse Kersenna Soumaya a proposé un schéma résumant la démarche à suivre pour la création d'une conception vernaculaire contemporaine. Ce schéma (Annexe 06) met en évidence l'importance de l'association des nouvelles technologies de l'architecture contemporaine avec les stratégies passives de l'architecture vernaculaire afin de concevoir des bâtiments adaptés au climat, respectueux de l'environnement, de la société, confortables et économes en énergie, conformément aux principes fondamentaux de l'architecture vernaculaire contemporaine (Vissilia, 2009 ; Al-Jokhadar et Jabi, 2016).

Selon le célèbre architecte Jorn Utzon, l'architecture vernaculaire détient des enseignements essentiels que l'architecture contemporaine doit comprendre et appliquer dans la réalisation de projets efficaces. L'architecture vernaculaire, qui a toujours été le reflet de son époque et de son lieu, peut aujourd'hui servir d'inspiration pour de nombreux architectes modernistes. Utzon souligne l'importance d'analyser les réalisations architecturales passées, ce qui permet d'apprécier l'intelligence des solutions proposées par les communautés locales en réponse aux conditions spécifiques dans lesquelles elles ont été créées (Salman Al-Zubaidi, 2007).

En outre, l'architecture vernaculaire contemporaine recherchée aujourd'hui ne consiste pas simplement à reproduire de manière nostalgique les formes du passé. Au contraire, elle encourage le transfert des aspects physiques et techniques pertinents issus de l'architecture vernaculaire, exprimant ainsi une sensibilité contemporaine envers l'environnement local (Creangă et al., 2010).

Dans le domaine de la technologie écologique, il est essentiel de créer une harmonie visuelle entre les bâtiments et leur environnement. Cependant, l'utilisation des savoir-faire et des techniques de construction traditionnelle ou de la technologie contemporaine n'est pas aussi déterminante que la compatibilité physique, fonctionnelle et conceptuelle entre ces deux styles. L'architecture vernaculaire contemporaine a la capacité de s'inspirer et d'interpréter les techniques vernaculaires, ce qui garantit cette compatibilité dans la plupart des constructions. Une étude menée par Soheir Mohamed Hegazy s'est intéressée à la continuité et au changement de la Muscat House en analysant les facteurs d'influence et de réponse. Cette étude a été complétée par un questionnaire visant à évaluer le niveau de satisfaction des résidents à l'égard des constructions intégrant des principes de l'architecture locale. La majorité des participants ont exprimé leur admiration pour cette architecture et se sont montrés favorables à l'idée de développer une architecture vernaculaire contemporaine qui intègre à la fois des éléments du passé et du présent (Hegazy, 2015).

I.3.5 L'architecture vernaculaire, levier du développement d'une architecture durable :

Comme évoqué précédemment, plusieurs concepteurs ont souligné l'importance croissante de créer une nouvelle architecture écologique qui s'adapte pleinement à l'environnement local (Fajer et al., 2019).

Selon plusieurs chercheurs, la recherche de solutions durables ne nécessite pas de chercher loin, car la réponse se trouve juste sous nos yeux, dans l'intelligence de notre architecture vernaculaire. Les études récentes confirment l'émergence d'une « architecture vernaculaire durable » (Holst, 2003) qui tire parti des différents aspects hérités de l'architecture vernaculaire ancestrale.

Dans le passé, l'enveloppe du bâtiment jouait un rôle fondamental pour protéger les populations indigènes des conditions climatiques rigoureuses (Willi et Simos, 2014). En effet, nos ancêtres ne connaissant pas la durabilité, mais ont néanmoins impliqué de nombreuses stratégies passives dépendant des ressources naturelles (vent, soleil) de chaque contexte, afin d'assurer le confort à l'intérieur de leurs foyers avec peu de moyens afin de garantir le confort à l'intérieur de leurs habitations avec des moyens limités.

Plusieurs techniques peuvent être identifiées, telles que l'utilisation de tours à vent au Moyen-Orient et dans le golfe Persique. Ces éléments, qui fonctionnent toujours comme des capteurs de vent, permettent le renouvellement de l'air et la régulation de la température à l'intérieur des maisons. D'autres éléments efficaces, tels que les dômes et les voûtes, sont intégrés dans la structure du toit pour rafraîchir l'air à l'intérieur des pièces. Les moucharabihs servent également à contrôler à la fois le flux d'air et les contacts visuels. De plus, les murs massifs construits en pierre, provenant des ressources locales, absorbent la chaleur pendant la journée et la restituent pendant la nuit. La disposition centrée des maisons autour d'une cour intérieure vise à améliorer leur efficacité fonctionnelle et leur potentiel. En Australie, les concepteurs s'inspirent des anciennes maisons pour construire des toits à double pente qui fonctionnent comme des mécanismes de refroidissement, recréant ainsi la manière dont la lumière filtre à travers les feuilles d'eucalyptus dans leurs conceptions. En Grande-Bretagne, les habitants

préfèrent souvent vivre dans des maisons en pierre traditionnelles plutôt que dans des nouveaux bâtiments standardisés, car ils estiment que les habitations traditionnelles sont mieux adaptées à leur climat et à leur culture (Clare, 2016).

Par ailleurs, de nombreux chercheurs soulignent que les bâtiments vernaculaires ont depuis des siècles intégré le concept d'architecture durable. Ils proposent des solutions actives qui répondaient, à leur époque, aux caractéristiques recherchées par l'architecture durable contemporaine, telles que l'intégration harmonieuse au site, l'utilisation des ressources locales et la protection des occupants contre les conditions climatiques rigoureuses. Dans ce contexte, Pierre Fery a mis en évidence que l'ensemble des procédés vernaculaires ancestraux constitue une source extraordinaire de dispositifs passifs qui ont démontré leur efficacité en matière de conservation des matériaux et de l'énergie non fossile.

Après mes lectures et recherches approfondies, je peux affirmer que l'architecture vernaculaire intègre dans sa démarche des enjeux économiques, environnementaux, sociaux et culturels, et qui sont les points essentiels qui l'inscrivent parfaitement dans les perspectives du développement durable. Du point de vue environnemental, l'architecture vernaculaire tient compte des caractéristiques environnementales du site et utilise des ressources naturelles disponibles localement. Elle intègre également des dispositifs et des stratégies passives très efficaces, lui conférant une excellente performance énergétique. Les bâtiments sont conçus pour optimiser l'utilisation des sources d'énergie renouvelables telles que le soleil, le vent et l'eau. Par exemple, l'orientation des bâtiments pour profiter d'un ensoleillement optimal et l'utilisation de techniques de ventilation naturelle pour favoriser la circulation de l'air.

Sur le plan économique, l'architecture vernaculaire privilégie souvent l'utilisation de matériaux locaux, ce qui réduit les coûts de transport et de production. Les communautés locales sont souvent impliquées dans la construction des bâtiments, ce qui favorise la création d'emplois et renforce l'économie locale. De plus, l'utilisation de techniques de construction traditionnelles basées sur les connaissances locales permet d'optimiser l'utilisation des ressources et de réduire les dépenses énergétiques.

Du point de vue socio-culturel, l'architecture vernaculaire est profondément enracinée dans la culture et les traditions locales, ce qui la rend socialement pertinente. Les bâtiments vernaculaires sont souvent conçus pour répondre aux besoins spécifiques des communautés locales en termes de modes de vie, de coutumes et de pratiques culturelles. Par exemple, l'aménagement des espaces de vie favorise les interactions sociales, l'inclusion de lieux de

rassemblement communautaires et la préservation des techniques de construction traditionnelles transmises de génération en génération.

En résumé, l'architecture vernaculaire intègre naturellement les piliers de l'architecture durable en prenant en compte les aspects environnementaux, économiques et socio-culturels. Elle utilise des ressources naturelles locales, favorise l'emploi local, optimise l'utilisation des ressources et s'adapte aux besoins des communautés locales, créant ainsi un modèle d'architecture durable ancré dans son environnement.

I.3.6 Est-il également bio-inspiré ?

J'ai eu la chance de grandir dans un pays marqué par une diversité remarquable, que ce soit au niveau climatique, environnemental, culturel et même architectural, bien que ce dernier aspect se manifeste surtout à travers les typologies vernaculaires. Depuis mon enfance, mes voyages à travers ce vaste pays m'ont exposée à une multitude d'architectures vernaculaires (architecture Kabyle, Chaoui, Mozabite, ksour, coupoles ... etc).

J'ai constaté que le climat joue un rôle crucial dans la détermination de l'architecture spécifique de chaque région. C'est en accord avec cette vision que l'architecte suisse Philippe Rahm a affirmé dans son livre "Architecture météorologique"⁶⁰ que « la forme et la fonction suivent le climat ». Il préconise que la conception architecturale doit considérer les conditions climatiques pour créer des espaces qui s'intègrent naturellement à leur environnement, optimisant ainsi l'efficacité énergétique et le confort des résidents. C'est justement ce que j'ai pu observer dans les architectures vernaculaires de l'Algérie. Cependant, cette prise de conscience n'a pas été instantanée. Mon appréhension de cette corrélation s'est formée au cours de ma formation en design bio-inspiré à l'ENSCI, et a été renforcée lors de notre visite au Lowtech Lab à Concarneau en janvier 2022, qui m'a révélé l'importance de cet aspect du lowtech.

Cette philosophie de l'architecture vernaculaire s'accorde également avec les principes du design biomimétique, car tous deux cherchent à créer des structures en harmonie avec leur environnement local.

En effet, la question de savoir si le design vernaculaire est également bio-inspiré est une réflexion personnelle qui a émergé au cours de mes études sur ces deux approches. En analysant les principes de chacun, j'ai découvert qu'ils partagent plusieurs points communs. Selon moi, l'architecture vernaculaire peut certainement être considérée comme bio-inspirée. Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre précédent, le concept de bio-inspiration consiste à s'inspirer des

⁶⁰ Phillipe Rahm, architecte Suisse " Architecture météorologique » , 2009.

systèmes naturels pour trouver des idées et des solutions, et l'architecture vernaculaire a historiquement fait exactement cela pour répondre aux besoins spécifiques de différents environnements et contextes culturels. Les concepteurs de l'architecture vernaculaire n'étaient pas des professionnels du bâtiment ou des techniciens, et ils n'avaient pas de manuels de conception à suivre, leur unique source d'inspiration était la nature elle-même.

Ainsi, le regard vers le passé à travers son architecture est un apprentissage certain, qui permettrait la découverte des règles de contrôle des conditions météorologiques et du savoir vivre avec le climat. Par exemple, j'ai souligné dans mon article (Teraa & al, 2021)⁶¹ que les stratégies hygrothermiques utilisées dans la conception vernaculaire de nos ancêtres démontrent que l'architecture vernaculaire met en œuvre des stratégies similaires à celles utilisées par les organismes vivants dans la nature. Ces stratégies sont très utiles pour gérer l'humidité et avoir un équilibre hygrométrique à travers des différents procédés de construction et des principes de conception appropriés à l'environnement local tels que : l'utilisation des matériaux locaux à forte inertie thermique, l'orientation qui optimise l'ensoleillement, la forme et la disposition judicieuse des espaces intérieurs, la ventilation naturelle qui assure la conservation du bâti par l'élimination d'humidité relative de l'atmosphère et aussi les vapeurs d'eau produites par les occupants et qui génèreraient condensations et dégradation.

L'aspect troglodytique de certaines architectures vernaculaires à travers le monde - que ce soit à Matmata en Tunisie, Ghoufi en Algérie, ou encore en Cappadoce en Turquie, par exemple - met en évidence l'idée que l'homme s'est inspiré des terriers d'animaux. Ces animaux creusent dans la terre pour créer des abris, se protéger des conditions environnementales extrêmes et des prédateurs. Cela démontre bien comment l'homme a pu tirer des leçons de la nature pour sa propre construction et son bien-être.

Ainsi, L'architecture biomimétique et l'architecture vernaculaire partagent une philosophie commune, leur objectif principal étant la durabilité. En ce sens, la démarche de conception dans l'architecture vernaculaire s'inscrit dans une perspective holistique, transversale et pluridisciplinaire. Cette approche correspond à celle du biomimétisme, qui ne peut être attribué à une discipline spécifique et qui émerge à partir d'un ensemble interconnecté de données et de contraintes. A cet effet, les deux sont issues d'une démarche collaborative basée sur l'intelligence collective.

⁶¹ Teraa Saida & Bencherif (2021), "From hygrothermal adaptation of endemic plants to meteorosensitive biomimetic architecture: case of Mediterranean biodiversity hotspot in Northeastern Algeria" *Environment, Development and Sustainability*, Springer. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-021-01887-y>

Un autre point important à noter est que les principes du vivant, incorporés dans la démarche de conception biomimétique (Annexe 02) , présentent de nombreuses similitudes avec les principes établis par les chercheurs pour l'architecture vernaculaire. En biomimétisme, la conception est inspirée par les systèmes naturels et les organismes vivants qui ont évolué pendant des millions d'années pour s'adapter à leur environnement. Ces principes du vivant s'intéressent notamment à l'utilisation efficace des ressources, à l'optimisation des formes et structures, à l'adaptation dynamique à l'environnement, et à la capacité à répondre aux besoins fonctionnels de manière résiliente et durable.

De son côté, l'architecture vernaculaire repose sur des principes semblables : elle est conçue à partir des ressources disponibles localement, s'adapte aux conditions climatiques et environnementales spécifiques de chaque lieu, et tient compte des besoins et des usages des habitants. Comme en biomimétisme, l'architecture vernaculaire cherche à optimiser l'efficacité et la durabilité des bâtiments.

Au cours de mes investigations sur le sujet, je suis tombée sur le projet « Versus » (Vernacular Sustainable)⁶², une initiative européenne qui examine le patrimoine vernaculaire de la France, de l'Italie, de l'Espagne et du Portugal. L'objectif de ce projet est de tirer des leçons de ces architectures traditionnelles pour guider la conception de bâtiments durables.

Dans le cadre de la méthodologie de Versus, une quinzaine de principes, englobant plus d'une centaine de stratégies, ont été identifiés. Ces principes sont répartis en trois catégories de durabilité, constituant ainsi un cadre d'analyse méthodologique et opérationnelle. L'annexe 07 illustre ces principes, qui sont généralement applicables à l'architecture vernaculaire.

Ce qui m'a particulièrement intéressée dans ce schéma, c'est la façon dont ce cadre rappelle les principes du biomimétisme, tels qu'ils sont présentés dans un schéma similaire élaboré par Biomimicry 3.8⁶³. Cette similarité souligne les liens étroits entre ces deux approches et leur engagement commun en faveur de la durabilité. Cette convergence de principes suggère que l'architecture vernaculaire peut être vue comme une forme de biomimétisme.

⁶² <https://www.esg.pt/versus/>

⁶³ <https://biomimicry.net/the-buzz/resources/designlens-lifes-principles/>

CHAPITRE II :

EXPLORATION

Dans cette seconde partie, même si tout est lié, nous nous concentrons sur l'exploration de l'approche qu'on a proposé dans notre hypothèse.

Pour l'heure, c'est le cas d'un contexte chaud comme un terrain d'exploration de première intention qui va nous intéresser

II.1 Contexte d'étude :

Afin de concrétiser l'objectif de cette partie et d'explorer notre approche proposée dans le cadre de notre hypothèse, nous avons décidé de nous concentrer sur un contexte caractérisé par un climat chaud ou très chaud comme terrain d'investigation. Ce choix de contexte nous permettra d'étudier les défis spécifiques et les opportunités offertes par un tel environnement, en vue de développer des solutions architecturales adaptées et durables en nous appuyant sur une approche axée sur la combinaison entre le biomimétisme et le vernaculaire.

Les zones les plus chaudes au monde se trouvent entre les latitudes 23°N et 23°S où le soleil frappe avec sa plus grande intensité due à sa faible inclinaison, Ailleurs, vers les pôles, le soleil a une incidence moindre à cause de son inclinaison croissante qui est filtrée davantage traversant un plus grand tronçon d'atmosphère et ayant en plus une aire effective perpendiculaire au rayonnement qui est inférieure.

Les pays aux climats très chaud de notre planète sont par défaut classés dans la rubrique « climat désertique chaud » BWh selon la classification Koppen (Wladimir Koppen, 1900). Au début, Wladimir Koppen proposera cette classification en cinq groupes: tropical, aride, tempéré, et continental, et polaire. Un sixième groupe fut ajouté plus tard: Hautes Steppes. Dans la classification B "Aride", les caractéristiques du classement sont une petite précipitation, une grande variation de température jour-nuit, et de grosses pertes d'humidité par évaporation dues à la basse humidité relative.

Finalement ce terme "climat chaud" englobe toute l'Afrique saharienne, autour de la Namibie, l'Arabie, le sud de l'Inde, le sud des états Unis et le centre de l'Australie. Cependant dans cette classification tous les pays ne subissent pas les mêmes températures, et notamment les pays de la péninsule arabique où tous les records de températures sont atteints. Ces pays nous pourrions classer de "très chauds" ou "extrêmement chauds" n'ont pas une classification spécifique même si leurs hautes températures et leurs longues périodes de chaleur permettraient de créer une classification spécifique.

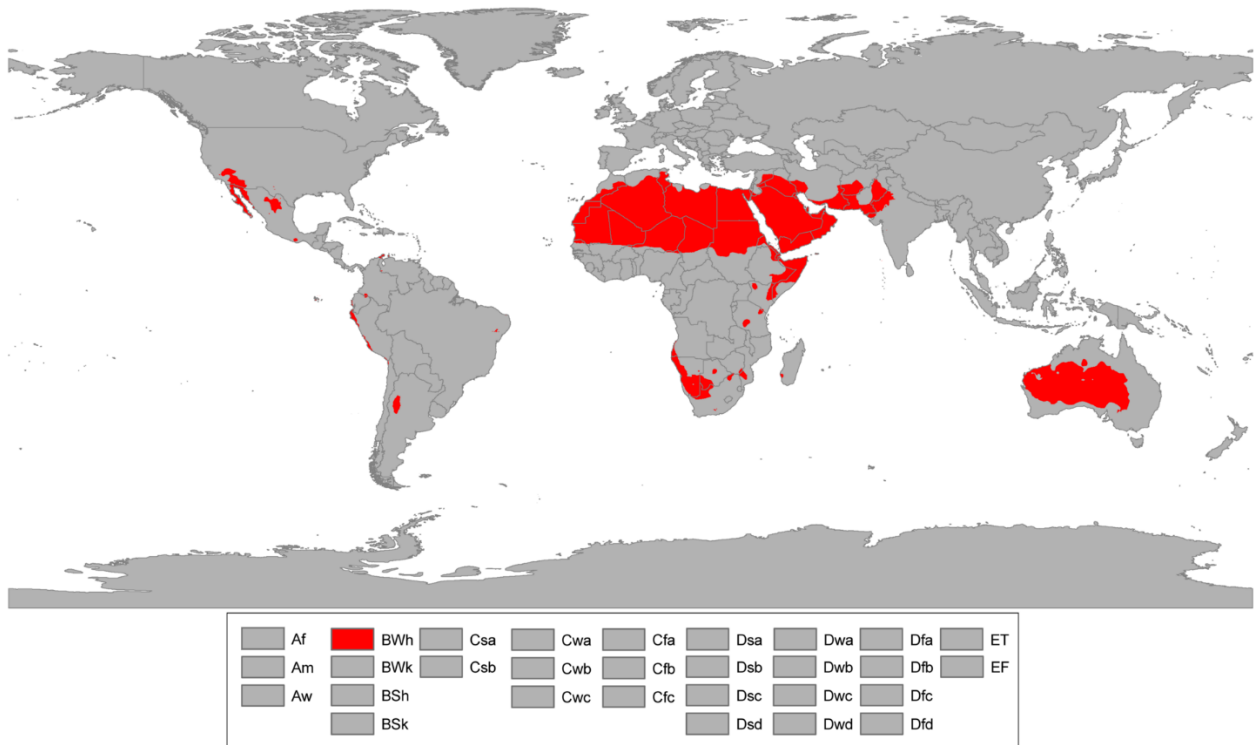


Figure13 : Régions ayant un climat désertique chaud. Source : Wikipédia ⁶⁴

En réalité, notre choix de ce contexte spécifique est motivé par son implication majeure dans une problématique mondiale, celle du réchauffement climatique. Ce phénomène a engendré une augmentation progressive des températures depuis le début du XXe siècle (Figure), ainsi que l'émergence de phénomènes climatiques extrêmes tels que les périodes de sécheresse et, en particulier, les épisodes caniculaires répétés. Ces phénomènes perturbent l'équilibre climatique et ont déjà aujourd'hui des conséquences directes sur la vie de millions de personnes, impactant de manière significative l'avenir de l'humanité.

Le changements climatiques vont toucher toutes les régions de la planète, sans exception. Dans cet esprit, le rapport du GIEC⁶⁵, dédié à l'adaptation au changement climatique, confirme que les canicules seront à l'avenir plus fréquentes, longues et intenses (Voir Annexe 08), cela pose un défi majeur pour la santé, le bien-être et la qualité de vie des populations, en particulier dans les régions chaudes. Ainsi, au-delà de l'intensification de l'îlot de chaleur urbain ⁶⁶, ces vagues de chaleur entraînent une surchauffe urbaine, provoquant des températures de surface extrêmement élevées pour certains matériaux de construction et générant un inconfort

⁶⁴ https://fr.wikipedia.org/wiki/Climat_d%C3%A9sertique

⁶⁵ (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) : <https://www.ecologie.gouv.fr/comprendre-giec>

⁶⁶ la différence de température entre le centre-ville et la campagne environnante

thermique des occupants à l'intérieur des bâtiments. C'est pourquoi nous nous intéressons dans cette étude à la question du confort d'été, car il représente une exigence essentielle à laquelle les concepteurs et les architectes doivent apporter les réponses nécessaires.

II.1.1 Confort d'été : le défi planétaire à l'heure du dérèglement climatique

« Il n'existe aucun autre problème plus crucial pour l'architecte que celui de résoudre le problème dialectique entre l'intérieur et l'extérieur »,(Arnheim R., 1978).

Face aux défis du réchauffement climatique, le confort thermique devient un enjeu crucial dans le secteur du bâtiment tant pour la qualité des ambiances intérieures que pour les impacts énergétiques et environnementaux dont il est responsable.

Dans le contexte de notre étude, les vagues de chaleur et l'intensité du rayonnement solaire peuvent entraîner une surchauffe des bâtiments et rendre les environnements intérieurs inconfortables. Cela présente des défis spécifiques en matière de la durabilité des bâtiments.

Généralement, la majorité des constructions dans ce contexte sont conçues avec des matériaux ayant probablement des résistances thermiques basses (béton et brique). Outre le gain solaire important, les bâtiments ne bénéficient pas de la ventilation naturelle comme un moyen de refroidissement et de rafraîchissement. Ces raisons amplifient le problème de l'inconfort thermique à l'intérieur des bâtiments, créant une ambiance inconfortable pour les usagers. Afin de résoudre ce problème d'inconfort et assurer un bien-être thermique, des climatisations très énergivores ont été utilisées dans la plupart des projets trouvés dans cette région.

Le confort thermique est une sensation de bien-être lorsqu'on est exposé à une ambiance intérieure. Plusieurs chercheurs ont proposé des valeurs de température intérieure correspondant le mieux aux critères du confort thermique comme Heschong en 1979 qui a déterminé un intervalle de température entre 14-21 °C pour la Grande Bretagne. Le Psychologue Rohles et A. Ackermann qui ont conclu que la température de confort est de 18 °C et cela d'après une étude statistique conduite sur 40 ans de recherche et d'observation.

D'après mes recherches sur ce sujet, la sensation de confort thermique est influencé par plusieurs paramètres, il y a des paramètres lié à l'environnement, des paramètres lié au cadre bâti et enfin des paramètres lié à l'occupants ⁶⁷(Voir annexe 09).

⁶⁷ Alain Liébard, Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, édition Le Moniteur, 2005.

Historiquement, la signification du mot « confort » a évolué plusieurs fois à travers le temps. Aujourd'hui, le mot « confort » signifie la satisfaction et le bien-être qu'il soit physique ou psychologique. Mais à l'origine, il n'avait pas ce sens-là.

Selon le petit Robert (Paul Robert et al, 2003), pendant des siècles et jusqu'au XIème siècle, le mot « confort » a conservé la signification de sa racine latine, conforter, qui signifie renforcer, consolider ou reconforter. Cette signification perdue jusqu'au XVème siècle, où il signifie assistance.

Le confort thermique comme d'autres aspects du contrôle de l'environnement, est probablement plus facile à définir qu'à mettre en oeuvre. Quand l'ASHREA⁶⁸ déclare que la satisfaction thermique est atteinte quand 80% des occupants sont satisfaits⁶⁹, on comprend à quel point il est difficile d'atteindre le confort thermique pour tous les occupants.

Ainsi, il est pertinent de mentionner la définition du confort thermique proposée par Givoni, qui exprime deux approches pour atteindre ce confort. Selon lui, le confort peut être défini de manière négative, comme l'absence d'inconfort causé par la chaleur ou le froid, ou de manière positive, comme un état engendrant le bien-être (Eugenie, 1979, p.18-19). Cette définition a conduit à la stabilisation de la notion de confort thermique dans les bâtiments tout au long du XXe siècle. Selon B. Givoni, le maintien de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement est une exigence clé pour la santé, le bien-être et le confort. Cette perspective a stimulé l'amélioration des conditions de confort.

II.1.2 Rafraichissement passif :

Pour atteindre le confort d'été, il est essentiel de gérer efficacement les paramètres qui influencent le confort thermique. Sur le plan architectural, parmi les stratégies qui nous aident à atteindre un niveau de confort satisfaisant à l'intérieur des bâtiments, on peut citer la ventilation naturelle et le refroidissement passif, l'utilisation de matériaux à faible inertie thermique et l'ombrage solaire. Dans notre étude, nous nous focalisons particulièrement sur le rafraichissement naturel comme une solution durable pour relever ce défi.

Le rafraichissement naturel peut être considéré non seulement comme un moyen pour atteindre un niveau de confort thermique acceptable. Il permet également de réduire ou d'éviter la surchauffe des espaces intérieurs, en fournissant une ventilation adéquate, en limitant

⁶⁸ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

⁶⁹ [BSR/ASHRAE Standard 55P, 2003, p.30]

l'accumulation de chaleur et en régulant les échanges thermiques avec l'environnement extérieur.

Par le rafraîchissement naturel, nous pouvons améliorer les conditions de température, d'humidité et la pureté de l'air afin d'atteindre le confort thermique tout en évitant le problème du syndrome du bâtiment malsain '*sick building syndrome*'⁷⁰ que l'on retrouve dans les bâtiments climatisés et mal ventilés. La recherche du confort habitable relatif reste une constante qui se retrouve dans toutes les constructions humaines. En intégrant des stratégies de rafraîchissement naturel dans la conception et la construction des bâtiments, on peut améliorer significativement le confort thermique des occupants tout en réduisant la dépendance aux systèmes de climatisation artificielle, ce qui peut avoir des avantages en termes de consommation énergétique, de coûts d'exploitation et d'impact environnemental. Notre approche vise principalement à concevoir des solutions durables de rafraîchissement visant à lutter contre les canicules et à augmenter le confort d'été.

II.2 Exploration des stratégies adoptées dans un climat chaud par le vivant humain et non-humain :

Dans cette section, nous cherchons à approfondir notre approche préalablement présentée qui combine diverses stratégies de deux domaines du biomimétisme et le design vernaculaire. L'objectif est de concevoir des solutions architecturales durables et adaptées, capables de créer des espaces intérieurs rafraîchissants pour faire face à ces vagues de chaleur extrêmes.

Pour commencer, notre méthode exploratoire nous conduit à examiner et à analyser les systèmes d'adaptation thermique naturels présents chez les plantes et les animaux qui vivent dans un climat chaud. Le but est d'imiter ces systèmes et de les intégrer à nos approches architecturales, en nous appuyant sur la méthodologie du biomimétisme.

Ensuite, notre méthodologie inclut également l'étude des stratégies passives utilisées dans les architectures vernaculaires locales qui se trouvent dans des contextes similaires. L'objectif est de sélectionner quelques dispositifs passifs qui ressemblent aux logiques biologiques d'adaptation thermiques et qui favorisent un rafraîchissement passif efficace.

⁷⁰ Le syndrome du bâtiment malsain (SBM) est dans le domaine de la santé environnementale, un syndrome décrivant une combinaison de symptômes ou de maladies scientifiquement inexplicables et associées à un lieu précis.

II.2.1 Adaptation biologique au climat chaud

Dans cette phase, on essaye de rapprocher notre challenge identifié précédemment « le confort d'été par le biais d'un rafraîchissement passif » avec un phénomène biologique présent dans la nature locale d'un contexte chaud et qu'elle a résolu.

En réponse à ce défi, les écosystèmes et la biodiversité des déserts offrent une riche base de données de stratégies et de mécanismes d'adaptation thermique qui nous permettront de proposer des concepts bio-inspirés afin de faire face aux vagues de chaleur estivales de manière efficace et respectueuse de l'environnement.

Les contextes chauds notamment les déserts sont généralement caractérisés par des contraintes environnementales telles que : l'humidité relativement faible, l'irrégularité des précipitations et la température extrême. Ces caractéristiques environnementales créent des conditions difficiles pour les organismes vivants : les plantes, les animaux et les êtres humains.

Cependant, ces organismes possèdent un grand nombre de stratégies d'adaptation possibles (stratégies comportementales, morphologiques et physiologiques) qui visent à éviter le gain de chaleur et perdre la chaleur interne afin de créer un certain rafraîchissement. Ils ont la capacité de modifier constamment leurs structures, leur environnement interne et leurs comportements afin de maintenir des conditions de vie stables et s'adapter aux conditions de chaleur extrême. Ils utilisent de l'énergie libre, comme le vent ou la température constante du sol, alors que nous consommons de grandes quantités d'énergie afin de refroidir nos bâtiments.

Dans cette optique, et pour identifier certains modèles biologiques pertinents, nous nous appuyons sur l'exploration biologique en utilisant divers outils de fouilles biologiques et méthodes d'exploration comme illustré dans ~~la figure~~. (Ask Nature, life Principles, MNHN, des articles scientifiques et les interviews avec des experts ..etc).

Nous nous concentrons sur Ask Nature, considérée comme la plus vaste base de données consacrée à la bioinspiration (Voir Annexe 10). Cette plateforme s'appuie sur une ontologie similaire à celle de la taxonomie et a pour objectif d'identifier et de fournir des connaissances sur des phénomènes biologiques spécifiques, en collaboration avec des experts identifiés et en proposant des idées et des applications de concepts potentiels (Baumeister et al., 2013)

a. Acclimatation des plantes du désert

Vivant dans des conditions extrêmes caractérisées par une chaleur intense, les plantes du désert ont développé des stratégies uniques pour survivre et prospérer. Les plupart de ces plantes désertiques ont des couches externes épaisses qui sont couvertes par des matériaux cireux qui réduisent la perte de l'eau par évaporation, en même temps elles évitent le gain de chaleur de l'extérieur (Earlham Collage, 2006). Par exemple, certains cactus ont des feuilles cireuses ou des épines pour réduire la perte d'eau par évaporation. Cette adaptation remarquable montrent comment les plantes du désert ont évolué pour non seulement survivre, mais aussi prospérer dans des conditions extrêmes de chaleur.

La couche externe qui enveloppe les cactus s'appelle la cuticule⁷¹, elle est composée de cire cuticulaire, elle est particulièrement épaisse. Cette épaisseur est destinée à réduire l'évapotranspiration, empêchant ainsi les cellules de se déshydrater lorsqu'elles sont en contact direct avec un environnement aride (Elghawaby, 2013) . La cuticule restreint les échanges gazeux avec l'atmosphère, les rendant uniquement possibles lors de l'ouverture des stomates, car leur fonctionnement nécessite beaucoup d'eau.⁷²

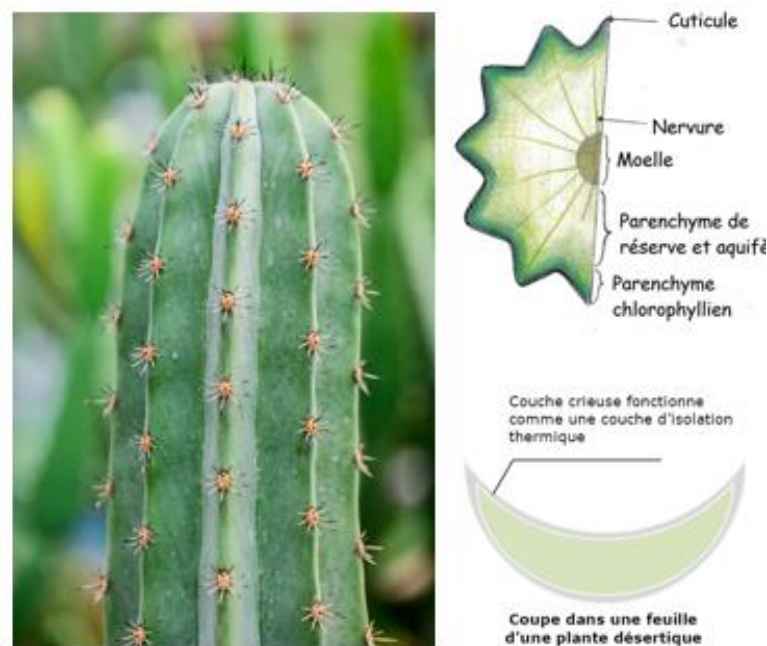


Figure 14: Des feuilletts couverts par des matériaux cireux formant une couche d'isolation thermique⁷³.

⁷¹ La cuticule : l'épiderme des cactées est protégé par une cuticule épaisse, composée de cire (lipides à longues chaînes hydrophobes) enrobée dans de la cutine (lipide à courte chaîne), qui limite fortement la perte d'eau et les échanges gazeux à la surface de la plante. https://www.cactuspro.com/articles/adaptation_des_cactees

⁷² <https://tpecactusabk.wordpress.com/2016/01/22/la-structure-interne-dun-cactus/>

⁷³ <https://tpecactus-clemenceau.jimdofree.com/structure/structure-interne/>

b. L'Homéostasie : Préserver la stabilité de l'environnement interne

La transpiration ou la sudation est la production et l'évacuation de la sueur par les pores de la peau ou au travers de certaines muqueuses. L'homéostasie est un processus vital qui permet à un organisme de maintenir un environnement interne stable et équilibré malgré les changements externes⁷⁴. La peau humaine joue un rôle essentiel dans le maintien de l'homéostasie pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la peau agit comme une barrière protectrice entre le corps et l'environnement extérieur. Elle empêche la perte excessive d'eau (déshydratation) et protège contre les agents pathogènes, les toxines et les rayonnements nocifs du soleil.

Cette barrière cutanée aide à maintenir l'équilibre hydrique du corps en empêchant une perte excessive de liquide. De plus, la peau régule la température corporelle en maintenant un équilibre entre la production et la perte de chaleur. Les glandes sudoripares de la peau produisent de la transpiration, qui s'évapore à la surface de la peau et aide à refroidir le corps lorsque la température extérieure est élevée (BI, En ligne)⁷⁵. En revanche, lorsque la température extérieure est basse, les vaisseaux sanguins de la peau se contractent pour réduire la perte de chaleur.

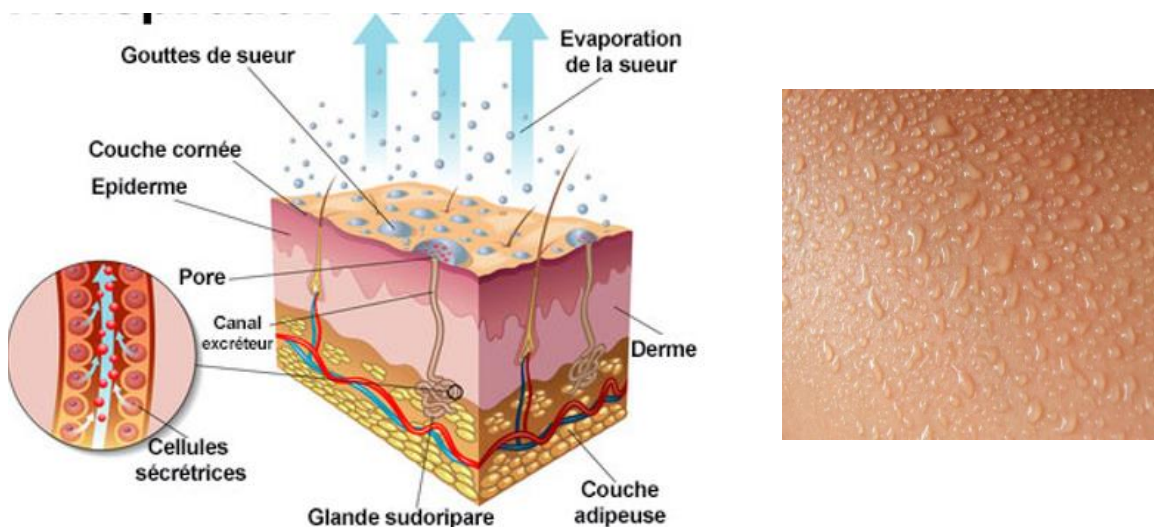


Figure 15 : La sudation comme une façon de refroidissement par évaporation pour certains animaux⁷⁶.

Source : <https://www.docteurlic.com/encyclopedie/transpiration-sueurs.aspx>

⁷⁴ <https://www.santemagazine.fr/sante/dossiers/physiologie/tout-savoir-sur-les-processus-dhomeostasie-426100>

⁷⁵ The Biomimicry Institute, "Sweating aids thermoregulation: mammals <http://www.asknature.org/strategy/e427ca4215ca4bc83ab647869c2643c9>

⁷⁶ <https://www.istockphoto.com/fr/photos/sueur-peau>

c. Termitières : l'auto-régulation de l'environnement intérieur

Les termitières offrent un exemple remarquable d'écosystèmes qui assurent une climatisation naturelle à l'intérieur de leur espace de vie. À l'intérieur de ces structures, les insectes cultivent un champignon qui est leur seule nourriture. Il doit être conservé à 30°C maximum, tandis que les températures extérieures varient entre 5°C pendant la nuit et 37°C pendant la journée. Les termites, dans leurs monticules de terre, arrivent par un moyen de ventilation très efficace, à faire stagner la température interne de la termitière à environ 23°C (entre 21° et 25°) (Pawlyn, 2011, P :84).

Cette construction haute, normalement de 4 à 5 m, crée un mouvement d'air par effet de cheminée à travers des petits trous de ventilation tout autour de la partie basse du nid et des sorties d'air au sommet chauffées par l'exposition directe au soleil. Ce flux d'air circule en passant sous terre où il est refroidi par la terre humide. Puis, il remonte dans la cheminée centrale où les termites résident. Les termites peuvent réguler la température intérieure en obstruant ou en perçant des trous au sol. Pendant la nuit, elles bouchent ces trous afin de conserver la chaleur de la termitière.

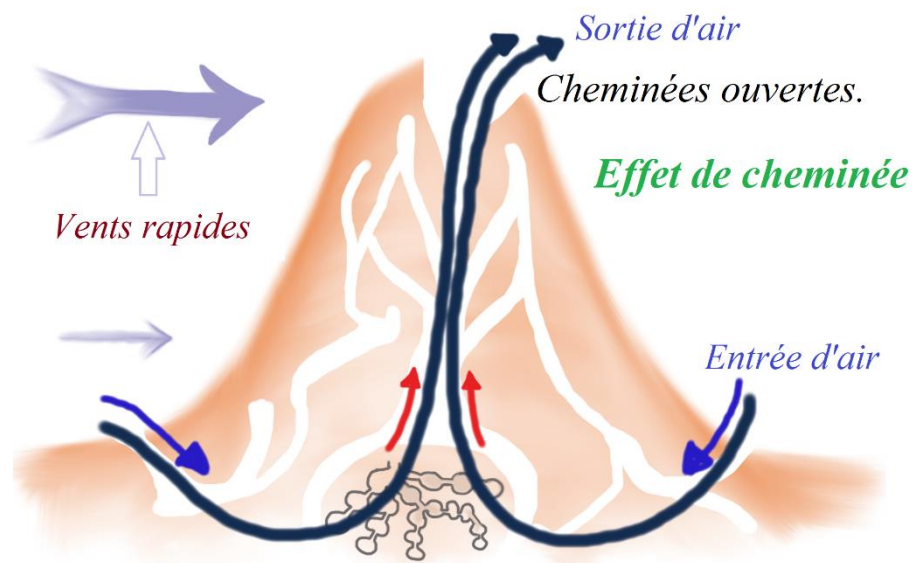


Figure 16 : Schéma explique la ventilation (circulation d'air) dans les termitières ⁷⁷.

⁷⁷ <https://biomimintimesite.wordpress.com/bcaracteristiques-de-la-termitiere/>

d. Le chien de prairie : Adaptation sous-terraine au climat chaud

Certaines espèces vivantes ont développé la capacité de vivre sous terre afin de bénéficier d'un rafraîchissement naturel dans des climats chauds. En se réfugiant sous terre, ces espèces peuvent donc éviter les effets négatifs des températures élevées et bénéficier d'un environnement plus propice à leur survie et à leur bien-être dans un climat chaud.

Le chien de prairie est un exemple d'espèce qui s'est adaptée à un mode de vie sous-terrain pour faire face aux conditions climatiques chaudes. Ces petits mammifères vivent dans des terriers complexes qu'ils creusent dans le sol.

Les terriers des chiens de prairie sont également dotés de tunnels bien ventilés. Ces tunnels permettent une circulation d'air, favorisant une meilleure régulation de la température et une évacuation de la chaleur excessive.

Le choix de vivre sous terre offre plusieurs avantages aux chiens de prairie dans les régions au climat chaud. Les terriers fournissent une protection contre la chaleur excessive en offrant un environnement plus frais et stable par rapport à la surface. La terre agit comme une barrière thermique, aidant à maintenir des températures plus basses à l'intérieur des terriers, même pendant les périodes de chaleur extrême.

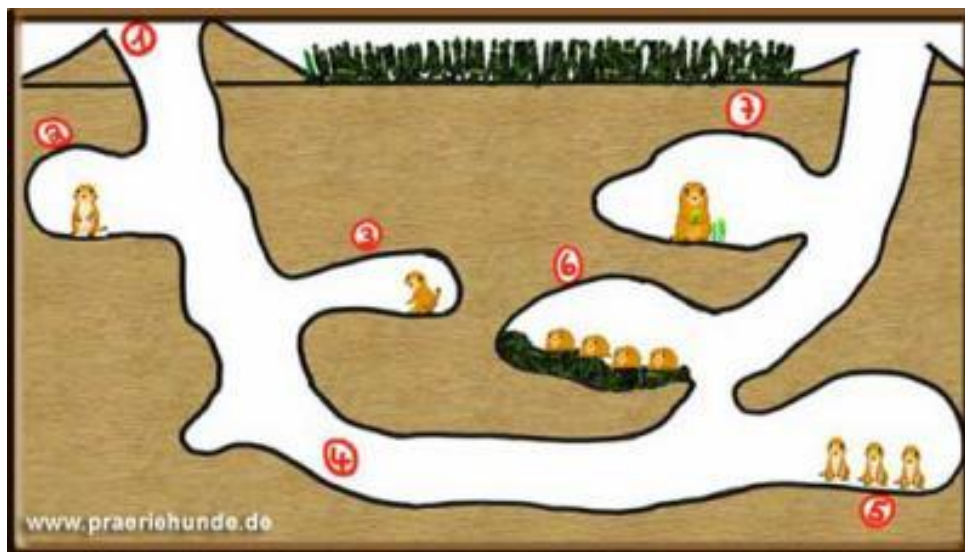


Figure 17 : Terrier du chien de prairie⁷⁸.

⁷⁸ pourquoi les terriers des chiens de prairie ont une forme particulière. <http://pourquoicomment.over-blog.com/2017/01/pourquoi-les-terriers-des-chiens-de-prairie-ont-une-forme-particuliere.html>

II.2.2 Stratégies vernaculaires pour faire face aux conditions climatiques chaudes:

Dans la partie précédente, quatre exemples biologiques d'adaptation au climat chaud et aride ont été présentés. Ils sont basés sur différentes stratégies d'adaptation thermique pour surmonter les défis climatiques des températures élevées. Ces stratégies visent à : Éviter le gain de chaleur, préserver la stabilité thermique de l'environnement intérieur et réaliser des systèmes de refroidissement surtout par évaporation et vivre sous la terre. Ces concepts naturels d'adaptation pourraient être considéré comme une base conceptuelle pour une gamme de solutions architecturales adaptées au climat chaud.

L'architecture vernaculaire a également utilisé des différentes solutions d'adaptation thermique afin de favoriser un rafraîchissement passif à l'intérieur des espaces bâtis. D'après mon entretien avec Ahmed Khoja, chercheur et enseignant en Sustainable Design à l'université de Munich, l'architecture vernaculaire fait partie du biomimétisme. Elle est le résultat d'expériences menées par les êtres humains au fil du temps dans le but de trouver des solutions économes en énergie et en matériaux, exploitant les ressources du site pour assurer un rafraîchissement passif.

1- L'inertie thermique des parois

Il existe une similitude évidente entre la fonction de la cuticule des cactus (la couche cireuse) et l'architecture vernaculaire. Tout comme la cuticule permet de réduire la perte d'eau, les parois épaisses utilisées dans l'architecture vernaculaire peuvent aider à isoler thermiquement les bâtiments, réduisant ainsi les besoins en énergie pour le chauffage ou la climatisation.

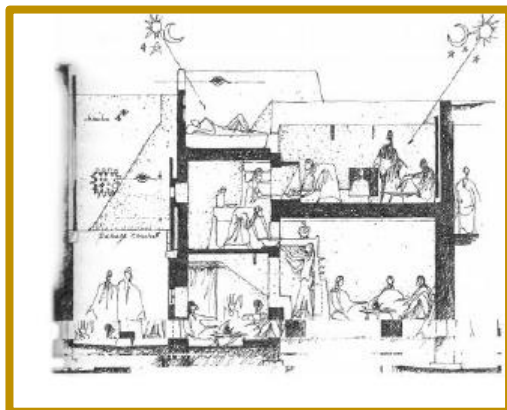


Figure 18 : a : Coupe André Ravéreau, Sidi Belabas, Algérie ⁷⁹. b : Murs massifs d'une maison Mozabite à Ghardaïa, Algérie/Source : Habiter le désert, Donnadier /Didillon.

⁷⁹ La coupe met en évidence l'épaisseur des parois de cette maison traditionnelle, ce qui permet d'isoler efficacement l'intérieur de la maison de l'environnement extérieur chaud.

2- Le patio : En outre, on peut comparer la transpiration de la peau humaine par évaporation à la déshumidification des espaces intérieurs par évaporation dans les habitats vernaculaires, ce qui contribue à maintenir un environnement intérieur confortable. Par exemple, le patio est un bon exemple d'intégration d'un mécanisme d'évaporation dans les maisons traditionnelles algéroises. La figure 19 ci-dessous présente une peinture de Paul-Albert Girard (1839-1920) qui illustre parfaitement un patio d'une maison vernaculaire Algéroise avec une végétation et une fontaine d'eau, favorisant l'aération et le rafraîchissement de toutes les pièces tout autour de la maison.



Figure 19 : Le patio de la maison traditionnelle algéroise ; Paul-Albert Girard, (1839-1920)⁸⁰.

⁸⁰ Source : une page Facebook

« Le régime de température peut-être modifié si la maison est construite autour d'une cour intérieure. La cour agit en quelque sorte comme un puits dans lequel descend l'air frais des toits, ce qui permet aux pièces du bas de se refroidir plus rapidement la nuit »⁸¹

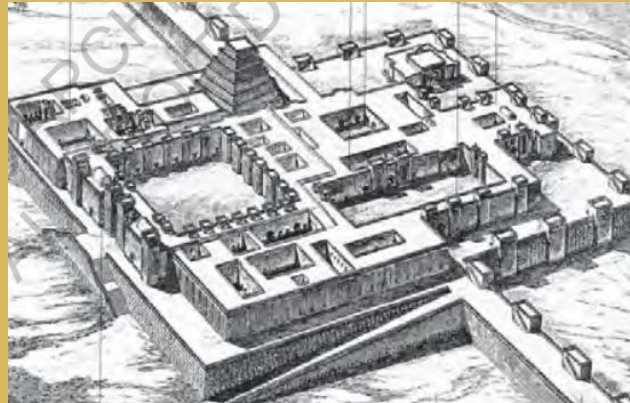


Figure 20 : Palais Mésopotamien : plusieurs patios à usages variés, et qui ventiles les espaces adjacents ⁸².

Le patio apparaît dans toutes les grandes civilisations méditerranéennes dont l'Égypte. La maison avec cour intérieure est une typologie dans laquelle tous les espaces de vie sont distribués autour du patio intérieur. Le patio constitue le principal intermédiaire entre l'intérieur et l'extérieur. Les pièces de la maison sont tournées sur celui-ci. Les performances thermiques de la maison à patio reposent sur le processus d'échanges thermiques engendrés entre les différents espaces : l'espace intérieur, la cour intérieure et l'espace extérieur (Mansouri, 2003).

Thermiquement, le patio fonctionne comme un puits de fraîcheur car l'air frais ne peut s'échapper et stagne en rafraîchissant ainsi les pièces qui sont ouvertes sur lui. Cet espace intermédiaire garde l'air frais en abaissant la température par l'utilisation de végétation ou par l'existence d'une fontaine qui permet de refroidir l'air par évaporation avant d'entrer dans les espaces intérieurs (Izard, 1979). Les ouvertures tournées vers l'extérieur sont en nombre restreint et sont souvent équipées de pare-soleil. Néanmoins, ces derniers permettent un éclairage naturel minimum en permettant à la ventilation de passer à l'intérieur. La végétation, souvent très présente, peut aussi jouer le rôle de pare-soleil en même temps que d'humidificateur permettant un rafraîchissement par évaporation.

⁸¹ L'ambiance du patio entre l'air et le soleil, influences des proportions du patio sur les ambiances – DEA - L.Tiraoui 1996 Archives ENSAN

⁸² Morgan Almansa. Patio (s) : entre réalités climatiques et usages différenciés. Architecture, aménagement de l'espace. 2011. ffduumas-01807176f

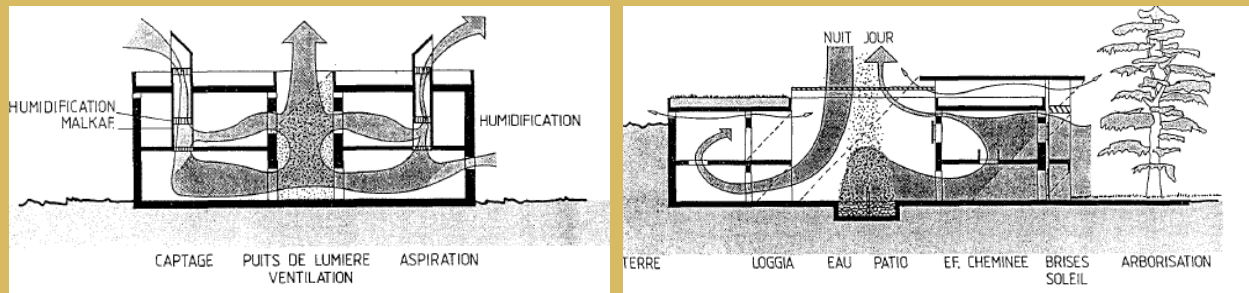


Figure 21: Schéma de fonctionnement climatique d'un patio ⁸³

3-Un autre exemple est l'auto-régulation des termitières, qui peut être liée à la ventilation naturelle utilisée dans l'architecture vernaculaire. Les termites sont connues pour leur capacité à construire des termitières avec une ventilation efficace, régulant ainsi la température et l'humidité à l'intérieur. De manière similaire, les techniques architecturales vernaculaires intègrent souvent des caractéristiques telles que des ouvertures stratégiquement placées, des courants d'air naturels et des matériaux respirants pour favoriser la ventilation naturelle et le confort thermique à l'intérieur des bâtiments.

Ces exemples soulignent comment l'architecture vernaculaire s'inspire de la nature pour développer des stratégies durables et efficaces, en tirant parti des principes biologiques pour créer des environnements bâtis qui répondent aux besoins humains tout en minimisant l'impact sur l'environnement.

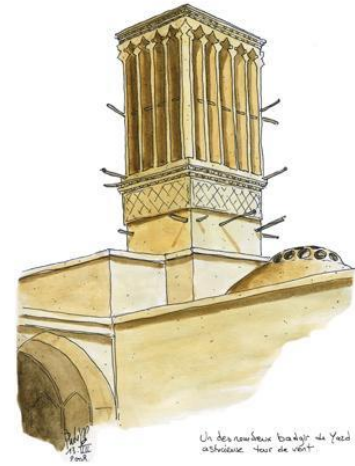
Malkaf ou tour à vent, également connue sous le nom de tour à vent éolienne, présente des similitudes avec le fonctionnement des termitières en termes de ventilation naturelle. Les termites construisent leurs termitières de manière à permettre une circulation d'air efficace pour réguler la température et l'humidité à l'intérieur. De manière similaire, la conception des tours à vent vise à exploiter les courants d'air naturels pour assurer une ventilation et un refroidissement passif des espaces intérieurs.

Les termitières comportent généralement des tunnels et des conduits spécifiquement conçus pour favoriser la circulation de l'air. Ces tunnels aident à canaliser l'air extérieur à travers la termitière, permettant ainsi une ventilation naturelle. Les courants d'air créés par cette circulation aident à évacuer la chaleur excessive et à maintenir des conditions internes optimales pour les termites.

⁸³ Plemenka Supic "L'aspect bioclimatique de l'architecture vernaculaire". département d'architecture Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne C.P.555, CH-1001 Lausanne Suisse



a



b

Figure 22 : **a** : Malkaf⁸⁴

b : Coupe sur Malkaf [Klaus, 1998, p.48].

De manière similaire, les tours à vent sont conçues pour capturer les courants d'air ascendants et descendants. Elles comportent souvent une ouverture à la base pour permettre à l'air frais de pénétrer à l'intérieur et une ouverture plus élevée pour l'évacuation de l'air chaud. Cette différence de pression naturelle, associée à la hauteur de la tour, crée un effet de tirage naturel qui favorise la circulation de l'air à l'intérieur de la structure. Cela permet d'apporter de l'air frais et de chasser l'air chaud, créant ainsi une ventilation naturelle et un rafraîchissement passif des espaces intérieurs.

4- l'habitat souterrain est un exemple significatif qui met en évidence la convergence entre le biomimétisme et l'architecture vernaculaire. On peut observer que cette stratégie, utilisée par certains animaux tels que le chien de prairie, est également exploitée depuis longtemps dans l'architecture vernaculaire.

Un exemple emblématique de cette approche se trouve dans la région de Cappadoce en Turquie (figure 23). Là-bas, les habitants ont creusé des habitations troglodytes dans la roche volcanique, bénéficiant ainsi des propriétés isolantes naturelles de la roche pour se protéger des conditions climatiques extrêmes. Ces habitations souterraines offrent une régulation thermique efficace, les aidant à rester frais en été et chauds en hiver.

⁸⁴ Dominique Firbal (2012), « Une technique ancienne et des technologies nouvelles » Architectes et architectures, Articles web, HABITAT, Matières et matériaux.

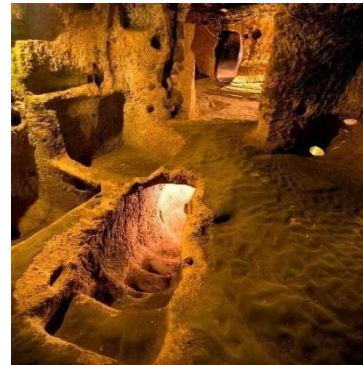
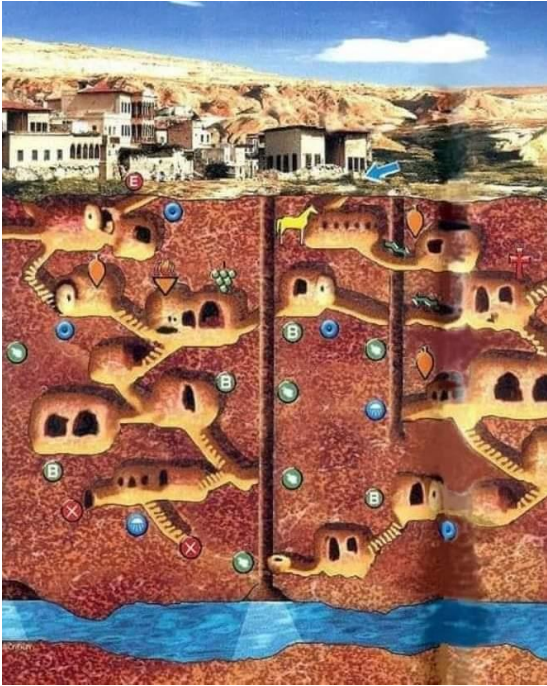


Figure 23 : L'architecture troglodyte vernaculaire de Cappadoce en Turquie.

Source : Différentes sources des sites d'internet.

Ce concept d'architecture troglodyte se retrouve également dans d'autres régions, telles que Matmata en Tunisie (figure 24) , où les maisons sont creusées dans le sol pour bénéficier d'un environnement plus stable et frais malgré les températures élevées à la surface.

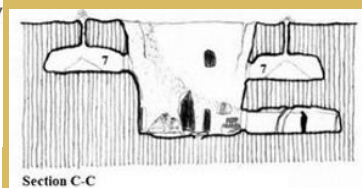
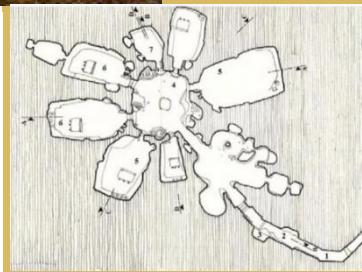
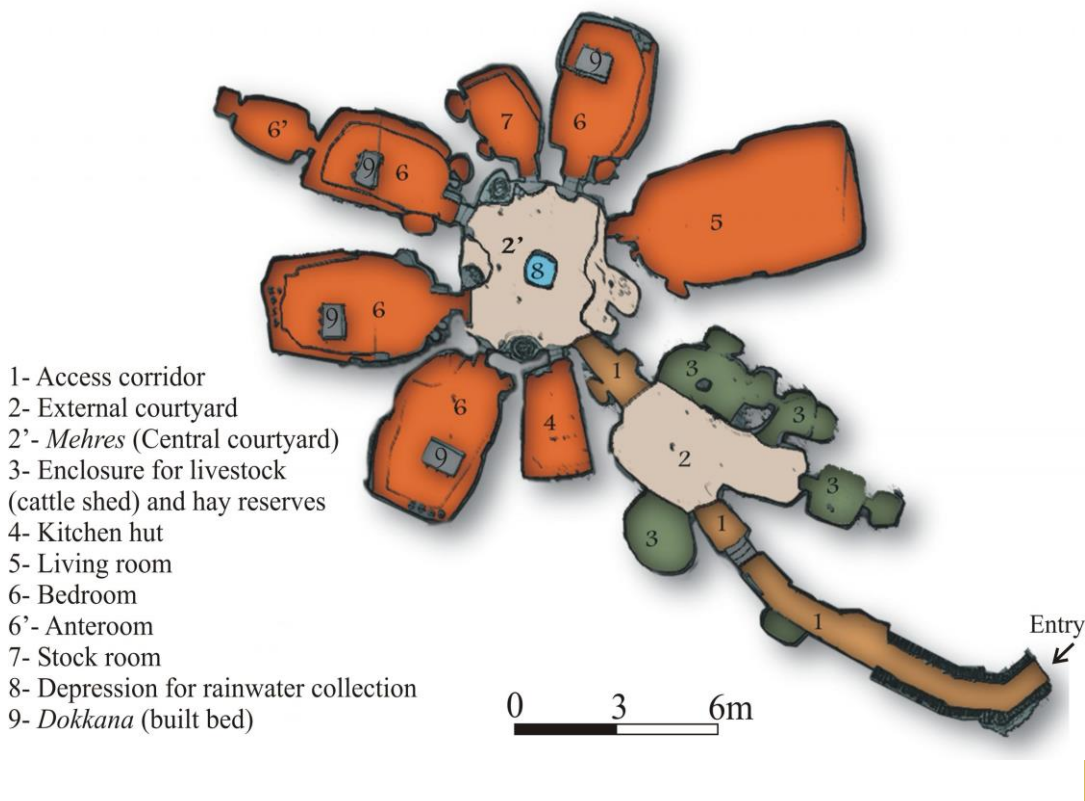


Figure 24 : a : Village troglodyte de Matmata (Boukhchim & al, 2018). b : Exemple d'une habitation vertico-latérales à Jebel Matmata⁸⁵. c : Andre Louis, modifié par Yassine Benyoucef et Suslova Olga (2019)⁸⁶.

⁸⁵ Nouri Boukhchim, 2020 : « Matmata (Sud-Est tunisien) : peuplement et habitat troglodytique » ; Al-sabil N:09 , revue d'histoire, d'archéologie et d'architecture Maghrébines.

⁸⁶ Benyoucef Y., Suslova O. Typology and Architectural Features of Traditional Dwellings in the Great Sahara (Case of Patio and Underground Houses). Architecture and Modern Information Technologies, 2019, no. 4(49). (lien dans la référence bibliographique)

L'architecture vernaculaire de Matmata présente de fortes similitudes avec les principes de la bio-inspiration, à la fois au niveau de la morphologie des logements enterrés dans la terre et de leur apparence extérieure.

En ce qui concerne la morphologie, les maisons de Matmata sont construites en creusant profondément dans le sol, créant ainsi des structures semi-enterrées. Cette conception souterraine tire parti des propriétés thermiques de la terre pour maintenir une température stable à l'intérieur des habitations, ce qui offre un confort thermique naturel en réduisant l'impact des variations climatiques extérieures. Cette approche rappelle le concept d'habitat souterrain observé chez certains animaux, tels que les termites ou les chauves-souris, qui utilisent également des cavités souterraines pour réguler leur température corporelle ⁸⁷.

En ce qui concerne l'aspect extérieur, les maisons troglodytes de Matmata se fondent harmonieusement dans le paysage environnant. Les toits plats et les parois en terre crue ou en pierre locale permettent une intégration visuelle discrète, préservant ainsi l'esthétique naturelle du site. Cette approche s'inspire de la biomimétique en imitant les matériaux et les formes présents dans l'environnement, créant ainsi une symbiose visuelle avec la nature.

⁸⁷ Jean-Paul Loubes *Archi Troglo (Architecture Troglodytique)* Ed. Parenthèses 1984

CHAPITRE III : (Méthodologie proposée)

VERS UN VERNOMIMETIQUE...

Dans ce chapitre, nous allons introduire une approche innovante, que nous avons nommée « Vernomimétique ». Cette nouvelle approche vise à synthétiser les principes du biomimétisme et de l'architecture vernaculaire, offrant une perspective unique dans le domaine de la conception architecturale durable.

III.1 Approfondissement de la réflexion :

Globalement, l'objectif principal de notre hypothèse, présentée à la fin du premier chapitre, consiste à fusionner ces deux approches d'éco-conception, celle de l'architecture vernaculaire et celle du biomimétisme. Nous pensons que cette combinaison pourrait constituer une alternative pertinente pour nous orienter vers la conception d'architectures véritablement durables. Cette fusion implique une réappropriation des stratégies passives inhérentes à l'architecture vernaculaire pour en extraire des enseignements, ainsi que l'adoption des principes biomimétiques afin de concevoir durablement.

Par coïncidence, un chercheur, Ahmed Khoja et ses collègues (2020), ont déjà emprunté cette voie de réflexion en combinant le biomimétisme et l'architecture vernaculaire. Dans leur article « *Vernomimicry: Bridging the Gap between Nature and Sustainable Architecture* »⁸⁸, ils présentent un processus de "conception durable" qui fusionne ces deux approches sous le terme de « *Vernomimicry* ».

*“ The role of vernacular and nature to provide with sustainable solutions is not fully discovered yet. As presented in this study, a great deal of similarities is found between vernacular design qualities and nature design principles. This fact presents itself as a good chance for architects to find inspiring sustainable solutions in the vernacular. An architect is better capable to understand study and analyses examples of vernacular architecture. Moreover, the architect must also identify interesting phenomenon found in the examples present on the vernacular. The main limitations of using biomimicry in architecture is the fact that neither architects are good biologist nor biologists are good architects and bridging this gap is difficult in the present scenario. Hence, the vernomimetic approach “learning from the vernacular” has the potential to be a valid method to act as a link between nature and architecture ”*⁸⁹. Ahmed Khoja (2020).

En effet, cette nouvelle approche combinatoire vise à guider le design architectural vers une trajectoire plus durable. Ce nouveau concept de « *Vernomimicry* », que je traduis en français par « vernomimétisme », a été peu exploré jusqu'à présent dans la littérature scientifique. Ce manque de données m'a encouragé à mener une interview avec le chercheur Ahmed Khoja, un précurseur dans le domaine du vernomimétisme, afin d'approfondir ma compréhension du lien

⁸⁸ Ahmed Khoja & Sahl Waheeb, 2020 « Vernomimicry: Bridging the Gap between Nature and Sustainable Architecture » *Journal of Sustainable Development*, DOI: [10.5539/jsd.v13n1p33](https://doi.org/10.5539/jsd.v13n1p33)

⁸⁹ Ahmed Khoja & Sahl Waheeb, 2020 « Vernomimicry: Bridging the Gap between Nature and Sustainable Architecture » *Journal of Sustainable Development*, P: 41 DOI: [10.5539/jsd.v13n1p33](https://doi.org/10.5539/jsd.v13n1p33)

entre le biomimétisme et l'architecture vernaculaire. Cette démarche me permettra d'enrichir mes connaissances et de découvrir les perspectives offertes par cette approche en matière d'architecture durable.

« Vernacular architecture is part of biomimicry because it is conceived by human beings who are considered living beings, but the most intelligent ones, making it difficult to separate the two. Both approaches share common principles and rely on similar concepts ».

Ahmed Khoja, Juin 2023.

Dans cette interview (05/06/2023), Ahmed souligne que l'architecture vernaculaire fait partie du biomimétisme, car elle est conçue par l'humain, considéré comme l'être le plus intelligent sur Terre. Il est convaincu que le vernaculaire renferme des solutions qui peuvent nous guider vers une architecture durable. En fusionnant ces solutions avec les principes du biomimétisme, on peut garantir que la conception finale sera véritablement durable.

« I strongly believe that incorporating passive solutions from vernacular architecture into our biomimetic contemporary designs can greatly enhance their sustainability, particularly in terms of the social aspect ».

Ahmed Khoja, Juin 2023.

Selon Ahmed, les deux approches de l'architecture vernaculaire et du biomimétisme partagent des principes communs et reposent sur des concepts similaires. Ces similitudes résident dans la recherche de solutions durables, l'adaptation aux conditions locales, l'optimisation des ressources, et la compréhension des systèmes naturels.

Personnellement, je suis profondément convaincue que cette nouvelle approche combinatoire offre une voie prometteuse vers une architecture véritablement durable, qui respecte non seulement l'environnement, mais aussi les besoins et traditions de ceux qui l'habitent.

Afin de valider et soutenir notre hypothèse, j'ai interrogé plusieurs experts (se référer au questionnaire en annexe 11), notamment des architectes, des designers et des chercheurs...etc. Cela m'a donné l'opportunité de collecter leurs réflexions et retours d'expériences en lien avec l'idée que je propose. Ces entretiens ont pour but de renforcer notre hypothèse en bénéficiant des points de vue et de l'expertise des professionnels du secteur. Egalement, l'objectif primordial de ces entretiens est de situer aussi les perspectives et les réflexions des experts interrogés concernant le rôle du biomimétisme dans l'élaboration de solutions architecturales durables. Nos interviews se sont concentrées sur la durabilité du biomimétisme et sa relation avec divers aspects tels que l'innovation, les approches low-tech, l'utopie et en particulier l'aspect vernaculaire. Les annexes 12 et 13 synthétisent et soulignent les aspects jugés prioritaires par chaque expert.

III.2 Méthodologie proposée (Vers un Vernomimétique...)

Le but de cette étude est d'établir une méthodologie combinatoire au croisement de deux éco-designs (Vernaculaire et biomimétique), destinée principalement aux futurs architectes qui souhaitent concevoir une architecture durable et adaptée au contexte climatique spécifique du lieu d'implantation.

Comme mentionné dans le chapitre précédent, nous avons observé et analysé les solutions d'adaptation thermique et de rafraîchissement naturel au climat chaud présentes dans la faune et la flore locales. L'objectif de cette méthode d'analyse est de proposer des concepts innovants s'appuyant sur l'approche du biomimétisme, qui vise à utiliser les nouvelles technologies pour concevoir des solutions architecturales durables face aux épisodes caniculaires de notre contexte. Pour ce faire, nous avons sélectionné quatre modèles biologiques d'intérêt : le cactus, les termitières, l'homéostasie et le chien de prairie. Par la suite, cette exploration biologique a été complétée par une analyse des techniques thermiques déjà utilisées dans l'architecture vernaculaire locale des différents contextes chauds. Il est important de souligner que les stratégies passives explorées correspondent aux stratégies biologiques des quatre modèles choisis auparavant.

Cette analyse secondaire est essentielle afin de nous montrer comment l'architecture vernaculaire existe dans cette région, fonctionne sur le plan thermique et quels sont les avantages et les inconvénients de ces logiques. Ainsi, en fusionnant ces deux approches, nous pouvons créer des solutions qui sont véritablement complémentaires et qui offrent des avantages en termes de durabilité, d'adaptabilité, de multifonctionnalité et de caractère passif. Ces deux phases d'analyse, l'étude de la nature d'une part, et de l'architecture vernaculaire d'autre part nous permettront de revoir notre approche conceptuelle en matière de conception durable. Il s'agit donc de structurer les connaissances entre la biologie et l'architecture vernaculaire, en identifiant les concepts communs et les phénomènes qui interagissent avec leurs conditions environnementales extrêmes. La figure 25 schématise notre démarche à suivre pour établir cette fusion entre les deux approches (biomimétique et vernaculaire), visant la création d'une conception architecturale hybride. En résumé, cette approche Vernomimétique peut transformer la manière dont nous abordons la durabilité de l'architecture contemporaine. Il s'agit d'un nouveau paradigme qui pourrait nous offrir des solutions inspirées à la fois de la nature et de la réinterprétation des solutions vernaculaires, pour améliorer la durabilité des bâtiments.

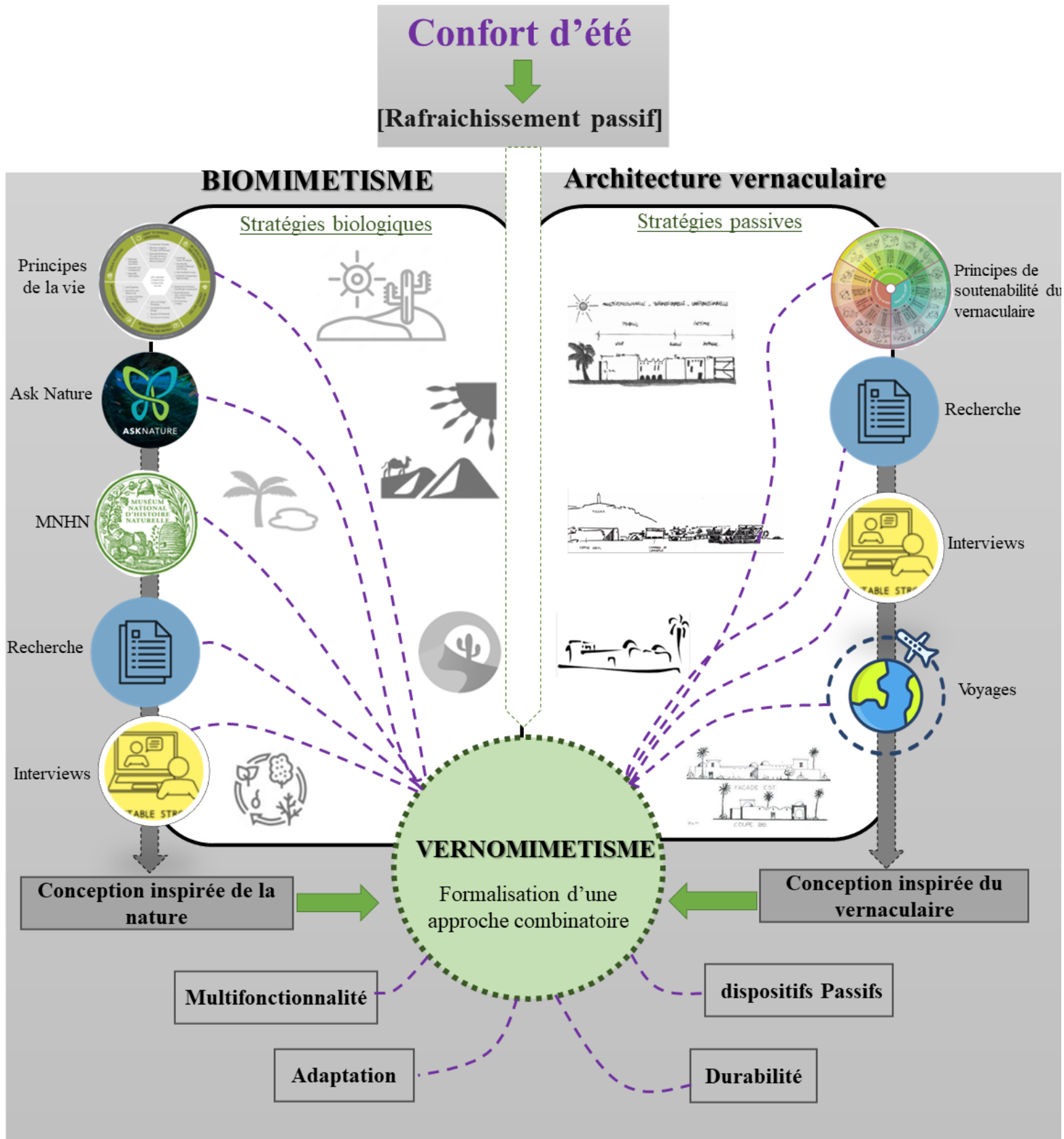


Figure 25: Processus de la méthodologie proposée pour la combinaison de deux approches (biomimétisme & vernaculaire). Source : Auteur, 2023.

Cela signifie qu'au lieu de suivre les méthodologies standard du biomimétisme pour la conception de bâtiments, nous pourrions nous tourner vers l'architecture vernaculaire afin de découvrir d'autres techniques adaptées au contexte. Comme l'intégration au site, l'exploitation des ressources locales, l'ingéniosité des solutions climatiques à moindre coût, en outre ces architectures prennent en compte la dimension culturelle et sociale.

De même, en réinterprétant ces techniques vernaculaires, nous pourrions intégrer dans nos designs contemporains des stratégies qui ont fait leurs preuves pendant des siècles. Il s'agirait de combiner le meilleur de l'ancien et du nouveau, en adaptant les solutions traditionnelles à nos technologies et à nos besoins actuels. Cette approche Vernomimétique pourrait donc non seulement renforcer la durabilité de nos bâtiments, mais aussi approfondir notre compréhension de la conception architecturale contextualisée et de son interaction avec les écosystèmes.

III. Présentation de l'application possible du Vernomimétisme en climat chaud et sec :

L'une des prémisses de cette étude était de vérifier l'applicabilité de la méthodologie proposée dans un site spécifique, raison pour laquelle nous avons choisi un climat chaud comme champ d'étude. En effet, nous avons choisi ce contexte spécifique notamment parce qu'il représente un problème global, l'augmentation des épisodes de canicule due au changement climatique. Après avoir élaboré une méthodologie qui fusionne deux disciplines du design architectural, à savoir le biomimétisme et le vernaculaire, toutes deux visant à améliorer la durabilité de l'architecture tout en respectant les différents paramètres liés au contexte, nous visons désormais à vérifier l'application de cette nouvelle approche Vernomimétique dans un site spécifique.

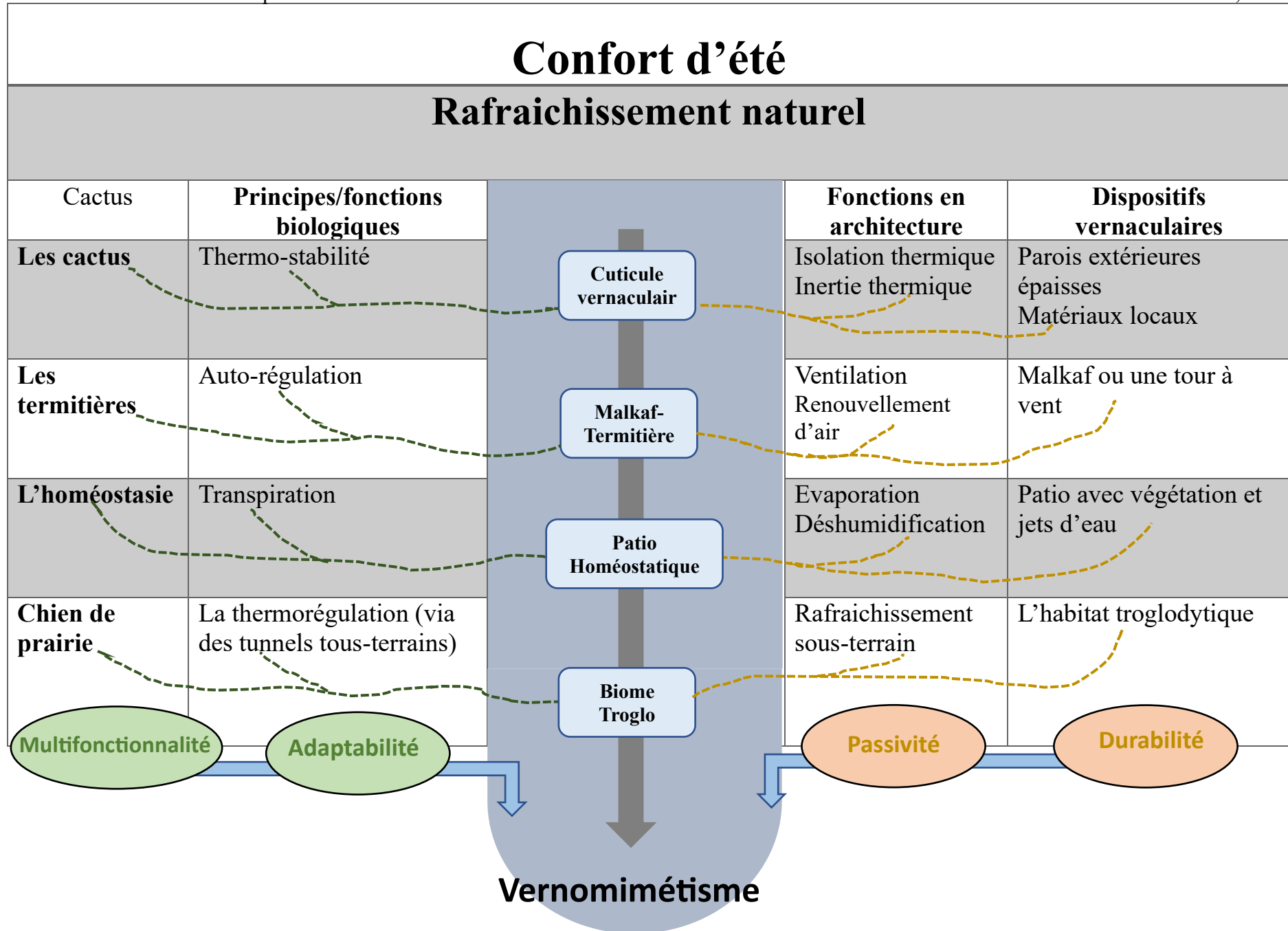
C'est la raison pour laquelle nous avons choisi un climat chaud comme champ d'étude (voir chapitre 2). Ce contexte spécifique a été choisi car il illustre un problème mondial : l'augmentation des épisodes caniculaires due au changement climatique. En effet, l'exploration biologique et vernaculaire que nous avons détaillée dans le chapitre 3 est synthétisée dans le tableau suivant (figure 26).

Ce tableau résume les principales conclusions de nos analyses en associant les stratégies biologiques spécifiques observées dans la faune et la flore locales d'un contexte climatique chaud aux dispositifs vernaculaires correspondants dans ce même contexte.

Il offre ainsi une visualisation claire et concise de l'interconnexion entre le biomimétisme et l'architecture vernaculaire. De manière plus précise, le tableau aborde la question du confort d'été, principalement à travers la perspective du rafraîchissement naturel.

Il illustre comment la synergie des approches biomimétiques et vernaculaires peut conduire à des solutions architecturales Vernomimétiques qui favorisent un rafraîchissement naturel et efficace des espaces habitables.

Figure 26 : « Tableau de synthèse : Concepts Vernomimétiques associant biomimétisme et architecture vernaculaire pour un confort d'été durable ». Source : Auteur, 2023.



A cet effet, à partir du raisonnement affiché dans la figure 26 ci-dessus, nous avons proposé quatre nouvelles stratégies :

- **Stratégie 01 : Cuticule vernaculaire :**

Les cactus sont des plantes parfaitement adaptées à leur environnement chaud et sec, ils offrent un excellent exemple de thermo-stabilité. Ils ont développé des stratégies exceptionnelles pour maintenir leur température interne stable et pour survivre dans des conditions extrêmes.

Dans une optique biomimétique, ces stratégies sont traduites par des principes ou des fonctions biologiques comme la thermorégulation et l'isolation thermique. Elles pourraient être employées dans la conception des enveloppes architecturales pour assurer un confort thermique à l'intérieur du bâtiment, même dans des conditions de canicule.

La combinaison de ces stratégies inspirées du cactus avec des techniques vernaculaires locales, telle que l'utilisation de matériaux locaux qui offrent une excellente inertie thermique (pierre, brique crue en terre mouillée et séchée au soleil, sable argileux, etc.) et l'adoption d'enveloppes extérieures épaisses caractérisées par des murs massifs et une toiture lourde, peut être très pertinente. En effet, la principale source de chaleur en climat chaud et sec est le rayonnement solaire, qui est transmis par les murs et la toiture. C'est pourquoi l'habitat vernaculaire privilégie l'utilisation de matériaux locaux à forte inertie thermique afin d'accumuler la fraîcheur dans les parois durant la nuit et de la restituer pendant la journée. Cette combinaison pourrait donner lieu à des conceptions architecturales Vernomimétiques qui assurent un rafraîchissement naturel de l'espace intérieur. Cela garantit à la fois l'aspect adaptatif et la réaction multifonctionnelle en temps réel de l'enveloppe architecturale grâce aux principes du vivant, tout en assurant la durabilité et la passivité de la solution grâce aux principes low-tech du vernaculaire.

Dans le cadre du siège du Ministère des Affaires Municipales et de l'Agriculture à Doha ⁹⁰, au Qatar, on peut observer un cas exemplaire qui permet de discuter de l'efficacité énergétique en termes d'architecture vernaculaire et de biomimétisme.

L'architecture vernaculaire, généralement caractérisée par des principes de design conformes au climat local et l'usage de techniques de construction traditionnelles et de matériaux locaux, peut être très performante dans certains contextes. Cependant, son application dans un milieu urbain contemporain tel que Doha à Qatar peut rencontrer des obstacles. Par exemple, il est important de noter que les techniques de construction vernaculaires traditionnelles peuvent ne pas être adaptées à l'échelle ou aux exigences fonctionnelles d'un grand bâtiment moderne. De

⁹⁰ <https://www.7sur7.be/ecologie/un-immeuble-en-forme-de-cactus-pour-rester-au-frais-a83935d1/>

plus, les matériaux de construction locaux, souvent utilisés dans l'architecture vernaculaire, peuvent ne pas répondre aux normes modernes en matière de durabilité et de performance énergétique.

Par contre, le biomimétisme présente des opportunités d'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments modernes. Ainsi, dans le cas du siège du Ministère des Affaires Municipales et de l'Agriculture à Doha, une approche biomimétique pourrait consister à utiliser des technologies avancées pour reproduire les stratégies de refroidissement passif employées par certains organismes vivants dans des environnements chauds. Cela pourrait se traduire par l'adoption de techniques innovantes d'ombrage et l'utilisation de matériaux réfléchissant la chaleur solaire.

- **Stratégie 02 : Malkaf Termitière :**

Dans le même esprit de fusion entre le biomimétisme et le vernaculaire, nous pourrions proposer un nouveau concept que nous pourrions appeler « Malkaf Termitière ».

Les termitières sont connues pour leur capacité remarquable à auto-réguler leur température interne. En dépit des variations de température extrêmes à l'extérieur, les termitières maintiennent une température interne stable grâce à un réseau complexe de conduits de ventilation. Ce principe d'auto-régulation thermique est un principe essentiel que nous pourrions tirer du monde vivant.

Comme indiqué dans le chapitre précédent, le Malkaf (ou tour à vent) est une technique vernaculaire utilisée dans l'architecture traditionnelle des régions chaudes pour capter et diriger le vent à l'intérieur des bâtiments pour le rafraîchissement naturel. Ces tours agissent comme des conduits de ventilation naturels et peuvent aider à maintenir un climat intérieur agréable. En combinant ces deux principes, nous pourrions concevoir une structure architecturale qui emprunte le système de ventilation des termitières et le mécanisme de captation de vent du Malkaf.

Par exemple, dans le cas de l'Eastgate Center, l'intégration d'un "Malkaf" pourrait renforcer la distribution de l'air frais dans l'ensemble du bâtiment. Le "Malkaf" aurait la capacité de capter l'air frais durant les heures plus tempérées de la nuit et de le répartir à travers le bâtiment durant la journée. Simultanément, le "Malkaf" pourrait faciliter l'expulsion de l'air chaud qui s'accumule à l'intérieur du bâtiment, contribuant ainsi à une meilleure régulation de la température intérieure.

Stratégies 03 : Patio Homéostatique :

Dans la continuité de cette fusion entre le biomimétisme et le vernaculaire, nous pourrions envisager un nouveau concept que nous nommerions « Patio Homéostatique ».

La peau humaine a une fonction d'homéostasie primordiale, notamment grâce à son mécanisme de transpiration qui permet la régulation thermique de notre corps. Lorsqu'il fait chaud, la peau transpire pour évaporer l'excès de chaleur, permettant ainsi à l'organisme de maintenir une température corporelle stable.

De son côté, le patio est une caractéristique courante de l'architecture vernaculaire dans de nombreuses cultures, surtout dans les régions chaudes. Il sert à la fois d'espace de vie extérieur et de système de ventilation naturelle, créant un microclimat agréable au sein du bâtiment.

En combinant ces deux principes, Le "Patio Homéostatique" se présenterait comme une structure architecturale qui simule le processus d'homéostasie de la transpiration, tout en s'inspirant de la conception vernaculaire du patio. Ce dernier est souvent associé à des fontaines ou à de la végétation pour apporter de la fraîcheur par évaporation de l'eau provenant des fontaines. Ce processus permet de diminuer la température de l'air par évaporation, créant ainsi un environnement plus frais à l'intérieur du patio.

En combinant le rafraîchissement par évaporation inspiré de l'homéostasie et la conception vernaculaire du patio, le « Patio Homéostatique » pourrait fournir une solution passive et durable pour maintenir un confort thermique à l'intérieur des bâtiments dans les régions chaudes.

Le "Patio Homéostatique" se présenterait comme une structure architecturale qui simule le processus d'homéostasie de la transpiration, tout en s'inspirant de la conception vernaculaire du patio. Ce dernier est souvent associé à des fontaines ou à de la végétation pour apporter de la fraîcheur par évaporation de l'eau provenant des fontaines. Ce processus permet de diminuer la température de l'air par évaporation, créant ainsi un environnement plus frais à l'intérieur du patio.

- **Stratégie 04 : Biome-Troglo :**

En conclusion, en continuant dans cette logique de réconciliation entre les éco-dispositifs de l'architecture vernaculaire et les principes biologiques adaptés à un climat chaud, nous pourrions suggérer un quatrième concept Vernomimétique que nous appellerions « Biome Troglo ».

Comme mentionné dans le chapitre précédent, le chien de prairie fait partie de ces espèces qui creusent des terriers souterrains complexes pour se protéger des variations de température à la

surface. Ces terriers maintiennent une température relativement constante tout au long de l'année, offrant ainsi un refuge frais en été et chaud en hiver.

Dans l'architecture vernaculaire, l'habitat troglodytique, comme celui que l'on peut observer en Cappadoce en Turquie ou à Matmata en Tunisie (Figure 24 & 23), tire parti de la capacité des formations rocheuses souterraines à maintenir une température constante. En creusant des habitations dans la roche, les architectes de ces régions ont su tirer parti de cette caractéristique pour créer des habitats naturellement isolés contre les variations de température extérieure.

En combinant ces deux éléments, nous pourrions envisager le concept de « Biome Troglo » . Dans ce scénario, un bâtiment serait conçu sur le modèle du terrier du chien de prairie, avec un complexe souterrain permettant d'atteindre une thermorégulation naturelle, tout en incorporant des techniques de l'architecture troglodytique pour maximiser l'efficacité de ce système.

À mon avis, cela pourrait conduire à la conception d'habitats souterrains innovants, capables de maintenir un confort thermique constant tout au long de l'année tout en minimisant l'impact environnemental, ce qui est notre objectif initial.

Ces stratégies Vernomimétiques, présentés dans le tableau..., s'appuient sur l'idée de puiser à la fois dans la nature (biomimétisme) et les techniques vernaculaires afin de les réinterpréter dans le cadre de l'architecture contemporaine orientée vers la durabilité. Ils ne sont pas uniquement des idées novatrices, mais servent également de recommandations dans le cadre de cette recherche. Cette démarche s'inscrit dans une perspective plus large de soutenabilité, cherchant à concilier performance environnementale et qualité de vie, en intégrant harmonieusement les bâtiments dans leur contexte local et en exploitant les ressources naturelles disponibles de manière efficace et respectueuse.

Ces recommandations suggèrent des nouveaux paradigmes pour penser et concevoir l'architecture, en soulignant l'importance du « Vernomimétisme ».

Discussion :

Ce que nous pouvons déduire de ce tableau, c'est que chaque approche possède ses propres atouts pour améliorer la durabilité. À travers l'approche biomimétique, par exemple, nous pouvons concevoir de nouveaux concepts qui peuvent nous orienter vers la conception d'enveloppes architecturales multifonctionnelles. Ces enveloppes seraient caractérisées par une forte capacité d'adaptation en temps réel, assurant la stabilité des conditions de confort à l'intérieur malgré les variations internes et externes.

Dans le domaine de l'architecture biomimétique, il existe une variété d'enveloppes météorosensitives capables de réagir de façon dynamique aux variations des conditions environnementales pour maintenir un niveau de confort désirable. Cette interaction est rendue possible grâce à l'usage de technologies de pointe et d'outils sophistiqués qui permettent de paramétrer les conceptions biomimétiques météorosensitives à différentes échelles. Le pavillon HygroSkin à Stuttgart, en 2012, en est un exemple pertinent⁹¹.

HygroSkin est un pavillon météo-sensitif composé de 28 panneaux de bois préfabriqués par un robot. Il utilise un matériau composite qui amplifie la réaction du bois à l'humidité, en s'inspirant des principes des écailles de pomme de pin. Lorsque de l'eau pénètre dans les rainures du bois, la distance entre les microfibrilles change, provoquant l'ouverture ou la fermeture des orifices. Ce phénomène, basé sur le comportement hygroscopique du bois, génère un mouvement constant d'absorption et de désorption pour maintenir l'équilibre de l'humidité du pavillon

En ce sens, il est important de mettre en avant l'aspect unique du biomimétisme dans notre méthodologie proposée : il a le potentiel d'introduire des principes de multifonctionnalité et d'adaptation en temps réel. Ces éléments sont fondamentaux pour favoriser un niveau de confort optimal pour les occupants d'un bâtiment. Là réside la particularité que nous pouvons tirer de l'observation du vivant : une capacité à répondre dynamiquement aux variations environnementales, offrant ainsi un confort adapté et continu.

C'est là que le biomimétisme se distingue vraiment et révèle son potentiel innovant par rapport aux autres approches. En tirant les leçons de la nature, il propose de repenser notre manière de concevoir l'architecture. Plutôt que de créer des bâtiments rigides, il suggère de concevoir des structures capables de s'adapter et de répondre aux variations internes et externes. Cette approche s'oppose à la conception architecturale traditionnelle qui tend à traiter les bâtiments comme des entités statiques. Au contraire, le biomimétisme considère l'architecture comme un organisme vivant, capable de réagir et de s'adapter à son environnement pour optimiser le confort et la durabilité. C'est cette capacité d'innovation qui confère au biomimétisme un potentiel unique par rapport aux autres approches existantes.

Tout comme le biomimétisme, l'architecture vernaculaire présente également ses avantages et ses limites dans le cadre de notre méthodologie proposée. Tel qu'illustré dans le tableau de la figure 35., le vernaculaire, nous guide vers la conception de solutions passives et durables, qui

⁹¹ <http://194.199.196.229/So921/?p=1846>

ont fait leurs preuves au fil du temps et qui sont parfaitement adaptées à leur contexte local spécifique.

Cependant, ces solutions tendent à être statiques et à s'adapter sur le long terme, manquant parfois de la flexibilité nécessaire pour répondre en temps réel aux variations internes et externes, un aspect que le biomimétisme est capable de traiter de manière efficace.

Cela dit, le vernaculaire apporte une dimension culturelle et sociale importante qui ne doit pas être négligée. En effet, l'architecture vernaculaire n'est pas seulement le résultat d'une adaptation au climat et aux ressources locales, elle est également le reflet de la culture d'une population. Elle est le produit de l'intelligence collective des habitants locaux, qui, au fil du temps, sont devenus les architectes de leur propre habitat, transmettant leur savoir de génération en génération. Cela a créé un lien fort entre les personnes et leur environnement, renforcé par la satisfaction de leurs besoins en utilisant des ressources locales de manière durable.

Il est donc essentiel d'intégrer ces dimensions culturelles et sociales dans notre approche, car elles constituent une partie intégrante de la durabilité. Il ne s'agit pas seulement de concevoir des bâtiments qui sont efficaces sur le plan énergétique, mais aussi de créer des espaces qui répondent aux besoins et aux aspirations des personnes qui y vivent. C'est dans cette perspective que nos quatre nouveaux concepts (Cuticule Vernaculaire, Malkaf Termitière, Patio Homéostatique et Biome Troglo) cherchent à fusionner le biomimétisme et le vernaculaire, qui combine le meilleur des deux disciplines : l'innovation du biomimétisme et la sagesse du vernaculaire.

Conclusion:

En conclusion, l'étude et l'analyse présentées dans ce mémoire ont permis d'approfondir notre compréhension de l'architecture biomimétique et de l'architecture vernaculaire, deux approches de la conception architecturale qui présentent des potentiels significatifs pour répondre aux défis de la durabilité et du respect de l'environnement local. À travers cette recherche, nous avons constaté qu'il existe un lien fort entre ces deux approches, et qu'elles peuvent être complémentaires dans la création d'une architecture innovante, respectueuse de l'environnement et adaptée aux spécificités locales.

Nous avons aussi constaté que, malgré l'existence de bon nombre de projets architecturaux biomimétiques et vernaculaires de grande qualité, il reste encore beaucoup à faire pour diffuser ces approches auprès des professionnels de l'architecture et pour intégrer ces principes dans les pratiques courantes de conception. Il est également important de continuer à promouvoir la recherche dans ces domaines, afin de développer de nouvelles méthodes et outils de conception inspirés de la nature et du patrimoine vernaculaire.

Enfin, j'aimerais exprimer ma gratitude envers toutes les personnes qui m'ont soutenu et guidé tout au long de cette aventure de recherche. J'espère que ce travail contribuera à enrichir le débat sur l'architecture biomimétique et vernaculaire et à encourager d'autres chercheurs à explorer ces domaines passionnants.

En tant qu'architecte, je suis impatient de mettre en pratique les connaissances et les compétences acquises tout au long de ce parcours, et de continuer à explorer le potentiel du biomimétisme et de l'architecture vernaculaire pour créer des environnements bâtis plus durables et plus harmonieux avec la nature.

L'envie d'adopter une nouvelle perspective dans la pratique du design architectural biomimétique, de considérer la sagesse du savoir-faire ancestral dans le processus de conception biomimétique et d'explorer de nouvelles solutions pour améliorer nos interactions avec les êtres qui nous entourent, a été l'axe de recherche qui m'a guidé tout au long de cette étude. C'est aussi pour ces raisons que j'ai décidé de m'engager sur le chemin du biomimétisme et d'intégrer le master Nature-Inspired Design à l'ENSCI.

Perspectives :

Ce mémoire de recherche, dirigé par Natasha Chayamoor-Heil et co-dirigé par Nazila Hannachi, chercheuses émérites du laboratoire Map-Maacc de l'École d'architecture de la Villette, a conduit à l'élaboration de nouveaux concepts "Vernomimétiques". Ces idées innovantes sont orientées vers l'amélioration de la durabilité et du confort dans l'architecture contemporaine, spécifiquement en réponse aux épisodes caniculaires engendrés par le changement climatique.

Dans la continuité de ces travaux, nous envisageons comme prochaine étape l'approfondissement de ces concepts, leur mise en œuvre et potentiellement la réalisation de prototypes. Cela sera en étroite collaboration avec l'équipe du laboratoire Map-Maacc.

De plus, nous prévoyons de publier un article scientifique pour mettre en lumière les résultats de l'efficacité de ces concepts en termes d'amélioration du comportement thermique des bâtiments situés dans un climat chaud et sec. L'objectif étant non seulement de diffuser ces idées, mais également d'encourager de nouvelles recherches et débats à l'intersection du biomimétisme et de l'architecture vernaculaire.

Annexes

Annexe 01 :

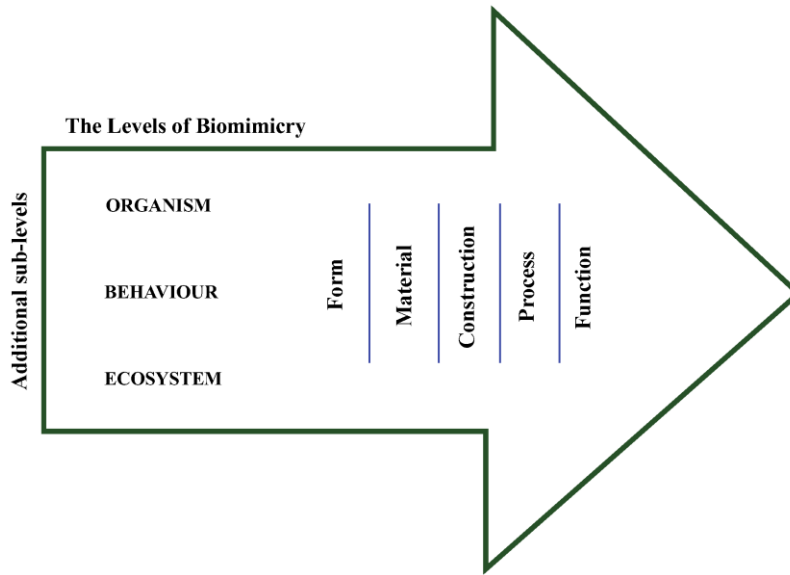


Figure 05 : Trois niveaux principaux et cinq sous-niveaux de biomimétisme pour la conception architecturale. Source : Chayamoor 2023 (inspiré de Maibritt Pedersen Zari).

Annexe 02 :



Annexe 05 :

Principes	considérations
Préserver l'énergie	Une structure doit être construite de telle manière que le besoin construire au minimum aux énergies fossiles...
Conformité au climat	Les structures doivent être conçues de manière à respecter le climat et les ressources énergétiques existant sur le chantier et fonctionner avec lui.
Diminution de l'utilisation de nouvelles ressources matérielles	Les bâtiments doivent être conçus de manière à réduire le plus possible le taux d'utilisation de nouvelles ressources et à la fin de la durée de vie du bâtiment, il peut être utilisé comme nouvelle ressource pour construire une nouvelle structure.
Satisfaire les besoins des résidents	Dans l'architecture durable, la satisfaction des besoins physiques et mentaux des résidents est d'une importance considérable.
Conforme au site	La structure doit être correctement placée dans son emplacement et elle doit être conforme à la zone environnante.
Holisticisme	Tous les principes de l'architecture durable doivent être actualisés dans un processus complet qui aboutit à la création d'un environnement sain. Le but de l'architecture durable est de créer un équilibre durable et organisé entre la nature, les créatures vivantes et l'environnement bâti et, ce faisant, tout le processus d'architecture, c'est-à-dire penser et étudier, concevoir et construire, utiliser et détruire le bâtiment est pris en compte.

Source : Azadi et Haghghatbin, 2016.

Tableau : Les principes durables à mettre en application par les spécialistes du bâtiment pour une construction durable.

Annexe 06 :

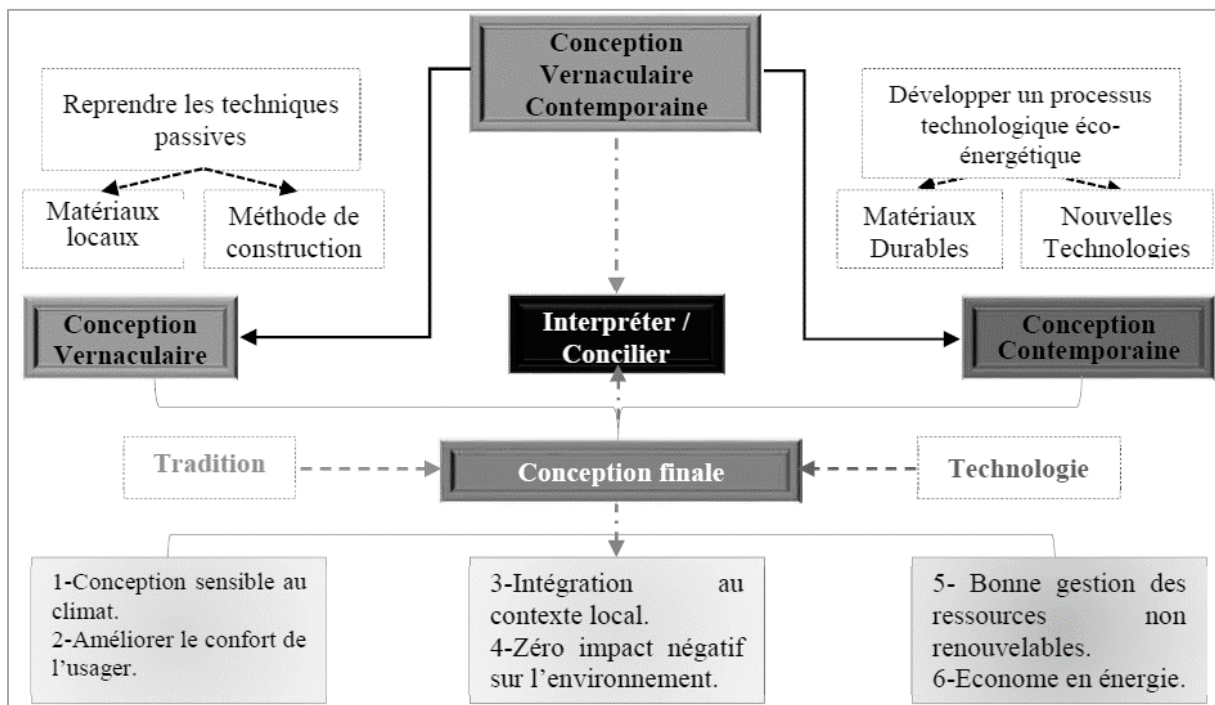
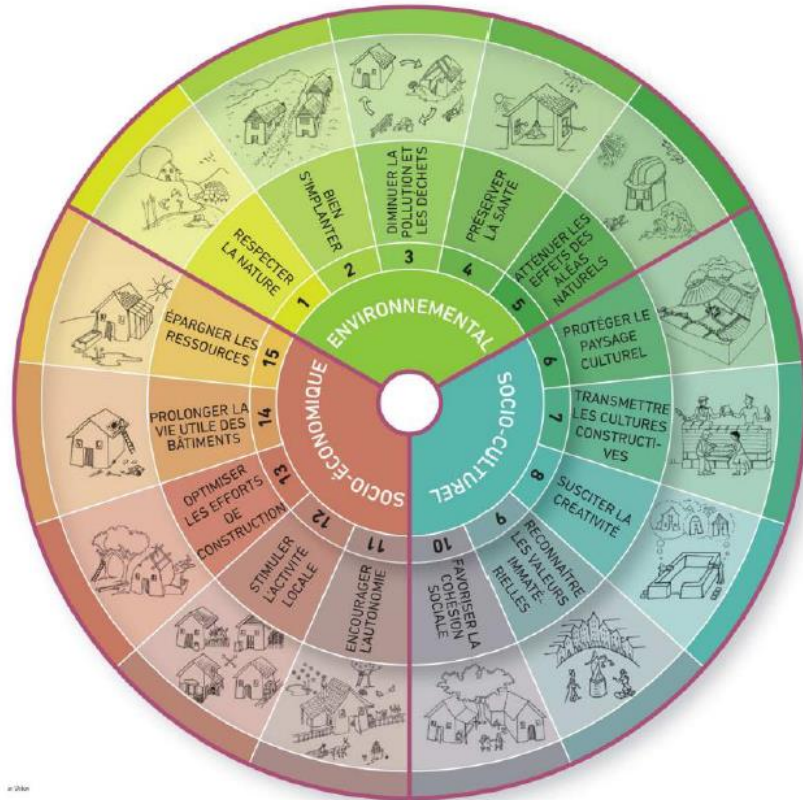


Schéma explicatif du processus suggéré pour la réalisation d'une conception vernaculaire contemporaine à travers le monde. Source : Kersenna, 2017.

Annexe 07 :



Outils opérationnels du projet versus, roue de la soutenabilité et grille d'analyse.

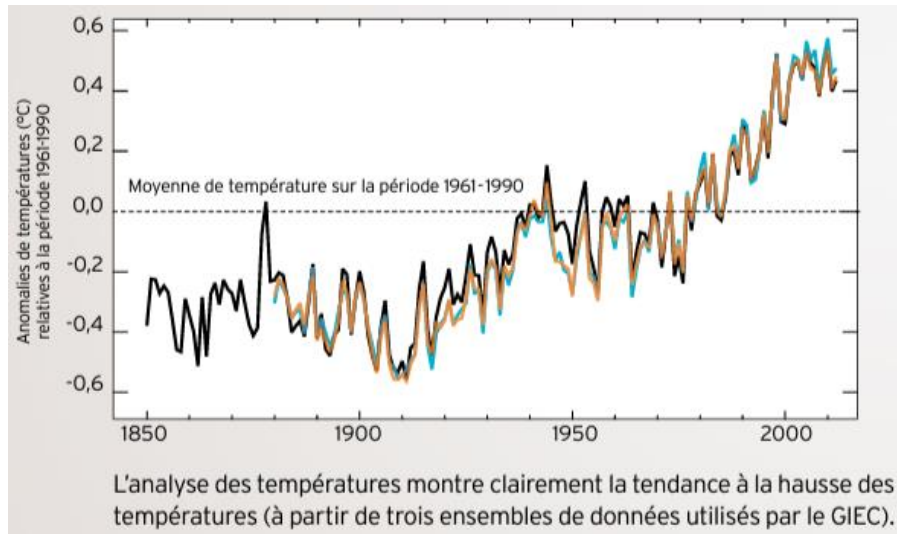
Source : Yohan Hoang Tho, 2014.



Principes de la vie, - DesignLens du biomimétisme.

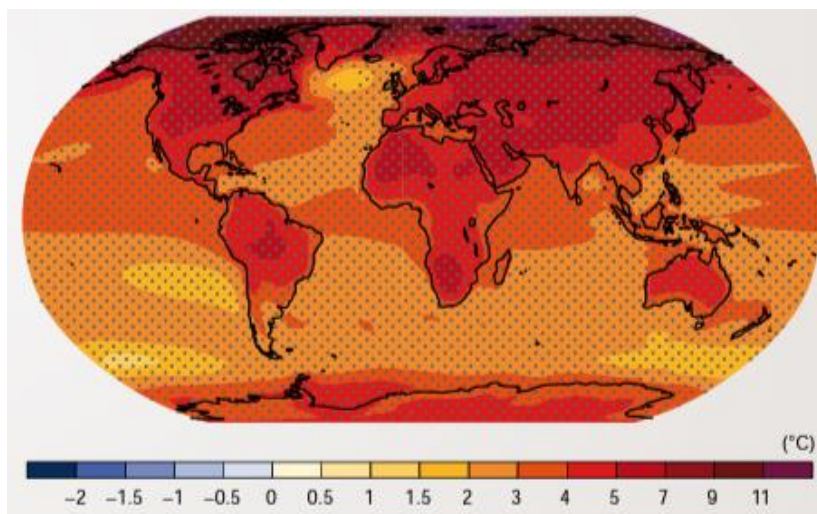
Source : Biomimicry 3.8, 2015.

Annexe 08 :



Anomalies observés des températures moyennes annuelles (1850-2012).

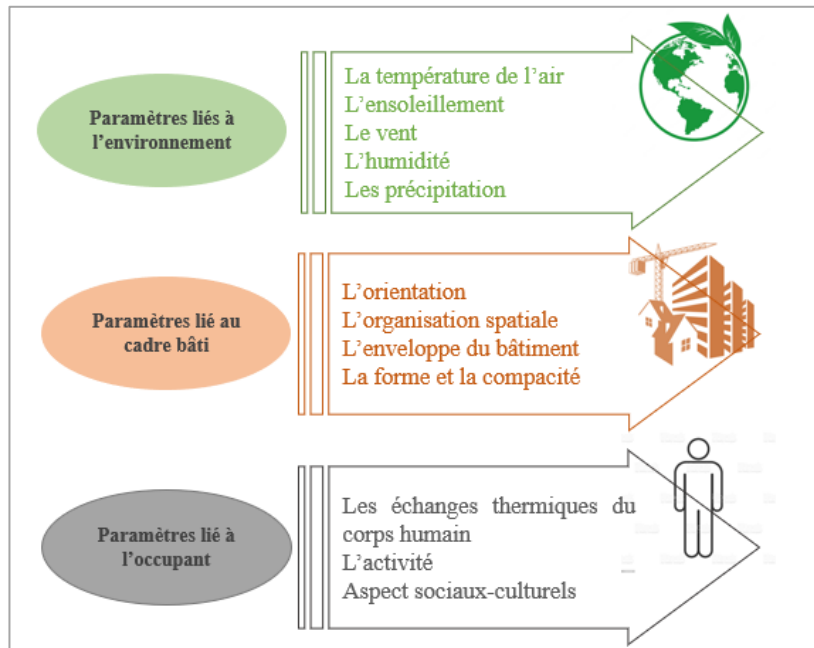
Source : GIEC, 2015.



Evolution des températures à la fin du XX éme siècle.

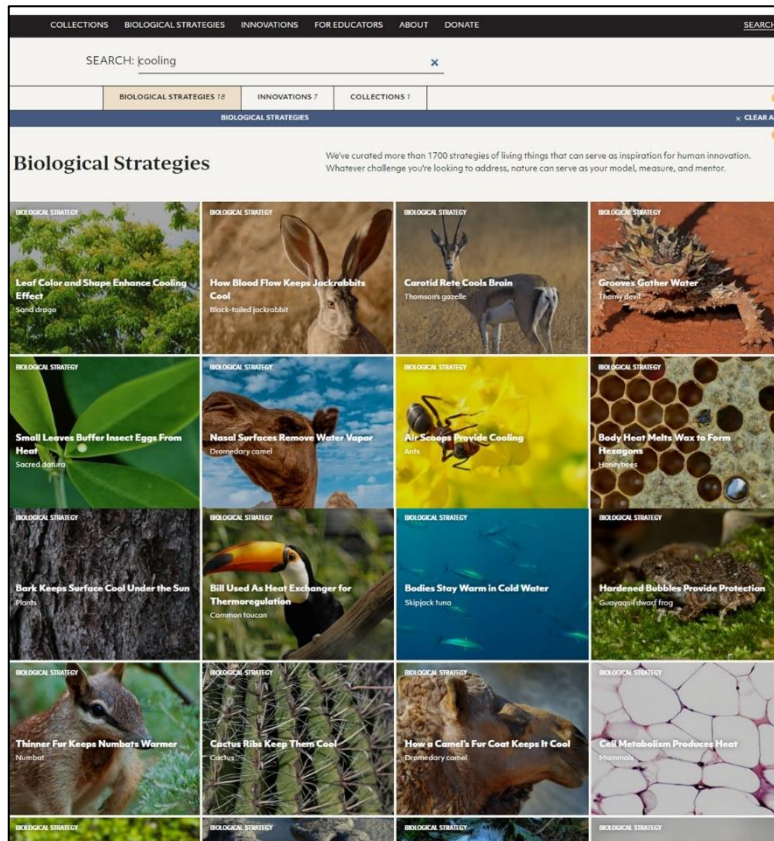
Source : GIEC, 2015

Annexe 09 :



Paramètres influant le confort thermique. Source : Auteur, 2023.

Annexe 10 :



Ask Nature . Source : Biomimicry Institute

Annexe 11

Questionnaire Mémoire :

Cher expert en design, architecture et biomimétisme,

Je suis actuellement en train de rédiger mon mémoire du master NID à l'ENSCI Les ateliers, et j'aimerais recueillir votre expertise sur la durabilité de l'architecture biomimétique et la viabilité de la production biomimétique actuelle. De plus, j'aimerais également explorer si l'architecture vernaculaire, reconnue pour sa durabilité, pourrait être une alternative pour compenser les éventuelles limites de l'architecture biomimétique en termes de durabilité.

Chers experts en design, architecture et biomimétisme,

Je suis actuellement en train de rédiger mon mémoire du master NID (Nature Inspired Design) à l'ENSCI Les Ateliers (<https://formation-continue.ensci.com/developpement-durable/nature-inspired-design>) , et j'aimerais recueillir votre expertise sur la durabilité du design architectural biomimétique et la viabilité de la production biomimétique actuelle en termes de durabilité. De plus, j'aimerais également explorer si l'architecture vernaculaire, reconnue pour sa durabilité, pourrait être une alternative pour compenser les éventuelles limites de l'architecture biomimétique en termes de durabilité.

Je vous serais reconnaissant de bien vouloir répondre à ce questionnaire afin d'enrichir ma recherche :

Informations générales :

Nom de l'expert :

Poste/Profession :

Expérience dans le domaine de l'architecture et du design :

Expérience en biomimétisme :

Entreprise/Institution :

Adresse e-mail :

I. La durabilité de l'architecture biomimétique :

1. En quelques mots, comment définissez-vous le biomimétisme ?
2. Et, comment définissez-vous l'architecture biomimétique ?
3. Comment définiriez-vous la durabilité en architecture ?
4. Quelle est, selon vous, l'importance de la durabilité dans l'architecture biomimétique ?
5. Comment évaluer vous la durabilité de l'architecture biomimétique actuelle ?
6. Dans l'ensemble, considérez-vous que l'architecture biomimétique d'aujourd'hui répond aux exigences de durabilité ? Pourquoi ou pourquoi pas ?
7. Quels sont les limites auxquels l'architecture biomimétique peut être confronté en terme de durabilité ?
8. Quelles initiatives ou changements recommanderiez-vous pour améliorer la durabilité de l'architecture biomimétique ?

III. Potentiel de l'architecture vernaculaire:

1. Avez-vous des expériences ou des connaissances sur l'architecture vernaculaire ? Si oui, comment voyez-vous son rôle en termes de durabilité ?
2. Quels sont, selon vous, les principaux atouts de l'architecture vernaculaire en termes de durabilité ?
3. Pensez-vous que l'architecture vernaculaire, qui est souvent considérée comme durable, pourrait être une alternative viable à l'architecture biomimétique en terme de durabilité ?
4. Quelles sont les limites ou les défis auxquels l'architecture vernaculaire peut être confrontée lorsqu'il s'agit de répondre aux besoins actuels en matière de construction durable ?

Annexe 12 :

● Interview 2 : Architecte Biomiméticien « Olivier Bocquet »

Olivier Bocquet est un architecte spécialisé dans le biomimétisme. Depuis 2013, il occupe le poste de responsable du Tangram Lab, le laboratoire de Recherche & Innovation de Tangram Architectes. Dans ses travaux, il s'inspire du génie de la nature comme source d'inspiration pour la conception architecturale. Il a réalisé un projet notable qui repose sur la démarche du biomimétisme, ce projet est nommé : le pôle d'excellence en biomimétisme marin ⁹².

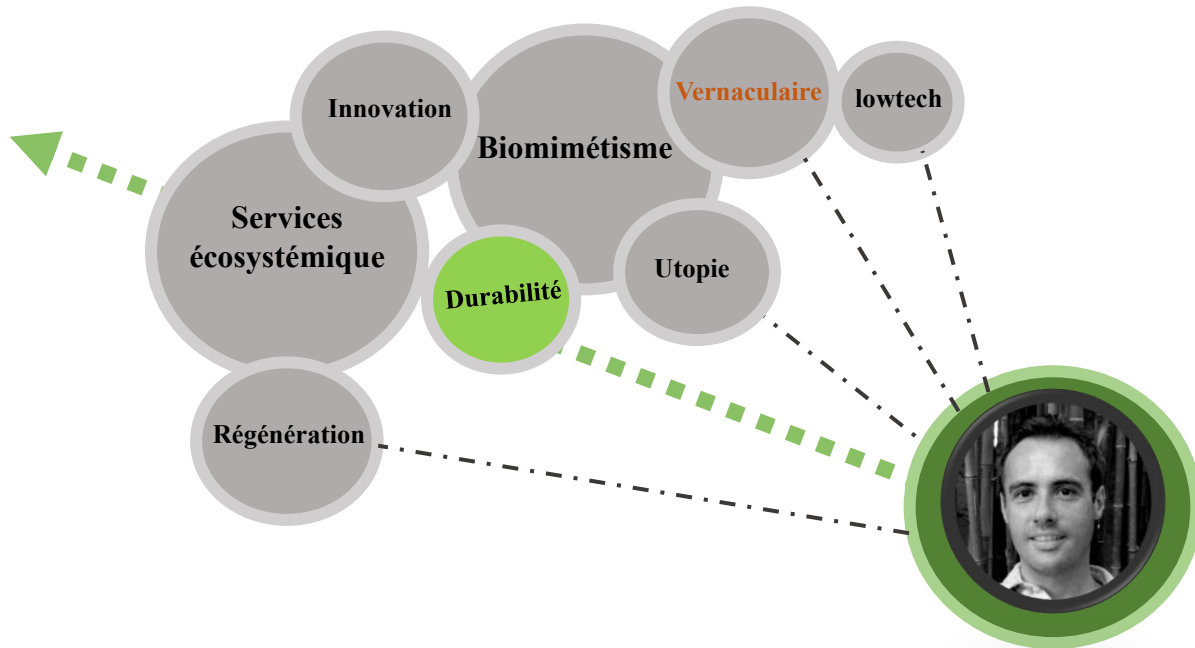


Figure 32 : Le témoignage d'Olivier Bocquet : Retour sur son expérience.

Source :Auteur, interview juin, 2023.

Dans son interview (juin 2023), Olivier Bocquet, a abordé plusieurs points clés :

« Je suis d'accord qu'il existe des freins liés à la complexité technologique du biomimétisme et aux difficultés d'application. Ces défis soulignent le fait que le biomimétisme n'a pas encore atteint sa pleine maturité ».

Olivier Bocquet, juin 2023.

En ce qui concerne la durabilité, il a souligné que le biomimétisme est fondamentalement durable, dépassant la simple durabilité pour cibler les services écosystémiques et la

⁹² <https://www.nobatek.inef4.com/references/pole-excellence-biomimetisme-marin/>

régénération. Cependant, il a noté que nous manquons encore d'outils pour évaluer la durabilité de manière objective et complète, et que la durabilité reste souvent limitée à de simples promesses.

Concernant les limites et contraintes, Bocquet a reconnu que la complexité technologique du biomimétisme et les défis d'application sont des obstacles qui empêchent le biomimétisme d'atteindre sa pleine maturité. Il a également mentionné que la durabilité n'est pas souvent exigée dans les spécifications des appels d'offres pour les projets actuels. Sur le plan de l'innovation, il a souligné que l'application du biomimétisme en architecture représente une source majeure d'innovation, en incitant à la recherche de nouvelles solutions.

« Le vernaculaire fait partie intégrante du biomimétisme, car l'architecture biomimétique exprime l'intelligence accumulée de l'humanité au fil du temps, en s'inspirant des solutions durables et adaptées présentes dans la nature et dans les pratiques traditionnelles ».

En ce qui concerne l'aspect vernaculaire, Bocquet a expliqué que l'architecture biomimétique incorpore les principes du vernaculaire et du bioclimatisme. Il a souligné que l'architecture vernaculaire, qui utilise les ressources locales disponibles, correspond à l'un des principes du biomimétisme. Enfin, en ce qui concerne l'utopie, Bocquet a affirmé qu'elle est une composante réelle et nécessaire pour se projeter vers un avenir souhaitable, alimentant l'imaginaire et la science en permettant l'exploration de nouvelles idées.

« Le vernaculaire fait partie intégrante du biomimétisme, car l'architecture biomimétique exprime l'intelligence accumulée de l'humanité au fil du temps, en s'inspirant des solutions durables et adaptées présentes dans la nature et dans les pratiques traditionnelles ».

Olivier Bocquet, juin 2023.

Annexe 13

• Interview 3 : Designer vernaculiste « Clément Gaillard » :

Dans notre deuxième interview (juin, 2023), nous avons discuté avec Clément Gaillard, un architecte-designer ayant écrit une thèse sur la conception bioclimatique.

« Il faut commencer par le vernaculaire et le biomimétisme vient ensuite ».

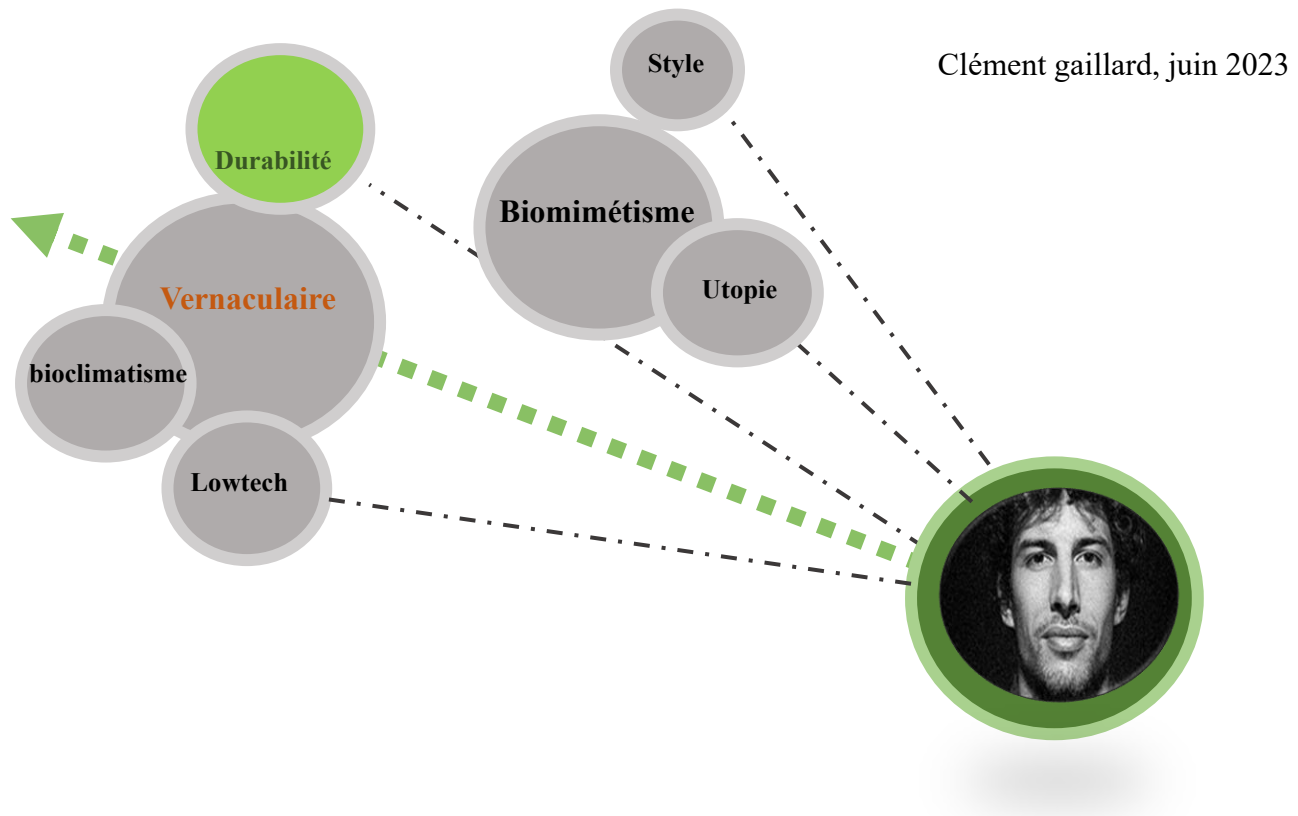


Figure 33 : Le témoignage de Clément Gaillard : Retour sur son expérience.

Source :Auteur, interview juin, 2023.

Selon Gaillard, une architecture durable est celle qui est écologique et tient compte des paramètres climatiques dans son processus de conception. Il s'oppose cependant au biomimétisme, qu'il voit plus comme une image de marque et un concept non applicable à l'architecture. Il a cité comme exemple les projets biomimétiques de Vincent Callebaut, soulignant la complexité des résultats de cette approche.

Gaillard a également critiqué l'architecture exposée lors de l'exposition « La Fabrique du Vivant », en particulier les modules de façades avec des algues, qu'il a jugés trop imaginaires. Pour Gaillard, la clé d'une architecture performante réside dans la pensée vernaculaire. Le biomimétisme, selon lui, vient ensuite, agissant davantage comme un style qui imite la nature.

Références bibliographiques :

Ouvrages :

- Pierre Frey, (2010) ; « Learning from vernacular : pour une nouvelle architecture vernaculaire », ACTES SUD.
- Patrick Bouchain (2017), « Histoire de construire » , ACTES SUD.
- Phillipe Rahm (2017), « Histoire de construire » Actes sud
- Phillipe Rahm (2020), « Histoire Naturelle de l'architecture, Comment le climat, les épidémies et l'énergie ont façonné la ville et les batilments » Editions du pavillon de l'arsenal
- Phillipe Rahm , (2009) « Architecture météorologique » Archibooks (7 mai 2009).
- Benyus, J. M. (1997). Biomimicry: Innovation inspired by nature. HarperCollins Books
- Michael Pawlyn, (2011) « Biomimicry in Architecture», 2nd edn. RIBA Publishing.
- Jean-Paul Loubes “Archi Troglo”, Editions Parenthèses, 1984, 128 pages.
- Petra Gruber, *Biomimetics in Architecture : Architecture of Life and Buildings*, Springer-Verlag/Wien, 2011.

Thèses :

- Edith Hallauer (2017), « Du vernaculaire à la déprise d'œuvre : urbanisme, architecture , design » thèse dirigée par Thery Paquot, Université Paris Sud.
- Elghawaby, M. (2013). Vers un confort thermique grâce à de nouveaux concepts d'enveloppes de bâtiments, inspirés de la nature: le mur respirant comme un exemple biomimétique approprié aux bâtiments en zones chaudes. PhD thesis, Aix-Marseille university Fecheyr-Lippens, D., & Bhiwapurkar, P. (2017).
- Mohammed hichem benzaama (2017) « etude du confort thermique dans l'habitat par des procedes geo-heliothermiques », thèse dirigée par m. abderrahmane mokhtari professeur, université des sciences et technologie, Oran .
- Allard, O. (2012). Comment les entreprises peuvent-elles intégrer le biomimétisme dans leur stratégie d'innovation. Biomimicry Europa: Paris, France.
- Lidia Badarnah Kadri, *Towards the Living envelope : Biomimetics for building envelope adaptation*, Ph.D. Thesis, Israel Institute of Technology, 5 Novembre 2012.
- Alexander FEDERAU, (2016), « Philosophie de l'Anthropocène : Interprétations et épistémologie », Sous la direction de Dominique BOURG, Professeur à l'Université de Lausanne. LAUSANNE et DIJON.
- Estelle Cruz, (2021)“Multi-criteria characterization of biological interfaces: towards the development of multi-functional biomimetic building envelopes”.
- Eduardo Blanco, “producing benefits for nature and society: an urban de- sign framework based on ecosystem-level biomimicry and regenerative design”. biodiversity and ecology. muséum nationald'histoire naturelle, 2022.

- Eliot Graeff (2020), « *Innovation bio-inspirée : Modélisation d'un processus interdisciplinaire de conception biomimétique outillé et intégration d'un nouvel acteur, le Biomiméticien* ». École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers.
- Clément Gaillard. Moduler le climat : genèse, développement et significations de la conception bio- climatique en architecture (1947-1986). Géographie. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2022. Français. NNT : 2022PA01H040. tel-03881721

Articles scientifique :

- ASHRAE A (2010) Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy Badarnah, L. (2017).
- Form follows environment: Biomimetic approaches to building envelope design for environmental adaptation. Buildings, 7, 40. Battandier, J. A., Trabut, L., & Petit, P. C. M. (1888).
- Biology and architecture: An ongoing hybridization of scientific knowledge and design practice by six architectural offices in France. Frontiers of Architectural Research, 10(2), 240–262. de Dear, R.J., & Brager, G.S. (2002).
- Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE standard 55. Energy and Buildings 34(6):549 – 561, special Issue on Thermal Comfort Standards
- Applying biomimicry to design building envelopes that lower energy consumption in a hot-humid climate. Architectural Science Review, 60(5), 360–370. Gargava, A., Arya, C., & Raghavan, S. (2016).
- Biologically inspired design: Process and products. Design Studies, 30(5), 606–622. Holstov, A., Farmer, G., & Bridgens, B. (2017).
- Effect of different building envelope materials on thermal comfort and air-conditioning energy savings: A case study in Basra city, Iraq. Journal of Energy Storage, 34, 101975. Jarvis, P. G., & Mansfeld, T. A. (1981).
- Sustainability in environmental education: New strategic thinking. Environment, Development and Sustainability, 17(5), 987–1002.
- Architecture climatique: une contribution au développement durable. Édisud Lechner, N. (2014). Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects. Wiley. Li, Q., Guan, X., Wu, P., Wang, X., Zhou, L., Tong, Y., Ren, R., Leung, K.S., Lau, E.H., & Wong, J.Y., et al., (2020).
- Active materials for adaptive architectural envelopes based on plant adaptation principles. Journal of Facade Design and Engineering, 3(1), 27–38. Mazzoleni, I. (2013).
- Architecture follows nature-biomimetic principles for innovative design (Vol. 2). CRC Press. Moriyama, M., Hugentobler, W. J., & Iwasaki, A. (2020).
- Perez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings, 40(3), 394–398.
- Pickard, W. F. (1981). How does the shape of the substomatal chamber affect transpirational water loss? Mathematical Biosciences, 56(1–2), 111–127.
- Biomimicry: nature's design process versus the designer's process. In: Design and Nature 2010, WIT Transactions on Ecology and the Environment, vol 138, pp 559–570 Sacht, H., & Lukiantchuki, M. A. (2017). Windows size and the performance of natural ventilation. Procedia Engineering, 196, 972–979. San Ha, N., & Lu, G. (2020).

- Adaptive building envelopes of multistory buildings as an example of high performance building skins. *Alexandria Engineering Journal*, 58(1), 345–352. Song, K., Yeom, E., Seo, S. J., Kim, K., Kim, H., Lim, J. H., & Lee, S. J. (2015). Journey of water in pine cones. *Scientific Reports*, 5(1), 1–8. Véla, E., & Benhouhou, S. (2007).
- Assessment of a new hotspot for plant biodiversity in the mediterranean basin (North Africa). *Comptes Rendus Biologies*, 330(8), 589–605.
- Biomimicry Guild, *Innovation Inspired by Nature Work Book*, Biomimicry Guild, 2007.
- Estelle Cruz, *World Tour of Biomimicry : Research project in architecture and civil engineering*, 2016.
- Gould, J. L., & Gould, C. G. (2012). *Animal architects: building and the evolution of intelligence*. Basic Books.
- Sim Van der Ryn, *Design for life : The Architecture of Sim Van der Ryn*, 2005, Hardcover .
- Arosha Gamage a & Richard Hyde, A model based on Biomimicry to enhance ecologically sus- tainable design Faculty of Architecture, Design and Planning University of Sydney , NSW , 2006 , Australia, 15 Aug 2012.
- Biomimicry in climate adaptive building skins: relevance of applying principles and strategies. conference paper, may 2015, Mario Fernández Cadenas, Universidad Politécnica de Madrid.
- Luc SCHUITEN : Archiborescence, ENSA Lyon SIAM, octobre 2009, conférence en ligne, 1h38min.
- Göran Pohl et Werner Nachtigall, *Biomimetics for architecture and design : Nature → Analogies Technology*, Switzerland, Springer, 2015.
- Ilaria Mazzoleni, *Architecture Follows Nature-Biomimetic Principles for Innovative Design*, USA, CRC Press, 2013.
- Julian Vincent, « Biomimetics : its practice and theory », *Journal of the Royal Society Interface*, 18 avril 2006, 3, pp. 471-482.
- Lidia Badarnah Kadri, « Form Follows Environment : Biomimetic Approaches to Building Envelope Design for Environmental Adaptation », *Building Journal*, vol. 7, n° 1, 12 mai 2017, MDPI
- AG.
- Maibritt Pedersen Zari, « Biomimetic Approaches to Architectural Design for Increased Sustainability », Sustainable Building Conference, Auckland, 2007, [en ligne] <http://www.cmnzl.co.nz/assets/sm/2256/61/033-PEDERSENZARI.pdf>, page consultée le 10 janvier 2017
- Natasha Chayaamor-Heil et Nazila Hannachi-Belkadi, « Towards a Platform of Investigative Tools for Biomimicry as a New Approach for Energy-Efficient Building Design », *Building Journal*, vol. 7, n° 1, 6 mars 2017, Basel, MDPI AG.
- Nazila Hannachi-Belkadi, *Développement d'une méthodologie d'assistance au commissionnement des bâtiments à faible consommation d'énergie*, thèse de doctorat de l'Université Paris-Est, juillet 2008
- Nils Levillain et Killian Thebaud, « Le biomimétisme au sujet de l'architecture durable », TPE,
- Lycée Ambroise Croizat, 2016.

- Patricia Ricard, *Le biomimétisme : s'inspirer de la nature pour innover durablement*, Les projet d'avis du Conseil économique, social et environnemental (CESE), Paris, septembre 2015, [en ligne] http://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Rapports/2015/2015_23_biomimetisme.pdf, page consultée le 3 mars, 2017.
- Petra Gruber, *The signs of life in architecture*, Bioinspiration & Biomimetics, 2008.
- Pierre-Emmanuel Fayemi *et al.* (coord.), *Biomimetics and its tool*, ice publishing, *Bioinspired*,
- *Biomimetic and Nanobiomaterials*, UK, ice publishing, décembre 2016.
- Werner Nachtigall, *Bau-Bionik : Natur ← Analogien → Technik*, Berlin, Springer/Auflage, 2003.
- Werner Nachtigall, *Bionik als Wissenschaft : Erkennen-Abstrahieren-Umsetzen*, Berlin, Springer/ Auflage, 2010.
- Natasha Chayaamor-Heil et Nazila Hannachi-Belkadi, « Towards a Platform of Investigative Tools for Biomimicry as a New Approach for Energy-Efficient Building Design », *Building Journal*, vol.7,issue 1, 6 mars 2017, Switzerland, MDPI AG, Basel.
- Natasha Chayaamor-Heil, François Guéna et Nazila Hannachi-Belkadi, « Biomimétisme en architecture. État, méthodes et outils », *Les Cahiers de la recherche architecturale urbaine et paysagère*
- Elmeligy, D.A. (2016). *Biomimicry for ecologically sustainable design in architecture: A proposed methodological study*.
- Valérie Desormeaux ,(2020) « outil d'analyse de la durabilité de la démarche de conception biomimétique basée sur la norme iso 18458 » Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maîtrise en environnement (M. Env.). Sous la direction de Philippe Terrier.
- L. Vitalis and N. Chayaamor-Heil, Forcing biological sciences into architectural design: On conceptual confusions in the field of biomimetic architecture, *Frontiers of Architectural Research*, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.10.001>.
- Yankel Fijalkow, « Léa Mosconi, *Émergence du récit écologiste dans le milieu de l'architecture.1989-2015 :de la réglementation à la thèse de l'anthropocène* », *Les Cahiers de la recherche architecturale urbaine et paysagère*
- Gilles Boeuf, (2014) " Biomimétisme et bio-inspiration" dans *vraiment durable* 2014/1 p: 432
- Plemenka Supic "L'aspect bioclimatique de l'architecture vernaculaire". département d'architecture Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne C.P.555, CH-1001 Lausanne Suisse.
- Morgan Almansa, (2011), « Patio: « Entre réalités climatiques et usages différenciés. Architecture, aménagement de l'espace. 2011. dumas-01807176.
- Yohann Hoang tho Ensag/mai 2014 LOCONS DU VERNACULAIRE AU SERVICE D'UNE ARCHITECTURE SOUTENABLE " Master architecture & cultures constructives.
- Elsa Frangeard. Architecture(s) vernaculaire(s), pensées, pratiques, politiques : étude d'une théorisation et étude de cas d'une ville, Addis-Abeba, Éthiopie. Architecture, aménagement de l'espace. 2020. dumas-03132733
- Benyoucef Y., Suslova O. Typology and Architectural Features of Traditional Dwellings in

- the Great Sahara (Case of Patio and Underground Houses). Architecture and Modern Information
- Kersenna S, Chaouche S, Bencherif M. Evaluation environmental strategies in a semi-arid region : case of the 50 duplex dwellings of the El Miniawy brothers in M'Sila. J. Fundam. Appl. Sci., 2021, 13(1), 107-136.
- Marjan Arbabzadeh & al, (2017), Biomimetic and vernacular building design in connection with environment.
- Fabien ROUAULT (2014), « Système intégré de rafraîchissement d'air pour le bâtiment à base de matériaux à changement de phase ». École doctorale n° 432 : Sciences des Métiers de l'Ingénieur. Doctorat ParisTech
- Alexandroff G., Alexandroff J.-M. (1982), *Architectures et climats. Soleil et Energies naturelles dans l'habitat*, Paris, Berger-Levrault (Architectures), p. 7.
- Clément gaillard, (2020) « l'approche énergétique de l'architecture vernaculaire : genèse et développement » <https://doi.org/10.4000/socio-anthropologie.7372>
- ferran yusta garcia.(2018) « la méthode des saisons climatiques : stratégie passive de conception architecturale de bâtiments basse consommation énergétique en climat très chaud ». mécanique [physics.medph]. université de bordeaux.
- Ahmed khoja & sahl waheeb, 2020 « vernomimicry: bridging the gap between nature and sustainable architecture” [journal of sustainable development](https://doi.org/10.1007/s10668-021-01887-y).
- Mead, t., & jeanrenaud, s. (2017). the elephant in the room: biomimetics and sustainability?. bioinspired, biomimetic and nanobiomaterials.
- Freya mathews est une philosophe australienne et une écologiste spécialisée en philosophie environnementale. https://fr.wikipedia.org/wiki/freya_mathews
- kawshik saha (2021), “a study of vernacular architecture and settlement of diasporic ‘manipuri’ community in bangladesh.” doi:10.20944/preprints202101.0243.v1
- Mariana correa & al, (2014) “versus - vernacular heritage contribution to sustainable architecture” *taylor & francis group, london, isbn 978-1-138-00083-4*
- Saida TERA A & Bencherif (2021) “From hygrothermal adaptation of endemic plants to meteorosensitive biomimetic architecture: case of Mediterranean biodiversity hotspot in Northeastern Algeria” Springer, Environment, Development and Sustainability (2022) 24:10876–10901 <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01887-y>

