

Université de Montréal

Méthodologie du biomimétisme
*Une approche évolutionniste dans une perspective
de durabilité*

Par
Félix Favreau-Vachon

Faculté de l'Aménagement

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de
Maitre des sciences appliquées en Aménagement,
Option Design et Complexité

Juin 2023

© Félix Favreau-Vachon, 2023

Université de Montréal

Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé

Méthodologie du biomimétisme

Une approche évolutionniste dans une perspective de durabilité

Présenté par

Félix Favreau-Vachon

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes

Anne Marchand

Président-rapporteur

Pierre De Coninck

Directeur de recherche

Virginie Tessier

Membre du jury

Résumé

Le biomimétisme est une approche de design grandissante et perçue comme prometteuse en termes d'innovation et de résolution de problèmes. Elle est considérée comme une stratégie de développement possédant un vaste potentiel en respect des perspectives de durabilité. Des études récentes démontrent cependant une situation contradictoire. La pratique biomimétique est qualifiée comme technocentriste et bio-exclusive. Cette situation est symptomatique d'une discontinuité entre les programmes de la durabilité et de la biomimétique. Le déploiement de la typologie de Nigel Cross comme outil conceptuel permet d'analyser le contexte méthodologique du biomimétisme d'une manière révélatrice : l'étude biologique du design nécessite d'être formalisée sous la bannière du biomimétisme.

Pour y parvenir, un examen de littérature sur l'application du cadre darwinien, génétique et des méthodes de classification sur la culture matérielle est réalisé. Cet examen méthodologique permet d'introduire les mécanismes d'évolution à la théorie du design comme les mécanismes de conception de l'objet de design, soit comme un modèle ontogénique cohérent et formalisé. L'examen procède aussi à l'analyse de l'usage des méthodes de classification du règne artificiel et permet de formuler un modèle ontologique des objets de design. Ensemble ces modèles ontogéniques et ontologiques constituent un modèle descriptif complémentaire de microévolution et de macroévolution.

Finalement le besoin d'un modèle de durabilité est abordé. Basé sur les modèles descriptifs précédents, le principe biologique d'adaptation est proposé comme modèle de durabilité à caractère évolutionniste pour la pratique biomimétique.

Mots-clés : Méthodologie, biomimétisme, évolution, darwinisme, mémétique, classification, adaptation, durabilité.

Abstract

Biomimicry is a growing design approach perceived as promising in terms of innovation and problem solving. It is considered a development strategy possessing a vast potential regarding durability prospects. Nevertheless, recent studies report a contradictory situation.

Biomimicry is described as techno centrist and bio-exclusive. This situation is symptomatic of a discontinuity between the biomimicry and the durability programs. The implementation of Nigel Cross's typology as a conceptual device enables us to analyze the methodological context of biomimicry in an insightful manner: the biological study of design remains to be formalized under the biomimicry umbrella.

To achieve this, a literature review examining the application of the Darwinian and genetics framework, as well as the classification methods upon our material culture is carried out. This review allows us to introduce the known evolutionary mechanisms to design theory as the development mechanisms of the designed object. This constitutes a cohesive and formalized ontogeny model. The review proceeds to analyze the applications of classification methods on the artificial realm which allows to formulate an ontological model on the designed object. Together these models form a complementary descriptive model of micro and macroevolution.

Finally, the need for a model of sustainability is addressed. Based upon the aforementioned descriptive models, the biological principle of adaptation is presented as an evolutionary model of sustainability for biomimetic design practice.

Keywords: methodology, biomimicry, evolution, Darwinism, memetics, classification, adaptation, durability.

Table des matières

Résumé.....	5
Abstract.....	7
Table des matières	9
Liste des tableaux.....	13
Liste des figures.....	15
Lexique	17
Remerciements	25
Avant-propos.....	26
Exordium	31
Introduction générale.....	33
Partie I. Contexte biomimétique	35
Chapitre 1 – Situation biomimétique.....	36
1.1 La durabilité.....	36
1.2 La durabilité en design.....	37
1.3 Les bioapproches	39
1.4 Promesses biomimétiques	40
1.5 Critiques récentes.....	41
1.5.1 L’hégémonie technocentriste	41
1.5.2 Le modèle bio-inclusif.....	42
1.5.3 Modèles de durabilité.....	44
1.5.4 Sous-développement philosophique	44
Chapitre 2 - Problématique de recherche	46

2.1 Précédents méthodologiques	46
2.1.1 Typologie de Cross	46
2.1.2 Typologie Crossienne des bioapproches	50
2.1.3 Design biologiquement informé	50
2.1.4 Science du design biologiquement informé	51
2.1.5 Étude biologique du design	52
2.2 Dimensions de la problématique	53
2.2.1 Dimension ontologique	53
2.2.2 Dimension téléologique	55
2.2.3 Dimension épistémologique	61
2.2.4 Dimension méthodologique	65
2.3 La question de recherche	67
2.4 Propositions	68
Chapitre 3 – Méthodologie de recherche	69
3.1 Méthode d'enquête	69
3.2 Objectifs et contributions	71
Partie II. Méthodes d'études évolutionnistes du design	73
Chapitre 4 – Modèle génétique	74
4.1 La rétention	74
4.1.1 L'unité de rétention	76
4.1.2 La structure de rétention	79
4.2 La réplication	82
4.3 La variation	87
4.4 La sélection	91

4.4.1 Sélection exosomatique.....	91
4.4.2 Sélection endosomatique	93
4.5 L'adaptation.....	95
4.6 Modèle ontogénique	96
Chapitre 5 – Méthodes de classification.....	98
5.1 Objectifs de la systématique.....	98
5.2 Difficultés de la systématique.....	101
5.3 Modèles essentialistes et typologiques	102
5.4 Modèles phylogénétiques	106
5.5 Modèles rhizomorphiques.....	114
5.5.1 Caractéristiques rhizomorphiques.....	117
5.5.2 Le seuil darwinien	121
5.6 Modèle ontologique	124
Chapitre 6 - Adaptation : un modèle de durabilité	126
6.1 Vers un modèle prescriptif	129
Chapitre 7 – Conclusion.....	136
7.1 Retour à la question de recherche.....	136
7.2 Retour à la situation biomimétique	137
Références bibliographiques	139

Liste des tableaux

Tableau 1 : Modèles d'interface entre l'environnement naturel et artificiel. (Félix Favreau-Vachon, 2023)	43
Tableau 2 : Dimensions de la problématique (Félix Favreau-Vachon)	67
Tableau 3 Cycle de réplication de l'information mémétique basé sur les travaux de Heylihen (1999)	86
Tableau 4 : modèles de classifications (Félix Favreau-Vachon, 2023).....	121

Liste des figures

Figure 1 : Morphologies (Félix Favreau-Vachon 2023)	27
Figure 2 : Morphologies convergentes (Félix Favreau-Vachon 2023)	28
Figure 3 . Modèle épistémologique du biomimétisme (Félix Favreau-Vachon, 2023)	62
Figure 4 : Variation par recombinaison (Félix Favreau-Vachon 2023)	89
Figure 5 : Variation par mutation (Félix Favreau-Vachon 2023)	90
Figure 6. Modèle Rhizomorphique (Tëmkin, Eldredge, 2007)	120
Figure 7 : Diagramme du seuil darwinien (Félix Favreau-Vachon, 2023)	122
Figure 8 : Adaptation par spéciation (Félix Favreau-Vachon 2023)	131
Figure 9 : adaptation par rétention horizontale (Félix Favreau-Vachon 2023)	132
Figure 10 : Synthèse de la recherche (Félix Favreau-Vachon, 2023).....	135

Lexique

Abiogenèse : Émergence du phénomène de la vie à partir de conditions inorganiques.

Adaptation : l'adaptation est un concept central de la théorie d'évolution qui peut signifier à la fois un processus continu de maintien de cohérence entre un organisme et son environnement et le résultat de ce processus. L'adaptation peut aussi être comprise comme l'interaction entre les mécanismes d'évolution.

Anthropocène : Époque géologique caractérisée par la présence et l'influence de l'humain sur la planète.

Autopoïèse : La capacité d'un organisme ou système à s'autoproduire.

Bioapproche : ou discipline biologiquement informée sont des pratiques de design basées sur une interprétation informée de la recherche biologique dans le but d'aborder les défis auxquels fait face l'humain dans une optique d'innovation.

Bio-inclusivité : Cadre éthique restructurant la notion dualiste qui pose l'humain comme entité détachée de la nature en une notion inclusive selon laquelle l'humain et la nature forment ensemble un tout solidaire qui englobe la culture humaine et la nature.

Cladistique : La cladistique est une approche de classification par laquelle les organismes sont organisés en groupes ou "clades" basés sur des hypothèses de descendance commune.

Conation : caractéristique des systèmes vivants animés par une volonté ou une impulsion de maintenir et d'augmenter leur existence, comprise comme une fonction de l'autonomie ontologique et de l'autodirection des systèmes vivants, synonyme d'autopoïèse.

Essentialiste : La pensée essentialiste, aussi appelée typologique, est une vision partagée par Platon et Aristote, selon laquelle les organismes sont divisés en groupes ou en *types*, qui sont définis par un ensemble de propriétés ou traits nécessaires et fixes.

Évolution convergente : l'émergence de traits morphologiques ou de plans corporels semblables ayant été développés indépendamment par différents organismes et dont le dernier ancêtre commun ne partage pas le trait commun.

Exaptation : Les exaptations sont des sous-produits du mécanisme d'évolution autre que l'adaptation. Ils consistent en des traits autrefois sélectionnés pour une fonction indépendante de l'usage actuel ou apparent qui servent aujourd'hui une nouvelle fonction.

Fixisme : Concept opposé à l'évolution selon lequel l'espèce est immuable.

Génotype : Le génotype est le patrimoine héréditaire inscrit dans les gènes qu'un individu reçoit de ses géniteurs.

Hérédité latérale : ou hérédité horizontale implique le transfert de matériel génétique d'un organisme à l'autre, peu importe la distance évolutive qui les sépare.

Hérédité verticale : La transmission génétique chez les organismes multicellulaires se fait presque uniquement d'une manière *verticale*, c'est-à-dire de l'ancêtre au descendant. Cette linéarité génétique, génération après génération, fait en sorte de créer des espèces isolées génétiquement.

Homéostasie : stabilisation d'un système vers un état d'équilibre.

Hypertélie : Trait morphologique dont le développement s'est exagéré à un point tel qu'il devrait, en théorie, perturber le fonctionnement global de l'organisme.

Macroévolution : la macroévolution fait référence aux grands schèmes des mouvements évolutionnistes observables à plus grande échelle temporelle et au-delà du niveau de l'espèce.

Même : Une unité de rétention culturelle, analogue au gène.

Microévolution : changement évolutionniste à l'échelle de la population ou d'une période relativement courte.

Mutation : altération soudaine de la structure des gènes ou chromosomes ayant le potentiel d'être transmis à la progéniture.

Nominalisme : Dans la systématique, le nominalisme affirme que, possédant les qualités d'un flux continu, l'évolution des formes biologiques n'est pas constituée d'espèces délimitées par des frontières réelles, mais qui se fondent l'une dans l'autre faisant du concept d'espèce une construction artificielle.

Ontogenèse : l'ontogenèse en biologie signifie le développement progressif d'un organisme.

Phénétique : Ramification individuelle de la taxonomie naturelle qui présente la même volonté d'organiser objectivement la diversité organique par le recensement de tous les caractères observables auxquels est accordée une importance égale, afin d'organiser les formes selon leur similarité globale.

Phénotype : le phénotype correspond à l'expression, l'actualisation, l'inhibition ou la modification des traits héréditaires dans un individu en fonction des conditions et circonstances de son ontogenèse dans un environnement donné.

Phylogénétique : Approche classificatrice basée sur les relations de parenté entre les groupes d'organismes.

Phylum : la lignée, l'embranchement.

Physis : caractéristique de ce qui surgit spontanément depuis sa propre essence, synonyme d'autopoïèse.

Populationnisme : La pensée populationniste, opposée à la pensée essentialiste, souligne l'individualité des formes organiques et considère la variation individuelle comme le résultat d'un processus continu de mutation et de recombinaison engendrant de nouveaux phénotypes dans l'environnement et comme résultat de la sélection de ces phénotypes d'une génération à l'autre.

Procaryotes : Micro-organismes unicellulaires considérés comme les premières formes de vie.

Réalisme : Dans la systématique, l'approche de classification réaliste accepte l'existence de l'espèce en tant qu'entité naturelle existante à l'extérieur du raisonnement humain. Elle s'oppose au nominalisme.

Rhizomorphique : Dans la systématique, les modèles de classification rhizomorphiques mettent en évidence les relations génétiques entre les micro-organismes. Ces relations ont une structure semblable à un filet plutôt qu'une structure arborescente caractéristique des modèles phylogénétiques.

Sélection endosomatique : Mécanisme de sélection s'exerçant à l'intérieur de l'esprit humain qui agit sur les idées de design.

Sélection exosomatique : Mécanisme de sélection s'exerçant à l'extérieur de l'esprit humain, sur l'expression phénotypique de l'artéfact, sur l'objet dans son entier.

Seuil darwinien : Le seuil darwinien est une sorte « d'horizon des événements » dans l'évolution des systèmes d'information complexes, biologiques et culturels. Il représente une frontière entre le mode d'hérédité verticale et le mode d'hérédité horizontal, à partir de laquelle les méthodes phylogénétiques ne peuvent plus illuminer l'historique lointain des trajectoires évolutives.

Skeuomorphisme : persistance d'un trait morphologique, parfois vestigial ou atrophié, mais ne servant plus à sa fonction originale.

Spéciation : processus à partir duquel de nouvelles espèces se forment.

Systématique : En biologie, la systématique fait référence aux systèmes classificatoires ainsi qu'à la taxonomie qui, ensemble, forment un corps scientifique particulier, défini comme la théorie, les principes et la pratique d'ordonner la diversité d'organismes en systèmes généraux en fonction du processus causal le plus général.

Taxonomie : branche des sciences naturelles ayant pour objectif de nommer les espèces et de les catégoriser dans une structure hiérarchique, du groupe le plus générique vers le plus spécifique.

Technè : processus et modes de production de ce qui est artificiel.

Technocentrisme : L'hégémonie des développements technologiques dans le programme général de recherche et d'innovation.

Téléonomie : Le phénomène téléonomique se définit comme un processus ou comportement orienté vers un objectif par l'influence d'un programme interne et génétique résultant de l'évolution biologique.

TRIZ : Acronyme russe pour "theory of inventive problem solving" est décrite comme une approche systématique à l'innovation et un algorithme pour l'invention.

Pour François Mendes

Remerciements

Merci à mon directeur de recherche, Pierre De Coninck, de m'avoir guidé.

Merci à ma famille, de m'avoir supporté.

Merci à mes amis, de m'avoir écouté.

Avant-propos

L'idée qui a amorcé cette exploration vient d'une simple observation. Une observation à priori anodine à propos de la similarité entre certains objets étrangers et familiers. L'un de ces objets se trouve au musée archéologique de Cordoue en Espagne. Il s'agit d'une cruche en céramique. Devant elle, le cartel indique des informations sur l'origine de l'objet. La cruche, dont la provenance exacte est inconnue, est datée au XII^e siècle et est attribuée aux almohades, un groupe berbère qui englobait, entre autres, la région de l'Andalousie à cette époque. L'élément distinctif de la forme de cet objet est probablement son bec verseur. Il semble raconter la technique et le geste qui lui ont donné sa forme : il est facile d'imaginer que son embouchure était parfaitement circulaire avant d'être pincée et refermée vers l'intérieur, pour donner à la forme son affordance (voir figure 1).

Le second objet ne concerne pas un artefact en particulier, mais plutôt, la lampe à l'huile en terre cuite typique de l'Âge de bronze moyen. Cet objet est un des plus répandus dans les sites archéologiques de la région méditerranéenne. La lampe est composée d'un simple bol peu profond, pincé à une extrémité afin de former un canal pour guider une mèche imbibée d'huile d'olive ou autre combustible (voir figure 1).

Les objets suivants possèdent un héritage plus modeste. Le troisième est un pichet de sangria en céramique probablement issu d'une production semi-industrialisée, vendu dans les boutiques de souvenirs de la ville de Cordoue. L'objet arbore des motifs de décoration qui ne sont pas particulièrement évocateurs du bagage culturel et historique de la région, à l'exception peut-être des traits de couleur parallèles sur la lèvre du contenant qui rappellent vaguement les rayons décoratifs rouges des arches de la mosquée de Cordoue. La forme de son embouchure est semblable à celle des deux premiers objets, à la différence que le geste de pincement sur l'ouverture semble s'être prolongé jusqu'à refermer les parois sur elles-mêmes divisant l'ouverture en deux orifices distincts. Cette déformation topologique a pour effet de faire diverger l'embouchure en deux fonctions différentes, celle de remplir et celle de verser (voir figure 1).

Le dernier objet est le pichet standard de plastique, industrialisé et observable dans la plupart des commerces de restauration. Son embouchure présente la même forme que les deux premiers objets, il exhibe le même geste de pincement, ce qui est curieux pour un objet qui n'a pas été modelé (voir figure 1).



Figure 1 : Morphologies (Félix Favreau-Vachon 2023)

À gauche, cruche en céramique almohades du XIII^e siècle. Deuxième à partir de la gauche, lampe à l'huile en terre cuite de l'âge de bronze moyen. Troisième à partir de la gauche, pichet à sangria. À droite, pichet en plastique.

Ce phénomène de similarité entre des objets éloignés tant géographiquement que temporellement soulève des questionnements. Avec un peu d'attention, ce phénomène semble avoir beaucoup en commun avec différents phénomènes naturels. Les similarités entre les deux pichets suggèrent une forme de continuité entre des artefacts d'une même fonction, de la même manière qu'un organisme est similaire à ses précédents. La transformation de l'embouchure du pichet en céramique en deux orifices fonctionnellement distincts rappelle les phénomènes de divergence et de spéciation, par lesquels les organismes développent de nouveaux traits spécifiques. La lampe à l'huile et la cruche en céramique ont en commun un organe présentant la même morphologie. Cependant, ces deux objets ont des usages et des conditions de fabrication si différentes qu'ils ne semblent pas avoir de racines communes. Ce phénomène ressemble à l'évolution convergente en biologie, où des pressions sélectives mènent parfois aux mêmes solutions, comme c'est le cas de l'aile qui a émergé indépendamment chez les oiseaux, les chauves-souris et certains marsupiaux. Dans le cas des artefacts mentionnés, le pincement de la

matière était probablement une solution identique aux problèmes communs de contraindre la périphérie d'une embouchure circulaire (voir figure 2).



Figure 2 : Morphologies convergentes (Félix Favreau-Vachon 2023)

Illustration e : la cruche en céramique almohades du XIIe siècle. Illustration b : la lampe à l'huile en terre cuite de l'âge de bronze moyen. Illustration f : le pichet à sangria. Illustration g : le pichet en plastique. Chaque objet présente un trait morphologique commun : l'embouchure pincée.

Attribuer l'explication des similarités entre les artefacts humains aux phénomènes biologiques repose sur un raisonnement analogique peu coûteux. Mais ces phénomènes observés dans le monde vivant ont poussé les naturalistes à construire les disciplines qui ont éventuellement abouti à un discours cohérent et ordonné sur le domaine vivant. C'est-à-dire un *logos*, soit le discours ou la science du *bios*, autrement dit, la biologie actuelle. Peut-être alors que ces mêmes phénomènes observés dans le domaine artificiel peuvent alimenter une discussion semblable.

Les discussions évolutionnistes existent déjà à tous les niveaux de la culture humaine. Elles sont aussi présentes dans les domaines du design et de l'architecture. Cependant cela reste une discussion basée sur l'analogie plutôt qu'une véritable biologie de l'artificiel.

Grandissante, la connaissance au sujet des phénomènes biologiques suscite depuis bien longtemps une multitude de métaphores et d'analogies dans l'étude et la création des artefacts humains. Une quantité insondable de documents se prêtant à cette manifestation de notre intérêt commun à réconcilier le naturel à l'artificiel ou du moins explorer les liens qui les unissent sont disponibles. L'utilité de cet ouvrage s'additionnant à la déjà colossale littérature est d'explorer les méthodes et stratégies des bioapproches en design ainsi que d'initier l'exploration des fondements philosophiques qui les sous-tendent. C'est l'occasion d'explorer en profondeur le lien entre la création et l'évolution; deux idéaux antithétiques dont le contraste n'a d'égal que celui entre l'aversion et l'affection des théoriciens à l'égard du paradigme évolutionniste.

Le paradigme évolutionniste est en soi très fascinant. C'est une très belle image que de croire que le règne artificiel soit régi par des lois et mécanismes naturels non moindres que ceux qui sculptent depuis toujours le monde organique. C'est la promesse d'un cadre logique qui peut unir l'artifice humain à celui de la nature. C'est aussi la proposition que derrière les conceptions mythiques du talent, d'intuition et de génie, existe une structure qui peut rendre compréhensible et manœuvrable ce que nous appelons conception, innovation et invention. L'objectif n'est pas de défendre ou rejeter le paradigme évolutionniste, mais d'observer le paysage des théories qui tombent sous son voile et de les organiser selon un cadre logique pour montrer en quoi elles peuvent servir de lentille et focaliser leur lumière sur l'étude de notre profession.

Cette étude permettrait de formuler un modèle biologique de l'objet de design. Cela signifierait d'expliquer en termes génétiques et darwiniens le processus de conception. Cela offrirait une explication formalisée et cohérente de la genèse de nos structures artificielles et par conséquent apporterait une certaine transparence à la boîte noire du processus de conception généralement considéré comme un processus intuitif.

L'examen des méthodes classificatrices apporterait une vision macroévolutionniste des objets de design pouvant offrir une compréhension à l'échelle des grands schèmes de changements de la culture matérielle. Cette compréhension serait révélatrice au sujet de la nature des liens d'engendrement qui unissent les structures artificielles.

Ensemble, ces modèles darwiniens, génétiques et classificatoires, peuvent servir à construire un modèle descriptif de la pratique et de l'objet de design. Ce modèle pourrait aider à comprendre comment émergent et se transmettent les traits morphologiques qui caractérisent l'adaptation de nos objets de design. Cette compréhension biologique du processus d'adaptation des formes artificielles pourrait appuyer un modèle prescriptif, consistant en des préceptes biologiques de conception et des lignes directrices sculptées par une compréhension des mécanismes d'évolution du règne artificiel afin de guider la pratique du design.

Il s'agit donc d'un intérêt personnel pour le phénomène d'évolution qui a amorcé et toujours alimenté la recherche qui soutient ce mémoire. C'est avec émerveillement que l'on réalise l'amplitude et la latitude de la littérature qui rend compte du processus de design selon une perspective évolutionniste. C'est avec regret que se concrétise la notion qu'elle ne peut être explorée dans sa totalité. Néanmoins, c'est avec le sentiment d'un devoir de concision, mais aussi d'exhaustivité que s'effectue la tâche de rédaction, avec une insatiable volonté de rendre justice à un domaine qui semble trouble.

Exordium

La trace des premiers artefacts techniques est aujourd'hui estimée remonter à 3.3 millions d'années. Pour mettre en contexte cette échelle temporelle difficile à concevoir, disons simplement que les premiers outils de pierre et les premières industries lithiques prédatent l'homo sapiens et que la culture matérielle propre à l'hominidé est donc plus ancienne que notre propre espèce. Il y a plus de trois millions d'années, nos ancêtres lointains employaient des techniques de taillage de pierre démontrant des habiletés considérables en termes de planification, de dextérité manuelle et de sélectivité des matières premières (Turkana et al. 2015). Les premières instances de percussion entre deux pierres, les premiers événements techniques, constituent possiblement les prémises de l'activité de design que nous connaissons aujourd'hui. Ces techniques qui nous ont été transmises sont considérées comme la fondation du succès évolutif de l'humain et ces premiers souffles de la culture technique allaient changer l'interface entre l'humain et l'environnement pour toujours :

Over billions of years on a unique sphere, chance has painted a thin covering of life -- complex, improbable, wonderful and fragile. Suddenly, we humans, (a recently arrived species, no longer subject to the checks and balances inherent in nature), have grown in population, technology and intelligence to a position of terrible power: we now wield the paintbrush. (MacCready, 1998)

Aujourd'hui, à l'époque anthropocène, une période géologique qui signifie l'ère de l'humanité, l'éminente capacité de design s'exprime dans tous les domaines de la vie. La culture matérielle démontre aujourd'hui une diversité insondable ainsi qu'une structure et un rythme évolutionniste fulgurant. Entre 1980 et 2019, le nombre de nouveaux brevets à l'échelle mondiale dans le domaine des technologies est passé de moins de 1 million par année à plus de 12 millions, et dans le domaine du design industriel, le nombre est passé de près de 500 000 à 4 millions par année (WIPO, 2020). Au cours de la dernière décennie, plus de changements technologiques se sont produits que cumulativement dans toute l'histoire de l'humanité et le rythme de ce changement cumulatif a grandi d'une manière exponentielle au cours du siècle dernier (Bentley, O'Brien, 2012).

Nous pouvons nous abstenir de présumer que l'érosion de la diversité biologique manifestée par les extinctions et le déclin des populations est directement liée à la croissance de la diversité artificielle. Nous pouvons toutefois affirmer que l'humain possède une place dans les systèmes biologique et artificiel. Depuis la révolution industrielle, les activités humaines ont graduellement dégradé les forêts, les prairies, les zones humides et autres écosystèmes (WWF, 2020) à la mesure que la culture matérielle s'épanouissait. L'humain joue un rôle central dans ces phénomènes de croissance et de déclin et est responsable de cette disparité.

Introduction générale

Le mémoire présenté est, d'une manière générale, un examen de littérature et une synthèse de travaux sélectionnés concernant l'application de la théorie évolutionniste à la culture matérielle et aux objets de design. La théorie « évolutionniste » de l'objet artificiel est cadrée comme une approche biomimétique et est rattachée aux enjeux d'innovation et de durabilité concernant ce domaine.

La première partie (partie I. Contexte biomimétique) dresse un portrait critique des disciplines biomimétiques en regard de la discordance entre leur bagage prospectif et leur situation actuelle. Une révision des précédents méthodologiques est effectuée (voir chapitre 2 : Problématique de recherche) afin d'aborder cette discordance. Cette analyse est conduite à l'aide d'un outil conceptuel tiré des travaux de Nigel Cross. Elle révélera un horizon de méthodes incomplet dans lequel l'étude du design sous le cadre biologique constitue un fragment manquant. La formalisation de cette étude « biologique » du design constitue la problématique de recherche. Les dimensions et enjeux liés à la problématique sont développés (voir chapitre 2.2 Dimensions de la problématique) et la question de recherche est posée : comment les cadres méthodologiques de la biologie peuvent-ils être appliqués à la culture matérielle et que peuvent-ils apporter au bioparadigme en design ?

La seconde partie (partie II. Méthodes d'études évolutionnistes du design) aborde le cadre darwinien ainsi que les mécanismes d'évolution (voir chapitre 4. Modèle génétique). Leur application au domaine des objets de design est démontrée en mettant en évidence la correspondance entre le processus de conception et l'ontogenèse de l'organisme vivant. Par la suite, les méthodes de classification (voir chapitre 5) sont abordées. Trois approches principales ainsi que leur application au règne artificiel sont analysées. Il s'agit des classifications essentialistes, phylogénétiques et rhizomorphiques. Ces deux dernières sont proposées comme fondement d'un modèle ontologique de l'objet artificiel.

Il est proposé que l'ensemble des méthodes à l'examen permettent de formuler des modèles descriptifs de l'objet de design et du processus de conception. Il est finalement proposé que la prochaine étape dans le développement du biomimétisme puisse être de formuler des modèles prédictifs ainsi que prescriptifs afin de guider la pratique du design.

Partie I.

Contexte biomimétique

Chapitre 1 – Situation biomimétique

Dans la préface de la deuxième édition de son ouvrage *Design pour un monde réel* (Papanek, 2005), Victor Papanek nous invite à considérer l'importance de la responsabilité qui incombe aux acteurs du domaine de design. À l'âge de la production de masse où tout doit être méticuleusement planifié et conçu, le design est l'outil le plus puissant par lequel l'humain peut façonner son environnement et par extension la société et, ultimement, lui-même. Cette position oblige à se munir d'une responsabilité sociale et morale résiliente.

Le concept de responsabilité est vaste et enraciné dans des préceptes éthiques et moraux dont l'analyse dépasse de loin la portée de l'étude rapportée ici. Cependant, une dimension du principe de responsabilité déjà plus abordable et dont la présence est de plus en plus inexorable en design est vraisemblablement le principe de durabilité. Avant d'en arriver à ce principe formulé spécifiquement par le milieu du design, son origine et sa nature doivent être examinées.

1.1 La durabilité

La durabilité est un concept relativement nouveau. L'idée de durabilité dans les discours publics peut être retracée au moment de l'adoption du mandat de l'UICN¹ en 1969. Le concept suggérait la possibilité de soutenir une croissance économique et industrielle sans provoquer de dommages environnementaux (Adams, 2006). Le terme « *sustainability* » a été enregistré pour la première fois dans les dictionnaires anglais vers la fin des années 1980 (Newton et Freyfogle, 2005).

Dans le rapport de la Commission mondiale sur l'Environnement et le Développement de 1987, le développement durable a été défini comme une forme de développement qui remplit les exigences de nos besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures à subvenir à leurs propres besoins (Hauff, 1987). La portée large de cette définition a été appréciée pour sa capacité à capturer la complexité du principe de durabilité en permettant l'intégration de

¹ L'Union internationale pour la conservation de la nature adoptait un mandat dans une perspective de perpétuation et amélioration du monde vivant, de l'environnement humain et des ressources naturelles faisant appel à une gestion de l'air, des eaux, des terres, des minéraux et des espèces, incluant l'humain, afin d'atteindre une qualité de vie maximale et durable (Adams 2006).

plusieurs dimensions du concept propres à différentes disciplines et à différentes conceptions du progrès (Stepanyan, Littlejohn, Margaryan, 2017).

Depuis son adoption, le principe de durabilité a été un sujet de débats et de discussions dans un éventail de contextes et de perspectives sociales, économiques, énergétiques, agricoles et de gestion des ressources (Stepanyan, Littlejohn, Margaryan, 2017). Il est commun dans la littérature sur la durabilité de retrouver des commentaires critiquant le caractère vague et indéfini du concept. Le seul consensus sur la durabilité apparaît être qu'il n'y a pas de compréhension ou de définition partagée à son égard (Becker, Jahn, Stieß, 1992).

Plutôt qu'un concept clairement défini, le développement durable peut être mieux compris comme un domaine de discussion controversé qui permet l'articulation des différences politiques et économiques et qui introduit des préoccupations sociales et politiques aux problèmes environnementaux (Becker, Jahn, Stieß, 1992). L'enjeu de durabilité peut être vu comme un point de ralliement pour les débats publics en matière de pratiques, de développement de connaissances et de stratégies politiques pour traiter de problèmes sans précédent résultant principalement de la globalisation technologique et économique et de leurs impacts sociaux, politiques et culturels (Becker, Jahn, Stieß, 1992)

1.2 La durabilité en design

Le principe de durabilité est principalement associé aux crises écologiques manifestées par le changement climatique, la déforestation, la dégradation des sols, la perte de diversité et décrit un domaine d'étude basé sur une description sociologique de ces problèmes (Becker, Jahn, Stieß, 1992). Mais la durabilité est une problématique large aux dimensions multiples. Un problème affectant l'analyse de la durabilité, en plus de sa relative ambiguïté, est la structure complexe du concept. Pour évaluer la durabilité, il est plus convenable de reconnaître la multiplicité de sa signification et de faire la distinction entre la durabilité environnementale, économique et sociale (Becker, Jahn, Stieß, 1992). Corolairement, plutôt que de chercher une signification englobante et unique, peut-être que la communauté du design devrait accorder une signification particulière au concept. Une définition formulée sur mesure par le milieu du design, pour servir le milieu du

design. Une telle signification serait peut-être moins susceptible de se dérober de l'emprise du designer.

C'est précisément ce qui est arrivé après la révolution industrielle. «L'effet cumulatif de la production de masse et de ses produits sur la vie humaine a gagné une attention grandissante» (Buchanan, 2007). Les idées en termes de développement durable ont été introduites indirectement au programme général du design par le regard critique de Victor Papanek sur les modes de production et de consommation (de Souza, Pedroso, de Lacerda, 2011). Le principe de durabilité est considéré comme un des enjeux les plus récemment introduits dans les discours du design au cours du 20^e siècle (Bonsiepe, 2007) et a été décrit comme le « *wicked problem* » du 21^e siècle en raison de sa complexité (Wahl, 2006).

Si l'on cherchait à trouver la signification du principe de durabilité en design, et considérant que le *zeitgeist* qui a conduit à l'adoption de ce principe coïncide historiquement avec l'émergence des *Design Methods* et de la première conférence sur les méthodes à Londres en 1962, il serait convenable de la chercher dans les discours méthodologiques. Pourtant ce principe est un mot que l'on retrouve rarement dans les traités méthodologiques. Notamment, certains comptes rendus historiques de méthodes ont été composés sans jamais faire usage du terme « *sustainability* » (Bayazit, 2004; Cross, 1993; Cross, 2007; Colquhoun, 2018).

Le programme du mouvement méthodologique naissant en design, principalement consacré à se définir en lui-même et par rapport aux sciences existantes était déjà chargé; ce qui peut expliquer l'absence relative des délibérations sur le principe de durabilité. Les discussions méthodologiques abordant la question se sont plutôt fait entendre dans un autre domaine où la relation entre le design et les sciences est tout autant cruciale et identitaire. Ce domaine est constitué des approches biologiquement informées qui ont collectivement fait du principe de durabilité leur thème emblématique; elles sont connues sous le terme générique « biomimétisme ».

1.3 Les bioapproches

Les bioapproches ou disciplines biologiquement informées sont des pratiques de design basées sur une interprétation informée de la recherche biologique dans le but d'aborder les défis auxquels fait face l'humain dans une optique d'innovation qui peut résulter en des solutions durables (Iouguina, 2014). La logique stratégique derrière ces approches est de considérer le règne vivant comme un processus de recherche et développement de formes, structures et systèmes adaptés. Après 3.8 milliards d'années d'évolution, les systèmes naturels ont prouvé leur capacité à générer de la biomasse efficace, innovatrice et durable (Benyus, 2009) et ces solutions peuvent être utilisées pour répondre aux problèmes humains. Les bioapproches portent différents titres : biomimétisme, biomimétique et bionique sont les plus souvent utilisés. Parfois le terme biomimétisme est employé comme terme ombrelle. Parfois l'ensemble des termes sont employés comme synonymes (Marshall, Lozeva, 2009) alors que parfois l'usage du terme biomimétique fait référence à toutes les disciplines associées au design inspiré par la nature telle que le biomimétisme, la bionique et le design bio-inspiré (Mead, Jeanrenaud, 2016).

Il est difficile de trouver des frontières clairement établies entre les bioapproches puisqu'elles reposent sur une terminologie toujours en train de se définir. Il est aussi difficile d'arriver à une compréhension générale de la bionique, de la biomimétique et du biomimétisme en raison de leurs définitions diverses et de la confusion générale dans le domaine des disciplines biologiquement informées. En effet, non seulement l'usage non standardisé de la terminologie mène à une ambiguïté au sein des biodisciplines, mais aussi une connaissance historique incomplète et désorganisée empêche l'émergence d'un terrain d'entente pour la collaboration entre ces divisions (Iouguina, 2014).

D'une manière générale, la différence principale entre la bionique et le biomimétisme réside dans leurs intentions et dans leurs champs d'expertise. L'objectif principal de la bionique semble être de promouvoir la résolution de problèmes et l'innovation dans les industries robotiques et mécaniques en employant des principes de physique. Ce domaine est dominé par des experts en biologie fonctionnelle et en ingénierie. Alors que le biomimétisme vise à établir un sens profond du principe de durabilité à travers la reconnexion entre l'humain et la nature dans les domaines

du design, des affaires et de l'architecture par l'usage des principes des sciences biologiques. Ce domaine est principalement composé d'écologistes, d'environnementalistes, de designers, d'architectes et d'économistes. Qui plus est, certains champs d'activité sont associés au terme biomimétique ou « *Biomimicry* »; ils sont moins concrètement établis en termes de contexte et d'objectifs, mais ils se spécialisent dans la science des matériaux et la mécanique (Iouguina, 2014).

Pour les besoins de la discussion, les distinctions sémantiques de ces termes ne seront pas d'une grande importance et l'investigation sera conduite en faisant usage du terme biomimétisme dans son sens générique. L'important à ce stade-ci est de souligner que le biomimétisme contemporain, d'une manière générale, a bâti son identité sur le principe de la durabilité. Pour se réclamer de cette identité, le biomimétisme a dû appuyer son programme sur un large éventail de promesses.

1.4 Promesses biomimétiques

Les bioapproches ne sont pas seulement un ensemble de stratégies d'optimisation du design et des technologies. De surcroît, ce paradigme se présente comme un mouvement social et aspire à être « une nouvelle science de la nature » (Fisch, 2017).

La reconnaissance de ces ambitions est possiblement liée à la popularisation du biomimétisme souvent attribuée à l'œuvre de Janine Benyus : *Biomimicry : Innovation Inspired by Nature* (1992). Le travail de Benyus a possiblement engendré une vaste quantité de recherches et un corps littéraire biomimétique grandissant tant dans les domaines académiques, que celui des affaires ou encore dans la sphère populaire (Fisch, 2017).

Le biomimétisme est perçu comme une approche ayant le potentiel d'inspirer de nouvelles mentalités et valeurs concernant la relation entre l'humain et la nature en plus de formuler des visions alternatives du développement (Mead, Jeanrenaud, 2016). Plusieurs auteurs se sont avancés à prédire qu'une révolution industrielle basée sur le biomimétisme pourrait bientôt être amorcée et serait même déjà en cours (Mathews 2011; Benyus 2009; Blok, Gremmen 2016).

Les bioapproches présentent un bagage prospectif audacieux et engageant en termes de développement durable. La situation actuelle soulevée par une poignée de chercheurs révèle toutefois des développements inattendus. En effet, une déception ou du moins un certain

désenchantement se fait ressentir dans la communauté du design, en particulier dans les pages de la philosophie du biomimétisme (MacKinnon et al. 2020)

1.5 Critiques récentes

À travers les discours récents sur le développement des bioapproches, il semble y avoir quatre critiques principales récurrentes concernant le biomimétisme. Son application : serait excessivement technocentriste; éluderait le problème de bio-inclusivité; nécessiterait un cadre de durabilité commun; manquerait de fondement philosophique et de révision méthodologique (Gamage, Hyde 2011b; Kibert, Sendezimir, Guy, 2002; Hyde et al. 2006).

1.5.1 L'hégémonie technocentriste

Selon les promoteurs du biomimétisme, adhérer aux bioapproches a deux avantages essentiels, soit l'accès à de nouvelles technologies et l'assurance que ces nouveautés sont de manière inhérente respectueuses des principes du développement durable. Or il apparaît que les intérêts sont principalement tournés vers le développement technologique laissant la promesse de développement durable de côté. Un article publié dans *Journal of Design & Nature and Ecodynamics* (Marshall, Lozeva, 2009) établit une liste de quelques projets de recherche et développement technologique afin de démontrer en quoi les efforts faits au nom du biomimétisme le sont souvent au profit unique du développement technologique. Parmi ces exemples, se retrouvent des caméras de surveillance indétectables basées sur l'œil d'insecte, des nanomachines industrielles imitant certaines molécules biologiques, des vaisseaux routiers dédiés à l'exploration d'autres planètes inspirées des morphologies d'insectes, des technologies militaires et de nouveaux produits de consommation bio-inspirés. Selon ces auteurs, parmi tous ces projets, aucun ne se distingue par une vision de durabilité; certains mêmes impliquent une empreinte écologique amplifiée.

L'hégémonie des développements technologiques sur les avancées écologiques est le résultat d'une croyance à l'effet que les solutions technologiques bio-inspirées constituent inévitablement des solutions écoresponsables (Marshall, Lozeva, 2009). Cette croyance biomimétique qualifiée comme technocentriste refait encore une fois surface lorsque l'on constate l'écart entre les promesses et les applications réelles. Selon l'examen des pages web du *Biomimicry Global Network*, parmi toutes les promesses biomimétiques soulevées, la promesse d'innovation est toujours prioritaire. En

contrepartie, les promesses de durabilité et de capacité à transformer la relation entre l'humain et l'environnement sont difficilement perceptibles. Cette disparité indique le besoin d'un changement fondamental du niveau d'imitation et de la valorisation de la nature (MacKinnon, Oomen, Zari, 2020).

Le technocentrisme est considéré comme un problème, car il place le designer et sa pratique dans une situation particulière. La croissance économique et technologique est valorisée et est fondée sur un système de valeur anthropocentrique. Dans ce système, la nature est réduite au statut de ressource pour le développement technologique. Le technocentrisme observé s'accomplit non seulement au détriment des promesses du développement durable, mais aussi suggère une opposition entre le système technologique et le système écologique.

1.5.2 Le modèle bio-inclusif

La bio-inclusivité est un cadre éthique développé par la philosophe de l'environnement Freya Mathews (Mathews, 2011). Cette éthique tente de restructurer la notion dualiste qui pose l'humain comme entité détachée de la nature en une notion inclusive selon laquelle l'humain et la nature forment ensemble un tout solidaire qui englobe la culture humaine et la nature (Veselova, Gaziulusoy 2019; Mathews, 2011). La bio-inclusion est une manière de percevoir l'interface entre les environnements naturel d'une part, et artificiel, d'autre part. En faisant usage des mêmes principes de design que dans les systèmes naturels, une approche bio-inclusive devrait permettre de resituer le design et les technologies à l'intérieur des limites écologiques de la biosphère (Blok, Gremmen, 2016).

Pour établir ce cadre bio-inclusif, il faut s'éloigner de l'approche environmentaliste traditionnelle. Souvent cette approche est divisée en deux classes partageant des objectifs parallèles, mais différents dans leur prémisse : la conservation et la préservation (Mathews, 2011). D'un côté, la conservation de la nature vise à maintenir la capacité de l'environnement naturel à fournir les matières nécessaires à la survie et au bien-être. De l'autre, la préservation de la nature consiste à protéger l'environnement naturel afin de préserver ou de rétablir les écosystèmes dans leur état naturel qui est la source de leur valeur intrinsèque (tableau 1).

Tableau 1 : Modèles d'interface entre l'environnement naturel et artificiel. (Félix Favreau-Vachon, 2023)

	Modèles exclusifs		Modèle inclusif
	Conservation	Préservation	Inclusion
Description (philosophie de l'environnement)	Maintenir la capacité de l'environnement naturel à fournir les matières nécessaires à la survie et au bien-être	Protéger l'environnement naturel afin de préserver ou de rétablir les écosystèmes dans leur état naturel qui est la source de leur valeur intrinsèque	L'humain et la nature forment ensemble un tout solidaire qui englobe la culture matérielle et l'environnement
Caractéristiques du biomimétisme	Anthropocentrique et technocentrique.	Biocentrique et écocentrique	Bio-inclusif

Ce dualisme préservationniste-conservationniste est aussi observable dans le milieu industriel du biomimétisme. Un exemple de logique conservationniste peut être trouvé sur le site Web de la *Biomimicry Guild* (2010), aujourd'hui nommée *Biomimicry Institute* cofondé par Janine Benyus elle-même :

Quel que soit le défi de conception de votre entreprise, les chances sont élevées qu'un ou plusieurs des 30 millions de créatures du monde aient non seulement fait face au même défi, mais ait développé des stratégies efficaces pour le résoudre.²

Ce constat illustre bien des intentions moins intéressées à changer les modes de production plutôt qu'à les intensifier à l'aide de stratégies de design bio-inspirées (Johnson, 2010).

À l'opposé, dans une logique préservationniste et au nom du biocentrisme, certains partisans de l'écologie profonde ont tenté de réinscrire l'humain dans la nature en faisant abstraction de sa culture et de ses artifices afin de révéler sa condition animale tissée dans le réseau écologique (Mathews, 2011). Cependant soustraire l'humain à sa culture matérielle afin de le redéfinir selon une ontologie fondamentalement écologique implique une différenciation entre l'environnement naturel et l'environnement artificiel révélant une logique bio-exclusive. D'un côté,

² Biomimicry Guild, 2010. Official website, [http://www.biomimicryguild.com/guild_services.html] traduction libre de l'auteur.

l'environnement est instrumentalisé, de l'autre il est divinisé. Dans les deux cas, l'interface entre l'humain et son environnement appartient à un modèle bio-exclusif.

1.5.3 Modèles de durabilité

L'application des disciplines bio-informées présente des affinités avec le design durable. Cependant, le terme de design durable est excessivement large et général, ce qui nuit à son application dans les domaines de la biomimétique et la bionique (Iouguina, 2014).

Il existe peu de compréhension quant à la façon dont les praticiens évaluent les impacts de leurs efforts sur la durabilité (Mead, Jeanrenaud 2016; Atlee, Kirchain, 2006). La communauté scientifique a publié différentes méthodes pour identifier des indicateurs de *développement durable*³, et un constat s'impose, il n'y a pas de consensus sur la meilleure approche pour utiliser ces indicateurs ni sur le niveau de fiabilité associée à ces mesures (Giannetti, Almeida, Bonilla, 2010).

Aucun système de mesure unique ne semble pouvoir être appliqué de manière systématique. De plus, l'analyse des différents modèles de durabilité indique parfois des résultats incompatibles (Giannetti, Almeida, Bonilla, 2010). L'incompatibilité de ces modèles peut s'expliquer du fait qu'ils se fondent sur différents facteurs tels que la durabilité des ressources ou les impacts environnementaux (Atlee, Kirchain, 2006).

La durabilité est donc un principe large, parfois difficile à définir, à utiliser et à évaluer. Il semble aussi difficile d'appliquer de manière globale des modèles de durabilité, et les modèles plus focalisés auraient tendance à être incompatibles. Étant donné le rôle central du principe de durabilité dans les bioapproches, le besoin d'en formuler explicitement les bases est d'une importance non négligeable.

1.5.4 Sous-développement philosophique

Le biomimétisme nous a rapprochés de l'objectif d'intégrité écologique. Cependant les notions philosophiques permettant d'instaurer une intégration profonde des idées écologiques restent

³ La recherche citée enquête sur cinq indices de durabilité soit le EYR (Emergency Yield Ratio), le EIR (Emergy Investment Ratio), le ELR (Environmental Load Ratio, et le ESI (Environmental Sustainability Indice).

manquantes (Gamage, Hyde 2011; Kibert, Sendezimir, Guy 2002; Hyde et al. 2006). Ces notions fondamentales sont aussi sous-développées, limitées à un usage descriptif (Mathews, 2011). De plus, en raison du manque de réflexion critique sur les méthodes, il est difficile de surmonter le dualisme social-naturel qui teinte la pensée biomimétique et, par conséquent, de s'affranchir de la structure de dominance que les bioapproches tentent de surmonter (Fisch, 2017).

Deux raisons principales peuvent expliquer ce manque de fondement philosophique. La première, parce que la discipline biomimétique réunit principalement des participants des domaines scientifiques, technologiques ainsi que des entrepreneurs concentrés sur des applications pratiques - la viabilité fonctionnelle et économique de produits biomimétiques prend généralement la priorité sur le questionnement philosophique (Dicks, 2016).

La seconde, l'entreprise biomimétique est généralement accomplie par des praticiens sans arrière-plan académique spécifiquement philosophique. Le biomimétisme possède aussi les caractéristiques discursives des sciences populaires : un style informel et journalistique ainsi qu'un penchant vers des exemples concrets et démontrables. Autrement dit, sa principale tâche est de populariser la recherche et le développement technoscientifique plutôt que d'élaborer un cadre philosophique exhaustif (Dicks, 2016).

À la lumière des critiques énoncées, il apparaît que le domaine des approches bio-informées s'est permis un développement principalement technologique qui éclipse son développement philosophique en regard des questions épistémologiques, éthiques et méthodologiques.

Chapitre 2 - Problématique de recherche

Nous avons défini la situation biomimétique comme une situation d'ambiguïté au niveau du lien qui unit les approches de design bio-informé et le principe de développement durable : si la durabilité est un thème emblématique des bioapproches, elle semble pourtant être une promesse difficile à respecter et à prioriser. Le manque d'examen méthodologique peut être tenu en partie responsable de la difficulté à implanter un éthos de durabilité dans les disciplines bio-inspirées et l'ambiguïté peut donc être abordée comme un problème de nature méthodologique.

Dans ce chapitre nous passerons en revue certains précédents méthodologiques propres à la théorie du design et aux approches biomimétiques. Cet arrière-plan méthodologique sera analysé à l'aide d'un appareil conceptuel dérivé des travaux de Nigel Cross (Cross, 1993; 2001; 2007) qui nous permettra d'établir une typologie des méthodes biomimétiques et d'en faire ressortir le constat autour duquel se structure la problématique. Ce constat stipule que les méthodes d'étude du design selon le cadre des sciences biologiques restent à être formalisées sous la bannière du biomimétisme.

2.1 Précédents méthodologiques

2.1.1 Typologie de Cross

Il a été mentionné en introduction que les bioapproches sont plus difficiles à différencier qu'il ne le semblerait. Elles sont souvent organisées selon une typologie lexicale discernant la bionique de la biomimétique et du biomimétisme, mais ces termes renvoient à un champ de disciplines aux frontières floues qui ne permet pas de mettre en valeur leurs différences de méthodes d'une manière évidente. Il serait donc nécessaire de se munir d'un outil d'analyse capable de décomposer les méthodes biomimétiques afin de situer la source potentielle de la problématique.

La méthodologie du design, ou le discours sur les méthodes de design, est entrelacé avec la relation entre le design et les sciences comme le montre cette citation de Nigel Cross :

Les méthodes de design ont émergé au début des années 1960 faisant partie d'un désir (ayant une histoire datant des années 1920) de rendre le design plus scientifique. Le sujet a été accepté comme un domaine d'étude académique connu sous le nom de méthodologie du design. (Cross, N. 1993 p.67) [traduction libre]

Nigel Cross (1993; 2001; 2007) a récapitulé à plusieurs reprises les interprétations possibles de la relation entre les sciences et le design - comme moyen pour clarifier leurs différences et mettre en évidence les thèmes qui ont alimenté la méthodologie du design. Cross organise la typologie suivante : « *scientific design* », « *design science* » et « *science of design* » qui seront respectivement traduits par « design scientifique », « science du design » et « étude du design »⁴.

Le concept de *design scientifique* réfère à une pratique de design moderne et industrialisé en contraste aux techniques préindustrielles et artisanales. C'est un concept qui présente la réalité des pratiques de design moderne basées sur la connaissance scientifique ainsi que sur des méthodes intuitives (Cross, 2007).

Le terme *science du design* réfère à « une approche de design explicitement organisée, rationnelle et entièrement systématique; non seulement l'utilisation de connaissances scientifiques des artefacts, mais le design en un certain sens est une activité scientifique en lui-même » (Cross, 1993 p.66). Cette définition de la discipline du design est typique de la période d'émergence de la pensée méthodologique en design des années 1960, soit la première génération des *design methods* basée sur la méthode scientifique dite systématique et rationnelle.

⁴ Plus tard, à la lumière de réflexions apportées par Donald A. Schön (1983), Cross (2007) ajoutera un quatrième élément à sa typologie, une interprétation du lien entre la science et le design plus ancrée dans la pratique : la « discipline du design ». Cependant cet élément de la typologie n'est pas déployé dans l'analyse. Cela parce que, parmi les éléments de la typologie, la *discipline du design* était la seule pour laquelle la recherche n'a pas identifié de correspondance dans les bioapproches. Comme ils sera développé dans le chapitre 2.1.2, chaque adéquation design-science correspond à un homologue dans les approches de design bio-inspirées, à l'exception de la *discipline du design*. Cette incompatibilité semble être d'une nature épistémologique. Schön a explicitement contesté la doctrine positiviste sous-jacent l'ensemble du mouvement *science du design* et proposait en retour une approche basée sur le paradigme constructiviste. Au lieu d'employer les modèles scientifiques, Schön insiste sur l'importance de bâtir une « pratique implicite dans les processus artistiques, intuitifs » (1983). La discipline du design serait donc incompatible avec la nature objective et positiviste des sciences naturelles. Elle serait donc aussi incompatible avec l'approche biomimétique qui est fondée sur ces sciences.

À la suite de la conférence de Scarborough, tenue en 1964, sur l'éducation en design, il fut révélé que les interprétations de la nature du design étaient variées et implicites. Un compendium sur les méthodes, publié en 1966 intitulé *The Design Method* (Gregory, 1996) portait comme objectif d'établir une entente commune au sujet de la nature de la méthode de design :

La méthode de design distingue l'ingénieur du scientifique. Chacun est impliqué dans une résolution de problème, mais se préoccupe de différents types de problèmes. Simplement dite, la méthode scientifique est un modèle de résolution de problème employé dans la découverte de la nature de ce qui existe, tandis que la méthode de design est un modèle de comportement employé dans l'invention de choses dont la valeur n'existe pas encore. La science est analytique; le design est constructif. (p.6)
[traduction libre]

Les références faites à *la* méthode de design plutôt qu'à la multiplicité et aux nuances *des* méthodes de design sont révélatrices. Cette formulation illustre l'approche positiviste dominante de l'époque ainsi qu'une complaisance envers la méthode scientifique. Elle signale aussi le désir d'établir une méthode rigide et universelle, synonyme d'une méthode *dure* et unique. Cependant, ces efforts ont été rétrospectivement perçus comme incapables d'aborder la complexité du monde réel (Broadbent, 2003).

Un exemple d'application ayant connu un succès international est la méthode TRIZ, décrite comme une théorie de résolution de problème inventive (Sheu, Chiu, Cayard, 2020), innovation systématique (Navas, 2013), et un algorithme pour l'invention (Altshuller, 1999). La méthode a émergé en Russie dans les années 1960, et s'est répandue dans plus de 35 pays. Elle est maintenant enseignée dans plusieurs universités et est employée par diverses organisations comme outil de développement de produits (Ilevbare, Probert, Phaal, 2013).

Malgré tout, il semble que la tentative de faire de la pratique de design une discipline scientifique ne faisait pas l'unanimité chez les théoriciens du design : «La plupart des opinions chez les méthodologistes et designers soutiennent que l'acte de design lui-même n'est pas et ne sera jamais une activité scientifique; c'est-à-dire que, le design est lui-même une activité non scientifique ou ascientifique» (Grant, 1979). Cependant l'idée d'une science dont l'objet d'étude est le design est avancée par différents auteurs : «L'étude de l'acte de design peut être une

activité scientifique; c'est-à-dire que, le design en tant qu'activité peut être le sujet d'enquête scientifique» (Grant, 1979) [traduction libre].

Le professeur Wojciech Gasparski (1990) définit l'étude du design comme il définirait la science de la science, c'est-à-dire comme un ensemble de sous-disciplines partageant le design comme centre d'intérêt (Gasparski, 1990). L'étude du design peut être comprise comme l'étude des mécanismes sous-jacents à la pratique de design, ou comme le décrit Nigel Cross : «l'étude des principes, pratiques et procédures de design» ou plus précisément comme «l'ensemble des travaux qui tentent d'améliorer la compréhension du design par des méthodes de recherche scientifique (c.-à-d., systématique et fiable)» (Cross, 2001) [traduction libre].

Un exemple par excellence d'*étude du design* est la science de l'artificiel de Herbert Simon qui se présente comme le reflet d'une science naturelle : « La science naturelle est connaissance sur les objets et phénomènes naturels. Nous demandons s'il pourrait y avoir des connaissances de science "artificielle" à propos des objets et phénomènes artificiels » (Simon, 1996). Selon l'auteur, l'étude du monde artificiel se préoccupe de :

la manière dont l'adaptation des moyens à l'environnement est amenée et le processus de design lui-même est central à cette notion (...) c'est un ensemble de doctrines intellectuelles, analytiques, partiellement formalisables et empiriques que l'on peut enseigner à propos du processus de design (Simon, 1996). [traduction libre]

Un exemple précédant la science de l'artificiel de Simon peut être retracé en 1968 dans la thèse de Bruce L. Archer :

Cette thèse tente de dresser un cadre à travers lequel les compétences, disciplines sensibles et intellectuelles qui, ensemble, constituent l'art du design peuvent être logiquement associées afin de former une science du design. (Archer, 1968)

Notons que le terme de science du design doit être ici compris comme l'étude scientifique du design. L'élément essentiel de la science d'Archer est la recherche. « La recherche en design, compris non seulement comme l'étude des méthodes de design, mais aussi son ontologie en tant que discipline et activité » (Boyd, Davis, Gristwood, 2016). L'objectif principal d'Archer n'était pas

d'établir une pratique scientifique et systématique du design, mais d'en comprendre la nature. Christopher Frayling cite Archer qui mentionne ses intentions : « Je ne fais pas cela pour aider les praticiens du design. Je fais cela pour comprendre complètement le processus de design» (Frayling, 2013) [traduction libre]. Afin d'y arriver, Archer développe un modèle logique du processus de design dont la plupart des concepts et techniques sont dérivés des sciences de gestion et de la recherche opérationnelle (Archer, 1968).

2.1.2 Typologie Crossienne des bioapproches

La typologie de Cross permet d'apprécier les nuances méthodologiques d'une manière plutôt catégorique, alors qu'elle subdivise les bioapproches en fonction de la relation entre le design et la science qui sous-tend leurs méthodes. Les éléments de cette typologie sont intitulés comme suit :

- a) Le design biologiquement informé (correspond au design scientifique)
- b) La science du design biologiquement informé (correspond à la science du design)
- c) L'étude biologique du design (correspond à l'étude du design)

2.1.3 Design biologiquement informé

Si tel que mentionné plus haut, le *design scientifique* se démarque des méthodes préindustrielles et artisanales, symétriquement, le design biologiquement informé devrait être dissociable des méthodes biomimétiques archaïques. Le désir d'imiter la nature peut être retracé dès l'antiquité, aux écritures de Vitruve, aux travaux de Goethe sur la morphologie ou encore à la notion romantique soutenant que certaines « vérités » étaient observables exclusivement dans la nature et inaccessibles à la raison seule (Myers, 2012). L'œuvre de Leonard de Vinci est un autre exemple préindustriel récurrent. Sa fascination pour le phénomène du vol l'a poussé à étudier le vol de l'oiseau et produire différents prototypes de machines dont un planeur et un appareil ressemblant un hélicoptère (Michel, 2015).

Les premières manifestations d'un *design biologiquement informé*, caractérisé par une pratique moderne et industrialisée faisant usage des connaissances scientifiques spécialisées dans les sciences naturelles et la biologie peuvent être aperçues dans le style Art nouveau en France vers

la fin du 19^e siècle. Cette époque coïncidait avec l'émergence de la biologie comme discipline consolidée et avec le travail de description et de nomenclature naturelle d'Ernst Haeckel (1866) (Myers, 2012).

2.1.4 Science du design biologiquement informé

Le désir de faire du design un domaine scientifique a éventuellement causé un contrecoup majeur durant les années 1970. En effet, une forme de révolte contre la méthodologie du design et un rejet de ses valeurs sous-jacentes s'est fait entendre notamment par les pionniers mêmes du mouvement original des années 1960. Le manque de succès dans l'application des méthodes scientifiques à la pratique de design est soupçonné d'être la cause de cette volteface (Cross, 2007).

Selon John Langrish (2016), la *science du design*, depuis son origine, a malencontreusement été basée sur la méthode scientifique classique, et plus particulièrement sur le modèle des sciences physiques. Ce faisant, les perspectives méthodologiques étaient basées sur une approche inappropriée aux problèmes de design généralement perçus comme des problèmes complexes. Broadbent (2004) attire lui aussi l'attention sur la nature positiviste et rationaliste de la méthode scientifique sur laquelle s'est construite la *science du design* et sa contribution procédurale et technique conforme aux méthodes rigides des sciences *dures*. Cette méthode aurait eu une contribution irrécusable au développement de la pratique design, mais aurait atteint ses limites avant d'avoir démontré ses capacités à supporter les parties essentielles du processus de design. Broadbent encourage à embrasser la théorie de complexité ainsi que la théorie évolutionniste considérant que le design peut aussi être compris comme un système complexe et dynamique :

Placer la théorie de la complexité dans un contexte évolutionniste, basé sur la théorie générale d'évolution, pourrait être la prochaine frontière pour la science du design. (p.27) [traduction libre]

L'extension de la théorie de la complexité vers une théorie évolutionniste permet de souligner la nature structurée de l'évolution et de « rendre les deux théories plus pertinentes et accessibles à la communauté du design » Broadbent (2004).

L'auteur propose que la *science du design* devrait se fonder sur le modèle évolutionniste plutôt que sur le modèle scientifique de la physique. Ce cadre évolutionniste, plus pertinent à la nature de l'acte de design, permettrait un support méthodologique nécessaire à la pratique.

2.1.5 Étude biologique du design

Il existe un corpus littéraire pouvant être qualifié de *théorie évolutionniste* du design, des technologies ou des techniques. La science de l'artificiel de Simon (1998) est un exemple d'étude du design identifié par cette recherche qui emploie un lexique évolutionniste. Les principes de sélection, de mutation et d'adaptation sont souvent présentés comme des mécanismes de l'évolution économique, d'algorithmes génétiques et des systèmes adaptatifs (Simon, 1969). Cependant, l'étude de l'artificiel de Simon n'est pas une étude explicitement évolutionniste, mais plus vraisemblablement une étude systémique de l'artificiel employant un lexique évolutionniste.

Un autre exemple par excellence est la théorie d'évolution technologique de George Basalla (1988) qui est « enracinée dans quatre concepts généraux : diversité, continuité, nouveauté et sélection » (p.25). Dans sa démonstration, Basalla cherche à montrer la continuité artéfactuelle comme résultant d'un processus d'hérédité liant les technologies et les artéfacts humains entre eux. Cette continuité expliquerait la diversité en termes de ramifications technologiques. Cette diversité, qui est caractéristique de la culture matérielle, serait aussi la preuve qu'un mécanisme de nouveauté s'opère, selon l'auteur, dans des contextes psychologiques et intellectuels, mais aussi socioéconomiques et culturels. Finalement parce qu'il existe un surplus de nouveauté et, conséquemment, un écart entre les inventions et les besoins, ou autrement dit, entre la masse de la variété artificielle et des ressources disponibles, il est envisageable pour cet auteur qu'un mécanisme de sélection agisse afin de prioriser les formes ayant un degré d'aptitude surpassant leurs contemporaines.

Dans l'ouvrage de Simon (2008), tout comme dans la théorie d'évolution technologique de Basalla (1988), des narratifs évolutionnistes bien en règle sont proposés; ils seraient capables de rendre compte des principes darwiniens par excellence, comme les mécanismes de sélection, de rétention héréditaire et de variation. Ces ouvrages, en plus de ceux qu'ils ont engendré, sont des comptes-rendus de la pratique et des objets de design élaborés sous le cadre théorique

biologique. Ils mettent en évidence la corrélation entre le monde naturel et la culture matérielle et atteignent ce que le bioparadigme se promet d'accomplir. Pourquoi donc, sont-ils si souvent laissés hors du cadre théorique des travaux et même de la philosophie biomimétique?

Il a été proposé que le domaine des approches bio-informées s'est permis un développement principalement technologique qui éclipse son développement philosophique en regard des questions épistémologiques, éthiques et méthodologiques (Gamage, Hyde, 2011; Kibert, Sendezimir, et Guy 2002; Hyde et al. 2006, Dicks 2016). Ces notions qui sont ici utilisées afin de spécifier la situation biomimétique proviennent de l'intérieur du corps biomimétique. À l'appui de ces notions, et externe au corps biomimétique, l'analyse typologique crossienne démontre aussi un horizon de méthodes incomplet dans lequel l'étude du design sous le cadre biologique constitue un fragment manquant. La lecture évolutionniste de la culture matérielle est existante, les historiens et théoriciens mentionnés plus haut en sont la preuve. Cependant ces interprétations clairsemées dans les corps théoriques restent à être formalisées sous la bannière du biomimétisme afin de permettre au paysage des méthodes biomimétiques de se révéler.

2.2 Dimensions de la problématique

Faire la biologie du design est une entreprise qui soulève une pléthore d'enjeux pouvant être rassemblés sous différentes dimensions, soit épistémologique, téléologique, ontologique et méthodologique. Le cadre de la problématique sera élargi temporairement afin d'aborder sommairement chacune de ces dimensions et d'en comprendre l'étendue et l'interdépendance. Pour chaque dimension de la problématique, la posture biomimétique traditionnelle sera confrontée à une posture évolutionniste, et ce, afin de faire ressortir ces enjeux. Après avoir tracé les grandes lignes de la problématique, l'étude sera recadrée principalement autour de la dimension méthodologique.

2.2.1 Dimension ontologique

Dans la littérature biomimétique, un des éléments principaux qui marque la distinction entre les domaines naturel et artificiel, est le principe de conation, selon lequel les systèmes vivants seraient animés par une volonté ou une impulsion de maintenir et augmenter leur existence :

« Ainsi la conation doit être comprise comme une fonction de l'autonomie ontologique et de l'autodirection des systèmes vivants » (Mathews, 2011, p.381). Cet énoncé illustre une vision partagée par la majorité des auteurs, mais se présente parfois avec un léger bémol en raison de la connotation téléologique du principe de conation. Le terme d'autopoïèse est parfois préféré pour définir les systèmes vivants :

Le biomimétisme devra éventuellement devenir dépendant d'une compréhension explicite de la nature comme *physis*, et que le concept de *physis* doit à son tour être compris en tant qu'autopoïèse ou auto-production. (Dicks, 2016 p. 226) [traduction libre]

La pensée traditionnelle désignant la nature comme *physis* s'inscrit dans la logique aristotélicienne qui oppose la *physis* à la *technè* : ce qui surgit spontanément depuis sa propre essence et ce que est produit artificiel respectivement (Dunshirn, 2019). Autrement dit, concevoir la nature, comme entité dotée d'autopoïèse, «attire l'attention sur la manière principale dont la nature diffère de la technologie : alors que la technologie est produite par quelque chose d'autre, la nature se produit elle-même » (Dicks, 2016, p. 232).

Le cadre évolutionniste partage une posture ontologique semblable, mais qui diffère sur un point névralgique. Elle est caractérisée par les mêmes principes de *physis* et d'*autopoïèse*, mais cette capacité d'autoproduction est aussi attribuée à l'objet artificiel. Chez certains auteurs comme Basalla (1988) « les artefacts sont aussi importants à l'étude de l'évolution technologique que les plantes et les animaux le sont à l'évolution organique ». L'artéfact est lui aussi l'objet d'une forme d'évolution, et ce processus de changement particulier est rendu apparent par ce que l'auteur décrit comme une « continuité » entre les artefacts⁵. Le principe de continuité est clairement associé au principe d'autopoïèse lorsque l'auteur mentionne la possibilité que le réseau des choses artificielles soit « auto-générateur et automotivé » (Basalla, 1988, p. 62) [traduction libre].

⁵ Les quatre piliers de la théorie évolutionniste du technologue George Basalla sont les principes de diversité, continuité, nouveauté et sélection. Nous ferons à nouveau référence à l'idée de continuité dans le chapitre – sur l'hérédité.

Si la *technè* devait être auto-productrice, l'objet de design devrait être subordonné au statut ontologique de l'organisme biologique. La nature même de l'objet artificiel pourrait être reformulée à l'aide d'outils taxonomiques et phylogénétiques. Cette redéfinition classificatrice de l'objet serait le lieu d'une confrontation entre nos structures de compréhension vernaculaire de l'objet et un cadre systématique de classification biologique. Il faudrait trouver la capacité de formuler un concept d'espèce pouvant segmenter la culture matérielle à ses frontières⁶. Il faudrait affronter les mêmes difficultés que les biologistes ont rencontrés dans leur tentative de tracer des structures de sens auxquelles arrimer la complexité de la vie organique.

2.2.2 Dimension téléologique

Benyus (2012) définit le biomimétisme comme l'apprentissage et l'imitation des formes, processus et écosystèmes naturels pour créer des solutions de design durables. L'auteur ajoute que «ce n'est pas vraiment de la technologie ou de la biologie; c'est la technologie de la biologie» (Benyus, 2012 p.2). Cette définition laisse entendre d'une manière indirecte que toute forme émergente du domaine vivant est le résultat d'une *technè* naturelle.

L'objectif général du biomimétisme est donc, étymologiquement, et selon cette définition, l'étude des processus et modes de production de la nature⁷. Par ailleurs, la posture évolutionniste en design possède des objectifs variés, mais souvent parallèles. Certains appliquent les notions évolutionnistes de la connaissance cumulative et des motifs récurrents pour formuler une stratégie de développement de produit à faibles risques (Eger, Ehlhardt, 2018). L'architecte et théoricien Philip Steadman (2008) affirme qu'un objectif pratique accompagne l'étude classificatrice de l'architecture au-delà de la description historique et de l'analyse. Elle permettrait de faire émerger des principes pouvant s'appliquer dans la conception de nouvelles

⁶ Un problème avec les concepts d'espèces est que plusieurs concepts peuvent être adéquats pour différentes disciplines biologiques si leurs champs d'expertise n'est pas d'une nature comparative et concerne une espèce ou une population dans un espace et à un moment spécifique. Mais si on s'intéresse à la comparaison d'entités taxonomiques ou à l'interprétation historique, alors le concept d'espèce est d'une importance capitale.

L'individualisation adéquate de l'espèce est au cœur de la biologie comparative et indispensable pour démêler les concepts de motifs, processus, causes et effets de l'évolution (Cracraft 2000). Symétriquement, dans l'étude d'objets de design, tout résultat de comparaison et toute compréhension juste des mécanismes et processus évolutifs qui sont à l'origine de l'évolution dépendront du concept d'espèces et du modèle de classification employé.

⁷ Définition du terme *technè* du philosophe français Jean-Luc Nancy (Nancy 1994)

formes et comme solutions à de nouveaux programmes ou de nouvelles circonstances. D'une manière plus générale, l'historien George Basalla (1988) propose qu'un emploi sélectif de l'analogie évolutionniste puisse permettre un regard « autrement indisponible sur l'histoire des technologies » (p. 23).

D'après ces exemples, l'application du cadre évolutionniste à l'histoire des technologies et du design est souvent instrumentale, comme dans le cas du biomimétisme traditionnel mentionné plus haut; elle vise à améliorer et guider la pratique de design. Cependant, en vertu de sa posture traditionnelle, le biomimétisme s'accomplit par la technologie de la biologie, alors que la posture évolutionniste s'accomplit par la biologie de la technologie. Cette formule palindromique illustre bien la corrélation inverse entre le biomimétisme traditionnel et évolutionniste, en regard de la dimension téléologique.

La téléologie a fait une réapparition en philosophie des sciences depuis les années 1970, où elle est passée de notion suspecte et de mauvaise réputation à un des sujets les plus brûlants de la philosophie de la biologie (Perlman, 2004). Les positivistes dont le philosophe des sciences Ernest Nagel (1961) considérait l'usage d'un vocabulaire téléologique comme un obstacle à la légitimité scientifique de la biologie de son époque, en contraste avec les sciences physiques qui s'étaient alors libérées de toutes traces de téléologie.

Éventuellement, la connotation métaphysique du langage téléologique a été expatriée hors des frontières des sciences biologiques grâce à l'adoption du mécanisme de sélection naturelle comme source d'explication ultime du domaine vivant. Cette révolution de la pensée naturaliste permet de restituer au lexique finaliste et déterministe régnant dans les explications du monde vivant à un usage rhétorique ou, du moins, à l'établir comme une « façon de parler qu'il convient d'éviter, car elle prête à confusions » (Pérez, 2017). Toutefois, le langage téléologique est si opportun qu'il devient essentiel à la compréhension du règne vivant. Ainsi, selon Ayala (1970) :

« La sélection naturelle signifie une reproduction différentielle des gènes et des combinaisons de gènes. C'est un processus mécaniste qui rend compte des structures et processus dirigés vers une fin chez les organismes vivants. On soutient que les explications téléologiques en biologie sont non seulement acceptables, mais aussi indispensables. » (p. 1) [traduction libre]

Bien que la logique d'explication téléologique soit indispensable à la compréhension du milieu biologique, son rôle est aujourd'hui accepté comme une fonction dialectique plutôt que proprement explicative. Les processus biologiques, comme la sélection naturelle, sont des phénomènes mieux véhiculés par la logique causale de l'explication mécaniste. Le mécanisme est en effet la doctrine dominante dans les sciences naturelles (Walsh, 2012) et doit son triomphe à la structure directionnelle de sa logique orientée vers la cause plutôt que vers un objectif.

Plusieurs ont participé au développement du nuancier sémantique et à établir la téléologie comme un phénomène hétérogène, toujours dans le but de s'éloigner des définitions métaphysiques et des explications non naturalistes. Ernst Mayr, biologiste et historien des sciences considéré comme un des plus influents du 20^e siècle a établi une distinction élémentaire entre les phénomènes d'apparence finaliste⁸. Parmi ces types, seul le terme *téléonomique* est considéré approprié pour aborder les schémas d'apparence téléologique observable chez les organismes (Mayr, 2004). Le phénomène téléonomique se définit comme un processus ou comportement orienté vers un objectif par l'influence d'un programme interne résultant de l'évolution biologique. Ce terme désigne, entre autres, les phénomènes de développement cellulaire, migration, collecte de nourriture, parade nuptiale, ontogénie et reproduction. La présence de ces processus orientés est vraisemblablement un des éléments les plus caractéristiques du monde organique (Mayr, 1997). Dans ces cas, bien que les phénomènes observés semblent dirigés vers un objectif, leur explication est orientée vers les programmes génétiques qui en sont la cause. L'explication téléonomique semble par conséquent appartenir davantage au domaine de logique mécaniste qu'au domaine téléologique.

Confrontés aux doctrines créationnistes, certains biologistes se sont servis de l'objet de design afin de comparer la nature non téléologique du monde organique à l'activité perçue comme téléologique du designer. Avec comme objectif d'affirmer la nature non finaliste du règne

⁸ Les phénomènes *téléomatiques* sont des processus qui persistent vers un point final déterminé dès le départ par ses propriétés. Cela inclut les processus dans la nature inorganique, par exemple une rivière qui s'écoule vers l'océan. L'explication *téléologique* résulte d'une conception finaliste et cosmique du monde organique caractérisé par un développement qui tend vers un objectif supérieur.

biologique, ces scientifiques ont édifié une conception solidement « créationniste » de la culture matérielle.

Le *finalisme* ainsi que le *créationnisme* sont des conceptions téléologiques prévalentes consciemment adoptées dans le domaine du design, tel que démontré par cette citation des professeurs et auteurs Donald Norman et Roberto Verganti dans une correspondance avec le Professeur John Langrish (2014) :

“We are accused of being creationists. We plead guilty. That’s what the field of design is all about: all-seeing, overarching designers who look over their creations and go in and change them. Designers have that luxury. Release a product and call it back for revision. Or completely change the next release, keeping the stuff that worked and deleting the stuff that didn’t. Or completely repurpose it for some other usage that had not been considered at first. None of this incremental creep that evolution must suffer through (...) Yes, as designers we are creationists. We teach it, practice it, and take delight in it.” (Norman, Verganti, et Langrish 2014)⁹

Que ce soit la mécanisation du domaine biologique ou autre événement dans la philosophie des sciences qui ait permis au paradigme téléologique d’envelopper la culture matérielle et la perception du design, la situation est problématique, à tout le moins, conflictuelle avec la perspective évolutionniste¹⁰ : l’évolution de nos structures artificielles est généralement perçue comme un progrès volontaire et directionnel, orienté vers des objectifs, alors que l’évolution biologique s’est affranchie de telles explications téléologiques.

Un autre conflit se déroulant sur le territoire téléologique est disputé autour du principe de déterminisme. Dans les rangs de ceux qui ont adopté l’interprétation évolutionniste, le

⁹ À noter que les auteurs qui se réclament ici de la pensée créationniste font l’emploi du terme d’une manière qui se limite à leur pratique du design et non à des affiliations religieuses. L’opposition entre les explications créationniste et évolutionnistes a été utilisée à quelques reprises pour illustrer l’opposition entre la perspective dominante et évolutionniste dans la théorie du design, par exemple (Michl 2014).

L’historien Edward Constant présente la situation différemment. La nature récursive de la pratique donnerait aux mécanismes de variation et de rétention sélective en sciences et technologies leur caractère rationnel et intentionnel. L’évolution technologique serait ainsi mieux comprise comme un phénomène ni proprement lamarckien ou darwinien, mais plutôt comme une instance unique d’évolution basée sur les processus de variation, de sélection et de rétention (Ziman 2003).

déterminisme est présent sous différentes formes. Chez le technologue Franz Reuleaux, le déterminisme mécanique prend sa source dans des causes internes. Selon De Coninck (1993) :

En 1875, F. Reuleaux apparaît comme le premier personnage à s'être intéressé à l'énonciation d'une loi mécaniste expliquant l'évolution de la machine à partir d'un principe endogène. La Cinématique est bâtie essentiellement autour de la recherche d'axiomes à partir desquels l'élaboration d'une loi générale régissant et déterminant le phénomène technique pourra être élaborée. (pp. 125-126)

Les causes internes animant le changement technique, selon Reuleaux, ne sont pas des causes finales et le changement technique est perçu comme « un phénomène continu, déterminé et déterminable » (De Coninck, 1993) p.127.

Chez André Leroi-Gourhan (1945), les concepts de déterminisme et de *tendance technique* sont synonymes d'une certaine autonomie. Les solutions techniques, résultant du conflit des milieux physiques et mentaux, existent sous un degré supérieur de déterminisme. Elles répondent « à un plan d'équilibre architectural dont les grandes lignes offrent prise aux lois de la géométrie ou de la mécanique rationnelle » et elles ont donc accès à un domaine restreint de possibilités¹¹. D'une manière semblable, chez Lafitte (1972), l'objet artificiel, que l'auteur appelle la machine, ainsi que le règne de ces machines, est doté d'une capacité d'autogenèse :

Maintenant, de nombreuses observations, faites sur les machines, nous donnent des raisons décisives de penser que l'homme, dans leur création, a procédé suivant un ordre constant et qu'il n'a pas voulu. Cet ordre, dont la connaissance est essentielle pour reconnaître les causes déterminant, dans la machine, les singulières différences qui s'y observent, qui ne sont pas le fait de l'homme, mais qui tiennent aux conditions de ses actes créateurs, entraîne, s'il est bien connu, une distribution tout à fait singulière. (p. 61)

¹¹ Bien que Leroi-Gourhan accepte une forme de déterminisme dans l'évolution technique, il ne croit pas en un autodéveloppement indépendant des choix humains, mais il mentionne en exemple que « l'objet technique n'est pas à l'origine une production de l'intelligence, que l'australopithèque ne l'a pas inventé [l'outil] dans un éclair génial ». Ce déterminisme signifie que les contraintes structurales liées au geste opératoire contraignent le domaine des solutions possibles à être incarnées en objets techniques. Ces contraintes consistent en partie en les conditions de genèse de l'objet technique, et les liens génétiques ne sont pas des liens d'un objet à l'autre, mais existent entre l'humain et l'objet technique. C'est à l'humain ou aux groupes humains qu'est rapporté la tendance technique, les relations génétiques entre les réalités techniques et l'évolution de ces relations, mais non sans la présence d'un déterminisme propre au geste opératoire.

Indépendantes de la volonté humaine les machines suivent un ordre *naturel* doté d'un certain « degré de liberté de nos propres déterminations¹² » (p. 91).

Dans la cinématique de Reuleaux tout comme dans l'anthropologie des techniques de Leroi-Gourhan et dans la science des machines de Lafitte, le principe récurrent d'autonomie est synonyme d'un déterminisme endogène, particulier à l'objet artificiel. L'autonomie n'est pas absolue, mais contrainte par différents éléments contextuels qui définissent ses opportunités formelles. Selon Guchet (2008) :

Le déterminisme technique n'implique pas l'idée d'un autodéveloppement historique des techniques, indépendamment des choix humains ; il signifie simplement que le geste opératoire a des contraintes structurales (liées notamment aux propriétés des matériaux), et que ces contraintes se traduisent par exemple par un nombre limité de possibilités d'associer une lame et un manche s'il s'agit d'un outil tranchant. (p. 7)

À l'opposé de l'axe déterministe et suivant une logique voisine des conceptions « créationnistes » de la culture matérielle se trouve le constructivisme social. Cette pensée se définit comme une « excroissance de la sociologie des sciences (qui) présume que les artefacts et les pratiques sont indéterminés par le monde naturel et soutient qu'elles sont mieux comprises comme les constructions des individus et collectivités qui appartiennent à des groupes sociaux » (Bijker, Hughes et Pinch, 1989, p.111). Suivant cette ligne de pensée, le modèle évolutionniste devrait être considéré comme un outil euristique dont les motifs de prévision seraient à être employés avec précaution. Le concept de *momentum* est privilégié plutôt que le concept d'autonomie, en raison qu'il « ne contredit pas la doctrine de construction sociale des technologies, et ne supporte pas la croyance erronée en un déterminisme technologique. » (Bijker, Hughes, Pinch, 1989, p.82) [traduction libre]

¹² D'après Lafitte, l'humain ne détermine pas le développement du monde machinal, mais l'auteur offre une bouée de sauvetage à ceux qui voient en ce constat une perte de contrôle sur le développement du règne artificiel et donc la perte d'intérêt pour son étude : Le développement dans les machines tient plutôt des conditions dans lesquelles se trouve l'humain lors de l'acte créateur, l'intérêt serait donc dans l'étude de nos propres conditions.

Pour le professeur de design industriel John Heskett (2005), il semble évident que les formes et structures artificielles sont des objets qui résultent essentiellement du caractère volontaire et clairvoyant de l'acte humain. Il précise :

Ils ne sont pas inévitables ou immuables (...) et ne sont pas déterminés par les processus technologiques, les structures sociales, les systèmes économiques, ou n'importe quelle autre source objective. Ils résultent des décisions et choix des êtres humains. Bien que l'influence du contexte et des circonstances peuvent être considérables, le facteur humain est présent dans les décisions prises à tous les niveaux de la pratique de design. (p.5) [traduction libre]

Il appert donc que la pensée évolutionniste introduit un conflit d'ordre téléologique lorsqu'elle est portée à modéliser le règne artificiel. Idem, lorsque l'on tente de conjuguer le biomimétisme à une approche évolutionniste, des désaccords fondamentaux font surface : la technologie de la biologie oppose la biologie de la technologie et la perspective « créationniste » oppose une conception évolutionniste de l'objet de design doté d'une forme d'autogenèse.

2.2.3 Dimension épistémologique

Le principe de « nature comme mentor » introduit par Janine Benyus (2009) représente la posture épistémologique en raison qu'il pose la nature comme « source ultime de vérité, sagesse et d'absence d'erreur » (Dicks, 2016). Ce principe est « une nouvelle façon de voir et de valoriser la nature. Il introduit une ère basée non pas sur ce que l'on peut *extraire* du monde naturel, mais sur ce que l'on peut *apprendre* d'elle » (Benyus, 2009, p.6). Le modèle biomimétique donne à la nature le lieu de la connaissance et par conséquent, la posture épistémologique traditionnelle réside aussi dans l'imitation: « l'innovation biomimétique repose sur l'imitation (qui implique la découverte et le transfert des stratégies éprouvées (ou optimisées par l'évolution) » (MacKinnon et al. 2020 p.6).

Le passage d'une technologie de la biologie vers une biologie de la technologie décrit plus tôt représente un changement de logique. Dans le premier cas, le domaine biologique est posé comme le lieu de la connaissance dont il est possible d'imiter les techniques. Dans le deuxième cas, ce ne sont pas les techniques, mais les méthodes de la biologie qui sont imitées. En

réinterprétant le principe d'imitation dans une direction méthodologique, il est possible de déployer les méthodes de la biologie de manière à inclure la technologie comme objet d'étude. La technologie et la biologie sont ainsi réunies dans un rapport d'analogie (voir figure 3).

L'analogie implique d'accéder et de transférer de l'information d'une catégorie à une autre afin de l'utiliser dans la construction de nouvelles idées, dans une tentative de résoudre un problème ou d'expliquer un concept (Gentner, 1998). Définie selon ces termes, l'analogie est semblable à la mimesis. Mais l'adoption d'une logique basée sur l'analogie représente une certaine limitation épistémologique puisque le cadre biologique est appliqué à un sujet autre que le domaine vivant, l'adéquation sujet-modèle est donc dénaturée.



Figure 3 . Modèle épistémologique du biomimétisme (Félix Favreau-Vachon, 2023)

Le raisonnement par analogie capture les parallèles entre différentes situations et implique le transfert d'éléments entre ces derniers pour la construction de nouvelles idées, la résolution de problèmes et l'explication de concepts (Gentner, 1998; Christensen, 2007). Les fonctions de l'analogie ne sont pas étrangères au domaine de design ce qui peut expliquer pourquoi l'analogie a trouvé une place importante dans sa pratique et sa théorie¹³. Les traités d'histoire confirment que les architectes et les designers ont une tendance vers le raisonnement analogique, et le

¹³ Le raisonnement analogique est impliqué dans la plupart des domaines, en particulier dans les domaines où la créativité et la résolution de problèmes sont essentiels tels les sciences, le design et les arts. La conception technique ainsi que les phases initiales du processus de design sont des étapes où la créativité règne et où plusieurs outils et techniques sont fondés sur l'analogie (Gentner 1998).

domaine de prédilection duquel sont transférés les éléments de connaissance vers celui du design n'est nul autre que la biologie¹⁴.

Lorsque confronté à un phénomène, il peut être utile d'identifier et d'étudier un phénomène similaire. L'inférence analogique est une stratégie légitime pour atteindre des connaissances scientifiques. Elle constitue une méthode de découverte en rejoignant des systèmes abstraits, l'un informant sur la forme de l'autre, ou se clarifiant mutuellement. Cependant, l'utilité du raisonnement analogique est limitée. Une erreur commune dans l'usage de l'analogie est de lui conférer une force argumentative autonome. L'analogie possède au mieux une valeur euristique et devient non-essentielle une fois qu'une théorie est formulée (Duhem 1984; Kaptein, 2019).

Ainsi l'analogie serait davantage un outil euristique qu'un fondement épistémique. Elle est souvent un élément important de la modélisation scientifique en tant qu'outil de recherche, mais ne consiste pas en un modèle¹⁵ en soi (Bailer-Jones, 2009). Pour comprendre l'instabilité de l'analogie en design, il suffit de prendre l'extrait d'un manuscrit de la philosophie des sciences où le biologiste américain John Tyler Bonner (1964) exprime son inquiétude par rapport à l'usage d'un tel mécanisme cognitif. Les analogies en biologie seraient, selon cet auteur, « grossières et inexactes et donc peuvent souvent être fallacieuses ». Bonner (1964) souligne qu'il existe souvent plusieurs manières de faire ressembler une chose à une autre et que d'avoir des discussions trop sérieuses au sujet de ces similarités donnerait des idées non seulement inexactes, mais aussi dangereuses :

Les analogies ont-elles fait plus que piquer l'imaginaire et fournir une lecture plaisante; puisque la correspondance entre ces deux choses qui sont comparées est incomplète cela contribue-t-il à une avancée significative dans la compréhension de l'un ou l'autre?
(p.276)

¹⁴ La tendance des designers à se tourner vers les sciences biologiques peut s'expliquer par le fait que les objets de design, ainsi que leur ontogenèse possèdent des caractéristiques qui se prêtent particulièrement bien à une description par la métaphore naturelle. Les principes de cohérence et d'organisation s'appliquent autant bien aux objets artificiels que naturels, chacun possède des parties ou organes interreliés, chacun appartient à un environnement auquel il est adapté (Steadman 2008).

¹⁵ Les analogies sont des relations et les modèles sont des descriptions ils sont tout de même des mécanismes de raisonnement scientifique moderne. (Bailer-Jones, 2009).

Un autre enjeu concerne une opposition de postures épistémologiques. Les sciences naturelles sont ancrées dans l'épistémologie empiriste et la biologie évolutionniste ne fait pas exception (Ayala, Arp, 2009). À l'inverse, certains modèles d'évolution culturelle ont été critiqués au motif que les données empiriques n'étaient pas toujours disponibles pour tester leurs hypothèses, ni pour vérifier leurs prédictions (Best, 1998) ou même que la démonstration empirique était tout simplement impossible (Loasby, 2002). Ces modèles évolutionnistes, bien que riches en théorie et possédant des cadres conceptuels prometteurs manqueraient, de substance et de support¹⁶ (Jong 1999; Poulshock 2018).

La pauvreté des démonstrations empiriques est une faiblesse des théories d'évolution culturelle, et ce, essentiellement parce que la transmission d'éléments de la culture est difficile à observer. En effet, Selon O'Brien et al (2016) :

Contrairement à l'ADN qui est transmis physiquement d'une personne à l'autre dans la transmission génétique, une telle entité empirique n'existe pas pour la transmission culturelle. Bien que nous sachions que quelque chose s'est produit après coup, nous n'avons pas de manière directe de "voir" la transmission. Il n'y a pas de "morceau" matériel qui est passé d'un individu à l'autre.

Les caractéristiques capables de faire la preuve, hors de toute ambiguïté, que le changement culturel est un mouvement évolutionniste sont majoritairement considérées comme impossibles à observer empiriquement. L'élément qui concerne la dimension épistémologique de la problématique ici n'est pas la difficulté à observer le cadre évolutionniste de la transmission culturelle. C'est plutôt l'incompatibilité entre l'empirisme du cadre évolutionniste, d'une part, et la nature inobservable de l'évolution culturelle, d'autre part, qui constitue un enjeu épistémologique saillant. L'un est perceptible et l'autre découle de l'abstraction théorique; chacun nécessitant l'accès à différents types de connaissances.

¹⁶ Certains modèles d'étude culturelle basés sur les méthodes de classification biologique présentent ce défaut. « Il existe un énorme besoin pour les anthropologues, les archéologues et les linguistes de concevoir des études qui déterminent les taux de transmission horizontale à partir de données empiriques ». (Nunn, Mulder, et Langley 2006) p. 204

2.2.4 Dimension méthodologique

Maintenant que les grandes lignes de la problématique sont tracées, il est opportun de la recadrer à la dimension méthodologique. Cela afin d'aborder la situation biomimétique qui a été décrite précédemment comme porteuse d'une certaine dette méthodologique.

Les méthodes biomimétiques se résument à un transfert d'information d'une source biologique vers un produit de design. Deux approches principales permettent de systématiser la translation d'information, soit les approches inductives et déductives. Le processus inductif commence avec une observation de la nature qui est ensuite documentée, attendant une application des principes extraits du sujet naturel. L'approche déductive en est l'inverse. Elle débute avec un problème de design avant de s'étendre vers une recherche de solution ou réponse appropriée dans le domaine naturel (Birkeland, 2002). Les approches inductives et déductives sont aussi appelées respectivement « *bottom-up* » et « *top-down* ». La première approche est généralement plus rapide et les avancées innovatives y sont plus rares (Iouguina 2014; Speck, Speck, 2008). Que le processus soit inductif ou déductif, la direction de l'information est la même : le mouvement se fait depuis la biologie vers la technologie. La distinction est dans la source du mouvement : dans un cas l'information est poussée par la biologie, dans l'autre, elle est tirée par la technologie.

Une autre division possible est la distinction crossienne introduite précédemment (voir section 2.1.2), car elle permet de diviser les approches biomimétiques en trois catégories distinctes. Les deux premières seraient des approches traditionnelles : le *design biologiquement informé* et la *science du design biologiquement informé*. La dernière serait une approche non formalisée ici intitulée la *biologie du design*. Les deux premières s'intègrent dans la posture méthodologique traditionnelle de transfert d'information. D'après ces approches, pour pouvoir imiter la nature, il faut pouvoir la concevoir comme un élément technologique (Zwart, 2019). C'est-à-dire qu'il est nécessaire de concevoir les solutions que les organismes vivants ont développés en réponse à leur environnement comme des innovations pouvant être transférés vers notre culture matérielle. Dans le cas de la troisième catégorie crossienne des bioapproches, soit la *biologie du design*, il est nécessaire d'accéder à une compréhension biologique de la culture matérielle. Il faudrait ainsi cadrer la technologie comme un élément naturel.

Différentes disciplines sont disponibles pour effectuer ce recadrage. À l'ère de la synthèse moderne d'évolution, les sciences génétiques, la physiologie du développement, l'écologie¹⁷, la systématique, la paléontologie, la cytologie et bien d'autres disciplines ont fourni de nouveaux faits et outils de recherche qui ont fait l'objet d'un effort de consolidation synthétique (Gould, 2019). L'idéal serait de confronter chacune de ces sciences à la culture matérielle afin d'évaluer l'efficacité et l'usage de ces méthodes. De fait, ce travail a déjà été entrepris par plusieurs théoriciens notamment autour du cadre darwinien et génétique (Langrish 2004; Whyte 2007; Michl, 1995), ainsi que des méthodes de classification (Steadman, 200b; Lafitte 1972; Deforge, 1985). L'examen méthodologique sera limité à ces méthodes, car l'information est plus abondante dans la théorie du design.

Le modèle génétique, lorsqu'associé au modèle darwinien et appliqué au règne artificiel permet d'introduire à la théorie du design des mécanismes d'évolution qui peuvent être interprétés comme des mécanismes du processus de conception. L'enjeu principal de l'adoption du cadre génétique est qu'il peut offrir une explication formalisée et cohérente de la genèse de nos structures artificielles et, par conséquent, du processus de conception, puisqu'il permet un regard microscopique sur le fonctionnement des changements internes des objets de design. Par ailleurs, l'application des méthodes de classification fait aussi ressortir des enjeux particuliers : confronter la culture matérielle aux sciences classificatrices peut permettre d'investiguer les grands schèmes du mouvement évolutionniste et de révéler la nature des liens qui unissent les différents éléments de l'environnement artificiel. Ces méthodes consistent en un regard macroscopique de la culture matérielle, complémentaire au cadre génétique.

¹⁷ L'écologie est un candidat valide pour l'étude de la culture matérielle. Orientée vers les interactions entre les facteurs abiotiques et biotiques, composée de méthodes et des sciences géologiques, climatiques physique et chimique, on peut imaginer comment la structure écologique peut s'appliquer à comprendre les méthodes de bio-intégration des performances humaines dans le comportement des systèmes naturels (Kibert, Sendezimir, et Guy 2002). De telles disciplines incluent l'écologie industrielle, l'Écologie de la construction, l'Écologie urbaine, l'écomimétisme, ente autres (Gamage et Hyde 2011a).

Tableau 2 : Dimensions de la problématique (Félix Favreau-Vachon)

	Postures biomimétiques	Postures évolutionnistes	Enjeux
Dimension Ontologique	Nature comme physis, capable d'autopoïèse	L'artificiel comme physis, capable d'autopoïèse	La nature même de l'objet artificiel pourrait être reformulée à l'aide d'outils taxonomiques et phylogénétiques
Dimension Téléologique	L'objectif du biomimétisme est la technologie de la biologie	L'objectif du biomimétisme est la biologie de la technologie	Finalisme, Déterminisme technique et autonomie du règne artificiel
Dimension Épistémologique	Principe de mimesis (MacKinnon et al. 2020) Nature comme mentor (J. M. Benyus, 2009; Dicks, 2016)	Principe d'analogie Nature comme proportion	Outil euristique ou modèle, Empirisme vs rationalisme
Dimension Méthodologique	Découverte et transfert (MacKinnon et al. 2020) Cadre la nature comme un élément technologique	Cadrer la technologie comme un élément naturel : Cadre darwinien, génétique, Méthodes de classification,	Formulation d'un modèle ontogénique et d'un modèle ontologique

2.3 La question de recherche

L'idée selon laquelle le domaine des approches bio-informées souffre d'une dette méthodologique a été énoncée. Cette dette peut être tenue responsable des difficultés à répondre aux promesses biomimétiques variées, dont celle de durabilité. L'analyse de la situation biomimétique à l'aide d'un outil conceptuel tiré de l'approche de Nigel Cross (1993; 2001; 2007) permet de construire une typologie des approches biomimétiques révélatrice. Toutefois, l'étude biologique du design tirerait avantage à être formalisée sous la bannière du biomimétisme. Les cadres darwinien, génétique et systématique ont été identifiés comme sujets de recherche. La question posée est la suivante :

Comment ces cadres méthodologiques peuvent-ils être appliqués à la culture matérielle et que peuvent-ils apporter au bioparadigme en design?

Explorer cette question permettra non seulement de démontrer les bénéfices de l'usage du cadre darwinien, génétique et de la systématique en design, mais aussi de mettre en valeur le concept de durabilité comme homologue au concept d'adaptation en biologie.

2.4 Propositions

Un bilan de l'application du cadre darwinien et des méthodes tirées de la génétique et des sciences classificatrices sera donc entrepris afin de répondre à cette question de recherche, et ce, à partir des trois propositions suivantes :

- 1) Le cadre génétique peut s'appliquer à l'étude des objets de design en collaboration avec le cadre darwinien en formulant le processus de conception en termes de mécanismes d'évolution. Le cadre génétique peut aussi construire un modèle ontogénique de l'objet de design basé sur les mécanismes d'évolution;
- 2) Trois grandes approches classificatrices - typologique, phylogénétique et rhizomorphique - ont généralement été appliquées à l'artificiel. L'examen permet de construire un modèle ontologique de l'objet de design basé sur les modèles phylogénétiques et rhizomorphique;
- 3) Il existe un lien entre le principe de durabilité et le principe d'adaptation. Ces deux principes peuvent être perçus non seulement comme le résultat d'un processus organique et équilibré, mais aussi comme un processus continu d'autorégulation.

Chapitre 3 – Méthodologie de recherche

3.1 Méthode d'enquête

Le compte-rendu de recherche présenté adopte une structure particulière en raison de son contenu qui résulte exclusivement d'un examen de littérature. Par souci de transparence et pour situer le lecteur dans le contexte de la recherche, il est opportun de spécifier les conditions ainsi que la nature de cet examen.

La recherche s'est conduite par une approche exploratoire : l'objectif est de développer des hypothèses plutôt que de conduire des expérimentations. En raison de sa nature exploratoire, la recherche s'est principalement développée sans posséder de problématique clairement définie initialement. Elle aspirait plus à une meilleure compréhension de la situation du biomimétisme et des théories évolutionnistes qu'à la recherche d'une réponse finale et conclusive à un problème établi. Sa contribution était donc de « débroussailler » des pistes d'enquête ainsi qu'un terrain potentiel de recherche. La recherche est donc plus fondamentale qu'appliquée : il n'est pas question de trouver une solution à une problématique immédiate présente dans un contexte donné. Il s'agit plutôt de recueillir de la connaissance dans le but de nourrir la théorie et d'expliquer des phénomènes de nature évolutionniste observables dans la culture matérielle.

L'enquête s'est débutée par la recherche de littérature comprenant les mots clés "design", "darwinien" et "évolution". Des auteurs clés se sont alors révélés dont entre autres Philip Steadman (2008) et George Basalla (1988). Leur contribution à cette recherche a été d'établir une base pour la compréhension historique et conceptuelle de l'analogie biologique en design.

L'auteur et professeur John Langrish (2004, 2016) s'est rapidement révélé être un auteur central à la théorie mémétique en design. Son application du principe du même de Richard Dawkins (1976) à la théorie du design s'est révélée être une réinterprétation révélatrice du cadre génétique et des principes fondamentaux de la théorie évolutionniste. Les ouvrages de Langrish ainsi que le corps théorique mémétique fondamental ont servi à construire le modèle ontogénique (chapitre 4). Cependant, la mémétique, ayant été appropriée et développée par les sciences sociales ainsi que la sociobiologie, représentait un corps littéraire principalement

concerné par les changements culturels, la psychologie, la politique et la linguistique. C'est pourquoi une importante portion du corpus ne s'appliquait pas directement à la culture matérielle et fut laissée de côté.

Une poignée d'auteurs se sont intéressés à la culture matérielle et aux objets de design. Le cadre mémétique a été déployé pour enquêter sur le sujet du plagiat en architecture (Martosenjoyo, 2020), pour explorer comment s'applique le mécanisme de sélection darwinien en architecture (Salingaros et Mikiten 2001), pour reformuler le succès des meubles produits par IKEA en termes darwiniens (Yalman 2014), pour étudier le changement évolutif des emballages de cigarettes en Turquie (Kocabiyik 2012), pour étudier l'évolution des téléphones cellulaires (Khanafiah et Situngkir 2004) et la configuration des différents types de claviers (Aytaç, 2005). Ces recherches se sont révélées être limitées à leurs natures descriptives. Comme le dit Herbert Simon, les sciences naturelles sont concernées par l'état des choses, et le design, quant à lui, est plutôt concerné par comment les choses devraient être (Simon, 1996). Parmi les publications mémétiques examinées, aucune n'a semblé démontrer une solution à ce problème de franchir la frontière descriptive, beaucoup de ces ouvrages ont donc été laissés de côté.

La dépendance de la théorie mémétique sur la génétique et sur les sciences biologiques poussa la recherche à s'approfondir vers la philosophie de la biologie. Ce corps littéraire porte comme sujet principal les systèmes de classifications qui ont aidé à construire le modèle ontologique (chapitre 5). La philosophie de la biologie aborde aussi plusieurs enjeux fondamentaux qui ont servi à formuler la problématique générale de la recherche ainsi que les différents enjeux associés à ses dimensions méthodologiques, ontologiques, téléologiques et épistémologiques. La somme de ces dimensions représentait un portrait complet de la situation, mais trop extensif pour permettre une analyse en profondeur, ils ont donc été synthétisés dans l'énonciation de la problématique.

Un corps littéraire qui sera défini comme la philosophie des techniques, comprenant comme figure de proue Gilbert Simondon (1989) et qui regroupe des auteurs se réclamant de la mécanologie (Lafitte, 1972), de la spécialisation de technologue (Deforge, 1985) ou de l'ethnologie (Leroi-Gourhan 1945, 1971) a aussi été à l'étude. Leurs ouvrages ont aidé à la

construction du modèle ontologique (chapitre 5). Malgré la distance disciplinaire qui les éloigne parfois les uns des autres, il s'agit de la nature autoréférentielle de leur ouvrage commun et de l'imperméabilité de la littérature française aux corpus anglophones qui fait en sorte qu'ils se rejoignent dans un cadre littéraire commun. Leur avant-gardisme, vis-à-vis l'application des principes génétiques et évolutionnistes à la culture matérielle est aussi une caractéristique commune de leur contribution.

La littérature sur la méthodologie en design, soit les ouvrages associés au mouvement des "design methods" ont aidé à recadrer la recherche autour d'enjeux de nature méthodologique. En particulier, les travaux de Nigel Cross (1993, 2001, 2007) ont fourni un appareil conceptuel sur lequel se construit l'analyse : la typologie des relations entre les sciences et le design.

Le corpus théorique biomimétique a été étudié et les ouvrages de nature philosophique, méthodologique et sémantique ont été retenus pour construire la problématique et arrimer les théories évolutionnistes à des enjeux de design contemporains tels que le principe de durabilité.

Certains corps théoriques explorés ont dû être laissés de côté. La sociologie de l'innovation, bien qu'elle emploie parfois un lexique évolutionniste pour décrire le progrès technologique, était construite d'après une approche anthropocentrique. Sa logique explicative, vis-à-vis les phénomènes de la culture matérielle, s'opposait généralement à la perspective évolutionniste et n'a pas été exploitée dans la construction de l'argumentaire. L'anthropologie et l'archéologie ont aussi été à l'étude. Leur intérêt pour les changements culturels ainsi que leur longue et riche tradition de classification des artefacts représentaient beaucoup de promesses pour la recherche. Cependant, les sources primaires de ces corps théoriques dataient du 19^e siècle et n'avaient pas encore été touchées par la pensée darwinienne. Les systèmes classificatoires archéologiques subséquents, à l'exception des travaux de Leroi-Gourhan (1945, 1971), se sont aussi révélés être d'une nature prédarwinienne et ont été retenus hors de l'analyse.

3.2 Objectifs et contributions

L'objectif principal est d'examiner comment l'usage des méthodes biologiques se traduit dans le domaine des technologies, de la culture et du design et de démontrer quelles contributions ces

approches peuvent fournir à la théorie du design. Un objectif secondaire est de synthétiser les comptes rendus évolutionnistes de la culture matérielle en différents modèles applicables à l'étude du design. Il s'agissait aussi d'employer des notions évolutionnistes afin de formuler un concept de durabilité qui coïncide avec programme biomimétique. Enfin, il convenait aussi de démontrer la possibilité d'opérationnaliser les approches évolutionnistes et d'offrir une perspective cohérente et formalisée sur le processus de conception.

Une des premières contributions à considérer est la formulation et le développement de la problématique générale dans ses dimensions épistémologiques, ontologies, téléologiques et méthodologiques, et des enjeux qui y sont associés. Cette synthèse d'information est le résultat de la partie exploratoire de la recherche et témoigne d'une intention de structurer le terrain de recherche en amont ainsi qu'en aval du sujet. Une autre contribution est le déploiement de la typologie crossienne comme outil conceptuel dans le but d'analyser le contexte méthodologique du biomimétisme. Cet exercice a eu pour conséquence d'établir des distinctions révélatrices au sujet des approches biomimétiques.

La synthèse des méthodes de classification présentée en fin d'argumentaire est aussi considérée comme une contribution notable puisque les analyses systématiques des classifications rigoureusement cadrées par les méthodes de la biologie ont semblé absentes de la théorie du design lors de l'examen exploratoire. Finalement la formulation des modèles ontogéniques et ontologiques de l'objet de design est la contribution finale de la recherche.

Partie II.

Méthodes d'études évolutionnistes du design

Chapitre 4 – Modèle génétique

Ce chapitre est dédié à l'examen du processus de conception de l'objet de design selon une combinaison de principes génétiques et du cadre théorique darwinien. Les mécanismes d'évolution sont entrelacés et difficiles à traiter de manière individuelle en raison de leur structure de dépendance. Le premier mécanisme présenté est celui qui assure la continuité entre les structures artificielles. Ce mécanisme d'hérédité et l'unité de rétenion qui y est associée introduisent une vision « atomiste » de la culture matérielle positionnant les idées de design comme les particules élémentaires de la conception sur laquelle agissent les autres mécanismes. Le mécanisme de réplication de ces idées est ensuite élaboré ainsi que les différents phénomènes qui sont à l'origine de la variation et de la diversité matérielle. Finalement, le mécanisme de sélection, qui agit comme filtre sur les idées de design, est élaboré.

4.1 La rétenion

L'importance du mécanisme de rétenion par hérédité est inestimable. Chaque mécanisme d'évolution joue un rôle irremplaçable, mais l'hérédité est l'élément qui assure la continuité du mouvement évolutif : « Établir le mécanisme par lequel les similarités entre les générations subséquentes d'artéfact sont produites est essentiel à n'importe quelle approche évolutionniste » (Augner, 2001 p.2).

La rétenion, synonyme d'hérédité, est le mécanisme par lequel un organisme reçoit de l'information génétique. En cette somme d'information consiste le génotype qui se distingue du phénotype :

Le génotype est le patrimoine héréditaire inscrit dans les gènes qu'un individu reçoit de ses géniteurs. Le phénotype correspond à l'expression, l'actualisation, l'inhibition ou la modification des traits héréditaires dans un individu en fonction des conditions et circonstances de son ontogenèse dans un environnement donné (Morin, 1980) p. 137.

Les termes d'hérédité ou de rétenion dans les structures naturelles font souvent référence à la transmission d'information génotypique; c'est-à-dire les instructions pour la genèse d'un

organisme. À l'opposé, le phénotype est bien le résultat de l'influence de l'environnement sur le génotype.

Le principe de rétention dans l'artificiel est d'une importance capitale puisque, sans mécanisme assurant une forme de continuité entre les artefacts, la théorie selon laquelle ces derniers subissent un changement proprement évolutif s'effondre. Ainsi, selon Basalla (1988) :

Si la diversité artefactuelle doit être expliquée par une théorie d'évolution technologique, alors nous devons être capables de démontrer que la continuité existe entre les artefacts, que chaque genre de chose fabriquée n'est pas unique, mais apparenté à ce qui a été fait auparavant (p. 208).

En biologie, ce sont les travaux de Mendel (1866) qui ont révolutionné la compréhension de l'hérédité par le développement de la génétique (Charlesworth, Charlesworth, 2009). Toutefois, le mécanisme de rétention dans les structures artificielles est difficile à localiser. Les théoriciens qui tentent d'en faire la démonstration ou d'en défendre l'existence par le verbe n'ont pas tous la même définition de sa nature, de sa source, ni de son fonctionnement. Chez Lafitte (1972), le principe d'hérédité entre les machines est expliqué par la dépendance du concepteur à l'expérience ancestrale ainsi que par la rétention des caractères acquis dans les machines antérieures :

(Le technicien) utilise ces richesses, d'instinct parfois, sans porter vers leur origine l'effort de son intelligence. Mais il suffit qu'il les ait reçues pour les utiliser, et si leur possession lui évite les longs retours et les laborieux recommencements, l'œuvre à laquelle il collabore n'en porte pas moins le témoignage de cette récapitulation. (p. 98)

D'une manière réciproque, il est possible d'avancer l'idée que le designer fait usage, lui aussi, des connaissances « ancestrales » et de compétences qui lui ont été enseignées pour guider son acte de conception, et ce, sans avoir à faire l'expérience lui-même des connaissances cumulatives et transférables.

Selon Lafitte (1972), le transfert par mécanisme héréditaire « ne se rencontre pas dans les machines et cependant, sans prononcer sur celui qui assure, en elles, la transmission des

caractères, il semble qu'on peut leur appliquer le langage de l'hérédité » (p.102). Selon l'auteur, ce serait vraisemblablement l'héritage technologique qui serait la source de cette rétention unissant les artefacts. Alors que pour Basalla (1988), la source de cette hérédité résiderait plutôt dans la capacité à observer ces traits dans le phénotype des artefacts :

Il est tout à fait évident qu'au niveau de l'artefact la continuité a prévalu; le design du premier moteur électrique doit plus aux artefacts préexistants qu'à la théorie scientifique (...) Chaque nouveau système technologique émerge d'un système antécédent, tout comme chaque nouvel artefact unique émerge des artefacts antécédents. (p.49) [traduction libre]

Si l'impression pour le technologue et l'historien souscrivant à l'interprétation évolutionniste est que l'hérédité est observable dans les artefacts ainsi que dans la transmission des techniques, les questions sur son fonctionnement ou sur l'unité de transmission restent sans réponses. Cette situation est semblable au contexte dans lequel C. Darwin publiait *On the Origin of Species* (Darwin, 1859). En effet, au moment même où il proposait le principe de spéciation par sélection naturelle, sur lequel s'est construite la compréhension scientifique générale de l'évolution biologique, Darwin ignorait les fonctionnements internes de l'hérédité, c'est-à-dire la génétique. La communauté scientifique n'eut pas à attendre bien longtemps avant que les connaissances émergentes sur la génétique à la suite des expériences d'hybridation de G. Mendel (1865) répondent à cette question du fondement de l'hérédité.

Dans le cas des théories d'évolution culturelle et matérielle, la réponse à la question de l'unité de transmission a été formulée de manière précise par R. Dawkins (1976), qui a fourni aux théoriciens l'analogie culturelle du gène : le *mème*, c'est-à-dire, l'unité de rétention culturelle.

4.1.1 L'unité de rétention

Les termes *mème* et *mémétique* ont été formulés pour la première fois par Dawkins, biologiste, éthologiste, théoricien de l'évolution et professeur à l'université d'Oxford, dans le chapitre intitulé *les « mèmes », nouveaux répliqueurs* dans le livre *Le gène égoïste* (1976). Dans cet ouvrage, Dawkins se base sur la théorie darwinienne ainsi que sur le principe réductionniste de

sélection au niveau génétique de George C. Williams (1966)¹⁸ afin d'offrir une meilleure compréhension de la sélection naturelle et des autres mécanismes de l'évolution. Dans les premiers chapitres, il décrit la nature répliquative du gène comme explication fondamentale de l'évolution biologique. Dans le chapitre en question, il propose le mème comme élément analogue au gène, une entité porteuse d'information culturelle dont la nature répliquative pourrait offrir une nouvelle vision de l'évolution culturelle¹⁹ :

Nous avons besoin d'un nom pour ce nouveau répliqueur, d'un nom qui évoque l'idée d'une unité de transmission culturelle ou d'une unité d'imitation. « Mimème » vient d'une racine grecque, mais je préfère un mot d'une syllabe qui sonne un peu comme « gène » (...) On trouve des exemples de mèmes dans la musique, les idées, les phrases clés, les modes vestimentaires, la manière de faire des pots ou de construire des arches. Tout comme les gènes se propagent dans le pool génique, en sautant de corps en corps (...) les mèmes se propagent dans le pool des mèmes, en sautant de cerveau en cerveau par un processus qui, au sens large, pourrait être qualifié d'imitation. (pp. 260-261) [traduction libre]

Bien que Dawkins fut le premier à discuter de l'évolution culturelle en termes mémétiques, les modèles d'évolution culturelle basés sur l'action de répliqueurs ne sont pas nouveaux (Best 1998). Dawkins mentionne lui-même certains auteurs ayant abordé le sujet tel que Karl Popper (1972) qui met en lumière l'analogie entre le progrès scientifique et l'évolution génétique par forme de sélection. La tradition de pensée qui utilise la comparaison entre l'évolution organique et culturelle apparaît dans l'histoire à répétition, par exemple dans les travaux du zoologue et biologiste évolutionniste Richard W. Semon (1921) qui présente l'idée d'une évolution sociale par hérédité des caractères acquis, construite autour du concept de « Mneme²⁰ ». L'idée d'une unité

¹⁸ Le discours dominant au début des années 1960 en biologie évolutionniste proposait que la sélection naturelle agit au niveau du groupe pour « le bien de l'espèce ». Dans son livre *Adaptation and Natural Selection* (1966) Williams propose que la sélection s'effectue d'une manière plus significative au niveau du gène et de l'individu plutôt qu'au niveau du groupe ou de l'espèce. Les idées de Williams dont la notion réductionniste de sélection au niveau du gène ont été reprises et popularisées par Dawkins (1976) et restent aujourd'hui des pierres angulaires de la théorie biologique (Meyer 2010).

¹⁹ À noter que Dawkins a spécifié dans la préface d'un ouvrage dédié à la mémétique de S. Blackmore (Blackmore 1999) que son intention était de plaider pour la reconnaissance que l'ADN n'était pas la seule entité capable de répliquer et non d'offrir une théorie de l'évolution culturelle.

²⁰ Die Mneme : Étymologiquement provient du grec pour mémoire, fait référence à un « engramme » par lequel les stimuli externes sont intériorisés dans la mémoire selon des processus biochimiques. À remarquer la ressemblance entre ce terme et celui proposé par Dawkins, pourtant aucune mention n'est faite à propos de Semon dans le livre de Dawkins.

d'évolution était proposée dès 1921, mais sans définition précise de son fonctionnement ou de son caractère observable.

Il est pertinent de mentionner ici une des sources d'inspiration pour le concept du mème de Dawkins, l'anthropologue F. T. Cloak qui dans son livre *Cultural Microevolution* (Cloak, 1966) explique que l'analogie évolutionniste peut «*donner une nouvelle vision de la nature du changement culturel*». Cloak compare le flux génétique dans les populations à la diffusion culturelle. L'auteur remarque que la diffusion culturelle est souvent présentée comme s'il s'agissait de la diffusion de comportements ou d'artéfacts, mais il serait plutôt question selon lui, d'une diffusion des idées ou des instructions pour la fabrication encore ou pour l'usage de certains outils. Le gène étant compris comme une unité d'instruction pour le développement de l'organisme ne possédait pas d'élément comparable dans le lexique de l'anthropologie culturelle (à l'époque tout du moins). L'auteur avait donc proposé avec le terme provisoire qui serait l'analogue du gène : « l'unité d'instruction culturelle ».

Il est possible de multiplier les exemples de ce genre, tous donnant l'impression que l'idée d'évolution culturelle est présente depuis longtemps et que les regards traditionnels anthropologiques, sociologiques et philosophiques ont souvent émis des hypothèses concernant le problème de définir et de décrire l'unité d'évolution culturelle. C'est toutefois à Dawkins que la communauté doit le concept formalisé du mème comme répliqueur.

Tel que mentionné, les mèmes sont ce dont il y a réplique. Ils sont les témoins de la continuité entre les artéfacts humains, mais ceci n'est qu'une partie de la structure évolutionniste. Définir la nature de cette réplique est un enjeu qui scinde la communauté méméticienne. Il est proposé que la transmission mémétique n'ait lieu que quand une information est répliquée par imitation exclusivement (Blackmore, 1998). Certains auteurs incluent toutes les formes d'apprentissage social comme moyen de réplique et considèrent un champ de comportements et d'idées plus ample, comme faisant partie de la transmission proprement mémétique d'information

culturelle²¹ (Boyd, Richerson, 1985; Delius, 1989; Plotkin, 1996; Gabora, 1997; Reader, Laland, 1999).

4.1.2 La structure de rétention

À la suite de l'explication *mémétique* de l'évolution matérielle survient souvent une difficulté à comparer les modes d'hérédité culturelle et biologique. La différence principale qui a dérangé l'analogie et perturbé les discussions se situe au niveau de la *direction* que s'effectue le transfert d'information. En effet, deux types de transmission, génétique ou culturelle, sont abordés : la transmission verticale et la transmission horizontale.

La transmission génétique chez les organismes multicellulaires se fait presque uniquement d'une manière *verticale*, c'est-à-dire de l'ancêtre au descendant²². Cette linéarité génétique, génération après génération, au terme du processus de spéciation fait en sorte de créer des espèces isolées génétiquement. À l'intérieur de ces espèces, les individus peuvent échanger du matériel génétique, mais la recombinaison inter-espèces est généralement impossible en raison de leur incompatibilité²³.

Chez les microorganismes, dont les procaryotes et eucaryotes unicellulaires, l'hérédité latérale ou horizontale est un mécanisme d'une importance majeure. Le transfert de gène latéral implique le transfert de matériel génétique d'un organisme à l'autre, peu importe la distance évolutive qui les sépare (O'Malley, Dupré, 2007). Cette capacité des microorganismes à échanger du matériel génétique d'une manière horizontale leur permet d'acquérir des caractères génétiques ayant des tracés évolutifs bien différents des uns aux autres, mais aussi des caractères insolites très éloignés de leur génome.

²¹ Brodie (2011) accepte le conditionnement opérant ainsi que toutes formes de conditionnement comme une transmission mémétique. Gabora (1997) va jusqu'à inclure les idées, perceptions, émotions et « tout ce qui peut être sujet d'une expérience instantanée » comme transmission mémétique.

²² L'importance du rôle du transfert génétique latéral est reconnu dans l'évolution des procaryotes et eucaryotes unicellulaires. Cependant, dans les dernières années, des preuves se sont accumulées démontrant la présence de gènes d'origine procaryotique dans les génomes eucaryotes (Ros et Hurst 2009).

²³ Bien qu'aucun concept d'espèce ne soit universellement accepté, cette notion d'isolationnisme reproductif est au cœur de plusieurs concepts d'espèce (J. S. Wilkins 2009).

La culture matérielle a souvent été représentée comme dotée d'une structure d'hérédité horizontale (Acerbi, Mesoudi 2015; Mesoudi, Whiten, Laland 2004; Boyd, Richerson, 2005; Eerkens, Lipo 2007; Buckley, 2018).

Le mécanisme assurant l'hérédité de l'information mémétique en design peut donc être modélisé comme un processus bidimensionnel. La première dimension est l'hérédité linéaire, synonyme de spéciation et d'isolation des groupes d'idées mémétiques. Pour illustrer cette dimension de la rétention, il est possible d'imaginer un artisan qui, pour concevoir et fabriquer un outil, procède par imitation scrupuleuse d'un outil précédent. Il copiera ainsi l'outil dans chacun de ses détails au meilleur de ses capacités. Par la suite, un autre artisan se livrera au même processus, imitant le nouvel outil dans son entièreté, sans oublier ni ajouter de détail, au meilleur de ses capacités, et ainsi de suite. Ce mode hypothétique de transfert d'idées de design, d'une génération d'outil à l'autre, est vertical, puisqu'il reproduit du matériel mémétique venant chaque fois d'une seule source, et les idées de design sont retenues, en un groupe isolé, suivant une direction de spéciation, sans jamais exprimer de compatibilité avec les groupes d'idées externes.

Imaginons maintenant un individu n'ayant pas de besoin spécifique autre que d'exercer sa liberté créative en concevant un outil dont la fonction instrumentale n'est pas décisive de sa forme. Cet individu aurait accès à tous les outils existants, toutes fonctions confondues; la genèse de cet outil serait par conséquent le fruit d'un processus aléatoire de combinaisons d'idées de design observable dans les différents outils à sa disposition. Le résultat chimérique d'un tel processus de conception constituerait une illustration de la dimension horizontale du processus de rétention en design.

Cette distinction présente deux modes discrets et opposés de rétention dans le but d'illustrer les deux extrêmes de ce qui est, en fait, un spectre continu de modes de rétention des idées de design. Dans « *Notes on the synthesis of form* » (1964), Christopher Alexander procède à illustrer cette même distinction. Bien qu'il n'arrime pas son analyse au cadre génétique, il fait une distinction claire entre ce qu'il intitule le processus inconscient et le processus conscient.

Le processus inconscient est décrit comme appartenant à un contexte artisanal, où les formes sont produites selon des règles non formalisées, mais rigides et implantées dans une culture de

tradition. Le processus inconscient résiste fortement au changement et possède une forme de fixisme inhérent dû aux structures de tabous, mythes et traditions; le changement délibéré est réfréné et la répétition constante est assurée. Alexander décrit ce processus comme un système homéostatique, autorégulé, organique, générant des formes adaptées à leur environnement puisque dans le système de production, il existe un lien direct entre l'échec d'une forme et sa correction.

À l'autre extrémité se trouve le processus conscient, situé dans un contexte où les éléments responsables de la stabilité et de l'aptitude des formes émergentes disparaissent. Dans un contexte industrialisé et mondialisé, les matériaux ne sont plus à portée de main et les formes sont relativement permanentes. Puisque la construction et la réparation ne sont plus entre les mains de l'utilisateur, mais rapportées aux spécialistes, le lien sensible entre l'échec d'une forme et sa correction est brisé. Et à la mesure que la tradition perd de son hégémonie, la résistance au changement intentionnel s'affaiblit. Ainsi la culture, qui changeait lentement dans le cas des processus inconscients et laissant amplement le temps pour l'adaptation, change maintenant si rapidement que l'adaptation ne peut plus s'effectuer. Le processus n'a plus le temps d'atteindre l'équilibre et les formes dotées d'aptitude ne peuvent émerger.

Alexander (1964) illustre ses propos en mettant en exemple une poignée de bâtiments modernistes célébrés par la communauté du design. Il explique que ces prouesses architecturales sont déficientes du point de vue de l'adaptation. La maison Farnsworth de Mies Van der Rohe, bien que clairement organisée, ne consiste pas en un triomphe si l'on considère les tendances d'inondations de la rivière adjacente à sa construction. Les dômes géodésiques de Buckminster Fuller ont offert une solution au problème du poids des structures couvrant une longue distance, mais il serait difficile de les accommoder d'une simple porte. La « *Dymaxion House* » du même architecte serait un formidable produit industrialisé, apte à la production et à la distribution de masse; elle serait toutefois indifférente aux incongruences, aux tourments, et à la complexité d'une ville moderne.

Le cadre génétique et le mécanisme d'hérédité vertical et horizontal semblent coïncider avec la distinction de Alexander au sujet des processus de production des formes artificielles. L'hérédité

verticale correspond au processus inconscient et organique doté d'homéostasie et capable de générer des formes aptes. Alors que l'hérédité horizontale correspond au processus conscient, à la rupture avec les traditions et à un désir d'expression. Cependant, ce désir est tempéré par les capacités limitées de l'humain à inventer. Selon Alexander (1964) :

Achever en quelques heures sur la table à dessin ce qui jadis prenait des décennies d'adaptation et développement, d'inventer la forme qui soudainement est apte à son contexte – l'étendue de la capacité d'invention nécessaire s'étend au-delà du designer moyen. (p. 59) [traduction libre]

4.2 La répllication

Pour se répliquer, l'information mémétique doit être capable de se propager ainsi que de préserver son contenu dans une mesure acceptable, de la même manière que le matériel génétique doit se répliquer avec une certaine fidélité.

La logique la plus élémentaire qui est parfois employée pour contester l'idée d'évolution technologique est probablement l'objection selon laquelle l'artéfact n'est pas une entité vivante et qu'il ne peut se reproduire. C'est une critique qui a été faite, entre autres, par Adrian Forty dans *Objects of desire* (1989) lorsqu'il objecte que les artéfacts non pas de vie propre, ni de structure génétique interne. Une réponse à ce genre de remise en question peut être prise en exemple dans la logique de Samuel Butler (1972) rapportée par l'historien George Basalla (1988):

Aux sceptiques qui ont objecté que les machines ne peuvent être considérées comme vivantes et en évolution parce qu'elles sont incapables de se reproduire elles-mêmes, Butler a répondu que dans le règne des machines la reproduction est accomplie d'une manière différente. La propagation de la vie mécanique dépend d'un groupe d'artifices vivants, appelés machines-outils, qui sont capables de produire une large variété de machines stériles. (p. 16). [traduction libre]

Pour Butler, tout comme pour Basalla, la question de la répllication dans les machines n'est pas problématique, mais leur réponse n'est pas une explication évolutionniste. La machine aide à créer la machine, mais le rôle de l'humain reste d'une portée indéfinie et la recherche des structures internes de répllications, telles que l'unité et les mécanismes de rétention, est mise de

côté. L'objection initiale de Forty, selon laquelle les entités artificielles sont démunies des structures nécessaires à leur autoreproduction, se résume à « *machines don't mate* » et reprise par John Langrish (Langrish, 2004) qui, lui, attire l'attention sur une autre partie de la discussion de Butler (1972) :

Est-ce qu'on dira du trèfle rouge qu'il n'a pas de système de reproduction parce que l'humble abeille (et l'abeille seulement) doit l'aider et contribuer avant qu'il puisse se reproduire. (...) l'abeille est une partie du système de reproduction du trèfle. (p. 240)
[traduction libre]

Le lien que trace Butler entre le système de reproduction du trèfle et celui de la machine est que chacun dépend d'un messenger pour transporter ses instructions génotypiques. De la même façon que le trèfle dépend de l'abeille pour transmettre son information génétique, l'objet artificiel est muni d'un système de reproduction externe dans lequel l'être humain assure la transmission de l'information. Cette information que Langrish qualifie comme mémétique est comparable à la manière dont l'information génétique circulait sur terre pendant près de mille-millions d'années, avant l'apparition de la reproduction sexuée (Langrish, 2004). Selon Langrish, ce mode de répliation par lequel les idées de design peuvent s'associer et se recombiner n'invalide pas la notion que la culture matérielle procède selon un changement darwinien.

Dans le but d'approfondir la compréhension du fonctionnement du mécanisme de répliation des idées de design, il est utile de faire appel au cycle de vie des idées (qui est également le processus de répliation) proposé par F. Heylighen (1999)²⁴. Selon cet auteur, le cycle est composé de quatre étapes : l'assimilation, la rétention, l'expression et la transmission; ces dernières seront décrites ci-dessous dans les termes mémétiques employés par l'auteur.

Le cycle débute par l'assimilation du même par un hôte. Pour se faire, l'information mémétique soit, une idée ou un comportement doit être remarqué. Il peut s'agir du moment où l'on rencontre un véhicule d'information comme un artefact, ou de la découverte indépendante d'un phénomène externe ou encore par la pensée, par la recombinaison d'éléments cognitifs.

²⁴ Ce cycle est proposé par Francis Heylighen, chercheur pour le *Fonds national de la recherche scientifique* (FNRS) dont les recherches portent sur l'émergence et l'évolution de la complexité et sur l'auto-organisation des systèmes intelligents, fondateur et éditeur de la revue *Journal of Memetics* qui cessa ses publications en 2008.

L'information doit être saillante pour que son hôte puisse y porter son attention, mais aussi compréhensible pour que l'hôte puisse représenter l'information dans son système cognitif. Pour Heylighen (1999) :

L'esprit n'est pas une page blanche sur laquelle n'importe quelle idée peut être imprimée. Pour être compris, une nouvelle idée ou un nouveau phénomène doit pouvoir se connecter aux structures cognitives déjà accessibles à l'individu. (p.2)
[traduction libre]

La seconde étape de la réplication mémétique est la rétention de l'idée dans la mémoire de l'individu. Cette rétention dépend de l'importance que l'hôte accorde à l'idée et de la fréquence à laquelle elle est remémorée, soit par un rappel récurrent de l'idée par des causes externes, soit par une répétition interne fréquente : « Tous les paradigmes de l'apprentissage conviennent que les expériences sont encodées plus profondément dans la mémoire par renforcement fréquent²⁵ ».

La troisième étape est l'expression de l'idée ou du comportement par l'individu. Cette expression peut se faire par l'intermédiaire linguistique, par un texte, une image ou un artéfact, mais doit nécessairement émerger de son état de « structures de stockage dans la mémoire » et procéder vers un état physique ou conceptuel accessible à autrui. L'auteur précise que l'expression n'est pas toujours une décision consciente : « Un même peut être exprimé simplement par la manière dont quelqu'un marche ou manipule un objet ou par ce qu'il ou elle porte²⁶ ». Pour rediriger brièvement cet exemple vers le domaine du design, rappelons comment certains auteurs ont réitéré l'importance de l'aspect intuitif du processus de design :

C'est seulement dans les récentes années qu'ajouter la phrase « et intuitive » sembla cruciale à ma définition du design (...) La partie sensorielle du processus créatif était manquante de ma définition originale. Malheureusement l'intuition elle-même est difficile à définir en tant que processus ou habileté. Néanmoins, elle affecte le design d'une manière profonde. Puisque par l'inspiration intuitive, nous faisons intervenir les impressions, idées et pensées que nous avons collectées à notre insu aux niveaux subconscient, inconscient et préconscient. (Papanek, 2005) [traduction libre]

²⁵ *Ibid.* [traduction libre]

²⁶ *Ibid.* [traduction libre]

Suivant cette logique, une idée de design incarnée dans un artéfact peut parfois s'y retrouver pour des raisons non intentionnelles, mais plutôt inconscientes. Cette notion, native des théories mémétiques (Heylighen, 1999), comme des théories de design plus traditionnelles (Schön, 1983) ou même écologiques (Papanek, 2005), définit le processus de design comme un déroulement de décisions dans l'espace cognitif d'un designer non omniscient. Ce qui, sous la lentille évolutionniste, peut être compris comme le terrain de compétition entre certaines idées de design. Idées dont l'expression dépend de ce concours dont le designer se fait le juge et exerce une sélection qui n'est pas toujours rigoureuse puisqu'elle se présente comme un mécanisme d'intuition plutôt qu'un mécanisme d'élimination systématique.

La dernière étape du cycle de réplication est la transmission de l'idée vers un autre individu; ce qui nécessite un véhicule suffisamment stable pour transmettre l'information sans perte ou déformation considérables. Une forme de sélection s'opère à ce stade agissant sur le véhicule de transmission. Une communication peut se perdre dans la quantité d'information en transmission : « Spécialement depuis l'émergence des médias de masse, le stade de transmission est celui où le contraste entre les mêmes avec et sans succès est le plus large, et où la sélection pourrait avoir le plus grand impact ». Une communication peut aussi s'effriter ou se modifier au moment de son intériorisation. Selon Steadman (2008) :

Quand les mêmes sont transmis d'un esprit à un autre, ils peuvent être reçus d'une manière très imparfaite (...) N'importe quel enseignant qui a vu les notes de séminaires d'étudiants, ou leurs copies d'examens, sait à quel point peu de ce qui a été livré avec espoir est véritablement transmis. (p.245) [traduction libre]

Pour revenir à une interprétation plus près du domaine du design, si un objet du quotidien, qu'il soit instrument ou architecture, est modifié par son environnement direct, son usager ou des facteurs climatiques, c'est bien son expression phénotypique qui sera altérée et non son information génotypique. Tel que mentionné par Edgar Morin (1980), le génotype est le patrimoine inscrit dans les structures d'hérédité et le génotype correspond à l'expression de ces traits en fonction des circonstances de l'ontogenèse et de l'environnement donné. Les idées de

design peuvent ainsi être corrompues et engendrer de nouvelles itérations d’elles-mêmes, des mutations.

L’interprétation proprement évolutionniste du processus de réplication mémétique voudrait que ce cycle s’enchaîne à répétition, depuis nos premières structures artificielles comme les premières industries lithiques, jusqu’à aujourd’hui même. La notion proposée par Darwin (1959) que toute forme de vie soit reliée phylogénétiquement est confirmée par la biologie moderne. L’existence d’un code génétique universel est une des preuves de l’ascendance commune²⁷ qui permet à des organismes aussi différents que le chêne, la bactérie E. Coli, l’amibe et l’humain de partager la même structure pour coder et traduire l’information génétique (Delaye, Becerra 2012). Ce cadre génétique, appliqué à l’information culturelle est ce qui caractérise l’approche mémétique. Celle-ci implique que nos artéfacts partagent tous une même structure héréditaire d’idées techniques et de design, toujours investie dans le cycle de réplication, incarnée dans de nouveaux objets et subissant d’occasionnels changements, fidèlement à la pensée darwinienne de « *descent with modification* » (Darwin, 1859).

Tableau 3 Cycle de réplication de l’information mémétique basé sur les travaux de Heylihen (1999)

	Description	Critères; l’information doit être :
Assimilation	Rencontre de l’information, découverte indépendante, recombinaison cognitive	Saillante, compréhensible, crédible
Rétention	Encodage de l’information dans la mémoire	Remémorée par des causes externes ou une répétition interne
Expression	Émergence de l’information depuis sa structure de stockage dans la	Sélectionnée de manière consciente ou intuitive

²⁷ La notion de descendance commune engendre la question de l’ancêtre universel commun ou du LUCA (*last universal common ancestor*) cf. (Vogan et Higgs 2011; Charlebois et Doolittle 2004; Koonin et Wolf 2009). Le principe du LUCA engendre à son tour des questionnements quant aux événements qui ont provoqué la vie à partir de matière non animée soit l’abiogenèse cf. (Miller et Urey 1952). L’idée du LUCA et d’abiogenèse en design semble rarement explorée, quoique le principe de geste opératoire d’André Leroi-Gourhan (1971) et les moyens élémentaires d’action sur la matière abordent indirectement la question. Les modes d’actions de la main sont à l’origine de « l’une des caractéristiques les plus frappantes de l’évolution humaine (...) la substitution aux outils naturels d’outils artificiels » p. 44.

	mémoire vers un état physique (langage, image, objet etc.)	
Transmission	Diffusion de l'information vers un nouvel individu	Véhiculée de manière stable et fidèle

La séquence comprise entre l'instant où l'information mémétique est encodée dans la mémoire du designer et son émergence dans un nouvel objet est la seule plage temporelle à laquelle peut correspondre le processus de conception. Les critères de sélection qu'il s'imposent à l'information mémétique agissent comme un filtre dont les mailles sont organisées selon une structure de sélection souvent décrite comme intuitive (Papanek ,2005; Friedman, 2000; Schön, 1983). Pour faire de cette « boîte noire » un objet de connaissance plus élaboré, ce processus de sélection a été analysé selon la lentille mémétique (Salingaros, Mikiten, 2001) qui sera présentée plus loin dans le mémoire.

4.3 La variation

Deux causes de variation sont souvent examinées en génétique : la mutation et la recombinaison (Wilkins 1999; Distin 2004). La mutation est une altération soudaine de la structure des gènes ou chromosomes ayant le potentiel d'être transmis à la progéniture. La recombinaison a lieu lorsque du matériel génétique d'origine différente est mélangé : l'humain possède deux allèles pour chaque gène, chacun hérité d'un des deux parents. Il existe une limite à l'innovation que les gènes peuvent produire. Il y a d'évidentes limitations de combinaisons possibles du fait qu'elles trouvent toutes leur matériel source dans le pool génétique existant (Distin, 2004).

La mutation est un processus de modification aléatoire impliquant que « presque tout est possible ». La modification par mutation est considérée aléatoire puisqu'elle ne porte aucun biais vers l'amélioration formelle. Les tendances évolutionnistes vers « l'amélioration » surviennent uniquement comme conséquences de la sélection naturelle.

Pour mettre en image le processus de mutation, un pâtissier amateur qui tente de reproduire une recette de biscuits au chocolat peut servir d'exemple illustratif (Distin, 2004). S'il se trouvait à être

fatigué ou inattentif, il pourrait lui arriver de confondre le sel et le sucre avant d'ajouter une once de sel à son mélange. Il pourrait aussi avoir oublié de vérifier l'état de son garde-manger avant de commencer et se rendre compte qu'il n'a pas assez de chocolat noir, pour finalement utiliser du chocolat blanc afin de compléter sa recette. Dans les deux cas, la réplique s'effectue de manière verticale; une modification unique a été apportée d'une manière fortuite à la manière d'une mutation. Cependant, dans le premier cas, une once de sel rendrait les biscuits incomestibles, alors que dans l'autre cas la modification pourrait se révéler bénéfique. La première mutation a beaucoup moins de chances de se reproduire que la seconde.

La recombinaison peut être comparée à l'action de brasser un jeu de cartes; l'ordre des entités est changé et de nouvelles combinaisons sont formées, mais les unités individuelles restent les mêmes. La mutation est une altération des unités, comme changer un valet pour une reine ou d'un trèfle à un pique (Gatherer, 1999).

Un exemple concret peut être fait du mécanisme de variation par recombinaison et par mutation à l'aide des objets mentionnés en avant-propos. Il est possible d'imaginer que les idées de design, ou autrement dit, les traits morphologiques constituant une lampe à l'huile pincée et une jarre de service ovoïde aient été recombinaisonnés. Le corps de la jarre aurait été associé à l'embouchure pincée de la lampe. Les deux artefacts en question possèdent à l'origine les mêmes organes. Le pied et le col présents chez la jarre se seraient simplement atrophiés dans le plan corporel de la lampe. Ou au contraire, ces traits se seraient développés, dans un ordre de complexité croissante, depuis la panse hémisphérique de la lampe, vers une déclinaison d'organes spécialisés chez la jarre. Dans tous les cas, aucun nouvel organe ne serait apparu dans la morphologie de la nouvelle

génération de contenant. Seulement une modification des éléments existants s'est manifestée, donnant jour à une jarre pincée (voir figure 4).

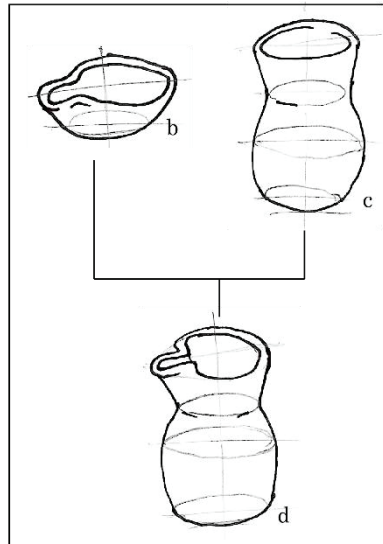


Figure 4 : Variation par recombinaison
(Félix Favreau-Vachon 2023)

Il est maintenant possible d'imaginer que la jarre pincée, en raison de l'aptitude de sa forme, capable de verser avec plus de précision, fût reproduite dans son entièreté, démontrant une forme de rétention proprement verticale. Jusqu'à ce que, dans un élan de créativité, s'ajoute à son bagage mémétique une nouvelle idée de design. Un trait morphologique étranger, venant d'un vase d'entreposage. Le vase en question possédant deux anses fixées entre l'épaule et l'embouchure est un objet lourd, qui n'est manipulé que pour être déplacé. Ses anses sont des organes répondant à une fonction de préhension, soumis aux forces d'ascension. Cet organe, dans le processus de création, aurait été introduit au plan corporel de la jarre pincée, à la manière d'une mutation. Cette forme de variation serait considérée une mutation, puisque l'anse aurait été un nouvel organe, une nouveauté dans le bagage mémétique de la jarre, donnant jour à une jarre pincée à anse (voir figure 5).

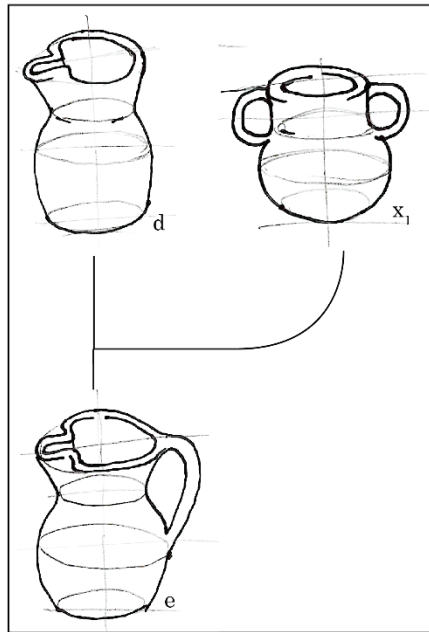


Figure 5 : Variation par mutation (Félix Favreau-Vachon 2023)

Le diagramme représente le processus de variation par mécanisme de mutation ou par transfert horizontal. L'artefact d engendre de manière verticale l'objet e. Au moment de l'ontogenèse, un trait morphologique de l'artefact x_1 s'est introduit dans le plan corporel de l'objet e. Si cette modification était aléatoire, elle serait considérée comme une mutation. Si elle était volontaire, elle serait considérée comme un transfert horizontal. La notion de rétention horizontale est exprimée par la ligne courbe.

Le transfert latéral est souvent un mécanisme oublié ou ignoré dans l'étude du changement culturel. La variation est par conséquent attribuée à la mutation ou à la recombinaison verticale comme le souligne Distin (2004) :

it does seem that mutation and recombination are also widely observable in culture. In the absence of any other immediate candidates for the same role, their study will therefore provide a useful springboard for the investigation of memetic variation. (p.50)

La mesure dans laquelle la culture matérielle dépend du transfert horizontal, ainsi que les conséquences de l'échec à reconnaître son importance seront abordées plus en détail dans le chapitre suivant.

4.4 La sélection

Le processus de sélection dans le domaine de l'artificiel est trompeur, car il existe un manque de clarté au sujet de l'objet de sélection. Il est difficile de déterminer sur quelle forme d'entité est appliquée la sélection; le mécanisme pourrait agir sur la connaissance, sur les objets de design, sur leurs sous-ensembles ou autres formes d'entités (Whyte, 2007).

Le mécanisme de sélection est en effet trompeur dans l'artificiel, car il semble y avoir plus d'un lieu de sélection, mais aucun compte rendu formalisé de cette multiplicité. Parfois la sélection sur les objets artificiels semble être accomplie par les pressions environnementales et les critères d'usages qui mettent à l'épreuve l'aptitude de l'artéfact. Parfois, la sélection est présentée comme un mécanisme de discrimination des idées dans l'esprit du designer. La structure du mécanisme de sélection est donc dualiste; la première sélection sera appelée endosomatique, en raison de son lieu d'action qui est dans l'esprit humain; la seconde sera appelée exosomatique, puisqu'elle s'exerce à l'extérieur de l'esprit humain, sur l'expression phénotypique de l'artéfact.

4.4.1 Sélection exosomatique

Au-delà des facteurs physiques et matériels de l'environnement des artéfacts, certains facteurs sont plus abstraits, mais tout autant déterminants. Ainsi, pour Steadman (2008) :

Ils sont les environnements social, économique et culturel dans lesquels les exigences pour les artéfacts sont créées, pour servir les activités et les goûts; et où les limites sont placées sur les possibles dépenses de matériaux et de temps pour leur production. Sans ces derniers il n'y aurait pas de fonctions pour l'objet en premier lieu. (p. 57)

L'environnement exosomatique semble être la source de la nécessité de l'objet de design, mais aussi le lieu de son mécanisme de sélection. Les nécessités économiques et militaires, les attitudes sociales et culturelles et la poursuite des modes de production ont toutes influencé la sélection s'exerçant sur les nouveaux artéfacts (Basalla 1988).

Les sociologues de l'évolution technologique ont tendance à attribuer le rôle de sélection à une communauté large. Le processus est vu comme une lutte d'intérêts entre différents groupes et les critères de sélection sont établis durant ce processus. Pour l'économiste, la sélection

s'effectue par les lois du marché ainsi que par l'utilisateur et le consommateur. Les meilleures technologies qui respectent les critères du marché sortent vainqueurs de la sélection parce que les consommateurs se procurent les produits qui incarnent ces critères (Ziman, 2003).

Cette sélection qui a lieu sur la scène publique s'opère sur l'expression phénotypique de l'objet, donc sur son individualité en contraste avec une sélection atomiste qui agirait sur les idées qui le constituent. Cette sélection exosomatique agit sur l'objet dans son ensemble, car lorsque son aptitude est mise à l'épreuve, c'est son plan corporel entier qui doit répondre aux critères de sélection. Si l'objet est jugé comme inadapté en raison de quelques caractères défailants, c'est dans son entièreté qu'il sera défavorisé.

Par exemple, dans le règne vivant et à l'aire de la révolution industrielle, un changement rapide de la couleur de la phalène du bouleau, une espèce de lépidoptères, a été étudié par Bernard Kettlewell entre 1953 et 1956. L'espèce de papillon qui était alors d'une couleur blanche pour des raisons de camouflage était indiscernable de l'écorce de bouleau. L'augmentation rapide de la pollution de l'air qui donna au bouleau un ton noirci eut comme conséquence un effet sélectif connu aujourd'hui sous le nom de mélanisme industriel, par lequel la presque totalité de la population de phalène fut remplacée par une variété noire. Les papillons ne portant pas la mutation furent face à des pressions sélectives imposantes : en raison d'un caractère morphologique, soit leur couleur, ils étaient soudainement plus vulnérables aux prédateurs que leurs homologues foncés. Ainsi s'opère la sélection naturelle sur l'individu dans son entièreté. Dans l'artificiel, la sélection exosomatique s'applique également à l'entité dans son ensemble, même si seul un caractère fait défaut.

La sélection exosomatique est décisive dans la reproduction des idées de design, mais elle est aussi secondaire. Certaines limites à la production de variété se trouvent dans le processus de traduction d'information génotypique en structures phénotypiques. En termes de design, elles se trouvent dans le processus de conception. Par exemple, certaines formes ne peuvent qu'exister sous la forme « conceptuelle » et leur incarnation matérielle est impossible ou irréaliste. Il est question, dans ce cas, d'une forme de sélection qui n'agit pas sur l'expression phénotypique d'un objet de design, mais plutôt sur son identité génotypique et abstraite.

Un architecte peut dessiner des bâtiments défiant la gravité jusqu'à ce qu'il s'épuise, mais il ne sera jamais en mesure de le faire construire; un compositeur peut écrire de la musique pour le violon demandant des notes plus basses qu'un sol mineur (198 Hz), mais aucun violon proprement accordé ne sera capable de produire cette musique (Distin, 2004) p.51.

Dans les deux cas, ces artefacts ne seront pas accessibles à une sélection phénotypique et exosomatique en raison de leur impossibilité physique. Un architecte ou un compositeur averti devra effectuer la tâche de sélection qui lui incombe au risque d'entreprendre la genèse d'un artefact impossible, ou, en termes évolutionnistes, inapte. Cette tâche et ce niveau de sélection sont exclusifs au designer et sont le lieu du processus que Papanek (2005) décrit comme « intuitif ». Cette boîte noire contient le mécanisme de sélection endosomatique.

4.4.2 Sélection endosomatique

La sélection endosomatique prend place dans l'esprit du designer. Il s'agit d'une partie importante du processus de conception déterminante du génotype de l'artefact. Cette sélection agit à un niveau atomiste en ce qu'il concerne davantage les idées de design incarnées dans la culture matérielle que les objets dans leur entièreté.

Sept critères de sélection déterminant le succès de propagation d'une idée dans la société ont été identifiés en étudiant les *mêmes* architecturaux (Heylighen, 1993). Ces sept critères sont les suivants : *Simplicité, nouveauté, utilité, formalité, autorité, publicité et conformité*. Ces critères sont expliqués en mettant en exemple l'architecture moderne et le succès de ce paradigme architectural. La description qui suit a été élaborée et présentée dans « *Journal of Memetics* » (Salingaros, Mikiten, 2001).

Plus une idée est *simple*, plus elle est facile à retenir et à répliquer fidèlement. Le virus est un des réplicateurs les plus simples et se reproduit bien plus rapidement que les organismes complexes multicellulaires. En exemple, le vocabulaire architectural moderniste, minimaliste, géométrique, *simple* et compréhensible a éclipsé les styles architecturaux précédents. La *nouveauté* d'une idée lui permet de se détacher des idées compétitrices. En conservant l'exemple de l'architecture, le style moderniste avait comme caractère primaire de renverser les éléments de style en place; ce qui satisfait le critère de *nouveauté*. La nouveauté est un artifice bien superficiel en termes

d'évolution si elle ne présente pas d'*utilité*. Pour des raisons évidentes, l'*utilité* est un critère de sélection dans l'architecture comme dans la nature. Tout ce qui est observable a obligatoirement une fonction²⁸, utilitaire ou ostentatoire. Dans le cas du modernisme, son utilité était aussi dans sa vertu économique. Il a été dit au sujet du modernisme que le style international a balayé le monde parce qu'il est arrivé au même moment où les développeurs cherchaient à faire des bâtiments moins coûteux et cette forme d'architecture était moins coûteuse que les autres (Salingaros, Mikiten, 2001).

Si une idée doit être *simple, nouvelle, utile*, elle doit être aussi *formalisée*. L'intention du modernisme est d'être indépendant de tout contexte, de produire « un seul bâtiment pour toutes les nations et tous les climats » (Blake, 1974). Le modernisme a imposé son propre langage visuel qui se voulait universel et donc formalisé; ce qui se traduit par une réplication fidèle des idées modernistes et peut expliquer la prospérité du mouvement. Pour être acceptée, une idée doit aussi se ranger derrière une certaine forme d'*autorité* qui, dans le cas présent, peut être attribuée au « style international » américain. L'idée doit aussi bénéficier de *publicité*, comme l'architecture moderne qui s'est rendue visible grâce à des institutions comme le MoMA ou l'exposition de 1932.

Finalement, la *conformité* est un critère qui assure que les idées seront acceptées par de nouveaux hôtes. Dans le cas de l'architecture, les idées de modernisme étaient peu *conformes* aux idées en place; ce qui semble indiquer un problème dans la logique du raisonnement. Cette

²⁸ Par exemple, certains organes tels que la crête du casoar de Nouvelle-Guinée est en fait une structure spongieuse et ne peut servir réellement d'organe de défense tel que son apparence semble l'indiquer, ce qui porterait à croire qu'aucune fonction n'y serait attachée si l'on oubliait le mécanisme de sélection sexuelle qui semble avoir privilégié cet organe à fonction ostentatoire. La queue du paon en est un autre exemple. En architecture, les fonctions utilitaires sont apparentes, mais on peut imaginer que certaines formes répondent à des fonctions ostentatoires dont le rôle est de charmer l'utilisateur ou l'observateur (Salingaros et Mikiten 2001). Le cas de l'architecture moderne est intéressant en ce qui concerne le critère d'utilité. Il a été soutenu que le cadre bâti moderniste semblait peu concerné par les besoins humains et sociaux et échouait en quelque sorte à certaines fonctions architecturales. De la même façon que la queue du paon ou la crête du casoar semblent contredire le principe de sélection naturelle, ces artifices sont explicables par la *sélection* dans le sens que ces traits jouent un rôle dans la reproduction différentielle. Les individus présentant des caractéristiques hypertéliques ont plus de chances de se reproduire et de passer ces traits. D'une manière analogue, et dans le cas présent de l'architecture, certains artifices semblant contredire les principes de sélection naturelle (échelle grandiose, suppression des couleurs, textures et ornements) peuvent être expliqués en lien avec des critères de sélection favorisant leur reproduction dans l'esprit des designers.

contradiction peut s'expliquer de deux façons. Premièrement, il est possible que les idées d'architecture moderne, organisées en une structure cohésive, répondissent si bien aux premiers critères de sélection que le manque de conformité des idées ne représentait pas un vrai désavantage à la prospérité des idées modernistes. Deuxièmement, il est possible que le critère de conformité ne soit pas toujours respecté ou encore essentiel lorsque l'on observe le rythme de changements dans les idées d'une société²⁹. Par exemple, lors d'un rythme de changement progressif et incrémental, chaque structure d'idées est relativement *conforme* à sa précédente. Dans le cas d'un rythme de changement radical, les idées nouvelles ne sont pas considérées comme *conformes* aux précédentes puisqu'elles s'inscrivent dans un changement de paradigme (Salingaros, Mikiten, 2001).

4.5 L'adaptation

Étymologiquement, le terme adaptation vient des termes *ad aptus* qui signifient « vers l'aptitude ». Le terme précède de loin la pensée évolutionniste. Les créationnistes avant Darwin employaient le terme en référence aux actions intelligentes de Dieu dans le design d'organismes pour des rôles spécifiques (Gould, Vrba, 1982). Aujourd'hui, l'adaptation est un concept central de la théorie d'évolution qui peut signifier à la fois un processus continu de maintien de cohérence entre un organisme et son environnement et le résultat de ce processus. L'adaptation peut être comprise comme l'interaction des mécanismes d'évolution. Les mécanismes de variation, tels que la mutation et la recombinaison, introduisent du changement cumulatif qui, d'une part, est soumis aux pressions sélectives de l'environnement, résultant en un processus autorégulateur et organique et qui, d'autre part explique pourquoi un organisme présente un certain degré d'aptitude face à son environnement (Grandcolas, 2015).

Le principe d'adaptation est un point qu'ont en commun la biologie et le design. Il existe des analogies convaincantes entre l'aile d'oiseau et celle de l'avion, la structure d'un pont et du système squelettique, dans le système vasculaire d'une feuille et le système aquatique d'une ville.

²⁹ Dans *Structure des révolutions scientifiques*, T. Kuhn (1996) fait la distinction entre le changement incrémental et le changement radical associé au changement de paradigme.

Dans ces exemples, les objectifs humains sont analogues aux objectifs biologiques de survie et certains problèmes similaires sont souvent résolus par des formes similaires, résultant d'un processus d'adaptation similaire.

En design aussi, l'adaptation peut s'investir d'un rôle central. Herbert Simon (1966) propose que « la véritable étude de ceux qui sont concernés par l'artificiel est l'étude de la manière dont l'adaptation des ressources à l'environnement est provoquée et central à cela est le processus de design lui-même » (p.125) [traduction libre]. Steadman (2008) décrit, quant à lui, l'aptitude comme une relation harmonieuse entre un bâtiment et son environnement, ou comme la pertinence des objets de design aux usages variés auxquels ils sont destinés.

4.6 Modèle ontogénique

Pour conclure ce chapitre, il est opportun de retourner à la question de recherche : Comment les cadres méthodologiques identifiés - dans le cas échéant, le cadre génétique – peuvent-ils être appliqués à la culture matérielle et que peuvent-ils apporter au bioparadigme en design?

Le cadre génétique peut être appliqué à la culture matérielle en combinaison avec le cadre darwinien. Le mécanisme d'hérédité est d'une importance capitale puisqu'il assure une forme de continuité entre les artefacts. Sans ce mécanisme d'hérédité, la théorie selon laquelle les objets de design subissent un changement proprement évolutif s'effondre. De la même manière que les travaux de Mendel ont apporté au cadre darwinien cette pièce manquante qui était cruciale à une compréhension synthétique de l'évolution organique, la formulation du concept de même par Dawkins (Dawkins, 1976) a permis de combler le casse-tête de l'évolution artificielle. En effet, le cadre génétique permet de réinterpréter et de renforcer la distinction de Alexander (Alexander, 1964) au sujet des processus conscients et inconscients, en introduisant les mécanismes de rétention verticale et latérale des idées de design. Le cycle de réplication de l'information mémétique de Heylighen (Heylighen, 1999) permet, quant à lui, de spécifier les étapes de reproduction des idées de design. Cette séquence de reproduction comprise entre l'instant où l'information mémétique est encodée dans la mémoire du designer et son émergence dans un nouvel objet est la plage temporelle à laquelle correspond le processus de conception. Deux manières d'introduire de la variation ont été présentées comme les analogues de la variation par

mutation par recombinaison. La sélection a été présentée comme un mécanisme dualiste. Sa dimension exosomatique est la source de la nécessité de l'objet de design, mais aussi le lieu de sélection qui s'exerce sur le phénotype dans son entièreté. La dimension endosomatique est le lieu d'une sélection des idées de design qui prend place dans l'esprit du designer. Ces critères de sélection ont été identifiés comme des besoins de simplicité, nouveauté, utilité, formalité, autorité, publicité et conformité. Finalement, le processus d'adaptation fut présenté comme l'interaction harmonieuse de ces mécanismes d'évolution, mais aussi comme le résultat de ce processus.

Au sujet du cadre génétique, cette question interroge également, sur ce qu'il peut apporter au bioparadigme en design? L'application du cadre darwinien et du modèle génétique à la culture matérielle permet d'introduire à la théorie du design des mécanismes d'évolution pouvant être interprétés comme les mécanismes du processus de conception. Ceci offre une explication formalisée et cohérente de la genèse de nos structures artificielles et par conséquent apporte une certaine « transparence » à la boîte noire du processus de conception, puisque le cadre génétique permet un regard microscopique sur le fonctionnement interne des changements internes des objets de design. Le modèle génétique permet en fin de compte de construire un modèle ontologique de l'objet de design.

Chapitre 5 – Méthodes de classification

Ce chapitre est dédié aux méthodes de classifications de la diversité biologique et artificielle aussi appelée la systématique ou la science des classifications. En biologie, la systématique fait référence aux systèmes classificatoires ainsi qu'à la taxonomie qui, ensemble, forment un corps scientifique particulier, défini comme la théorie, les principes et la pratique d'identifier les systèmes (c'est-à-dire d'ordonner la diversité d'organismes en systèmes généraux taxonomiques) en fonction du processus causal le plus général (Christoffersen, 1995).

Les objectifs et les conséquences associés aux différentes perceptions impliquées dans les méthodes de classification seront présentés. Les difficultés auxquelles font face les sciences classificatrices serviront à faire une révision des approches classificatrices sélectionnées dans la littérature sur les arts appliqués et la technologie. Cet examen méthodologique révèle trois types principaux de modèles de classification : les modèles essentialistes, phylogénétiques et rhizomorphiques. Leurs avantages et faiblesses respectifs ainsi que leur usage et statut dans le domaine de l'artificiel seront finalement présentés.

Le nuancier systématique des objets de design révélera notamment que les méthodes sont souvent basées sur la fausse idée que le matériel *mémétique* se transmet dans les objets de manière verticale et linéaire uniquement. De plus, il sera illustré que l'unité d'évolution analogue au gène est manquante dans la plupart des modèles. La classification microbiologique (classification des organismes unicellulaires dont la transmission génétique est principalement horizontale) est présentée comme l'analogie la plus représentative du mode de répllication des objets de design. C'est par ce modèle qu'il est possible de révéler la structure de continuité ou d'hérédité entre les artefacts. Cette structure de rétention des traits aide à comprendre d'où viennent et surtout comment se transmettent les traits morphologiques qui caractérisent l'adaptation de nos objets de design.

5.1 Objectifs de la systématique

Il est difficile d'expliquer brièvement les usages des modèles de classifications en biologie, si ce n'est par le besoin généralisé d'organiser la connaissance acquise au sujet de la nature à la mesure

qu'elle a été produite. Il semble y avoir trois principaux objectifs dans les tentatives modernes de classer les organismes. Le premier objectif est de représenter la phylogénie le plus précisément possible, par la construction d'un diagramme phylogénétique³⁰, c'est-à-dire établir les liens de descendance qui unissent les espèces par le partage d'une lignée ancestrale commune. Le deuxième objectif est de refléter la diversification autant que les similarités entre les taxons (les unités taxonomiques qui sont à la base de la classification systématique, une organisation hiérarchique dont l'espèce constitue le niveau le plus exclusif de l'organisation). Troisièmement, la classification permet de séparer les unités taxonomiques du même rang lorsque les similarités et variations sont plus subtiles ou lorsqu'il se trouve des discontinuités dans un ordre d'organismes³¹. Autrement dit, au sein d'un rang taxonomique se trouvent plusieurs groupes souvent semblables et parfois séparés par des différences morphologiques considérables dont le travail de classification permet d'ériger une structure de sens (Van Valen, 1964).

Certaines méthodes de classification ont une portée ontologique : elles permettent de définir le concept d'espèce fidèlement à la réalité. L'objectif, dans ce cas, est de définir la *nature* de l'espèce biologique. D'autres méthodes ont une portée plutôt opérationnelle et leurs préoccupations sont principalement de déterminer le ou les critères d'identification d'une espèce (Zachos, 2016). La systématique ontologique possède une tendance à la définition, alors que la systématique opérationnelle tend plutôt vers l'identification et la délimitation des groupes biologiques.

Le phénomène de vie organique n'est pas le seul domaine à démontrer des structures complexes de similarité et de dissimilarité. Ces caractéristiques sont aussi observées dans les objets de design et les tentatives d'organiser l'artificiel d'après ces rapports de ressemblance sont présentes, en particulier, chez les technologues, les archéologues ainsi que dans la théorie du

³⁰ La phylogénie est l'histoire de l'évolution et des relations évolutives d'un groupe d'individus ou d'une espèce. Un diagramme phylogénétique, ou souvent appelé arbre phylogénétique est un outil schématique démontrant les relations de parentés entre les espèces. Plus haut se trouve une séparation dans les lignes phylétiques, plus haut est le niveau de séparation taxonomique.

³¹ Par exemple lorsqu'une série de fossiles présente des discontinuités, une division peut être établie. Dans le cas contraire une division doit tout de même être établie quelque part, conduisant à des débats sur la position acceptable de la division.

design et de l'architecture. Cependant, pour Lafitte (1972), les objectifs motivant ces efforts sont parfois moins bien établis :

L'intérêt scientifique de l'étude des classifications qui se sont proposées pour les machines est encore loin d'être généralement ressenti. L'enseignement ne s'attache pas à cette étude et le technicien, se mouvant dans un champ d'application restreint, pense trop n'avoir rien à tirer de ses progrès. Cependant, le vaste ensemble des classifications fragmentaires contient, en lui, bien des matériaux nécessaires pour une classification générale qui reste à faire.

L'ensemble de classifications et catégorisations de la culture matérielle est en effet fragmentaire, car elles ne sont généralement pas formalisées en une science des classifications comme il en est le cas en biologie. Les efforts sont nombreux, mais bien souvent individuels. Philip Steadman (2008) dans *Evolution of designs*, fait un survol de l'analogie classificatrice dans l'histoire des arts appliqués et de l'architecture. Selon cet auteur, il est très clair que la classification possède une utilité instrumentale :

Néanmoins, il y a un aspect important dans lequel, selon moi, un parallélisme ou une ligne de connexion peut être établi, et elle concerne le concept de création de nouvelles espèces théoriques, qui pour l'histoire naturelle était une vanité légèrement fantaisiste et accessoire, mais pour l'architecture est clairement le centre d'intérêt absolu. Le but pratique de la classification en architecture, au-delà de la description historique et de l'analyse scientifique, repose dans l'espoir que d'un ordre de variété de bâtiments du passé viendra des principes théoriques, qui peuvent être appliqués à designer de nouveaux bâtiments, de nouvelles formes, pour répondre aux nouveaux programmes et nouvelles circonstances. (p.27) [traduction libre]

Pour Steadman une connaissance exhaustive des types architecturaux apportée par l'étude taxonomique du cadre bâti peut devenir le fondement sur lequel se basera la conception de nouveaux types. Pour ce compte-rendu de recherche, cet usage est secondaire³² : la systématique, avant d'être un instrument pour aviser la conception, est la méthode par laquelle il est possible de révéler la structure de continuité ou d'hérédité entre les artéfacts. Cette

³² Ignorer ce principe de création serait une faiblesse de discernement, car une idée répandue est que l'acte de conception se fait toujours à partir du bagage du designer qu'une connaissance classificatrice ne pourrait que nourrir.

structure de rétention des traits aide à comprendre d'où viennent et surtout comment se transmettent les traits morphologiques qui caractérisent l'adaptation.

5.2 Difficultés de la systématique

Le premier constat à surgir de l'étude de la systématique est qu'il s'agit d'un domaine aussi complexe qu'ancien. Depuis les conceptions platoniciennes jusqu'aux séquences génomiques contemporaines, des botanistes aux zoologues, de la microbiologie à la macrobiologie, les approches parfois antagonistes ou particularisantes dressent le portrait d'un domaine hétérogène. Aujourd'hui encore, plusieurs méthodes d'organisation conflictuelles sont employées pour classer les espèces et différentes conceptions de la signification même du terme « *espèce* » animent toujours des débats. Deux éléments principaux sont problématiques dans la systématique : les méthodes de classification et le concept d'espèce. L'optimiste verrait ce manque de cohésion comme une conséquence de la complexité de la vie biologique plutôt qu'un manque de capacité du scientifique à rendre intelligible son domaine d'étude. L'opportuniste, quant à lui, verrait ici la chance d'étudier les problématiques auxquelles font face les systématiciens, puisque ces mêmes difficultés se manifesteront durant la tentative d'examiner les classifications du règne artificiel.

Le problème du concept d'espèce semble être un des plus contentieux de la systématique biologique en raison de la multiplicité de concepts d'espèces et des critères de classification. Dans les systèmes de classification de l'artificiel, il est aussi possible de retrouver une variété de critères de classification, c'est-à-dire des critères pour catégoriser ce qui rassemble un groupe d'objets en une « *espèce*³³ ».

Le concept d'espèce est difficile à éviter, mais toute l'analyse sera davantage portée vers la logique classificatrice plutôt que sur ses critères de classification. Trois principaux paradigmes de

³³ Le problème du concept et de la définition du critère d'espèce sera évité autant que possible dans ce rapport. Cela puisqu'il est fondamentalement problématique en regard des questions ontologiques et téléologiques qui concernent les principes de fonctions et d'intentions sur lesquels sont généralement basés les critères de catégorisation des artefacts (Carrara et Mingardo 2013). De plus, le principe d'espèce n'est pas nécessaire à la compréhension des types de classification.

classification seront présentés : les paradigmes typologiques ou essentialistes, phylogénétiques et rhizomorphiques.

5.3 Modèles essentialistes et typologiques

Les racines de la pensée typologique s'étirent jusqu'à l'aube de la philosophie platonicienne. Le concept d'*eidōs* de Platon est la première incarnation de cette forme de pensée. Selon Fink et Sober (1984) :

Selon elle, il y a un nombre limité ou fixe, d'idées inchangeables sous-jacentes la variabilité observable, avec l'*eidōs* (l'idée) étant la seule chose qui est fixée et réelle alors que la variabilité observée n'est pas plus réelle que les ombres d'un objet sur un mur, tel que mentionné dans l'allégorie de Platon. (p.326) [traduction libre]

La pensée typologique aussi appelée essentialisme est une vision partagée par Platon et Aristote, selon laquelle les organismes sont divisés en groupes ou en *types*, qui sont définis par un ensemble de propriétés ou traits nécessaires et fixes (Wilkins, 2009). Cette vision est aussi appelée « morphologique » ou « fixiste », car la variété biologique est divisée en types selon leurs caractéristiques physiques; ces dernières étant considérées immuables. Les philosophes notoires du 17^e au 19^e siècle ont été influencés par la philosophie idéologique de Platon et cette typologie est restée la pensée dominante jusqu'à la reconnaissance de la pensée darwinienne (Fink, Sober, 1984).

D'après la pensée typologique, la variation entre les membres d'une espèce est vue comme une *erreur*. L'essentialisme ne nie pas l'existence de variations individuelles, mais affirme que chaque espèce possède une forme naturelle et que les variations individuelles sont des déviations accidentelles causées par des influences environnementales. En l'absence de ces influences externes, chaque individu d'un type distinct resterait identique pour toujours et non changeant, car l'espèce serait fixée dans le temps (O'Hara, 1998). Puisque la pensée typologique ne laisse pas de place à une gradation entre les *eidōs* ou les types, l'évolution graduelle est ici une impossibilité logique (Fink, Sober, 1984).

Rares sont les instances où les méthodes de classification de l'artificiel proposées sont autres que de simples collections, organisations ou typologies essentialistes. Il est possible de citer en exemple les approches encyclopédiques de Monge, Reuleaux, d'Alembert, et les approches de Viollet-Le-Duc et G. Semper inspirées des travaux de Cuvier. Récemment, une revue des classifications fonctionnelles a été entreprise par N. Crilly (2010). Ces classifications sont extraites de la philosophie, de la sociologie, de la théorie de l'art ainsi que de l'archéologie. Ces disciplines, mutuellement isolées, représentent pour l'auteur un éventail d'approches classificatrices hétérogènes :

En conséquence, les différentes classes de fonctions qu'elles décrivent ne se combinent pas facilement en un seul système de classification propre où les classes sont mutuellement exclusives et collectivement exhaustives. (p.9) [traduction libre]

La tentative de regrouper les approches classificatrices de Crilly n'est pas dans le but de classer les artefacts, mais de classer leurs fonctions afin de comprendre les différents rôles qu'ils peuvent jouer. Il est toutefois possible d'utiliser son étude pour examiner le modèle de classification basé sur le principe de fonction. Crilly propose dans un premier temps, une classification basée sur les travaux de multiples auteurs, distinguant les fonctions techniques et non techniques, puis dans un second temps, une arborescence de sous classes fonctionnelles d'exclusivité croissante. Prenant exemple des travaux sur les fonctions des artefacts de Binford (1962) Crilly (2010) distingue les technofonctions, les sociofonctions et les idéofonctions; ce modèle divise la culture matérielle en trois sous-classes principales :

Les artefacts technomiques qui fonctionnent en rapport avec l'environnement physique, les artefacts sociotechniques qui fonctionnent en rapport au système social, et les artefacts idéotechniques qui fonctionnent en rapport avec les composants idéologiques de la culture. (p.11) [traduction libre]

Ces classifications sur la base de la fonction sont essentiellement représentatives d'une perspective principalement sociologique. La logique de ce type d'analyse n'est pas nécessairement opposée à une logique évolutionniste, mais la tendance à classer les technologies selon leurs relations à l'humain fait obstacle à l'analyse des relations existantes

entre les technologies ou encore entre les produits de ces technologies. Les classifications qui découlent de cette perspective ne permettent pas de tracer des liens directs entre les structures artificielles. Cela transparaît dans les modèles d'organisation qui n'établissent pas les liens phylogénétiques entre les artefacts ou entre leurs fonctions. La structure de l'organisation, à défaut de ne pas être basée sur le *phylum*, est basée sur le *type*.

Concédonsons que dans l'organisation typologique présente, la fonction est le critère d'identification sur lequel est basé le concept d'espèce. Il apparaît que ce concept d'espèce est fixiste, ou du moins synchronique, puisque la définition du type se fait sans rapport à une temporalité, ni à un processus de changement. Le concept d'espèce est aussi nominaliste et artificiel, car sa définition dépend de la construction humaine du principe de *fonction*. L'espèce définie par la fonction existe à l'intérieur de la raison humaine et est une construction employée comme commodité pour organiser la variété artificielle. Ces concepts sont basés sur la fonction comme caractère essentiel pour former des classes aux frontières distinctes représentant des archétypes; conséquemment ils sont qualifiables de typologiques et essentialistes. Ces caractères typiques des classifications prédarwinienne représentent dans le cas de Crilly (2010) une perception ontologique de l'artefact plus proche de celle des sciences sociales et de l'anthropologie. Elles sont axées sur l'expérience et l'usage plutôt que sur la structure implicite qui unit les artefacts entre eux.

Une *taxonomie* des technologies en quatre groupes fondée sur le type de leurs interactions a été proposée par M. Coccia (2017). Certaines technologies ont une relation de parasitisme; par exemple, une paire d'écouteurs tire un bénéfice d'un appareil électronique qui est son hôte en y puisant son énergie électrique. Les autres relations entre technologies s'inspirent aussi de l'analogie biologique des relations de coexistence entre espèces : commensalisme technologique, mutualisme technologique et symbiose mutualiste. Pour cet auteur, cette *taxonomie* permet de comprendre les interactions entre technologies qui affectent le destin évolutif des systèmes technologiques complexes.

L'organisation proposée par Coccia (2017) est une typologie quaternaire. Les types se situent tous au même niveau d'organisation, puisqu'aucun n'est plus générique ou plus spécifique que ses homologues. Cette organisation est dépourvue de structure hiérarchique, à la différence de la taxonomie, qui elle, repose sur une structure hiérarchique composée de *rangs* ou de *taxons*. L'organisation de Coccia (2017) n'est donc pas proprement taxonomique.

L'organisation relationnelle de Coccia, contrairement à l'organisation fonctionnelle de Crilly, établit des liens directs entre nos structures artificielles plutôt qu'entre l'artifice et l'humain. Cependant ces liens sont basés sur l'interaction plutôt que sur des liens d'engendrement d'une nature phylogénétique. La typologie est donc essentialiste et non darwinienne.

Traitant des approches centrées sur l'objet, le technologue Yves Deforge (1985) dans *Technologie et génétique de l'objet industriel* examine de manière exhaustive la question des classifications. Bien conscient de l'influence de la systématique biologique sur les tentatives d'organisation des objets mécaniques, il mentionne la classification des espèces de Linné ainsi que la classification des plantes et des animaux de Jussieu et de Cuvier. La prolifération des objets, à cette époque, aurait suscité un mouvement de recherches classificatrices dont les modèles d'inspiration auraient été ces dernières.

Fidèle à cette pensée classificatrice, Deforge fait l'examen du principe typologique comme fondement de classification. C'est ainsi qu'il forme des modèles abstraits réunissant un haut degré de traits essentiels de tous les objets de même nature. Le même genre d'approche par lequel « un autre connaisseur ne confondra pas une Renault avec une Citroën, ni même un R15 avec un R18 » (p.95) et par lequel il est possible d'éviter la lacune du classement morphologique³⁴.

Si Deforge (1985) juge fiable l'approche typologique qui appelle à la reconnaissance d'un haut degré de traits essentiels, il met tout de même en garde des dangers qui l'accompagnent et qui représentent une difficulté pertinente à la systématique actuelle :

³⁴ Les lacunes de la classification sur la base morphologique tel que décrites par Deforge sont expliquées dans la prochaine section (5.4 Modèles phylogénétiques)

Des traits caractéristiques (ou critères classifiants) trop nombreux donnent des classes trop larges pour l'utilisation que nous voulons en faire. (...) l'effet contraire est obtenu quand, en multipliant les critères, on finit par ne plus avoir qu'un objet par classe. Une classification où le nombre de types est voisin du nombre d'échantillons perd tout son intérêt pour l'économie de la pensée. (pp.95-96)

L'approche typologique que décrit Deforge est semblable à l'essentialisme platonicien ou aristotélicien décrit précédemment, selon lequel les organismes sont divisés en types définis par un ensemble de propriétés ou traits nécessaires et fixes (Wilkins, 2009). La difficulté de cette méthode, selon Deforge (1985), se trouve dans la sélection des traits ou des propriétés, qui peut être multiple ou parcimonieuse et donc subjective.

5.4 Modèles phylogénétiques

Les méthodes typologiques et essentialistes ont commencé à perdre du terrain lorsque la pensée populationniste fut introduite par Charles Darwin (1859). La pensée populationniste s'est assurée une place dominante dans la systématique au début du 20^e siècle et a culminé dans les années 1930 et 1940 avec le développement de la systématique populationniste et l'épanouissement subséquent du domaine entier de la biologie des populations (O'Hara, 1998).

La pensée populationniste souligne l'individualité des formes organiques et considère la variation individuelle comme le résultat d'un processus continu de mutation et recombinaison engendrant de nouveaux phénotypes dans l'environnement et comme résultat de la sélection de ces phénotypes d'une génération à l'autre (O'Hara, 1998). Contrairement à la pensée typologique ou essentialiste, le populationniste rejette l'idée que les espèces représentent des types naturels fixes et conçoit plutôt chaque espèce comme une population variée d'individus qui se reproduisent entre eux. L'histoire évolutive n'est plus vue comme une histoire de développement rectiligne, mais comme une histoire de divergence; ce qui a mené à la propagation des représentations arborescentes de l'évolution (O'Hara, 1998). Les modèles de classification qui correspondent à la logique populationniste et aux représentations arborescentes de la vie sont les modèles phylogénétiques.

La logique arborescente est présente dans la philosophie des techniques lorsqu'il est dit que l'objet se définit par ses relations phylogénétiques : « il est ce qu'il est d'abord, par sa relation à une lignée d'objets caractérisés, par exemple, par la même fonction » et à leur ressemblance correspond l'impossibilité de les considérer hors de leur « famille » (Château, 2010). Encore une fois dans la philosophie des techniques, Simondon (1989) décrit l'objet technique par son appartenance à une lignée phylogénétique avec l'exemple du moteur :

Le moteur à essence n'est pas tel ou tel moteur donné dans le temps et dans l'espace, mais le fait qu'il y a une suite, une continuité qui va des premiers moteurs à ceux que nous connaissons et qui sont encore en évolution. À ce titre, comme dans une lignée phylogénétique, un stade défini d'évolution contient en lui des structures et des schèmes dynamiques qui sont au principe d'une évolution des formes. (p.23)

Suivant cette formulation phylogénétique unissant les moteurs entre eux, il est possible de remonter le tracé évolutionniste jusqu'à l'apparition de chaque structure ou schème dynamique du moteur, révélant l'origine de chaque trait d'adaptation. C'est donc d'une manière très concrète que le modèle phylogénétique permet de prendre en considération l'adaptabilité des formes artificielles.

D'après Deforge (1985), à la différence de l'approche monographique (qui considère chaque objet comme différent sans chercher à les grouper et semblables aux approches typologiques et essentialistes), les approches classificatrices ont la particularité de nécessiter un principe classificatoire, un commun dénominateur. La multiplicité des objets induit la tentation de composer des ensembles regroupés par un « air de famille » ou encore en « donnant un même nom à tout ce qui se ressemble », mais il serait faux de suivre cette piste, car elle est trompeuse. « Ce qui se ressemble ne s'assemble pas toujours », indique Deforge (1985) en usant de l'adage populaire. L'emprunt de cette déclaration fait résonner le renversement de paradigme qui ébranla la systématique contemporaine lors du passage d'une classification basée uniquement sur les traits morphologiques vers une classification pouvant se baser sur les caractères génétiques; soulignant le fait que dans la systématique de l'objet, comme celle des entités biologiques, les classifications morphologiques peuvent être fallacieuses.

Par exemple, un morphologue pourrait être tenté de positionner dans un phylogramme le thon et la baleine à bosse avec une proximité marquée en raison de leur plan corporel semblable. Mais ces « airs de famille » ne révèlent pas une véritable proximité phylétique; ils relèvent plutôt du mécanisme d'évolution convergente. C'est pour cette même raison que le crabe de cocotier et le crabe porcelaine portent le nom et ressemblent à ce qui est désigné par le terme vernaculaire « crabe » et qui pourtant ne font pas partie de l'infra-ordre brachurya, soit des *vrais* crabes.

C'est une remarque similaire à celle de Deforge qui est faite par Château (2010) lorsqu'il met en garde par rapport aux similarités de nos artéfacts :

La ressemblance entre les objets techniques est une manifestation phénoménale qui correspond à l'impossibilité de les considérer hors de leur relation à leur « famille », alors même qu'ils apparaissent incontestablement comme des individualités. Or la même difficulté venant de la ressemblance des objets techniques entre eux rend également problématique leur connaissance comme appartenant à une espèce, ce qui peut paraître encore plus paradoxal. (p.5)

L'étude phylogénétique est l'étude des liens de parenté entre les objets techniques, et ces liens de parenté sont paradoxalement ceux qui se révèlent par les traits morphologiques associés à des fonctions. Ce sont les mots de Simondon qui démontre ensuite ce paradoxe :

On ne peut que difficilement définir les objets techniques par leur appartenance à une espèce technique ; les espèces sont faciles à distinguer sommairement, pour l'usage pratique, tant qu'on accepte de saisir l'objet technique par la fin pratique à laquelle il répond ; mais il s'agit là d'une spécificité très illusoire, car aucune structure fixe ne correspond à un usage défini. (p.21)

En raison de l'inexactitude phylétique d'une classification morphologique, Deforge (1985) évoque le principe fonctionnel comme fondement pour la classification. À priori, car il y a certainement une adéquation possible à faire entre le concept de fonction en biologie et en technologie : la fonction est liée à l'organe et peut être le lien qui unit les ressemblances morphologiques; elle pourrait donc être considérée comme critère de classification. Cependant cette ligne de réflexion repose sur une fausse conception du processus évolutif. En effet, cette conception fautive s'est

fait entendre dès les premiers souffles de la théorie évolutionniste, qui laissait croire que la fonction créait l'organe.

Cependant, la compréhension actuelle de la biologie évolutionniste implique que c'est l'organe qui induit la fonction (Michl, 1995). C'est par mutation, recombinaison ou autres mécanismes à l'origine des variations que les nouvelles formes apparaissent. Si ces nouvelles formes s'avèrent avantageuses pour la survie et la reproduction individuelle, alors elles assureront, éventuellement, leur propre pérennité génétique. L'innovation formelle émerge d'elle-même, en premier, son utilité fonctionnelle est ensuite mise à l'épreuve dans l'environnement. Le sort d'une innovation donnée est déterminé par les mécanismes tels que la sélection naturelle. Autrement dit, d'un point de vue évolutionniste et énoncé d'une manière qui trouvera certainement une résonance polémique dans la théorie du design, *la forme précède la fonction*.

D'une manière semblable, l'usage du principe de fonction chez les concepteurs est un « abus de langage » poursuit Deforge (1985). Il mentionne que même si les premiers évolutionnistes ont soutenu que la fonction créait l'organe, « les biologistes contemporains sont enclins à renverser l'ordre des termes et à voir dans l'organe une fonction spatialisée. » (p.96)

Deforge (1985) renverse aussi l'ordre des termes dans les technologies. Il ne serait pas question de fonction au stade de la conception, mais plutôt de problématique. La fonction est un terme employé dans le langage de l'utilisateur et le langage du concepteur se devrait d'être un langage de résolution de problème. Ainsi pour cet auteur : « L'expression "fonction à remplir" a un sens et une raison d'être dans un seul cas : celui d'un problème entièrement défini comme cela se produit quand il n'y a pas de recherche de solution » (1985)³⁵. Au stade de conception, c'est un langage de résolution de problème qui est d'office et non le langage *fonctionnel* qui a une pertinence à postériori. La fonction n'est pas une des conditions de la genèse de l'objet, mais bien une

³⁵ Le principe selon lequel la formulation du problème est l'activité principale du designer est assez conventionnelle : « Un autre domaine fascinant dans lequel une recherche substantielle a été faite est dans la définition du problème de design (...). Dans sa thèse, Henrik Gedenryd souligne que bien que l'on s'attende d'un designer qu'il résolve un problème, en fait "produire le problème est la partie (importante) du travail que le designer doit faire" (1998 :69-70). Lawson en référence à la théorie des *wicked problems* de Rittel et Webber dit que "il semblerait plutôt que le design est un processus par lequel un problème et une solution émergent ensemble (2003 : 47). Buchanan fait référence au processus de découverte du problème comme une "enquête rhétorique" » (Frankel et Racine 2010) p. 7

conséquence; elle ne peut donc pas expliquer les ressemblances et différences de la variété artéfactuelle. Par conséquent, elle ne peut servir de fondement phylogénétique.

Ayant rhétoriquement démenti l'usage de la fonction comme principe classificatoire, Deforge (1985) poursuit en présentant l'usage de brevet pour contourner la problématique :

Un brevet portant généralement sur une utilisation originale d'un principe scientifique et un modèle déposé protégeant une forme, un dessin, une couleur, on retrouverait ainsi la distinction précédente entre fonction d'usage et fonction de signe, mais d'après ce que nous savons du travail des spécialistes des brevets et de la jurisprudence à ce sujet, la plupart des cas sont ambigus. Ce qui fait l'essence d'un objet et son originalité restent du domaine de l'appréciation. Cependant, les brevets et modèles déposés peuvent s'avérer de bons critères distinctifs. (p.97)

Devant l'ambiguïté des brevets et la difficulté de les retrouver et de les analyser, Deforge (1985) fait appel au principe rattaché au principal phénomène physicochimique mis en jeu dans l'objet. Ce principe est adéquat pour des objets simples comme le levier, mais pour un objet complexe comme un bateau, la classification selon le principe d'Archimède n'est pas suffisante pour distinguer tous les vaisseaux qui flottent. Si le principe est la voile la plupart des bateaux se rassemblent en une grande famille si le principe est la coque il en est de même.

C'est ainsi qu'après s'être écarté de la classification morphologique, typologique, fonctionnelle, par brevet, et par principe physicochimique, Deforge (1985) développe son propre principe qu'il définit comme une « essence technologique. » (p.101)

Nous définirons donc le principe comme une "essence technologique" qui se manifeste par des solutions technologiques et des formes (mais pas toutes les solutions ni toutes les formes) qui le font se situer entre l'expression du problème et sa solution achevée, définition qui prend tout son sens avec ce que les techniciens expriment graphiquement par le "schéma de principe", représentation simplifiée qui participe d'une idée de réduction graphique à l'essentiel et verbalement par le "type". (p.101)

L'essence technologique chez Deforge se résume à quatre critères : « la fonction d'usage, le principe et éventuellement la technologie et les formes ». Dans une matrice comparant deux objets, ces principes combinés donnent 16 possibilités de similitude, plus des similitudes sont

remarquées, plus le lien « génétique » est prononcé. Pour désigner les possibles niveaux de similarité, Deforge (1985) emploie une taxonomie de sa propre création, et d'inspiration linnéenne : Famille, lignée, série (en décroissance). La famille est un ensemble d'objets de même fonction d'usage, la lignée est un sous-ensemble d'objets de même *type* partageant un même usage et principe, les objets de même principe, usage, forme et technologie sont identiques et appartiennent à une série. Son système de classification est basé sur deux principes discriminants : La fonction et le principe (physicochimique), les critères de forme et de technologie sont secondaires et servent à distinguer les types établis.

Deforge formule ensuite la notion de *lignée* qui complète son principe classificatoire en introduisant une dimension temporelle. Des objets partageant un même principe générateur et une même fonction peuvent être classés dans un ordre chronologique et appartenir à une lignée génétique. Deforge (1985) cite en renfort l'exemple du « geste opérationnel » de Leroi-Gourhan (1971). Cet auteur, à défaut de baser sa classification sur l'objet, ce qui donnerait, selon lui, un classement simplement morphologique, se base sur le geste opératoire qui permet néanmoins d'étudier l'artéfact :

Les cadres classificatoires des techniques n'ont pas été établis par des technologues, mais par des ethnologues qui avaient plus en vue une répartition des produits du groupe qu'ils étudiaient dans des divisions commodes qu'une analyse de la fabrication. En d'autres termes, ils ont plutôt vu la forge que le travail des métaux, le panier que la vannerie, le vêtement que le travail des fibres. (p.13)

C'est dans un contexte d'étude culturelle sur les méthodes de fabrication et sur les techniques matérielles que Leroi-Gourhan (1971) commença son inventaire des techniques et une technomorphologie fondée sur les matières premières. S'il est désirable de voir dans son organisation des techniques, une forme de classification, il est possible, par la même occasion, entrevoir l'origine d'un principe classificateur dans le rapport entre le geste et la matière :

C'est bien parce que l'homme n'a pas d'autre prise sur le bois qu'en le coupant sous un certain angle, sous une pression déterminée, que les formes, les emmanchements des outils sont classifiables. (p.14)

Le geste opératoire est le lien qui unit les artéfacts en différents groupes, en *tendances techniques*; c'est pourquoi Leroi-Gourhan le choisit comme principe classificatoire et que Deforge l'adoptera plus tard à cette même fin.

Deforge (1985) fait donc l'usage d'un concept d'espèce synchronique basé sur différents principes, morphologique et autres, d'une importance variable pour la classification. Bien qu'il emploie à l'occasion un lexique essentialiste, son concept d'espèce est employé dans un modèle de classification phylogénétique qui attribue la descendance commune des objets techniques au geste opératoire.

Lafitte dans ses *Réflexions sur la science des machines* (1972) mentionne que dans l'époque contemporaine, il n'existe pas de classification générale des machines, mais plutôt une multitude de classifications particulières restreintes à des domaines limités. Il invite à faire la somme de nos connaissances sur les corps organisés et à tenter de les ordonner en une science des machines. Cette science devrait beaucoup aux démarches de la mécanique et de la physicochimie, mais elle serait une science possédant sa propre place dans la série des disciplines scientifiques. Cette science des machines est la « mécanologie » et sa méthode est la « mécanographie ».

En somme, la mécanographie est une organisation des machines ainsi qu'une étude de leur diversité. L'état de la mécanographie (à l'époque de la publication) est fragmenté, mais avec un effort commun, Lafitte croit qu'il serait possible d'établir la classification générale des machines ou, tout au moins, les conditions générales de cette classification.

La condition principale, pour Lafitte comme pour Deforge est l'usage inévitable d'un principe sur lequel baser la classification. Pour Lafitte (1972) il est possible d'établir une multitude de classifications selon le *caractère*, qui peut être choisi de manière arbitraire, pourvu qu'il soit général. Les caractères choisis peuvent être l'utilité sociale, le poids, le volume, le nombre d'organes, les mouvements transformés et ils résulteront tous en des distributions différentes, mais générales et perfectibles, car ces dernières contiendront toutes les machines existantes et les nouvelles machines y trouveront aussi leur place.

Toujours selon Lafitte, une telle classification aurait la vertu d'être générale, plutôt que particularisante. Cependant, elle serait aussi systématique « car elle ne considère, ou qu'un seul des caractères parmi l'ensemble de tous ceux que les machines présentent à nos observations ou que des conditions extérieures à la machine elle-même. » (p.59)

Si une classification se base sur un examen de l'ensemble des caractères, elle serait « réelle ». Pour atteindre cette *réalité*, Lafitte (1972) suggère une distribution chronologique suivant l'ordre d'apparition des types qui devrait inclure toutes les machines. Elle devrait marquer tous les rapports et les différences d'organisation chez les machines « en se fondant sur l'examen de l'ensemble de leurs caractères, elle cesse d'être systématique pour devenir réelle. » (p.62)

Remarquons ici les ressemblances entre l'approche classificatrice de Lafitte et l'approche phénétique³⁶. Les deux prescrivent un examen exhaustif de tous les caractères et affirment l'objectivité ou la *réalité* d'une telle méthode.

Lafitte propose l'usage d'une distribution générale incluant toutes les machines existantes et basées sur l'ensemble de leurs caractères. Bien conscient qu'une telle distribution est d'une complexité considérable, il convient qu'il est nécessaire de situer des « coupures » dans la classification à titre de points de repère. Il propose d'isoler « des masses principales, puis secondaires, toutes distinguées par des caractères généraux et subordonnés. » (p.63)

Ces groupes généraux, puis secondaires, dont fait usage Lafitte (1972) sont à l'image d'une approche nulle autre que taxonomique. Ces groupes sont bien réellement des taxons et cette taxonomie est employée comme complément à sa classification. Lafitte (1972) est également conscient qu'une telle taxonomie est, de fait, une grille d'organisation artificiellement découpée et apposée au règne continu des machines indiquant que son approche est réaliste et non nominaliste :

³⁶ La taxonomie phénétique (ou numérique) est une ramification individuelle de la taxonomie naturelle qui présente la même volonté d'organiser objectivement la diversité organique. Pour y arriver, le taxonomiste tente de quantifier tous les caractères observables auxquels est accordée une importance égale, afin d'organiser les formes selon leur similarité globale (Jensen 2009)

Sans aucun doute de telles masses isolées n'existent pas dans les machines, l'homme n'ayant créé ni masses principales ni masses secondaires, mais seulement des individus. (p.63)

Afin de mitiger le caractère arbitraire de la classification, il est important pour Lafitte de déterminer des principes fixant clairement les conventions qui déterminent les coupures dans la distribution, ainsi que d'établir une nomenclature organisée. Si la distribution des machines représente leur ordre d'apparition chronologique et qu'une classification correspond à une tentative humaine de représenter le plus étroitement possible la succession de leurs formes, Lafitte (1972) déclare que la méthode la plus pertinente est l'approche historique (p.64). Cependant dit-il, l'histoire des machines est confuse et conjecturale, mais si une chose peut être apprise par l'histoire c'est que dans les machines, ce sont les types antérieurs qui sont la condition d'apparition des types postérieurs (pp.64-65). Il est incontestable que la série des machines est une série évolutive d'une complexité croissante.

5.5 Modèles rhizomorphiques

La philosophie de la biologie a eu tendance à se concentrer sur les organismes multicellulaires et à ignorer l'importance biologique des microorganismes. Possiblement parce que la possibilité de les étudier correspond au développement du microscope dont l'accessibilité est plus récente que la possibilité d'observer le règne végétal, animal ou fongique à l'œil nu. Aussi, dans l'étude de la microbiologie et en particulier, des procaryotes, le groupement d'individus et le classement taxonomique sont des tâches encore plus difficiles que dans le reste du domaine vivant en raison de leur diversité morphologique moins marquée. Pour ces raisons, il est concevable que les travaux et les discussions sur la systématique microbiologique aient eu moins de considérations dans la sphère scientifique et que ces méthodes de classification ainsi que les concepts d'espèces microbiologiques se soient développées moins rapidement.

Similairement, dans la théorie du design, il est certain que les analogies biologiques se sont longtemps limitées aux organismes multicellulaires, la zoologie plus particulièrement, a été une

source inépuisable d'inspiration. En guise d'exemple, Steadman (2008) dresse la liste des analogies organiques et anatomiques dans l'histoire de l'architecture et c'est sans surprise que l'animal est la source d'inspiration principale.

La comparaison de l'objet de design au microorganisme est, pour des raisons indéniables, moins intuitive : l'architecture et l'objet industriel ne peuvent que péniblement tirer de leçons morphologiques de la bactérie³⁷. Les structures architectoniques par exemple, sont plus facilement comparables aux structures osseuses qu'aux organites constituant la structure cellulaire³⁸. D'une manière particulièrement problématique cependant, les modèles de classification utilisés dans l'étude de l'évolution culturelle et technologique, comme dans la systématique biologique, ont tendance à ignorer les modèles de classification microbiologiques au profit de modèles classificatoires macrobiologiques.

Cela est problématique parce que davantage de ressemblances marquantes rassemblent le microbiome et la culture matérielle : plutôt que de démontrer un tracé évolutionniste linéaire et arborescent, ils démontrent parfois une structure de changement erratique et réticulée. Cette structure de changement commune est pourtant largement ignorée dans la théorie du design à l'exception de quelques cas qui seront présentés dans ce chapitre.

Comme le montrent les multiples phylogrammes, l'arbre de la vie démontre une structure constamment divergente, mais dans la culture matérielle, la transmission et la convergence sont endémiques. Pour Gould (1988) : « Cinq minutes avec une roue, une raquette, une bobine, ou un arc et flèche peut permettre à l'artisan d'une culture de saisir une réalisation majeure d'une autre ». Par cette citation, le paléontologue Stephen Jay Gould exprime que le changement culturel suit un tracé qui n'est pas proprement *darwinien*, en ce sens que les traits ou artefacts

³⁷ Il existe aujourd'hui des exemples de structures inspirés de microorganismes, comme la structure d'un zooplancton radiolaire (appartenant au domaine des eucaryotes contrairement aux bactéries procaryotes, mais dont la taille est tout de même comprise entre 50 et 300 μm) basée sur le principe de tensesgrité ayant inspiré une structure architecturale de G. Emmerich (Pohl et Nachtigall 2015).

³⁸ Dans le cas de la tour Eiffel, l'os du tibia fut une source d'inspiration substantielle pour l'ingénieur en structure Koechlin (Pohl et Nachtigall 2015) (p. 132). Les murs porteurs construits en pierre étaient comparables, pour Le Corbusier, à la structure exo squelettique de la tortue ou même du homard. (Steadman, 2008) (p.39). Chez Viollet-le-Duc, les membres structurants des voûtes gothiques étaient organisés et proportionnés d'une manière rappelant la cage thoracique (Steadman, 2008) (p.41).

culturels ne suivent pas nécessairement une lignée de forme parenté-progéniture. En raison de la capacité humaine d'apprendre et imiter, cela combiné à la diffusion culturelle, la raquette peut apparaître dans un nouveau groupe ethnique. Par hybridation, l'artisan peut créer un nouvel objet sans précédent qui ne sera pas le résultat d'une phylogénèse, mais d'une forme de création horizontale.

Les domaines d'étude des vestiges et artefacts humains emploient souvent le terme *ethnogenèse* pour qualifier ce processus d'emprunt à l'origine des traits culturels (Moore, 1994; Bergerhoff, Mulder, Nunn, Towner, 2006). Les anthropologues et paléontologues qui souscrivent à l'étude évolutionniste ont souvent revendiqué que les modèles phylogénétiques ou cladistiques devraient être employés avec prudence pour évaluer l'information culturelle en raison de la présence de transmission horizontale et de croisement plus élevée dans les systèmes culturels que dans les systèmes biologiques. Cette structure réticulée implicite dans les dynamiques macroculturelles aurait pour effet de fausser les analyses qui présument une transmission verticale et arborescente semblable à l'hérédité génétique (Mesoudi, 2007).

Les théories expliquant la distribution géographique des types culturels, linguistiques et matériels ainsi que leurs relations sont principalement *cladistiques* et inappropriées à la tâche. En effet, selon Moore (1994) :

Les théories qui sont cladistiques (du grec *clados* pour "Branche") devraient être contrastées avec d'autres qui sont rhizomiques (du grec *rhiza* pour "racine") (...). Les théories cladistiques accentuent l'importance du processus historique par lequel des populations, langages et cultures sont dérivés d'un groupe parent. Les théories rhizomiques accentuent la mesure dans laquelle chaque langage, culture et population humaine est considéré comme un dérivé de, ou comme enraciné dans plusieurs groupes antécédents différents. (p.925) [traduction libre]

L'hérédité, qu'elle soit latérale ou horizontale, est un mécanisme d'une importance majeure chez les microorganismes, dont les procaryotes et eucaryotes unicellulaires. Le transfert latéral implique le transfert de matériel génétique d'un organisme à l'autre, peu importe la distance évolutive qui les sépare (O'Malley, Dupré, 2007). Cette possibilité chez les microorganismes d'échanger du matériel génétique d'une manière horizontale leur permet de s'approprier des

caractères génétiques ayant des tracés évolutifs bien différents les uns des autres, mais aussi éloignés de leur propre tracé évolutif.

Le mécanisme d'hérédité latéral est un phénomène qui semble bien établi dans les études culturelles alors que dans la théorie du design, c'est un phénomène rarement abordé. Pourtant, tel que montré dans le chapitre sur la structure de rétention (voir chapitre 4.1.2) par l'exemple du processus conscient décrit par Alexander (1964), les idées constituant l'objet de design peuvent se recombiner et sauter les frontières phylogénétiques. Beaucoup porte à croire que l'hérédité latérale est présente dans l'activité de design. En effet, selon Langrish (2004) :

Les bactéries primitives mélangeaient leur matériel génétique de manières variées, incluant le transfert latéral. Ce qui est plus similaire à la manière dont les idées de design se mélangent. (p.6) [traduction libre]

En design, ce mécanisme accorde l'accès à des possibilités formelles sans frontières, et permet de s'affranchir des limites de la phylogénèse. Cependant, ce mode de genèse n'est pas sans désavantage. Comme l'a démontré Alexander (1964), le processus conscient exprime des mécanismes de variation au rythme parfois plus élevé que celui des mécanismes de sélection. Par conséquent, lorsque le processus n'a plus le temps d'atteindre l'équilibre, les formes dotées d'aptitude et d'adaptabilité ne peuvent émerger.

5.5.1 Caractéristiques rhizomorphiques

En microbiologie, le transfert horizontal génétique permet l'acquisition rapide de nouveaux traits (Woods et al. 2020). Ces évènements de réticulation chez les microorganismes ont le potentiel d'accélérer l'adaptation et permet même l'accès à de nouveaux traits qui auraient autrement été inaccessibles par processus de sélection naturelle (Dunning, Christin, 2020).

La transmission génétique verticale est typiquement plus lente. D'après la corrélation entre la période de gestation et le volume du cerveau à la naissance³⁹, des organismes plus massifs

³⁹ Chez les mammifères placentaires homéothermes (Sacher et Staffeldt 1974)

comme l'éléphant d'Afrique prennent en moyenne 22 mois pour reproduire une copie génétique. Aussi, dépendamment de la stratégie de reproduction spécifique à chaque espèce, le nombre de nouveau-nés est toujours limité. D'une manière générale, il est réaliste de croire que la vitesse à laquelle s'effectue la transmission horizontale est d'un tout autre ordre de grandeur que le rythme de la transmission verticale.

Dans le milieu culturel, la rapidité d'évolution mémétique dépasse celle des organismes (multicellulaires) par plusieurs ordres de grandeur. D'après Heylighen (1992) :

Les mèmes peuvent être transmis en l'espace de quelques heures. La transmission mémétique est aussi plus rapide que la transmission génétique (...) la quantité d'individus qui peuvent prendre en charge un mème depuis un individu unique est presque illimité. De plus, il semble bien plus facile pour les mèmes de subir une variation, puisque l'information dans le système nerveux est plus plastique que celle dans l'ADN, et les individus peuvent entrer en contact avec des sources bien différentes de nouveaux mèmes. » (p.15) [traduction libre]

En plus de permettre une acquisition plus rapide de nouveaux traits, le transfert génétique latéral permet l'acquisition de gènes au-delà des frontières biologiques séparant les espèces. C'est une source majeure de nouveaux phénotypes qui permet aux microbes de s'adapter à de nouveaux environnements (Kirit, Lagator, Bollback, 2020). Le transfert génétique horizontal peut amener dans les génomes des génotypes radicalement différents originaires de lignées distantes et même des gènes portant de nouvelles fonctions, et consiste donc en une source majeure d'innovation phénotypique et un mécanisme d'adaptation aux niches écologiques. (Ravenhall et al. 2015)

L'acquisition rapide de nouveaux traits, et la capacité de franchir les frontières inter-espèces donnant l'accès à des possibilités phénotypiques diverses font du transfert horizontal un mode de réorganisation génétique qui semble favoriser l'adaptation. Il se trouve pourtant que dans certains cas, le transfert horizontal augmente la variation génétique sans avoir d'impact notable sur le taux d'adaptation (Maddamsetti, Lenski, 2018) et facilite même la diffusion de gènes qui diminue l'aptitude de l'organisme (Woods et al. 2020). Certaines études ont confirmé que le transfert latéral peut faciliter l'adaptation, mais que cela nécessite des conditions de sélection plus fortes (Woods et al. 2020; Chu, Sprouffske, Wagner, 2018; Peabody, Li, Kao, 2017).

La capacité de modification génétique non verticale est à l'origine de la difficulté d'étudier les relations évolutives des microorganismes. Ce mélange génétique rend les frontières entre les populations microbiennes encore plus troubles que dans le règne animal ou végétal; ce qui incite à remettre en question l'idée même de se pencher sur le problème de l'espèce en microbiologie (Ford, Doolittle, Papke, 2006). De plus, la difficulté à établir un concept d'espèce ne vient qu'exacerber le problème de classification.

Ces difficultés surviennent aussi dans les tentatives de classification de l'artificiel. Les définitions phylétiques des objets de design et l'étude de leurs relations évolutives sont rendues incertaines en raison de la nature rhizomique de l'échange mémétique entre les objets de design. Aussi, la formulation d'un concept d'espèce semble hors d'atteinte en l'absence de frontière clairement définie entre les artéfacts. En design, le mode de transfert d'information horizontal accorde l'accès à des possibilités formelles inexplorées, mais cela ne se réalise qu'aux dépens d'une continuité artéfactuelle véritablement phylétique normalement associée au processus organique.

Un exemple de modèle représentant la dualité de la toile et de l'arbre génomique est présent dans l'étude de cas du cornet, un instrument à vent soprano (Tëmkin, Eldredge, 2007). L'application d'une approche basée sur le « réseau » était plus adéquate dans ce contexte de transfert horizontal, d'hybridation et de recombinaison génétique et a révélé un grand nombre de réticulations impliquant un transfert d'information principalement interlinéaire.

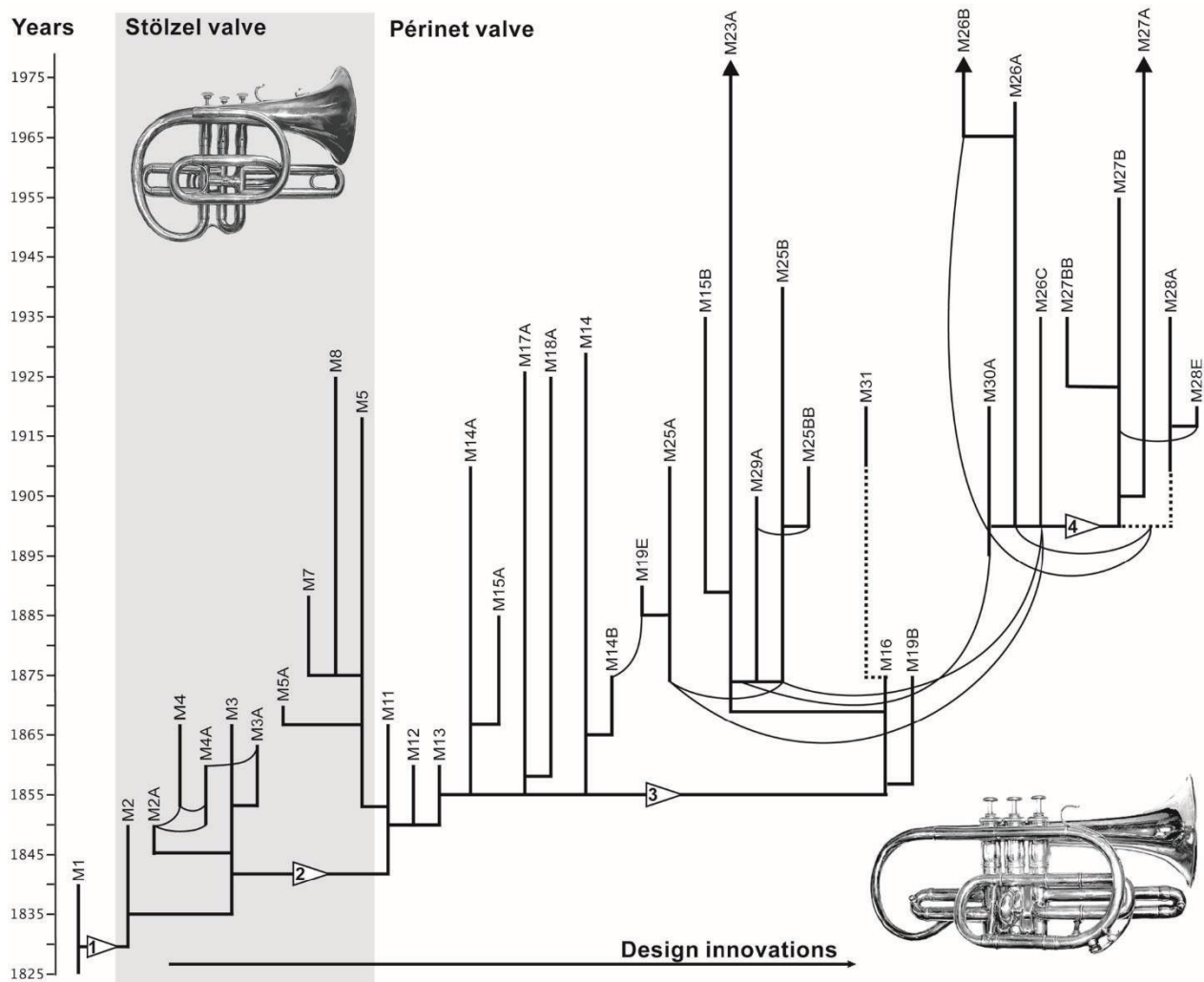


Figure 6. Modèle Rhizomorphe (Tëmkin, Eldredge, 2007)

The relationships among different models (M) are calibrated against the timeline so that the vertical branches correspond to periods of manufacture of particular models. Shaded left and non-shaded right areas, instruments equipped with Stölzel and Périnet valve systems respectively. Curved lines, reticulations, potential nonvertical instances of information transfer among makers. Triangles, key innovations in cornet design: (1) valve number, (2) shifting of the second valve slide and valve alignment, (3) changing of bell exit position and bell placement, and (4) alteration of bell shape (“trumpetization”). The reticulate branches generated were subsequently plotted onto the neighbour-joining tree. The reticulate branches suggesting relationships that were not corroborated by the presence of at least a single character in any of the shortest trees in the maximum parsimony analysis were eliminated. Nonsynchronous temporal distribution of sister taxa was interpreted as direct ancestry of a younger model from an older mode (Tëmkin, Eldredge, 2007) p. 149.

La quantité non négligeable d’information transférée entre lignées peut expliquer pourquoi les techniques phénétiques ont mieux performé que les méthodes cladistiques. Le modèle phylogénétique a été reconstruit en incorporant de l’information au sujet de l’origine et de la discontinuité de la manufacture des différents modèles de cornets. Cette méthode combinée à

une approche phénétique basée sur le réseau de caractères discrets a permis de découvrir les réticulations dans la phylogénie du cornet. Cette approche synthétique combinant le réseau et l'arbre génomique a, pour sa part, permis une précision représentative de la dualité de la structure d'hérédité dans le modèle de classification.

Tableau 4 : modèles de classifications (Félix Favreau-Vachon, 2023)

	Modèles de classification		
	Typologique/ Essentialiste	Phylogénétique	Rhizomorphique
Structure	Linéaire Individuée	Arborescente	Réticulée
Processus de changement	Linéaire	Divergence	Convergence
Mécanisme de changement	Accidentel, environnemental	Mutation Transfert vertical	Transfert latéral Recombinaison
Auteurs en exemple	(Coccia 2017; Crilly 2010b; Vermaas et al. 2013)	(Deforge 1985; Château 2010; Lafitte 1972)	(Tëmkin et Eldredge 2007)
Origine de l'adaptation	Aucune	Lignée ancestrale	Principalement dans les lignées voisines

5.5.2 Le seuil darwinien

Il a été proposé que le taux de transfert génétique horizontal était très élevé au début de l'évolution procaryotique⁴⁰ et que, par conséquent, il est impossible de définir des lignées distinctes dans ces organismes. Ce n'est que lorsque le taux de transfert horizontal de matériel génétique s'est résorbé et qu'il a laissé place à un transfert principalement vertical que des lignées ont commencé à émerger créant des groupes génétiques distincts (Vogan, Higgs, 2011).

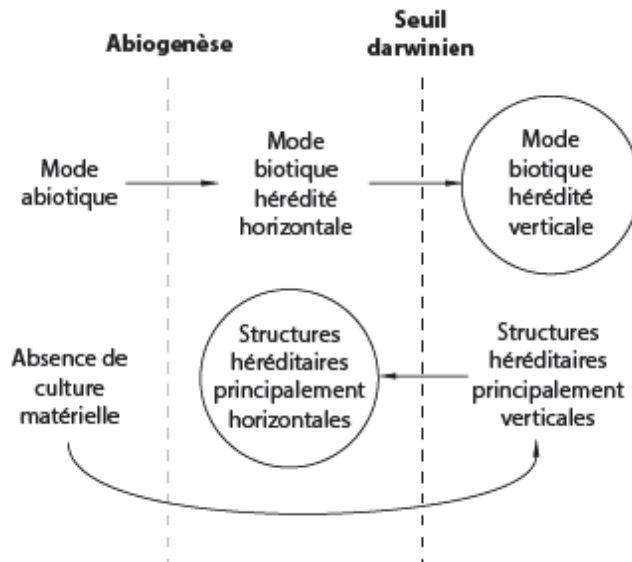
⁴⁰ Durant la période précambrienne qui s'étend sur plusieurs millions d'années.

Ce passage d'un mouvement évolutif possédant une structure rhizomorphique à un changement évolutif principalement arborescent et phylogénétique est appelé le seuil darwinien (Vogan, Higgs 2011).

Le seuil darwinien est une sorte « d'horizon des évènements » dans l'évolution des systèmes d'information complexes, biologiques et culturels. Il faut s'attendre à ce que les méthodes purement phylogénétiques puissent reconstruire la portion darwinienne de la trajectoire d'un système d'information, jusqu'à la limite du seuil darwinien, mais ces méthodes ne pourront jamais illuminer les périodes antérieures puisque le transfert horizontal rapide a oblitéré l'information phylogénétique avant ce point dans le temps (Buckley, 2018).

Comme l'avait supposé Pitt Rivers (dans Basalla, 1988, p.17), les liens d'engendrement entre les objets culturels récents sont plus difficiles à tracer. De là son effort délibéré « d'éviter la difficulté de traiter des produits plus complexes et sophistiqués de la technologie victorienne⁴¹ » pour se pencher plutôt vers la classification des artéfacts préindustriels.

Figure 7 : Diagramme du seuil darwinien (Félix Favreau-Vachon, 2023)



⁴¹ Basalla (1988) p.17

La figure 7 représente les continuums des règnes du vivant et de l'artificiel. Le règne vivant suit la progression d'un mode abiotique vers un mode biotique dont les structures d'engendrement dépendent des mécanismes d'hérédité horizontale, suivie de l'émergence d'un mode d'hérédité verticale. Le premier seuil à être franchi par ce continuum est la frontière de l'abiogenèse, c'est-à-dire la transition d'un domaine sans caractéristique de ce qui est vivant vers un règne biotique. Le deuxième seuil franchi par le règne vivant est le seuil darwinien décrit précédemment, caractérisé par la transition vers une hérédité verticale, phylogénétique et retraçable, dont la structure arborescente contraint les lignées individuelles vers des chemins séparés entre lesquels l'échange génétique est impossible.

Le règne artificiel suit une progression différente. On ne peut qu'imaginer qu'il prend origine dans un mode d'absence de toute culture matérielle, situé avant les premiers événements techniques. Le continuum franchit ensuite la frontière équivalente à l'abiogenèse, qui se présente dès l'émergence des premiers artefacts et des premières industries lithiques. Ces modes de production sont estimés être principalement basés sur l'imitation et l'artisanat, en plus d'être contraints par une certaine mesure de déterminisme technique en raison des limites technologiques contextuelles. Ils démontrent par conséquent une structure d'engendrement basée sur l'hérédité verticale, les plaçant par le fait même au-delà du seuil darwinien, dans une position symétrique au mode d'existence des entités macrobiotiques. Cette deuxième étape de progression du règne artificiel correspond, en effet, à la troisième étape du règne biotique. Cependant, le continuum artificiel semble avoir pour troisième étape un mode d'existence dont l'hérédité est principalement horizontale et qui précède le seuil darwinien. Cette volteface dans la progression du système artificiel, propose que la culture matérielle se trouve du « mauvais côté » du seuil darwinien. Du côté de cette frontière évolutionniste où l'information phylogénétique est surpassée par le réseau d'information rhizomorphique.

Il a été présenté de manière intransigeante, une opposition entre les modes de transfert d'information latéral et vertical. Cependant, il est important de noter que les systèmes naturels, comme ceux artificiels, sont davantage des paysages de nuance que des systèmes binaires dont les extrêmes seraient exclusifs. Dans le système artificiel, certains cas se prêtent mieux à l'analyse phylogénétique, mais parfois d'autres cas y sont plutôt imperméables et seraient alors mieux

représentés par un modèle rhizomorphique. Il est donc envisageable que l'objet de design porte une double identité ontologique en ce qu'il peut être à la fois le résultat d'une phylogénèse ainsi que d'une ontogénie horizontale.

5.6 Modèle ontologique

Pour conclure ce chapitre, il est opportun de retourner à la question de recherche : comment le cadre méthodologique de la biologie - dans le cas échéant, les méthodes de classification – peut-il être appliqué à la culture matérielle et que peut-il apporter au bioparadigme en design?

Les méthodes essentialistes ne tracent pas de liens directs entre les structures artificielles. Cela transparaît dans les modèles d'organisations qui ne présentent pas de tentative d'établir de liens phylogénétiques entre les artefacts ni entre leurs fonctions. La structure de l'organisation, à défaut de ne pas être basée sur le *phylum*, est basée sur le *type* et est donc limitée à la fonction de cataloguer, sans offrir de compréhension biologique des objets de design.

Les méthodes phylogénétiques ont une application limitée qui permet difficilement de révéler les phylogénies culturelles et performant mieux dans des situations de transmission traditionnelle et verticale plutôt qu'interculturelle, inter-temporelle et généralement horizontale. Les systèmes de design postindustriels sont particulièrement labyrinthiques dans leur circulation d'information et nécessitent un modèle de classification rhizomorphique pour représenter le plus fidèlement la structure de continuité entre les artefacts. Cette structure de rétention réseautique démontre que les traits morphologiques qui caractérisent normalement l'adaptation peuvent se transmettre de manière horizontale.

La question demandait aussi, au sujet des méthodes classificatrices, ce qu'elles peuvent apporter au bioparadigme en design? L'examen des méthodes classificatrices apporte une vision macroévolutionniste des objets de design et qui explore les grands schèmes du mouvement évolutionniste. L'examen révèle un modèle ontologique dualiste, à la fois rhizomorphique et phylogénétique, capable de rendre compte des structures d'hérédité horizontale et verticale.

C'est par cette structure qu'il est possible de comprendre d'où viennent et surtout comment se transmettent les traits morphologiques qui caractérisent l'adaptation de nos objets de design. Cette notion est élaborée dans le chapitre suivant.

Chapitre 6 - Adaptation : un modèle de durabilité

L'adaptation est un terme auquel sont associées deux définitions. Elle peut être comprise comme l'interaction des mécanismes d'évolution, soit comme le processus continu de maintien de cohérence entre un organisme et son environnement. L'adaptation peut aussi signifier le résultat de ce processus (Grandcolas, 2015). D'après cette définition, il est possible de trouver au principe d'adaptabilité son analogue technologique : la durabilité.

L'approche biomimétique pourrait donc définir la durabilité comme un processus continu de maintien de cohérence entre une forme artificielle et son environnement, ainsi que comme le résultat de ce processus.

Si la durabilité devait en effet être définie selon les termes de l'adaptation, il serait nécessaire de clarifier ce que représente le principe d'adaptation en biologie. En effet, il s'agit d'un concept sensible. La pensée adaptationniste, ayant dominée le discours évolutionniste au tournant du 20^e siècle, est basée sur une confiance envers les capacités du mécanisme de sélection naturelle comme agent d'optimisation (Gould, Lewontin 1979). Cependant, cette approche aurait tendance à interpréter n'importe quel trait observable comme un trait présentement adapté à son environnement. Cette interprétation est critiquée, car elle ne reconnaît pas de nuance entre un trait qui *est* le résultat du processus, et un trait qui *a été* le résultat par le passé. Tout trait observable n'est pas nécessairement un trait adapté dans l'immédiat.

Par exemple, certains traits observables dans l'immédiat sont des vestiges du processus d'adaptation. Le coccyx et l'appendice sont des structures vestigiales qui auraient servi des fonctions particulières à un moment donné dans l'histoire évolutive de l'humain, mais qui ne servent plus de fonction utilitaire aujourd'hui. Certaines formes vestigiales sont présentes dans l'objet de design. Comme l'anse sur les bouteilles de sirop d'érable. Ce caractère peut être interprété comme une version atrophiée de ce qui était un organe de préhension dans les

vaisseaux de plus grande taille comme une amphore. Ce genre de trait est un exemple de skeuomorphisme⁴².

Certains traits sont aussi définis comme des exaptations⁴³. Par exemple, il a été formulé comme hypothèse que les plumes auraient servi une fonction de rétention thermique avant de permettre le vol d'oiseau. La vessie natatoire, qui permet au poisson de se mouvoir de haut en bas dans l'environnement aquatique, aurait évolué parallèlement vers la formation du poumon. Le système squelettique servant aujourd'hui de structure centrale chez les vertébrés aurait auparavant fait office de mécanisme d'entreposage de phosphate de calcium pour compenser aux fluctuations saisonnières de la disponibilité du phosphate océanique (Gould, Vrba 1982; Larson et al. 2013). Chaque adaptation peut être considérée, à un certain point, comme une exaptation. Si on regarde assez loin en arrière, on remarque que chaque adaptation s'est développée à partir de structures précédentes qui chacune avaient un autre usage ou même aucune fonction (Dennett, 1995). En effet, aucune fonction n'est éternelle. Dans le règne artificiel, le rayonnement micro-ondes était à l'origine employé dans les radars à magnétron pour intercepter et refléter des objets hors-cible et subséquemment a été *exapté* en un moyen de réchauffer la nourriture (Larson et al. 2013). Certaines technologies développées par la NASA pour son programme de recherche spatiale ont été exploitées pour de nouveaux usages commerciaux. Par exemple des agents de recyclage organiques conçus pour des missions spatiales de longue durée sont maintenant utilisés comme suppléments nutritifs enrichis de microalgues (Larson et al. 2013).

Certains traits observables sont qualifiés comme des hypertélies. Ils représentent des traits morphologiques dont le développement s'est exagéré à un point tel qu'il devrait, en théorie, perturber le fonctionnement global de l'organisme. En biologie les exemples sont multiples : la

⁴² Le skeuomorphisme est aussi observable dans le design d'interface, en particulier dans la composition des premières icônes de téléphones cellulaires représentant de manière ornementale des objets physiques associés aux mêmes fonctions. Par exemple les icônes de disquette, de téléphone, ou de librairie ont été utilisés pour identifier des touches d'accès aux fonctions d'enregistrer de l'information, de téléphoner, ou d'accéder à une banque d'information.

⁴³ Les exaptations sont des sous-produits de mécanisme d'évolution autre que l'adaptation, ou des traits autrefois sélectionnés pour une fonction indépendante de l'usage actuel ou apparent servent aujourd'hui une nouvelle fonction.

crête du casoar, la queue du paon et les défenses du cerf ont été mentionnées en chapitre 4.4.2 comme exemple de résultat du mécanisme de sélection sexuelle.

Ces exemples de vestiges, d'exaptations, de skeuomorphisme et d'hypertélie démontrent que tous traits observables, bien qu'ils soient le résultat du processus d'adaptation, d'une manière collatérale ou historique, ne sont pas nécessairement de traits adaptés. Du point de vue du programme biomimétique de durabilité, cela soulève donc des questionnements, à savoir où exactement se situe et d'où provient l'adaptation dans nos structures artificielles.

Le modèle ontologique formulé précédemment est un modèle descriptif qui permet de formuler des hypothèses qui répondent à cette question. Le modèle consiste en une structure dualiste expliquant le mécanisme de continuité entre les formes artificielles. Il indique que les objets de design ont acquis leurs formes et caractères d'une manière phylogénétique et d'une manière rhizomorphique. Il serait donc possible d'identifier et de trouver la source des traits adaptés dans ces deux modes de continuité héréditaire.

Dans le cas de la continuité phylogénétique, il serait possible de chercher la source d'un trait adapté d'une forme donnée dans l'arborescence des formes antécédentes. Il faudrait identifier l'adéquation environnement-forme à partir de laquelle aurait émergé le trait d'adaptation identifié. Dans le cas d'une forme issue d'un mode de genèse rhizomorphique, l'exercice devrait être plus complexe. Il serait plus difficile de poser des hypothèses sur l'origine des traits d'adaptation d'une telle forme puisque sa genèse ne serait pas contrainte par les frontières de « l'espèce », telle une forme issue du processus « conscient » décrit par Alexander (1964).

6.1 Vers un modèle prescriptif

Il est maintenant opportun d'aborder certains points de discussion qui ont été implicitement soulevés par la recherche et par l'argumentaire, et qui toutefois se révélaient être hors du cadre de la recherche. Les modèles ontogéniques (voir chapitre 4.6) et ontologiques (voir chapitre 5.6) formulés sont, à l'image des modèles évolutionnistes, d'une nature descriptive : « La biologie de Darwin était construite en réponse à un ensemble de règles différent, les règles d'investigation et d'explication scientifique. En ce sens, elle n'était pas normative, mais descriptive » (Ruse, Richards, 2009). Le cadre évolutionniste est construit pour décrire le changement; c'est pourquoi il semble adéquat pour formuler une description du design, défini comme l'effort humain à changer son environnement.

L'idéal scientifique est de produire des explications qui restent valides lorsque mises à l'épreuve dans des champs d'application plus vastes; offrant par conséquent, un pouvoir de prédiction (Archer, 1995). La description est peut-être une première étape dans la modélisation évolutionniste du design, sur laquelle peuvent se construire des modèles de prédiction et de prescription. Cependant, il est parfois mentionné que les théories évolutionnistes ne fournissent pas de base pour extrapoler des notions prescriptives de design (Whyte, 2007). Cela représente un enjeu pour le développement de l'approche évolutionniste si l'on considère que l'objectif du design est dans la *praxis* et non seulement dans l'*épistémè*.

Il existe pourtant dans l'histoire des exemples illustrant la possibilité d'employer la théorie évolutionniste à des fins prédictives. Pour Cuvier, il a été possible de décrire la morphologie d'un organisme à partir d'un élément unique de son anatomie (Guchet, 2008). Les modèles anatomiques ont permis dans ce contexte une forme de prédiction⁴⁴.

En design, il a été proposé que le cadre évolutionniste permette de structurer le processus de développement de produit afin d'offrir une certaine capacité de prédiction et une stratégie de

⁴⁴ Plus récemment, il a été possible au zoologue Richard D. Alexander d'hypothétiser l'existence d'une espèce vertébrée possédant une organisation eusociale alors qu'un tel phénomène n'était alors qu'exclusivement observé chez les insectes. Il s'est révélé plus tard qu'une espèce de taupe d'Afrique de l'Est répondait exactement à cette description. Ce cas démontre le pouvoir prédictif de la théorie évolutionniste basé sur la compréhension des forces sélectives menant à l'évolution des comportements sociaux (Braude 1997).

développement de produit à faible risque (Eger, Ehlhardt, 2018). Tel qu'identifié dans le travail de Steadman (2008), une connaissance exhaustive des types architecturaux apportée par l'étude taxonomique du cadre bâti peut être le fondement sur lequel se base la conception de nouveaux types. Autrement dit, un modèle descriptif de la taxonomie architecturale peut servir à échafauder un modèle prescriptif pour diriger la conception de nouvelles formes.

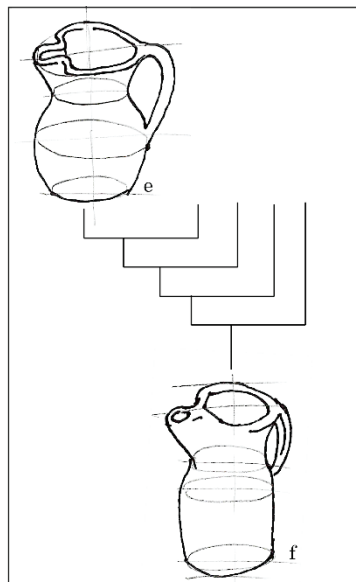
Dans ce mémoire, deux modèles descriptifs ont été formulés : le modèle ontologique et le modèle ontogénique (voir figure 10). Il est proposé qu'à partir de ces modèles, il soit possible de développer des modèles prédictifs et prescriptifs (voir figure 10). Un modèle prédictif pourrait utiliser l'information évolutionniste au sujet des objets de design et du processus de conception afin de prédire l'aptitude et l'adaptabilité des formes en conception. Les méthodes de classification ont révélé la ressemblance entre la culture matérielle et le microbiome. Dans la machinerie génétique des microorganismes sont intégrés des mécanismes qui préviennent les déraillements majeurs pouvant nuire à l'aptitude des nouvelles formes. Selon la logique biomimétique, il est logique de vouloir diriger la mimesis vers ces mécanismes de médiation et développer ou au moins porter une attention particulière à nos propres mécanismes afin de prévenir la genèse d'artefacts dépourvus d'adaptabilité.

Il est tout à fait valide de se questionner sur la possibilité de mobiliser un modèle prédictif pour soutenir une pratique de design durable, en raison que les solutions de durabilité sont généralement associées à un processus de rupture et d'innovation. En effet, c'est par l'émergence de nouveaux traits que l'organisme se dote d'adaptabilité. Sans cette source d'innovation, le règne vivant est dépourvu de solutions face aux pressions sélectives de son environnement.

Il est vrai que l'innovation détient la clé de l'adaptation. Cependant, cette innovation provient, dans la majorité des cas, de traits existants au sein d'autres organismes. Comme il a été démontré par le modèle ontogénique, les caractères qui sont considérés nouveaux chez un organisme sont souvent des traits présents chez leurs contemporains, qui ont été transférés horizontalement ou verticalement vers leur nouvel hôte. Ainsi, cette notion d'innovation ou de rupture peut être, dans une certaine mesure, anticipée, puisqu'elle est généralement existante dans l'héritage génétique global. Les nouvelles formes sont porteuses d'innovation, mais les idées qui les

composent sont généralement ancestrales. Elles s'unissent et se divisent dans un processus continu de recombinaison et de mutation.

Un exemple concret peut être fait du modèle prédictif, encore une fois, avec l'aide des objets introduits en avant-propos. Dans un premier temps, l'artefact almohade du XIIe siècle - la cruche pincée à anse aurait engendré, au cours de plusieurs générations, le pichet de sangria touristique. Comme nous l'avons vu dans le chapitre 4.3, ce genre de variation semble être une recombinaison, puisqu'aucun nouvel organe n'est ajouté au plan corporel de l'objet : l'embouchure existante s'est divisée en deux organes dotés d'un niveau de spécificité supérieur.



*Figure 8 : Adaptation par spéciation
(Félix Favreau-Vachon 2023)*

Dans un deuxième temps, au cours des générations qui auraient succédé à la cruche du XIIe siècle, parmi cette divergence à la fois phylogénétique et rhizomorphique, serait apparu le pichet en plastique moulé. Les différences morphologiques entre les deux objets témoigneraient de leur distance, mais aussi des nombreux mécanismes de variation ayant joué un rôle dans la spéciation et l'adaptation du pichet. Ce dernier démontre une multitude de traits morphologiques particuliers. Ses parois sont droites et cannelées plutôt qu'ovoïdes et lisses, probablement pour faciliter l'empilage et conférer une résistance aux chocs et aux forces de compression. Son pied comprend des encoches, probablement pour faciliter l'écoulement des eaux lors du lavage. Son

anse est creusée plutôt qu'ergonomiquement arrondie, probablement afin de faciliter le moulage et d'économiser de la matière. Son bec verseur pincé semble être resté relativement immuable outre le fait qu'il s'étire au-delà de l'embouchure. Ces variations sont probablement des recombinaisons : des modifications discrètes et incrémentales des traits existants. Cependant, un changement majeur dans la composition de l'objet pourrait être considéré comme une mutation : le changement de matière. Le passage d'un objet en céramique à un objet de plastique représente sans aucun doute l'introduction d'une idée étrangère au plan corporel de l'objet, une idée d'origine si lointaine que son arrivée est probablement la source des changements discrets énoncés plus haut (voir figure 9).

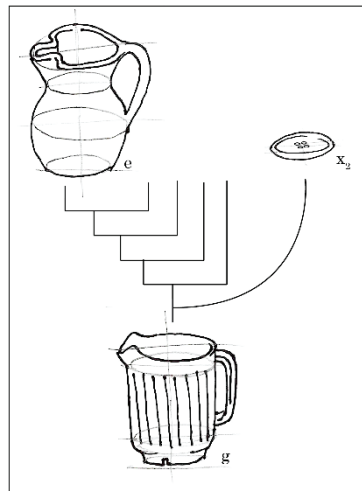


Figure 9 : adaptation par rétention horizontale (Félix Favreau-Vachon 2023)

Dans le diagramme, l'objet e, au cours de plusieurs générations, engendre l'objet g par processus de rétention verticale. Au moment de la genèse, un trait morphologique étranger provenant de l'objet x_2 intègre le plan corporel de l'objet g. Le trait en question peut être décrit comme une idée de design sur la matière de l'objet, comme l'usage du plastique comme matériau de fabrication. Dans ce cas hypothétique, l'idée proviendrait d'un des premiers objets issus du mode de fabrication par moulage de plastique, soit le bouton produit en 1872 par les frères Hyatt ayant breveté la première machine à injection moulage.

Les objets contemporains en question, le pichet en céramique et le pichet en plastique sont le résultat d'un processus d'essai-erreur, de variation et de sélection, un processus d'homéostasie décrit par le modèle ontogénique. Un défaut du processus d'évolution doté d'homéostasie est que son rythme est généralement lent. Dans l'artificiel, il en est de même. Un système atteint éventuellement son équilibre grâce au mécanisme de sélection exosomatique qui agit tel un filtre

sur les objets de design dans leur contexte. L'avantage du processus de conception réside dans sa capacité à accélérer le processus d'adaptation, par les mécanismes de variation conjugués au mécanisme de sélection endosomatique élaboré au chapitre 4.4.2. Ce processus d'ontogenèse de l'objet est plus rapide, car son développement se fait conceptuellement, dans l'esprit ou sur la table à dessin, d'une manière itérative et répétitive. Toutefois, afin de produire des formes adaptées, ou durables, ce processus nécessite un modèle de prédiction, puisqu'il n'est pas nécessairement capable d'homéostasie au même titre que les processus inconscients.

Ce modèle de prédiction est possible grâce au modèle ontologique décrit au chapitre 5.6. Pour prédire l'aptitude des nouveaux traits comme la division de l'embouchure de la cruche en deux organes distincts, il serait possible d'étudier la toile génomique à laquelle appartient la cruche et déterminer d'où provient le trait en question. Cela pour l'étudier dans son contexte synchronique et diachronique afin d'en percevoir l'évolution et la distribution. Ce double portrait permettrait de comprendre l'origine du trait, sa propagation, la manière dont il répond à son usage et surtout si le trait en question. Il serait ensuite possible de prédire si ce trait conviendrait au nouvel objet dans la perspective de répondre à son usage et qu'il représente véritablement une adaptation. L'embouchure double du pichet de céramique aurait pu se révéler utile pour verser une boisson contenant des solides. L'enclavement formé par les parois fermées l'une sur l'autre aurait servi à filtrer les solides du liquide. La compréhension évolutionniste de ce trait ainsi que des traits accumulés discrètement et par mutation dans le pichet de plastique permettrait une forme de prédiction à propos de leur aptitude dans de nouveaux contextes.

Cela signifie que, pour identifier le trait qui confèrera à une forme sa capacité d'aptitude, ou autrement dit, sa durabilité, il n'est pas nécessaire de "regarder en avant", mais plutôt que la solution se trouve possiblement déjà dans l'environnement adjacent. Le designer peut regarder en arrière et autour de sa situation de conception. S'il est équipé d'une méthodologie évolutionniste et munit de la compréhension que l'innovation se génère par recombinaison et par mutation plutôt que par pure "invention" il pourrait être en mesure d'envisager quels traits existants ayant servi à résoudre un problème de design particulier pourront s'appliquer à un problème nouveau. Il pourrait ensuite, exercer son processus de conception, autrement dit son

mécanisme de sélection endosomatique afin de prédire lesquels de ces traits auraient la capacité de conférer à l'objet de sa conception d'une capacité d'aptitude et de durabilité.

Une fois qu'est atteinte la capacité à émettre des prédictions appuyées sur le cadre évolutionniste au sujet de l'aptitude des formes artificielles, il reste à formuler un modèle prescriptif. Soit des préceptes biologiques de conception, des lignes directrices sculptées par une compréhension des mécanismes d'évolution du règne artificiel afin de guider la praxis biomimétique.

L'approche évolutionniste pourrait prescrire qu'à défaut de ne pouvoir restituer au design sa nature organique associée au contexte préindustriel et prémondialisé, le praticien se doive de conférer à son processus de conception une forme d'homéostasie.

Cet équilibre pourrait être atteint si le processus de conception s'amorçait par la recherche historique et culturelle dans le but d'obtenir une connaissance exhaustive de la toile génomique et de l'héritage phylogénétique de l'objet en question et de ses contemporains.

Ce double portrait révélant l'évolution et la distribution des traits, devrait être conjugué à l'étude morphologique de l'objet afin de déterminer quels traits représentent une adaptation à un contexte donné plutôt qu'une exaptation.

Le processus de conception devrait se poursuivre par la recombinaison ou la mutation des traits existants, suivie d'un processus de sélection endosomatique rigoureux basé sur les sept critères développés par Heylighen (Heylighen, 1993), soit Simplicité, nouveauté, utilité, formalité, autorité, publicité et conformité. Les traits transmis de manière horizontale devraient être soumis à un examen encore plus rigoureux que ceux transmis verticalement, puisqu'ils sont généralement associés au processus conscient et situés dans un contexte où les éléments responsables de la stabilité et de l'aptitude des formes émergentes sont manquants.

Les processus de variation et de sélection endosomatique devraient se répéter de manière itérative jusqu'à ce que l'objet se matérialise. Le processus de conception devrait donc être un processus continu de maintien de cohérence entre la forme artificielle et son environnement, et l'objet devrait être le résultat de ce processus. Doté d'un certain degré d'aptitude, l'objet pourra

être considéré comme un objet doté de durabilité, et cette durabilité pourrait être évaluée puisqu'elle serait rendue explicite.

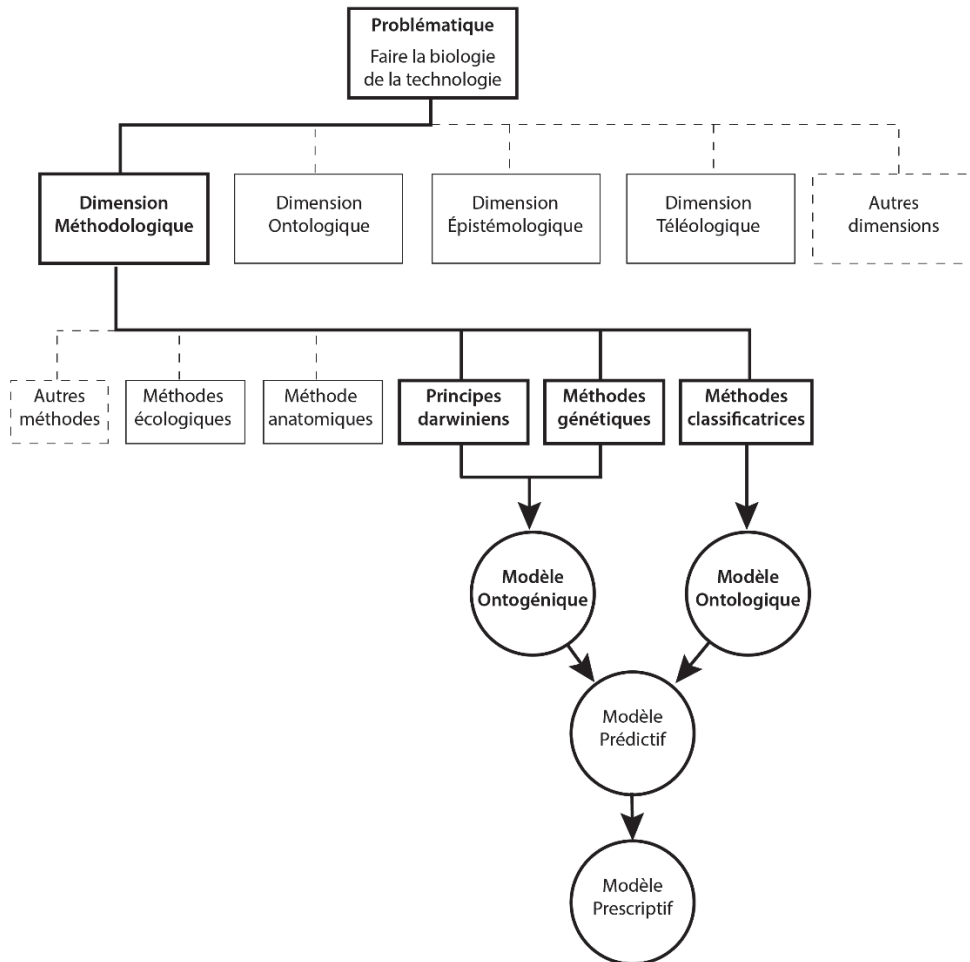


Figure 10 : Synthèse de la recherche (Félix Favreau-Vachon, 2023)

La recherche débute par la problématique générale : faire l'étude « biologique » de notre culture matérielle afin d'obtenir une compréhension biomimétique des objets de design. Cette problématique présente plusieurs dimensions. Les dimensions identifiées portaient sur la nature méthodologique, ontologique, épistémologique et téléologique de la problématique. La dimension méthodologique fut explorée à travers les méthodes darwiniennes, génétiques et classificatrices. Ces méthodes ont permis de formuler un modèle ontogénique et un modèle ontologique de l'objet de design. Finalement il est proposé que les prochaines étapes du programme biomimétique pourraient être de développer un modèle prédictif ainsi qu'un modèle prescriptif pour appuyer la pratique.

Chapitre 7 – Conclusion

7.1 Retour à la question de recherche

La situation biomimétique a été définie comme une situation d'ambiguïté au niveau du lien qui unit les approches de design bio-informé et le principe de développement durable. Cette ambiguïté a été attribuée à ce que certains auteurs ont qualifié d'un manque d'examen méthodologique. En réponse à ce manque méthodologique, la typologie de Nigel Cross a été déployée afin d'analyser les méthodes biomimétiques pour finalement identifier que l'étude biologique du design reste à être formalisée sous la bannière du biomimétisme. Le cadre de la problématique a été brièvement élargi afin d'en faire ressurgir les enjeux de nature épistémologique, téléologique et ontologique avant de recadrer l'analyse autour de la dimension méthodologique. Il fut ensuite révélé que l'usage du cadre darwinien et génétique ainsi que des méthodes de classification ont été identifiés comme méthodes biologiques répandues dans le corps théorique à l'examen et donc comme les sujets de recherche.

La question de recherche a été posée, à savoir comment ces cadres méthodologiques peuvent-ils être appliqués à la culture matérielle et ce qu'ils peuvent apporter au bioparadigme en design? Il a été proposé et ensuite démontré que le cadre génétique peut s'appliquer à l'étude des objets de design en collaboration avec le cadre darwinien en formulant le processus de conception en termes de mécanismes d'évolution. Le cadre génétique peut aussi apporter la possibilité de construire un modèle ontogénique de l'objet de design basé sur les mécanismes d'évolution. Il a aussi été proposé et démontré que trois grandes approches classificatrices - typologique, phylogénétique et rhizomorphique - ont généralement été appliquées à l'organisation de l'artificiel. L'examen a permis de construire un modèle ontologique de l'objet de design basé sur les modèles phylogénétiques et rhizomorphiques.

La formulation des modèles ontogénique et ontologique est complémentaire. Le modèle ontogénique offre une vision axée sur le phénomène de microévolution, révélant les mécanismes internes et génétiques de la genèse de nos structures artificielles. Alors que le modèle ontologique offre, quant à lui, un aperçu des phénomènes de macroévolution, soit les grands

schèmes des mouvements évolutionnistes observables à plus grande échelle dans la culture matérielle.

7.2 Retour à la situation biomimétique

L'argumentaire a débuté en introduisant la situation biomimétique comme une situation d'ambiguïté. Le bagage prospectif des bioapproches a été décrit comme audacieux et engageant en termes de développement durable. La situation soulevée par une poignée d'auteurs révèle toutefois des développements inattendus. Une déception, ou du moins un désenchantement se fait ressentir dans la communauté du design, en particulier dans les pages de la philosophie du biomimétisme. La situation a été résumée par les critiques récurrentes de technocentrisme, d'usage de modèle bio-exclusif, du besoin d'un modèle de durabilité et de sous-développement philosophique.

Certains ont qualifié le domaine biomimétique comme technocentriste du fait qu'il donnait priorité aux développements technologiques et en raison que les intentions de durabilité et de capacité à transformer la relation entre l'humain et l'environnement étaient moins perceptibles. Cette disparité semble indiquer le besoin d'un changement fondamental du niveau d'imitation et de la valorisation de la nature (MacKinnon et al. 2020). En ce sens, la logique de *mimesis* semble suivre une trajectoire ordonnée, depuis l'intégration de caractéristiques superficielles, soit les formes et structures physiques, vers l'imitation de notions plus complexes, comme les processus de développement et l'organisation écosystémique. Il a été proposé que la formulation des modèles ontologique et ontogénique participe à ce plus haut degré d'imitation, qui ne priorise pas l'imitation des solutions technologiques de la nature, mais à l'inverse, cherche plutôt à comprendre la nature et le développement de nos technologies.

Une autre critique, abordée dès l'introduction, portait sur la nature bio-exclusive de certains modèles biomimétiques. Les approches conservationnistes ont été décrites comme anthropocentriques et implémentées dans l'objectif de maintenir la capacité de l'environnement à subvenir aux besoins de nos modes de production. Les approches préservationnistes ont été décrites comme biocentriques et orientées vers la protection et le rétablissement des écosystèmes en vertu de leur état naturel comme source de leur valeur intrinsèque. La bio-inclusion, à l'inverse de ces deux approches, est décrite comme une manière de percevoir

l'interface entre l'environnement naturel et artificiel qui devrait permettre de resituer le design et les technologies à l'intérieur des limites écologiques de la biosphère (Blok, Gremmen, 2016). Elle permettrait aussi d'instaurer une éthique inclusive selon laquelle l'humain et la nature forment ensemble un tout solidaire qui englobe la culture humaine et la nature (Veselova, Gaziulusoy, 2019; Mathews, 2011). En examinant les applications du cadre méthodologique des sciences biologiques au domaine artificiel, il a été démontré qu'il est possible d'englober les structures naturelles et culturelles dans un tout solidaire et inclusif.

Pour ce qui est des critiques au sujet des notions philosophiques manquantes (Gamage, Hyde 2011b; Kibert, Sendezimir, et Guy 2002; Hyde et al. 2006) ou sous-développées (Mathews, 2011) et du manque de réflexion critique sur les méthodes (Fisch, 2017), il est nécessaire de mentionner que la majorité du corps littéraire examiné s'appuie sur l'analogie biologique pour rendre compte de la culture matérielle. Cette analogie se trouve à être un exercice de nature philosophique démontrant des développements qui s'étirent dans divers domaines scientifiques et littéraires. Il semble donc que le bioparadigme pourrait s'acquitter de la dette méthodologique et philosophique proposée en introduction s'il venait à s'ajouter à son programme la formalisation de l'étude biologique de l'objet de design.

Une autre critique était dirigée vers la difficulté à établir un modèle de durabilité cohérent. L'examen de littérature a révélé que l'usage du principe d'adaptabilité était parfois utilisé pour décrire un équilibre harmonieux entre l'objet de design et son environnement (Simon, 1996; Steadman, 2008). Il a été observé qu'en biologie, l'adaptation, en plus d'être un résultat des mécanismes d'évolution, était un processus continu d'harmonisation et de cohérence. Il est donc possible de voir un lien entre le principe de durabilité et le principe d'adaptation. Les deux peuvent être perçus comme le résultat d'un processus organique et équilibré, mais aussi comme un processus continu d'autorégulation.

Références bibliographiques

- Acerbi, Alberto, et Alex Mesoudi. 2015. If we are all cultural Darwinians what's the fuss about? Clarifying recent disagreements in the field of cultural evolution ». *Biology and Philosophy* 30 (4): 481-503. <https://doi.org/10.1007/s10539-015-9490-2>.
- Adams, W.M. 2006. « The Future of Sustainability Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century ». *Report of the IUCN Renowned Thinkers Meeting*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.026>.
- Alexander, Christopher. 1964. *Notes on the synthesis of form*. Vol. 12. <https://doi.org/10.1002/jhet.5570120641>.
- Altshuller, Genrikh. 1999. *The Innovation algorithm*.
- Archer, Bruce L. 1968. « The structure of Design Process ». Royal College of Art.
- Archer, Bruce L. 1995. « The Nature of Research ». *Co-design* 18 (4): 6-13. <https://doi.org/10.1007/s10165-008-0069-5>.
- Atlee, Jennifer, et Randolph Kirchain. 2006. « Operational sustainability metrics assessing metric effectiveness in the context of electronics-recycling systems ». *Environmental Science and Technology* 40 (14): 4506-13. <https://doi.org/10.1021/es050935l>.
- Augner, Robert. 2001. « Technological Innovation as an Evolutionary Process Book Review ». *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Ayala, Francisco J. 1970. « Teleological Explanations in Evolutionary Biology ». *Philosophy of Science* 37 (1): 1-209. <https://doi.org/10.4324/9780203133972>.
- Basalla, George. 1988. *The Evolution of Technology*. Delaware: Cambridge University Press.
- Bayazit, Nigan. 2004. « Investigating Design: A Review of Forty Years of Design Research ». *Design Issues* 20 (1): 16-29. <https://doi.org/10.1162/074793604772933739>.

- Becker, Egon, Thomas Jahn, et Immanuel Stieß. 1992. « Exploring Uncommon Ground : Sustainability and the Social Sciences ». *Immanuel*, n° 1: 1-22. <http://www.nachhaltigkeitsaudit.de/ftp/ZedBooks.pdf>.
- Bentley, R Alexander, et Michael J. O'Brien. 2012. « Cultural evolutionary tipping points in the storage and transmission of information ». *Frontiers in Psychology* 3 (December): 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00569>.
- Benyus, Janine. 2012. « A Biomimicry Primer: Resource handbook ». *Academia*, 10.
- Benyus, Janine M. 2009. *Biomimicry Innovation Inspired by Nature*. HarperCollins.
- Best, Michael L. 1998. « Memes on memes - A critique of memetic models ». *Journal of Memetics* 2 (1): 77-81.
- Bijker, Wiebe E., Thomas P. Hughes, et Trevor J. Pinch. 1989. *The Social Construction of Technological Systems. Social Studies of Science*. Vol. 19. <https://doi.org/10.1177/030631289019001010>.
- Binford, R. Lewis. 1962. « Archaeology as Anthropology ». *American Antiquity* 28 (2): 217-25.
- Blackmore, Susan. 1998. « Imitation and the definition of a meme ». *Journal of Memetics* 2 (2): 159-70.
- Blackmore, Susan. 1999. *The Meme Machine*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.5860/CHOICE.37-0272>.
- Blake, Peter. 1974. *Form Follows Fiasco: Why Modern Architecture Hasn't Worked*. Little Bro. Boston. <https://doi.org/10.2307/3103892>.
- Blok, Vincent, et Bart Gremmen. 2016. « Ecological Innovation: Biomimicry as a New Way of Thinking and Acting Ecologically ». *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 29 (2): 203-17. <https://doi.org/10.1007/s10806-015-9596-1>.
- Bonner, John Tyler. 1964. « Analogies in Biology ». Dans *Form and Strategy in Science*, édité par John R. Gregg et Harris F.T. Dordrecht: Dr. Reidel Publishing Company.

- Bonsiepe, Gui. 2007. « The Uneasy Relationship between Design and Design Research ». Dans *Design Research Now Essays and Selected Project*, édité par Michel Ralf, 25-40. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8472-2_2.
- Borgerhoff Mulder, Monique, Charles L. Nunn, et Mary C. Towner. 2006. « Cultural macroevolution and the transmission of traits ». *Evolutionary Anthropology* 15 (2): 52-64. <https://doi.org/10.1002/evan.20088>.
- Boyd Davis, Stephen, et Simone Gristwood. 2016. « The Structure of Design Processes: ideal and reality in Bruce Archer's 1968 doctoral thesis ». *DRS2016: Future-Focused Thinking* 7: 1-19. <https://doi.org/10.21606/drs.2016.240>.
- Boyd, Robert, et Peter J. Richerson. 2005. *The Origin and Evolution of Cultures*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.5860/choice.43-1027>.
- Braude, Stanton. 1997. « The Predictive Power of Evolutionary Biology and the Discovery of Eusociality in the Naked Mole-Rat. » *Reports of the National Center for Science Education* 17 (4): 12-15.
- Broadbent, John. 2003. « Generations in Design Methodology ». *The Design Journal* 6 (1): 2-13. <https://doi.org/10.2752/146069203790219335>.
- Buchanan, Richard. 2007. « Strategies of Design Research: Productive Science and Rhetorical Inquiry ». Dans *Design research now: Essays and Selected projects*, édité par Michel Ralf, 55-66. <https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8472-2>.
- Buckley, Christopher D. 2018. « Crossing the Darwinian Threshold: the Classification of Cultural Phenomena and the Emergence of Traditions ».
- Carrara, Massimiliano, et Daria Mingardo. 2013. « Artifact Categorization. Trends and Problems ». *Review of Philosophy and Psychology* 4 (3): 351-73. <https://doi.org/10.1007/s13164-013-0151-6>.
- Charlebois, Robert L., et W. Ford Doolittle. 2004. « Computing prokaryotic gene ubiquity: Rescuing the core from extinction ». *Genome Research* 14 (12): 2469-77.

<https://doi.org/10.1101/gr.3024704>.

Charlesworth, Brian, et Deborah Charlesworth. 2009. « Darwin and genetics ». *Genetics* 183 (3): 757-66. <https://doi.org/10.1534/genetics.109.109991>.

Château, Jean-Yves. 2010. « La technique. Genèse et concrétisation des objets techniques dans Du mode d'existence des objets techniques de Gilbert Simondon ». *Philopsis : Revue numérique*, 1-36. <http://www.philopsis.fr/spip.php?article211>.

Christensen, Bo T., et Schunn Christian D. 2007. « The relationship of analogical distance to analogical function and preinventive structure : The case of engineering design ». *Memory and Cognition* 35 (1): 29-38.

Christoffersen, Martin L. 1995. « Cladistic taxonomy, phylogenetic systematics, and evolutionary ranking ». *Systematic Biology* 44 (3): 440-54. <https://doi.org/10.1093/sysbio/44.3.440>.

Chu, Hoi Yee, Kathleen Sprouffske, et Andreas Wagner. 2018. « Assessing the benefits of horizontal gene transfer by laboratory evolution and genome sequencing ». *BMC Evolutionary Biology* 18 (1): 1-21. <https://doi.org/10.1186/s12862-018-1164-7>.

Cloak, F.T. 1966. « Cultural Microevolution ». *Research Previews* 13 (November): 7-10.

Coccia, Mario. 2017. « A New Classification of Technologies ». *CocciaLAB* 2 (26): 26.

Colquhoun, Alan. 2018. « Typology and Design Method ». *Perspecta* 12 (1969): 71-74.

Cracraft, Joel. 2000. « Species Concepts in Theoretical and Applied Biology: A Systematic Debate with Consequences ». Dans *Species Concepts and phylogenetic theory*. Columbia University Press.

Crilly, Nathan. 2010. « The roles that artefacts play: Technical, social and aesthetic functions ». *Design Studies* 31 (4): 311-44. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2010.04.002>.

Cross, Nigel. 1993. « A History of Design Methodology ». *Design Methodology and Relationships with Science*, n° 1979: 15-27. https://doi.org/10.1007/978-94-015-8220-9_2.

Cross, Nigel. 1993. « Science and design methodology: A review ». *Research in Engineering Design*

- 5 (2): 63-69. <https://doi.org/10.1007/BF02032575>.
- Cross, Nigel. 2001. « Designerly Ways of Knowing ». *Design Issues* 17 (3).
- Cross, Nigel. 2007. « From a Design Science to a Design Discipline: Understanding Designerly Ways of Knowing and Thinking ». Dans *Design Research Now Essays and Selected Project*, édité par Ralph Michel, 41-54.
- Darwin, Charles. 1859. « On the origin of species: By means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life ». *On the Origin of Species: By Means of Natural Selection, or The Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. <https://doi.org/10.4324/9781912281244>.
- Dawkins, Richard. 1976. *The Selfish Gene*. Oxford University Press. Vol. 17. <https://doi.org/10.1136/practneurol-2017-001645>.
- De Coninck, P. 1993 . Du mécanisme à la systémique: vers une modélisation complexe de la technique. Université de Montréal
- DeForge, Yves. 1985. *Technologie et génétique de l'objet industriel*. Édité par Maloine. Université de Compiègne.
- Delaye, Luis, et Arturo Becerra. 2012. « Cenancestor, the Last Universal Common Ancestor ». *Evolution: Education and Outreach* 5 (3): 382-88. <https://doi.org/10.1007/s12052-012-0444-8>.
- Dicks, Henry. 2016. « The Philosophy of Biomimicry ». *Philosophy and Technology* 29 (3): 223-43. <https://doi.org/10.1007/s13347-015-0210-2>.
- Distin, Kate. 2004. *The selfish meme: A critical reassessment*. *The Selfish Meme: A Critical Reassessment*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511614286>.
- Duhem, Pierre. 1984. *The Aim and Structure of Physical Theory*. Princeton University Press. <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>.
- Dunning, Luke T., et Pascal Antoine Christin. 2020. « Reticulate evolution, lateral gene transfer,

- and innovation in plants ». *American Journal of Botany* 107 (4): 541-44.
<https://doi.org/10.1002/ajb2.1452>.
- Dunshirn, Alfred. 2019. « Physis ». Dans *Online Encyclopedia Philosophy of Nature Online Lexikon Naturphilosophie*, Heidelberg. <https://doi.org/10.11588/oepn.2019.0.66404>.
- Eerkens, Jelmer W., et Carl P. Lipo. 2007. « Cultural transmission theory and the archaeological record: Providing context to understanding variation and temporal changes in material culture ». *Journal of Archaeological Research* 15 (3): 239-74.
<https://doi.org/10.1007/s10814-007-9013-z>.
- Eger, Arthur O., et Huub Ehlhardt. 2018. *On the Origin of Products: The Evolution of Product Innovation and Design*. Cambridge University Press.
- Fink, William L., et Elliott Sober. 1984. *Conceptual Issues in Evolutionary Biology*. *Systematic Zoology*. Vol. 33. <https://doi.org/10.2307/2413098>.
- Fisch, Michael. 2017. « The Nature of Biomimicry: Toward a Novel Technological Culture ». *Science Technology and Human Values* 42 (5): 795-821.
<https://doi.org/10.1177/0162243916689599>.
- Ford Doolittle, W., et R. Thane Papke. 2006. « Genomics and the bacterial species problem ». *Genome Biology* 7 (9): 1-7. <https://doi.org/10.1186/gb-2006-7-9-116>.
- Frankel, Lois, et Martin Racine. 2010. « The Complex Field of Research: for Design, through Design, and about Design ». *International Conference of the Design Research Society*, 1-12.
- Frayling, Christopher. 2013. *Sir Christopher Frayling interviewed by Stephen Boyd Davis at the Royal College of Art, 21 March 2013*.
- Friedman, Ken. 2000. « Creating design knowledge: from research into practice ». *IDATER 2000 Conference*, 05-32.
- Gamage, Aroscha, et Richard Hyde. 2011. « Can Biomimicry, as an approach, enhance Ecologically Sustainable Design (ESD)? » *45th Annual Conference of the Architectural Science Association*, n° April 2017.

- Gasparski, W. 1990. « Editorial: Contributions to Design Science ». *Design Methods and Theories* 24 (2): 1186-94.
- Gatherer, Derek. 1999. « The Memetics of Design ». Dans *Evolutionary Design bu Computers*, édité par Peter Bentley, 91-101. London, UK: Morgan Kaufmann Publishers.
- Gentner, Dedre. 1998. « Analogy ». Dans *A companion to cognitive science*, édité par William Bechtel et George Graham, 107-13. Blackwell Publishing Ltd.
- Giannetti, B. F., C. M.V.B. Almeida, et S. H. Bonilla. 2010. « Comparing emergy accounting with well-known sustainability metrics: The case of Southern Cone Common Market, Mercosur ». *Energy Policy* 38 (7): 3518-26. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.02.027>.
- Gould, Stephen Jay. 1988. *An Urchin in the Storm Essays about Books and Ideas*. W.W.Norton & Company.
- Gould, Stephen Jay. 2019. « The Modern Synthesis as a Limited Consensus ». *The Structure of Evolutionary Theory*, 503-92. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjsf433.9>.
- Gould, Stephen Jay, et Elisabeth S. Vrba. 1982. « Exaptation—a Missing Term in the Science of Form ». *Paleobiology* 1 (N/A): 4-15. <https://doi.org/10.1017/S0094837300004310>.
- Grandcolas, Philippe. 2015. « Adaptation ». Dans *Handbook of Evolutionary Thinking in the Sciences*, édité par Thomas Heams, 77-94.
- Grant, D.P. 1979. « Design Methodology and Design Methods ». *Design Methods and Theories* 13 (1): 46-47.
- Gregory, S.A. 1996. *The Design Method*.
- Guchet, Xavier. 2008. « Évolution technique et objectivité technique chez Leroi-Gourhan et Simondon ». *Appareil*, n° 2. <https://doi.org/10.4000/appareil.580>.
- Hauff, Volker. 1987. « Report of the World Commission on Environment and Development : Our Common Future ».
- Heylighen, Francis. 1992. « “Selfish” Memes and the Evolution of Cooperation ». *Journal of Ideas*

2 (4): 77-84.

Heylighen, Francis. 1993. « Selection Criteria for the Evolution of Knowledge ». *Cybernetics*, n° September: 524-28.

Heylighen, Francis. 1999. « What makes a meme successful? Selection criteria for cultural evolution ». *Proceedings of the 15th International Congress on Cybernetics*, 418-23. <http://pespmc1.vub.ac.be/Papers/MemeticsNamur.html>.

Hyde, Richard, Steve Watson, Wendy Cheshire, et Mark Thomson. 2006. « The environmental brief: Pathways for green design ». *The Environmental Brief: Pathways for Green Design*, n° October: 1-334. <https://doi.org/10.4324/9780203966815>.

Ilevbare, Imoh M, David Probert, et Robert Phaal. 2013. « Technovation A review of TRIZ , and its benefits and challenges in practice ». *Technovation* 33 (2-3): 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2012.11.003>.

Iouguina, Alena. 2014. « Biologically Informed Disciplines : A Comparative Analysis of Terminology Within the Fields of Bionics, Biomimetics, Biomimicry and Bio-inspiration, Among Others ». *Design and Nature VII*. Carleton University.

Jensen, Richard J. 2009. « Phenetics: Revolution, reform or natural consequence? » *Taxon* 58 (1): 50-61. <https://doi.org/10.1002/tax.581008>.

Johnson, Elizabeth R. 2010. « Reinventing biological life, reinventing 'the human' ». *Ephemera: theory and politics in organization* 10 (2): 177-93.

Jong, Martin De. 1999. « Survival of the institutionally fittest concepts 1 Introduction ». *Journal of Memetics - Evolutionary Models of Information Transmission* 3: 1-16.

Júlio Carlos de Souza van der Linden, André Pedroso de Lacerda, and João Pedro Ornaghi de Aguiar. 2011. « The evolution of design methods ». *Aerospace Engineering* 1 (6): 20-23.

Kaptein, Hendrik. 2019. « Undoing damage by analogy ». Dans *Analogy and Exemplary Reasoning in Legal Discourse*, édité par Hendrik Kaptein et Bastiaan van der Velden, 198. Amsterdam University Press. <https://doi.org/10.1515/9789048537143-005>.

- Kibert, Charles J., Jan Sendezimir, et Bradley Guy. 2002. *Construction Ecology Nature as the basis for green buildings*. Spon Press. Vol. 4.
- Kirit, Hande Acar, Mato Lagator, et Jonathan P. Bollback. 2020. « Experimental determination of evolutionary barriers to horizontal gene transfer ». *BMC Microbiology*, 1-13. <https://doi.org/10.1101/722959>.
- Koonin, Eugene V, et Yuri I Wolf. 2009. « The fundamental units , processes and patterns of evolution , and the Tree of Life conundrum » 13: 1-13. <https://doi.org/10.1186/1745-6150-4-33>.
- Lafitte, Jacques. 1972. *Réflexions sur la science des machines*. Librairie.
- Langrish, John Z. 2004. « Darwinian Design: The Memetic Evolution of Design Ideas ». *Design Issues* 20 (4): 4-19. <https://doi.org/10.1162/0747936042311968>.
- Langrish, John Z. 2016. « The Design Methods Movement From Optimism to Darwinism ». *DRS2016: Future-Focused Thinking* 1: 1-13. <https://doi.org/10.21606/drs.2016.222>.
- Leroi-Gourhan, André. 1945. *Milieu et techniques. Sciences d'Aujourd'hui ; 2*.
- Leroi-Gourhan, André. 1971. *l'homme et la matière*. Édité par Albin Michel.
- Loasby, Brian J. 2002. « The evolution of knowledge: Beyond the biological model ». *Research Policy* 31 (8-9): 1227-39. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00060-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00060-4).
- MacCready, Paul. 1998. « Nature vs. Humans ». *TED*.
- MacKinnon, Rebecca Barbara, Jeroen Oomen, Maibritt Pedersen Zari, et M. Pedersen Zari. 2020. « Promises and Presuppositions of Biomimicry ». *Biomimetics* 5 (3): 33. <https://doi.org/10.3390/biomimetics5030033>.
- Maddamsetti, Rohan, et Richard E. Lenski. 2018. « Analysis of bacterial genomes from an evolution experiment with horizontal gene transfer shows that recombination can sometimes overwhelm selection ». *PLoS Genetics* 14 (1): 1-30. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1007199>.

- Marshall, A., et S. Lozeva. 2009. « Questioning the theory and practice of biomimicry ». *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics* 4 (1): 1-10. <https://doi.org/10.2495/DNE-V4-N1-1-10>.
- Mathews, Freya. 2011. « Towards a deeper philosophy of biomimicry ». *Organization and Environment* 24 (4): 364-87. <https://doi.org/10.1177/1086026611425689>.
- Mayr, Ernst. 1997. « The Multiple Meanings of Teleological ». *History & Philosophy of the Life Sciences* 20 (1): 35-40.
- Mayr, Ernst. 2004. *what makes biology unique?* Cambridge University Press. <https://doi.org/10.4324/9781912281916>.
- Mead, Taryn, et Sally Jeanrenaud. 2016. « The elephant in the room: Biomimetics and sustainability? » *Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials* 6 (2): 113-21. <https://doi.org/10.1680/jbibn.16.00012>.
- Mendel, Gregor. 1865. « Experiments in Plants Hybridization ». *Scholarly Publishing*, 3-47.
- Mesoudi, Alex. 2007. « Biological and Cultural Evolution: Similar but Different ». *Biological Theory* 2 (2): 119-23. <https://doi.org/10.1162/biot.2007.2.2.119>.
- Mesoudi, Alex, Andrew Whiten, et Kevin N. Laland. 2004. « Is Human Cultural Evolution Darwinian? » *Evolution* 58 (1): 1-11.
- Meyer, Axel. 2010. « George C. Williams (1926–2010) ». *Nature* 467 (790): 2010.
- Michel, Yves A. 2015. « Biomimicry and innovation in sustainable design: understanding its innovation supporting characteristics compared to ecodesign ». Université de Montréal. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/13011>.
- Michl, Jan. 1995. « Form Follows What ». *Magazine of the Faculty of Architecture & Town Planning*, n° 10.
- Michl, Jan. 2014. « Without a godlike designer no designerlike God : On a mistaken understanding of human artifacts ». Dans *Design and Evolution Conference*, édité par Timo de Rijk et J.W.

Drukker, 28. Hollande.

Moore, John H. 1994. « Putting Anthropology Back Together Again: The Ethnogenetic Critique of Cladistic Theory ». *American Anthropologist* 96 (4): 925-48.

<https://doi.org/10.1525/aa.1994.96.4.02a00110>.

Morin, Edgar. 1980. « Tome 2 La Vie de la Vie ». Dans *La méthode*, Éditions d.

Myers, William. 2012. *Bio Design*. New York: The Museum of Modern Art.

Nagel, Ernest. 1961. *The Structure of Science : Problems in the Logic of Scientific Explanation*. Harcourt, Brace & World, Inc.

Nancy, Jean-Luc. 1994. *Les Muses. Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. Éditions G. Paris.

Navas, Helena V.G. 2013. « TRIZ: Design Problem Solving with Systematic Innovation ». Dans *Advances in Industrial Design Engineering*, 75-97. Intech.

Newton, Julianne Lutz, et Eric T Freyfogle. 2005. « Sustainability: a Dissent ». Dans *Sustainability*, édité par David Mollica et Tom Campbell, 1st Editio, 23-32. London: Routledge.

Norman, Donald A., Roberto Verganti, et John Z. Langrish. 2014. « Correspondence: Incremental Radical Innovation John ». *Design Issues*, n° August 2015. <https://doi.org/10.1162/DESI>.

O'Brien, Michael J., Matthew T. Boulanger, Briggs Buchanan, R. Alexander Bentley, R. Lee Lyman, Carl P. Lipo, Mark E. Madsen, et Metin I. Eren. 2016. « Design Space and Cultural Transmission: Case Studies from Paleoindian Eastern North America ». *Journal of Archaeological Method and Theory* 23 (2): 692-740. <https://doi.org/10.1007/s10816-015-9258-7>.

O'Hara, Robert. 1998. « Population thinking and tree thinking in systematics ». *Zoologica Scripta* 26 (4): 323-29.

O'Malley, Maureen A., et John Dupré. 2007. *Size doesn't matter: Towards a more inclusive philosophy of biology. Biology and Philosophy*. Vol. 22. <https://doi.org/10.1007/s10539-006->

9031-0.

Papanek, Victor. 2005. *Design for the Real World: Human Ecology and Social Change*. Thames & Hudson.

Peabody, George L.V., Hao Li, et Katy C. Kao. 2017. « Sexual recombination and increased mutation rate expedite evolution of *Escherichia coli* in varied fitness landscapes ». *Nature Communications* 8 (1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02323-4>.

Pérez, Alberto Molina. 2017. « Téléologie et fonctions en biologie ».

Perlman, Mark. 2004. « The modern philosophical resurrection of teleology ». *Monist* 87 (1): 3-51. <https://doi.org/10.5840/monist20048711>.

Pohl, Göran, et Werner Nachtigall. 2015. *Biomimetics for Architecture & Design*. *Biomimetics for Architecture & Design*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19120-1>.

Poulshock, Joseph. 2018. « The Problem and Potential of Memetics ». *Journal of Psychology and Theology* 30 (March 2001): 68-80. <https://doi.org/10.1177/009164710203000105>.

Ravenhall, Matt, Š Nives, Florent Lassalle, et Christophe Dessimoz. 2015. « Inferring Horizontal Gene Transfer ». *PLOS Computational Biology*, 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1004095>.

Ros, Vera I.D., et Gregory D.D. Hurst. 2009. « Lateral gene transfer between prokaryotes and multicellular eukaryotes: Ongoing and significant? ». *BMC Biology* 7: 1-3. <https://doi.org/10.1186/1741-7007-7-20>.

Ruse, Michael, et Robert J. Richards. 2009. *The Cambridge Companion to the Origin of Species*. Cambridge University Press.

Sacher, G.A., et E.F. Staffeldt. 1974. « Relation of Gestation Time to Brain Weight for Placental Mammals : Implications for the Theory of Vertebrate Growth ». *The American Naturalist* 108 (963): 593-615.

Salingeros, Nikos, et Terry Mikiten. 2001. « Darwinian processes and memes in architecture: A

- memetic theory of modernism ». *Journal of Memetics* 6 (1): 23-42.
- Schön, Donald A. 1983. *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*.
- Sheu, D. Daniel, Ming Chuan Chiu, et Dimitri Cayard. 2020. « The 7 pillars of TRIZ philosophies ». *Computers and Industrial Engineering* 146 (May): 106572. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106572>.
- Simon, Herbert A. 1996. *The Sciences of the Artificial. Technology and Culture*. Vol. 11. <https://doi.org/10.2307/3102825>.
- Simondon, Gilbert. 1989. *Du mode d'existence des objets techniques*. Aubier.
- Speck, T., et O. Speck. 2008. « Process sequences in biomimetic research ». *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 114: 3-11. <https://doi.org/10.2495/DN080011>.
- Steadman, Philip. 2008. *The Evolution of Designs: Biological analogy in architecture and the applied arts*. Routledge.
- Stepanyan, Karen, Allison Littlejohn, et Anoush Margaryan. 2017. « Sustainable e-Learning : Toward a Coherent Body of Knowledge ». *Journal of Educational Technology & Society* 16 (2): 91-102.
- Tëmkin, Ilya, et Niles Eldredge. 2007. « Phylogenetics and material cultural evolution ». *Current Anthropology* 48 (1): 146-53. <https://doi.org/10.1086/510463>.
- Turkana, West, Rhonda L Quinn, Michel Brenet, Adrian Arroyo, Nicholas Taylor, Sophie Cle, Jean-philip Brugal, et al. 2015. « 3.3-million-year-old stone tools from Lomekwi 3, West Turkana, Kenya ». <https://doi.org/10.1038/nature14464>.
- Valen, Leigh Van. 1964. « An Analysis of Some Taxonomic Concepts ». Dans *Form and Strategy in Science*, 476. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-3603-0>.
- Vermaas, Pieter E., Massimiliano Carrara, Stefano Borgo, et Pawel Garbacz. 2013. « The design stance and its artefacts ». *Synthese* 190 (6): 1131-52. <https://doi.org/10.1007/s11229-011->

9885-9.

- Veselova, Emīlija, et Īdil Gaziulusoy. 2019. « Implications of the Bioinclusive Ethic on Collaborative and Participatory Design. » *Design Journal* 22 (sup1): 1571-86. <https://doi.org/10.1080/14606925.2019.1594992>.
- Vogan, Aaron A., et Paul G. Higgs. 2011. « The advantages and disadvantages of horizontal gene transfer and the emergence of the first species ». *Biology Direct* 6: 1-14. <https://doi.org/10.1186/1745-6150-6-1>.
- Wahl, D C. 2006. « Bionics vs . biomimicry : from control of nature to sustainable participation in nature ». *Design and Nature III: Comparing Design in Nature with Science and Engineering* 1 87: 289-98. <https://doi.org/10.2495/DN060281>.
- Walsh, Denis. 2012. « Mechanism and purpose: A case for natural teleology ». *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 43 (1): 173-81. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2011.05.016>.
- Warner, Bernard, et Herbert A. Simon. 1969. *The Sciences of the Artificial. or. Vol. 20*. <https://doi.org/10.2307/3008782>.
- Whyte, Jennifer. 2007. « Evolutionary Theories and Design Practices ». *Design Issues* 23 (2): 46-54.
- Wilkins, John. 1999. « Memes ain't (just) in the head - A commentary on gatherer's paper: Why the "thought contagion" metaphor is retarding the progress of memetics ». *Journal of Memetics* 3 (1): 48-55.
- Wilkins, John S. 2009. *Species : A History of the Idea*. University of California Press.
- Williams, George. C. 1966. *Adaptation and Natural Selection. A Critique of Some Current Evolutionary Thought*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>.
- WIPO. 2020. « World Intellectual Property Indicators 2010 ». *World Intellectual Property Organization*. Vol. 1. http://www.wipo.int/export/sites/www/freepublications/en/intproperty/941/wipo_pub_9

41_2013.pdf.

Woods, Laura C., Rebecca J. Gorrell, Frank Taylor, Tim Connallon, Terry Kwok, et Michael J. McDonald. 2020. « Horizontal gene transfer potentiates adaptation by reducing selective constraints on the spread of genetic variation ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 117 (43): 26868-75. <https://doi.org/10.1073/pnas.2005331117>.

WWF. 2020. *LIVING PLANET REPORT 2020 BENDING THE CURVE OF BIODIVERSITY LOSS*. Wwf.

Zachos, Frank E. 2016. *Species Concepts in Biology*. *Species Concepts in Biology*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44966-1>.

Ziman, John. 2003. *Technological Innovation as an Evolutionary Process*. Cambridge University Press.

Zwart, Hub. 2019. « What is mimicked by biomimicry? Synthetic cells as exemplifications of the threefold biomimicry paradox ». *Environmental Values* 28 (5): 527-49. <https://doi.org/10.3197/096327119X15579936382356>.

