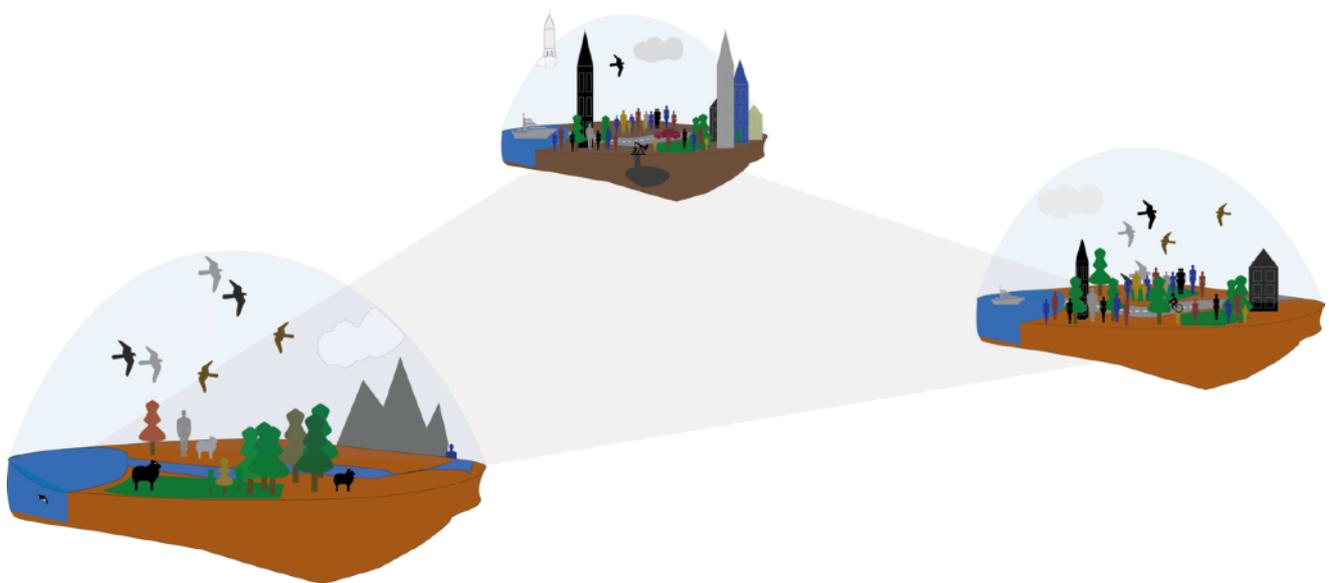


Peut-on réconcilier économie et écologie ? La politique de croissance au prisme de la bio- inspiration



Mémoire de Victor MARTINGIEZEK encadré par Emmanuel Delannoy
Master of Science « Nature-Inspired Design »
Ecole Nationale Supérieure de la Création Industrielle - Ensci-les
Ateliers
2022

REMERCIEMENTS

Je remercie Emmanuel Delannoy pour ses conseils avisés et son écoute tout au long de la construction de ce mémoire.

Un grand merci aussi à Guillian, Simon et Adrien pour les échanges qui m'auront permis d'avancer tout au long du travail.

J'aurais appris énormément grâce aux discussions avec Anne Gaillard, que je remercie aussi.

Un énorme merci à Camille pour sa relecture qui a contribué à traduire ce mémoire en français.

Enfin, ce mémoire n'existerait pas sans les échanges, les questionnements, les remarques et la bonne humeur de mes camarade de NID 2 .

SOMMAIRE

INTRODUCTION	p5
PARTIE 1 : LA CROISSANCE DANS LE VIVANT, DE L'INDIVIDU A L'ECOSYSTEME	p8
I-Croissances à l'échelle des individus	p9
A-DÉFINITIONS CLÉS	p9
B-LA CROISSANCE CHEZ L'INDIVIDU	p9
C-LES TYPES, LES RYTHMES ET LES STRATÉGIES DE CROISSANCE	p14
D-LES FACTEURS INTERNES ET EXTERNES DE LA CROISSANCE	p17
E-DÉCROISSANCES ET ARRÊTS DE CROISSANCE	p19
F-CROISSANCE DYSFONCTIONNELLE : LE CAS DU CANCER	p20
II-Croissances à l'échelle des populations	p22
A-DÉFINITIONS CLÉS	p22
B-LA CROISSANCE CHEZ LES POPULATIONS	p22
C-LES FACTEURS INTERNES ET EXTERNES DE LA CROISSANCE	p24
D-UNE APPROCHE DYNAMIQUE DE LA CROISSANCE	p27
E-CROISSANCE DYSFONCTIONNELLE : LES ESPÈCES ENVAHISSANTES	p30
III-Croissances à l'échelle des écosystèmes	p32
A-DÉFINITIONS CLÉS	p32
B-UN SYSTÈME BASÉ SUR L'ÉQUILIBRE DYNAMIQUE	p32
C-CONDITIONS DE PROSPÉRITÉ D'UN ÉCOSYSTÈME	p38
D-DYSFONCTIONNEMENT D'UN ÉCOSYSTÈME : EXEMPLE DES SOLS ET DE LA PRODUCTION DE PÉTROLE	p43
IV-Synthèse des grands principes	p43
PARTIE 2 : QUELLE CROISSANCE DANS NOS SOCIÉTÉS HUMAINES	p45
I-Nécessaire réévaluation des principes économiques ?	p46
A-EN FINIR AVEC UNE CROISSANCE OPPORTUNISTE, INCOMPATIBLE AVEC LES LIMITES DE LA TERRE ?	p46

B-L'ECONOMIE A PERDU SA JUSTE PLACE	p47
C-REDONNER SA PLACE À LA CROISSANCE : LA CROISSANCE N'EST PAS MAUVAISE EN SOI	p49
D-REQUESTIONNER LES PRINCIPES ÉCONOMIQUES ?	p52
E-L'ÉNERGIE, UNE QUESTION SUBALTERNE ?	p54
 II-Remise en cause de certains dogmes philosophiques	 p57
A-LA CROISSANCE COMME PROGRÈS	p57
B-VISION MÉCANIQUE DE LA NATURE ET PRIMAUTÉ DE LA NORME	p59
C-L'HOMME, SÉPARÉ DES ÉCOSYSTÈMES ?	p63
D-LE MYTHE DE LA PERFORMANCE, NOURRI PAR L'IDÉOLOGIE DU CALCUL	p64
 PARTIE 3 : CARTOGRAPHIE DE DIRECTIONS	 p68
 I-Repenser le cahier des Charges	
A-POUR UN DESIGN DES LIMITES	p69
B-POUR UN DESIGN DE LA SOBRIÉTÉ : MISER SUR BIEN PLUS QUE DE LA TECHNOLOGIE	p75
C-REQUESTIONNER LES ECHELLES	p76
 II-L'imaginaire au sein de l'enjeu des représentations	 p77
A-OUI, LA CROISSANCE POUR LA CROISSANCE EST UNE IMPASSE	p77
B-L'ÉCOLOGIE N'EST PAS UNE RÉDUCTION DE L'ACTIVITÉ ÉCONOMIQUE ET DU PROGRÈS	p78
C-L'ESPÈCE HUMAINE, UNE RELATION D'INTERDÉPENDANCES AVEC LE VIVANT	p79
 III-Faire évoluer notre cadre philosophique dans la conception des projets	 p81
A-LA CROISSANCE : UN MOYEN PLUTÔT QU'UNE FIN	p81
B-RÉAPPREHENDER LA COMPLEXITÉ, EN TANT QUE SOCIÉTÉ	p81
C-REDONNER UNE PLACE À LA LIMITE	p82
D-REDONNER UNE PLACE À LA JUSTICE ET À L'ÉTHIQUE	p83
 IV-Réintégrer l'écologie à la sphère économique comme la pièce d'une même face	 p85
A-ACCORDER DES DROITS À LA NATURE	p85
B-FAIRE ÉVOLUER LES PRATIQUES VIS-À-VIS DE NOTRE ENVIRONNEMENT	p86
C-REDONNER DE L'IMPORTANCE À L'ARTICULATION ENTRE LES SYSTÈMES ET LES INTERDÉPENDANCES COMME PRINCIPE DE GOUVERNANCE	p87
D-ACCORDER UNE PLACE AUX SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE	p90
 CONCLUSION	 p91

INTRODUCTION

La bio-inspiration est définie comme une approche créative basée sur l'inspiration de système biologique¹. Elle repose sur l'hypothèse que nous pouvons apprendre des 3,8 milliards d'années pendant laquelle la vie s'est développée sur Terre. Ces sources d'apprentissage sont de plusieurs ordres² :

- apprendre des résultats de l'évolution;
- apprendre des processus de l'évolution;
- apprendre des stratégies de l'évolution basée sur l'abstraction de principes généralisables à l'ensemble des êtres vivants et répétés au cours du temps.

L'économie est définie par le Centre National de Ressources Textuelles et Linguistiques, dans son acception politique, comme l' « ensemble de ce qui concerne la production, la répartition et la consommation des richesses et de l'activité que les hommes vivant en société déploient à cet effet. »

A l'heure où la question écologique infuse l'ensemble de la société, le champ économique est devenu un des principaux concernés par le besoin de transformation. S'il existe encore de nombreuses divergences sur les solutions à apporter, un relatif consensus, au moins théorique, s'est érigé pour dénoncer l'une des principales causes de la modification du climat et de l'extinction de la biodiversité, c'est la recherche de la croissance telle qu'elle a été menée depuis la première révolution industrielle il y a près de deux siècles, et qui n'a cessé de s'amplifier depuis. On assiste en effet au sortir de la seconde guerre mondiale, à une explosion des progrès techniques et technologiques, ainsi qu'à une forte explosion démographique qui entraînent une explosion des échanges, de la consommation et des richesses. Cette période inédite dans l'histoire des sociétés humaines est même appelée « la grande accélération », d'après le nom donné par les climatologues Will Steffen, Paul Cruzen et l'historien John McNeill pour faire part des grands bouleversements sociétaux qui ont marqué l'histoire depuis 1945.

1 Définition de la norme ISO 18458 « Biomimétique — Terminologie, concepts et méthodologie »

2 A guide to entrepreneurs and innovation support organizations to implement Biomimicry as a tool for responsible innovation », MÉLO*, Kalina RASKIN* & Michel DAIGNEY, Paris Region Entreprises, Sebastiaan DE NEUBOURG, Greenloop , Tarik CHEKCHAK, French Committee of Biomimicry Europa, Janvier 2015 https://ceebios.com/wp-content/uploads/2020/09/Guide_Biomimicry_Karim.pdf

Face à ce constat, de nombreuses théories ont émergé ces dernières années pour proposer une alternative à la croissance, du moins dans sa forme actuelle : décroissance, post-croissance, croissance verte, accroissance, croissance qualitative, permaéconomie, économie symbiotique...

L'objet de ce mémoire est de s'inscrire dans la continuité de ces recherches en proposant un angle, celui de la bioinspiration, pour proposer une réflexion sur l'économie humaine à partir du vivant. Ce travail basé sur l'analogie entre sciences de la vie et sciences humaines n'est pas nouveau. Pensons ici, par exemple, à l'analogie faite par le biologiste évolutionniste britannique Richard Dawkins entre l'évolution génétique et l'évolution culturelle dans les sociétés humaines. Il a en a tiré le terme « même » qui fait directement référence au terme « gène ». Selon lui, les éléments de comportement, les « mêmes », se transmettent dans les sociétés comme le font les gènes dans l'évolution des espèces. Ainsi les éléments culturels se répliquent et se transforment au fur et à mesure du temps.

Ce travail a aussi déjà été mené sur le plan économique. L'économiste Nicholas Georgescu-Roegen a proposé au milieu du XXème siècle de bâtir l'économie en s'appuyant sur les sciences de la thermodynamique et les lois physiques, plutôt que sur les lois mécaniques. La philosophe américaine Jane Jacobs, dans son livre *Économie de la nature*, publié au début des années 2000, nous convainc de l'intérêt et de la pertinence d'appliquer le biomimétisme à l'économie³. Plus récemment, dans son livre *Permaéconomie*, Emmanuel Delannoy propose de reprendre les principes de la permaculture théorisés par David Holmgren dans les années 1970 pour l'appliquer au champ économique.

Au fond, cette réflexion en miroir avec les systèmes naturels ne paraît pas si étonnante tant on retrouve des similarités entre les deux : échanges de flux, acteurs hétérogènes, utilisation de ressources naturelles, répartition par fonctions... renforcé par le fait que les deux fonctionnent dans un même système fermé, la Terre.

Dans ce travail, je souhaite m'intéresser particulièrement à la question de la croissance. Celui-ci est construit autour de deux grandes questions de recherche : Comment l'analogie entre systèmes économiques et systèmes vivants nous offre-t-il un cadre de réflexion pertinent dans le contexte d'incompatibilité entre croissance

³ « *Économie de la nature* », Jane Jacobs, 2001.

et respect des limites écologiques ? Quels principes et quelles directions pourraient être mobilisés pour concilier activités économiques, réponses aux besoins humains et respect de notre environnement ?

Pour cela, nous nous intéresserons dans une première partie à explorer la place de la croissance dans le vivant à l'échelle de l'individu, de la population et de l'écosystème. Nous verrons ensuite dans une deuxième partie en quoi la croissance en tant que politique économique la plus pratiquée à l'échelle mondiale diffère ou converge avec notre étude sur le vivant. Nous tenterons enfin dans une dernière partie de cartographier des directions possibles en accord avec les critères tirés de l'étude des systèmes vivants et les particularités des systèmes humains.

PARTIE 1 : LA CROISSANCE DANS LE VIVANT, DE L'INDIVIDU à l'ECOSYSTEME



Dans cette partie, nous allons nous intéresser à la croissance d'un point de vue biologique. Il s'agit de mettre en perspective les modalités de la croissance à différentes échelles, de l'individu à l'écosystème. Cette partie se termine par résumé des grandes principes retirés de cette enquête.

I-Croissances à l'échelle des individus

A-Définitions clés

Il est important de distinguer pour commencer plusieurs concepts biologiques importants:

-Le développement représente l'ensemble des transformations qualitatives. Il implique l'initiation et l'apparition de nouvelles structures, comme les organes. Le développement est observable à un instant donné.

-La croissance est l'augmentation continue et irréversible de toutes les dimensions des structures d'un être vivant déjà présentes : en longueur, en largeur, en diamètre, en surface, en volume et en masse. Cette augmentation est mesurable dans le temps. Grandir implique de croître seulement en hauteur, tandis que grossir implique de croître seulement en largeur.

-Le taux de croissance relative est l'augmentation en longueur ou en poids d'un individu ou d'une population par unité de temps, par rapport à sa taille initiale.

B-La croissance chez l'individu

1-LA CROISSANCE DANS LE VIVANT S'APPUIE SUR TROIS MÉCANISMES

La croissance d'un organisme passe par la croissance des organes et des tissus qui le composent. Cela s'appuie sur trois mécanismes différents et complémentaires : une multiplication du nombre de cellules par le mécanisme de divisions cellulaires, l'augmentation du volume de chaque cellule et ou l'augmentation du volume de la matrice extracellulaire définie comme « l'ensemble de macromolécules extracellulaires (protéines, glucides et eau) sécrétées localement par les cellules d'un tissu et organisé en un réseau complexe autour de ces cellules chez les

organismes pluricellulaires »⁴.

La croissance se fait donc en masse, en surface et en volume. Il est crucial de considérer d'ailleurs ces paramètres comme étant interdépendants. La croissance d'un organisme dépend de contraintes physiques. Par exemple, plus un organisme croît, plus sa masse augmente. Ce qui implique des forces sur les structures. Voilà pourquoi au-delà d'un certain seuil, la croissance d'un organisme n'est plus viable. Par exemple, comme le montre Olivier Rey dans son livre *Une question de taille*, chez les organismes dotés d'un squelette, comme les êtres humains, multiplier les dimensions d'un Homme par 10 produirait un organisme non viable. En effet, la croissance de la surface des os ne serait que de 100 quand la masse augmenterait de 1000. Il en résulterait que le poids supporté par unité de surface de l'os serait multiplié par 10, ce qui résulterait immédiatement par sa rupture. Un géant humain n'est donc pas envisageable d'un point de vue biologique.

2-L'ENERGIE, UN RÔLE PRÉPONDÉRANT DANS LA CROISSANCE DE L'INDIVIDU

Un organisme est considéré comme un système ouvert. Il échange en permanence de l'énergie et de la matière avec son environnement.

La vie d'un organisme implique la production et la dégradation d'énergies. On parle de métabolisme. Il est plus précisément défini par le Centre National de Ressources textuelles et lexicales comme « *l'ensemble des réactions de synthèse, génératrices de matériaux (anabolisme), et de dégradation, génératrices d'énergie (catabolisme) qui s'effectuent au sein de la matière vivante à partir des constituants chimiques fournis à l'organisme par l'alimentation et sous l'action de catalyseurs spécifiques* »

La croissance est une période de la vie durant laquelle l'anabolisme l'emporte sur le catabolisme. L'anabolisme consiste à produire des solutions complexes à partir d'éléments simples, tandis que le catabolisme est la destruction de molécules complexes en molécules simples. En termes d'énergie, l'anabolisme est un processus qui consomme de l'énergie. A l'inverse, le catabolisme signifie que l'énergie est produite à partir de la dégradation.

⁴ 4 La matrice extracellulaire, Université d'Oran; http://univ.ency-education.com/uploads/1/3/1/0/13102001/cyto1an31-6matrice_extracellulaire.pdf.)

Or la croissance implique la complexification d'un individu. Ce qui signifie que la croissance est une période de la vie qui nécessite plus d'énergie qu'une période stable. Cette croissance dépend du taux métabolique des individus. Le taux métabolique est défini par la quantité d'énergie consommée par unité de temps qui dépend de l'espèce ou encore de la taille, du poids et de l'âge de l'individu.

En revanche, quand l'individu grandit, il y a une économie d'échelle. C'est ce qu'a montré le biologiste Max Kleiber dans une loi qui porte son nom. Ainsi, plus la taille et la masse augmentent, plus l'énergie nécessaire au fonctionnement diminue. Autrement dit, un seul organisme pesant 10 kilos consomme moins d'énergie que s'il était divisé en 10 organismes de 1 kilos chacun.

D'après Thomas Séon dans *Les lois de l'échelle, la physique du petit et du grand*, une loi universelle semble même exister : le métabolisme est proportionnel à la masse à la puissance $3/4$. Quand un organisme croît dans toutes ses dimensions par 4, ses besoins énergétiques ne sont multipliés que par 3.

Autrement dit, plus un organisme croît, plus son métabolisme se ralentit, l'énergie met plus de temps à se dégrader et donc les besoins d'énergies peuvent être espacés. À l'inverse, plus un organisme est petit, plus son métabolisme est rapide, plus cette énergie se dégrade vite et donc il a besoin de ressources beaucoup plus régulièrement. Ceci explique pourquoi un requin ne se nourrit que tout les 4 à 7 jours⁵, tandis qu'une cellule a besoin d'un apport continu en oxygène, sans quoi elle meure.

Il reste toutefois que plus un organisme croît, plus celui-ci a besoin d'énergie. Certes il y a économie d'échelles, mais un requin de 10 tonnes aura quand même besoin de plus d'énergies pour fonctionner qu'un requin de 5 tonnes.

Autre point important, plus un organisme a besoin d'énergie, plus il en dégrade et plus il produit de la chaleur. À l'inverse, plus les organismes sont petits, plus ils ont besoin d'énergie de manière constante pour réchauffer leur corps, l'énergie étant dissipée tout de suite.

⁵ 5 « L'alimentation, Requins, www.requins.eu

En ce qui concerne l'énergie, la notion de compromis est aussi essentielle. En effet, un organisme lorsqu'il croit, ne maximise par la croissance mais cherche à l'optimiser. Deux explications peuvent expliquer cela : la première est que comme nous l'avons vu, plus un individu est lourd, plus il consomme de l'énergie. De la disponibilité de cette énergie dépend sa survie, voilà pourquoi les surplus structurels sont un désavantage dans l'évolution. La deuxième est que le processus même de croissance est comme nous l'avons vu particulièrement énergivore, donc ce qui n'a pas de fonction n'a donc pas sa place. Prenons par exemple le cas de l'os pour illustrer cela. La croissance de l'os est le résultat d'un compromis entre poids et résistance. L'os ne cherche à accroître sa masse que sur les parties structurelles où les forces sont les plus importantes.

3-CROISSANCE ET DÉVELOPPEMENT, DEUX CHOSES BIEN DISTINCTES MAIS DÉPENDANTES

Il est important de noter que croissance et développement ne doivent pas être confondus. Lorsqu'on parle de croissance, on ne parle que d'augmentation quantitative qui se déroule sur plusieurs dimensions : la surface, le volume ou la masse. L'évolution d'un individu passe aussi par la différenciation cellulaire qui implique la création d'organes, de tissus et plus généralement de l'ensemble des formes d'un organisme. Il s'agit dès lors d'un processus de développement non pas basé sur le quantitatif mais sur la qualitatif. On parle alors de morphogénèse. Cette dernière est constituée par un ensemble de lois et de facteurs, aussi bien internes (ADN) qu'externes (environnement), qui déterminent les structures des organismes. Ce qui explique la diversité des organismes mais aussi le fait qu'une même plante n'aura pas la même morphologie si elle vit dans un environnement différent.

La question est de savoir si le taux de croissance détermine la forme ou si la forme détermine le taux de cette croissance. La seconde solution semble de mise. C'est en tout cas ce qu'a révélé⁶ une équipe de recherche du Centre Nationale de Recherche Scientifique (CNRS). Les scientifiques se sont intéressés aux différentes morphologies présentes chez les populations humaines (certaines populations sont en moyenne plus petites que d'autres), en cherchant à comprendre les racines de

⁶ « La diversité morphologique chez l'Homme s'établit avant la puberté », *Journal du CNRS*, 2021

celles-ci. En comparant la croissance d'une population en moyenne très grande (en l'occurrence des basketteurs) et des populations en moyenne très petites (en l'occurrence les Pygmées Baka), les scientifiques ont montré que la différence dans la morphologie s'expliquait avant la puberté et non pas pendant la période de croissance qui s'en suivait. Chaque population ayant finalement le même rythme de croissance après la puberté. Le développement tend donc à précéder la croissance.

Dans un article publié en 1926, intitulé *Etre de la bonne taille*, le zoologiste John Burdon Sanderson Haldane montre d'ailleurs que le lien entre la taille et la forme est tout sauf un hasard, la forme jouant un rôle prépondérant dans la croissance d'un organisme. Selon lui, pour chaque être vivant, « *il existe une taille adéquate, et une grande variation de taille entraîne nécessairement un changement de forme.* » En fait, l'accroissement de la taille d'un individu n'est pas linéaire. Comme nous l'avons vu avec l'exemple du géant humain, il ne suffit pas de multiplier les dimensions d'un organisme par 100 pour avoir un organisme 100 fois plus grand. Pour que cet organisme soit viable, il faudrait alors changer la structure et donc la forme. Soit par définition, obtenir un autre organisme. La forme d'un organisme et ses propriétés ne sont donc valables qu'à une échelle donnée. Voilà pourquoi le vivant aurait développé certaines stratégies de croissances comme la division cellulaire. En effet, une cellule ne peut pas croître indéfiniment sans exploser du fait des contraintes physiques. La division cellulaire figure alors comme une stratégie qui permet de garder l'intégrité de la cellule tout en accroissant la taille de la population.

4-APRÈS LA CROISSANCE ?

La fin de la croissance ne signifie pas l'arrêt de l'activité des organismes. Chez les espèces, la production de cellules continue pour remplacer les cellules vieillissantes ou pour réparer celles qui auraient été détruites par une blessure. Seulement, cette production n'a lieu que lorsque l'organisme en a besoin. Des mécanismes et des signaux existent, notamment génétiques, pour déclencher la production de nouvelles cellules. On peut parler de croissance ponctuelle.

On peut d'ailleurs parler d'homéostasie. Il s'agit de la capacité d'un organisme à maintenir son équilibre quand il fait face à des changements. Lors d'un effort important par exemple, nous avons besoin de plus d'oxygène donc nous augmentons notre fréquence cardiaque. Parallèlement, la température de notre corps augmente. Il en résulte que nous transpirons.

Par ailleurs, la multiplication et la division cellulaire ne sont pas infinies. Le cycle de la vie est composé d'une période dite de sénescence. Cette étape qui précède la mort et provoque le vieillissement des organismes correspond à l'arrêt de la réplication des cellules qui finissent par se dégrader. Cet arrêt est provoqué principalement par la dégradation de l'information génétique et par le stress provoqué sur les cellules, notamment les rayons ultraviolets.

C-Les types, les rythmes et les stratégies de croissance

La croissance peut être qualifiée de « déterminée/définie » ou « indéterminée/indéfinie » :

- la croissance « indéterminée/définie » signifie que l'espèce continue de grandir toute sa vie, jusqu'à sa mort, provoquée par des facteurs externes comme la prédation ou des conditions environnementales extrêmes. Cela implique que ces espèces peuvent se reproduire jusqu'à leur mort.
- la croissance « déterminée/définie » signifie que la croissance cesse en raison de facteurs génétiques propres à chaque espèce, dès qu'un être vivant a atteint sa maturité et qu'il est complètement formé. Généralement, la croissance s'interrompt avec l'acquisition de la maturité sexuelle, et donc la capacité de reproduction.

La croissance peut également être « continue » ou « discontinue » :

- la croissance continue signifie que l'augmentation de la taille se poursuit sans interruption jusqu'au stade de la maturité. C'est principalement le cas des plantes.
- la croissance est dite « discontinue » quand l'augmentation de la taille se fait uniquement au moment de la mue. Ce sont principalement les animaux dotés de squelettes externes rigides comme les crustacés ou les insectes qui sont concernés. En effet, la présence d'une enveloppe rigide inextensible ne leur permet pas de

croître. Ils doivent donc au préalable s'extraire de leur carapace pour s'accroître, puis reformer une nouvelle carapace.

Les rythmes de croissance varient d'une espèce à l'autre, d'un individu à l'autre. Ils dépendent aussi des cycles propres à chaque espèce. Ainsi, la durée nécessaire pour que l'être humain arrive à maturité est le double de celle du chimpanzé⁷⁷.

Au sein d'une même espèce, la croissance peut elle-même être divisée en plusieurs phases. Prenons l'exemple de l'être humain dont la croissance s'accélère particulièrement à la puberté.

On peut parler aussi de plusieurs stratégies de croissances : la croissance organique, la métamorphose ou la mue.

1-LA CROISSANCE ORGANIQUE

Chez les animaux et les végétaux, la croissance des êtres vivants passe d'abord par le développement de leurs organes. Ces derniers gagnent de la matière. On appelle cela une croissance organique. Ce développement nécessite de l'énergie dont les sources sont variées : des nutriments, des éléments chimiques comme l'eau, l'oxygène ou le carbone.

La croissance organique varie selon les types d'être vivant et les espèces. On parle de :

- « producteurs primaires » : les êtres vivants fabriquent leur matière organique à partir de matière minérale. Ce sont les végétaux.
- « producteurs secondaires » : les êtres vivants fabriquent de la matière organique à partir d'autres matières organiques, issues d'autres vivants. Ce sont par exemple les herbivores qui se nourrissent de végétaux ou encore les carnivores qui se nourrissent d'autres animaux. Et des animaux et des végétaux pour les omnivores, comme l'Homme.

Pour illustrer la croissance organique, prenons par exemple le cas des coquillages. Chez les mollusques, la coquille fait office de protection. Mais elle grandit au fur et à mesure que l'organisme grandit. Cette croissance se fait de manière additive, on

⁷⁷ « The same growth pattern from puberty suggests that modern human diversity results from changes during pre-pubertal development », Jean-Claude Pineau & Fernando V. Ramirez Rozzi, *Nature*, publié en 2021

parle d'ailleurs d'incrément de croissance : le mollusque croît sur les côtés ou sur le centre de sa coquille.

2-LA MÉTAMORPHOSE

La métamorphose désigne, selon le Centre National de Ressources textuelles et lexicales, « l'ensemble des modifications morphologiques et structurales subies par certains organismes (la grenouille, le papillon, etc.) au cours de leur développement post-embryonnaire ». Lorsqu'il y a métamorphose, l'individu concerné est complètement remodelé. Il existe plusieurs formes de métamorphoses qui dépendent de différentes espèces. Chez les insectes la métamorphose implique la disparition des tissus larvaires et le remplacement par une population différente de cellules. Chez les amphibiens, la métamorphose consiste plutôt par le fait de remodeler des tissus préexistants. Elle implique de nombreux changements régressifs avec la perte complète de certains organes. Par exemple, chez les grenouilles, la métamorphose se caractérise par la disparition des dents pointues des branchies et même la disparition de la queue. Parallèlement, il existe des processus dit constructifs avec l'apparition de nouveaux organes.

Dans une étude scientifique⁸, des chercheurs ont montré que la métamorphose est apparue certainement pour offrir un avantage évolutif aux espèces. En effet, selon ces chercheurs, la métamorphose permet de changer de système de ressources nutritifs en fonction de la quantité d'aliments présents dans le milieu. Ainsi par exemple, les larves finissent par se métamorphoser pour accéder à des nutriments et des ressources abondantes qu'elles ne trouvent plus dans leur milieu. A l'inverse, les adultes ne rentrent pas en concurrence avec les larves qui peuvent donc croître de manière plus tranquille.

La métamorphose reste un processus très énergivore et très risquée puisque lors de cette période, les individus sont fortement soumis à la prédation puisque leurs défenses sont amoindries.

⁸ « *The Evolutionary Ecology of Metamorphosis* », Hanna ten Brink, André M. de Roos, and Ulf Dieckmann, *The University of Chicago*, <https://www.journals.uchicago.edu/doi/full/10.1086/701779>

3-LA MUE

La mue désigne, selon le Centre National de Ressources textuelles et lexicales, « un phénomène physiologique normal qui consiste à renouveler ponctuellement l'apparence externe en abandonnant les reliquats de l'ancienne apparence ». En effet, la présence d'une enveloppe rigide inextensible ne leur permet pas de croître. Ils doivent donc au préalable s'extraire de leur carapace pour s'accroître, puis reformer une nouvelle carapace. Il s'agit par exemple du homard.

D-Les facteurs internes et externes de la croissance

La croissance a lieu selon des facteurs déclencheurs, régulateurs et limitants.

1-LES FACTEURS INTERNES

Les facteurs internes sont d'abord génétiques : l'ADN d'une espèce contient en partie les modalités de la croissance dès la naissance de l'individu. C'est ce qui va différencier les formes des espèces. Ils sont aussi hormonaux. Les hormones sont des molécules chimiques vectrices d'informations. Celles-ci jouent un rôle fondamental dans les processus de croissance puisqu'elles vont indiquer le début et la fin de celle-ci mais aussi le rythme.

La croissance dépend aussi de la capacité des organismes à capter l'énergie. Certains organismes sont parfois susceptibles de synthétiser les composés organiques nécessaires à leur croissance en se contentant des éléments basiques du milieu comme les éléments chimiques. Ils sont ainsi capables de créer leur propre nourriture. On parle alors d'organismes prototrophes.

A l'inverse, les organismes qui ont besoin d'aller chercher les composés organiques nécessaires à leur croissance dans d'autres organismes du milieu sont des organismes auxotrophes. Beaucoup d'organismes vivants, dont l'Homme, ont les deux caractéristiques pour certains éléments. C'est pourquoi nous avons besoin de nous nourrir pour obtenir des acides aminés que nous ne sommes pas capables de produire.

Plus un organisme est prototrophe, plus il peut vivre et croître dans un milieu dit minimum, c'est-à-dire avec peu de ressources. A l'inverse, plus il est auxotrophe, plus son milieu doit être riche en organismes divers et variés.

2-LES FACTEURS EXTERNES

La croissance est adaptée aux ressources du milieu. Chez les bactéries par exemple, la croissance est proportionnelle à la concentration en facteurs de croissance. Le milieu revêt donc une importance cruciale. C'est celui-ci qui va dans la plupart des cas guider la croissance et instituer le rythme. Effectivement, en fonction de différents paramètres comme la salinité de l'eau, la température, la présence de nutriments ou le taux d'ensoleillement, les organismes vont croître plus ou moins vite, et selon des formes plus ou moins différentes. La morphologie d'un individu dépend aussi bien de ses informations génétiques que de l'environnement dans lequel il grandit. Les gènes sont aussi altérés par les facteurs environnementaux qui conditionnent la croissance. On parle alors du phénotype de l'individu. Si bien que chez une même espèce, les formes diffèrent. On parle alors de polymorphisme. Mais elles gardent des similitudes : on parle alors de canalisation de la croissance.

Les paramètres physiques, propres à la Terre, sont aussi prépondérants dans la croissance d'un organisme, et ses limites. Ainsi, un arbre ne pourra pousser qu'à une certaine hauteur en raison de la gravité. Il faut en effet que le transport d'énergie, via la sève, se fasse jusqu'au sommet, ce qui n'est plus possible au-delà de 100-120 mètres.⁹

Prenons par exemple le cas des coquillages pour illustrer ces paramètres du milieu. Chez les mollusques, la coquille fait office de protection. Mais elle grandit au fur et à mesure que l'organisme grandit. Cette croissance se fait de manière additive, on parle d'ailleurs d'incrément de croissance : le mollusque croît sur les côtés ou sur le centre de sa coquille. Une étude de Lutz, Rhoads et Richardson a montré que cette croissance dépendait fortement des conditions du milieu, et des cycles, qui sont compris comme l'évolution au fil du temps des conditions du milieu, à tel point qu'il est possible de dater à partir des stries présentes sur le coquillage les étapes de la croissance. Ses stries fournissent aussi de nombreuses informations sur l'état du milieu. En effet, la croissance est plus forte quand il n'y a pas ou très peu de

⁹ *Les lois d'échelle*, Thomas Séon, Editions Odile Jacob, 2018

perturbations. A l'inverse quand il y a des tempêtes par exemple, la croissance est beaucoup plus faible.

Il est également important de noter que chaque espèce a besoin d'un minimum d'énergie pour croître. Cette énergie varie en fonction des espèces : par exemple, chez les arbres, l'hêtre atteint sa vitesse de croissance lorsque l'éclairement atteint 10% du maximum, tandis que le chêne l'atteint à 20%¹⁰.

Les relations interspécifiques ou intraspécifiques jouent aussi un rôle important sur les modalités de croissance. Dans le cas de la prédation, la croissance de la proie est tout simplement interrompue par le prédateur. Dans une relation de compétition, la croissance de l'un est freinée par la croissance de l'autre. Dans une forêt riche en ressources, la disparition d'un arbre va généralement entraîner la croissance d'un autre, montrant que les arbres étaient bien en compétition. Dans une relation de parasitisme, le parasite profite de son hôte, dont il dépend, pour croître. Ainsi, la chenille qui se nourrit de l'arbre peut réduire sa croissance, mais a intérêt à ce qu'il ne meure pas. Dans une relation symbiotique, les deux espèces dépendent l'une de l'autre pour croître, la disparition de l'une entraînera la disparition de l'autre. C'est le cas de bactéries présentes dans notre estomac. Enfin, le mutualisme correspond aux mêmes modalités de croissances que la symbiose, à la différence que le lien entre les espèces n'est pas essentiel à la survie. Cette relation peut être vue comme un catalyseur de croissance. C'est le cas par exemple de la relation entre une plante et un pollinisateur qui va se nourrir du nectar de celle-ci, et ce faisant, emporter le pollen permettant ainsi la reproduction de la plante.

E/Décroissances et arrêts de croissance

1-ILLUSTRATION DE LA DÉCROISSANCE: IMPACT DE LA BAISSSE DES NUTRIMENTS SUR LES SARDINES DE MÉDITERRANÉE DONT LA TAILLE A DIMINUÉ

Symétriquement à la croissance, la décroissance peut être définie comme la diminution en taille, ou en volume d'un individu ou d'une population d'individus. Comme la croissance, la décroissance n'est qu'une étape transitoire dans la vie d'un

¹⁰ « Modéliser la dynamique et la résilience d'une forêt mixte », Philippe Consentino, <https://www.pedagogie.ac-nice.fr/svt/?p=1096>

individu ou d'un groupe d'individus. Cette décroissance est la plupart du temps liée à une diminution du stock de nutriments disponibles. C'est par exemple ce qu'ont montré les scientifiques du projet Monalysa¹¹ pour évaluer l'évolution de la taille des sardines en Méditerranée. Les résultats ont montré que les sardines de Méditerranée ont perdu, en 10 ans, 4 cm de taille et 20 g de poids en moyenne, passant respectivement de 15 à 11 cm et de 30 à 10 g. Les recherches menées n'ont pointé ni la pêche ni les prédateurs naturels comme en étant la cause mais la diminution de la qualité nutritive du plancton, principale nourriture de ces sardines. Une étude a par ailleurs révélé que la quantité de nourriture n'est pas le seul facteur, mais sa taille aussi. En effet, plus les planctons ont une petite taille, plus la sardine a besoin de filtrer l'eau et donc de dépenser de l'énergie. À l'inverse plus la taille du plancton est grande, plus l'effort nécessaire pour l'attraper est faible et donc moins la sardine a besoin de quantité de plancton.

2-ILLUSTRATION DE LA DORMANCE : EXEMPLE DE LA DORMANCE CHEZ LE BLOB

Le Blob, connu sous le nom scientifique de *Physarum polycephalum*, est un organisme unicellulaire. Sa croissance est exponentielle puisqu'il est capable de doubler de taille tous les jours. Elle est également quasi infinie car sa dimension peut être multipliée par deux cent mille au cours de sa vie. La particularité de cet individu est que seul le noyau de la cellule se divise, contrairement à nous par exemple être humain. Il se nourrit de moisissures et de bactéries. En cas de manque de nourriture, le blob est capable de se mettre en stade de dormance. Pour cela, il peut compter sur une « sclérose », un tissu très renforcé. Celle-ci protégera le blob durant son hibernation et lui permettra de survivre à des conditions non propices.

F-Croissance dysfonctionnelle, le cas du cancer

Le cancer peut être considéré comme une croissance dérégulée et illimitée. Lorsque le gène est altéré, donc l'information n'est plus la bonne, la cellule devient cancéreuse. Une cellule cancéreuse se reproduit de manière désordonnée et ne se

¹¹ « Baisse de taille des sardines en Méditerranée : le rôle de l'alimentation expliqué », IFREMER, <https://www.ifremer.fr/Actualites-et-Agenda/Toutes-les-actualites/Baisse-de-taille-des-sardines-en-Mediterranee-le-role-de-l-alimentation-explique>

dégrade plus quand elle le devrait. Elle ne répond plus aux contraintes de son environnement, ni aux besoins de l'organisme. Elle croit seulement pour croître. Ainsi les cellules cancéreuses diffèrent des cellules dites normales pour plusieurs raisons. Elles sont immatures et donc perdent toutes spécificités, évitent le système immunitaire et donc les mécanismes de protection, sont insensibles aux signaux qui devraient les faire mourir ou stopper leur division, s'agrègent peu ou pas aux autres cellules, ce qui rend leur prolifération beaucoup plus facile au reste du corps et détruisent les tissus et les organes. Elles sont aussi capables de s'agglomérer entre elles, formant des tumeurs.

Après l'intérêt porté aux individus, nous allons étudier la croissance à l'échelle des populations.

II-Croissances à l'échelle des populations

A-Définitions clés

La croissance d'une population peut être mesurée par la croissance des effectifs la composant ou encore l'aire de répartition de cette population dans l'espace.

On parle de dynamique de population pour caractériser les fluctuations des populations dans le temps.

Le taux de croissance d'une population est égal au taux de natalité, moins le taux de mortalité, auquel il faut ajouter l'immigration ou ôter l'immigration.

L'abondance d'une population est la quantité relative au nombre d'individus d'une espèce donnée par unité de surface ou de volume par rapport à leur nombre total.

On parle de prolifération ou de pullulation pour parler d'une espèce qui se reproduit abondamment dans un environnement donné. Quand la prolifération est très rapide, il s'agit de pullulation (comme par exemple chez les méduses et chez les algues) et lorsque cette prolifération excessive concerne une espèce exogène, qui ne vivait pas dans un autre écosystème, on parle d'invasion, et d'espèces invasives. On parle de bloom lorsque la population s'accroît très vite en très peu de temps, mais seulement pour un temps donné (phytoplancton par exemple).

B-La croissance d'une population

Il y a croissance d'une population lorsque le taux de croissance est positif. Cela signifie que le taux de natalité est supérieur à celui de mortalité, soit en raison du fort nombre de naissances et de décès ou d'une forte migration. Les 3 facteurs peuvent bien entendu se combiner.

La croissance d'une population peut aussi se mesurer à l'aune de sa présence sur un territoire donné. On parle ainsi de l'aire de répartition d'une espèce comme « la

zone délimitant la répartition géographique d'une espèce vivante ou de toute autre unité taxonomique qui inclut la totalité de ses populations »¹².

La croissance d'une population signifie la multiplication des individus. En fonction des espèces, la croissance s'effectue selon différents mécanismes :

- croissance par reproduction : la croissance d'une population, soit le nombre d'individus qui la compose, a lieu par la reproduction entre les individus d'une même espèce. Celle-ci peut être asexuée ou sexuée.

- croissance par bouturage : chez les plantes, le bouturage entraîne la multiplication des plantes à partir des éléments d'une plante existante. La bouture est définie comme le fragment de la plante capable de s'enraciner pour éventuellement faire naître une nouvelle plante. Le bouturage implique que la plante nouvellement créée est la même que celle d'où provient le fragment. La conservation du patrimoine génétique implique qu'elle est sensible aux mêmes risques que la plante dont elle est issue.

- croissance par essaimage : dans le vivant et tout particulièrement chez les abeilles, quand une colonie devient surpeuplée, et que l'habitat n'est plus suffisant pour héberger l'ensemble des individus, une partie de la population, presque la moitié chez les abeilles, quitte l'essaim pour aller en former un autre. L'essaimage se produit quand les conditions météorologiques sont les plus favorables pour les essaims, à savoir pour les abeilles au printemps quand les températures sont suffisamment clémentes. L'essaimage permet à la fois de multiplier les colonies, mais aussi de régénérer la colonie existante. L'essaimage peut être considéré comme une stratégie permettant de maintenir la structure du nid.

Chez certaines espèces du règne animal, la croissance d'une population donnée peut aussi passer par plusieurs stratégies de reproduction. On parle du modèle r/K. La stratégie r consiste à donner naissance à une très grande population de jeunes le plus tôt possible, sans besoin d'aide des générations plus âgées pour accompagner la croissance du nouveau né, qui est par ailleurs rapide. Cette stratégie implique généralement une mortalité très élevée, soit à cause des conditions du milieu, soit de la vulnérabilité des nouveaux-nés aux prédateurs. Cela permet dans les milieux instables et imprévisibles de maximiser les chances de reproduction. La stratégie K en revanche consiste à limiter le nombre de nouveaux-nés avec une reproduction

¹² Lexique d'écologie, d'environnement et des gestion du littoral, IFREMER, 2012 ((<https://archimer.ifremer.fr/doc/00026/13721/10827.pdf>))

tardive. Il y a un accompagnement du nouveau-né jusqu'à sa maturité. Ce dernier est d'ailleurs caractérisé par une croissance lente. La réussite de cette stratégie est conditionnée à la stabilité du milieu.

C-Les facteurs internes et externes de la croissance

Comme chez les individus, la croissance d'une population varie selon des facteurs déclencheurs, régulateurs et limitants.

Le premier facteur est le milieu. Tout espèce grandit dans une niche écologique, définie par l'Institut Français de la Recherche en Mer (IFREMER)¹³ comme « *la place originale occupée dans un biotope par une espèce et ensemble des relations de tous ordres qu'elle a avec les composantes de ce milieu et ses autres habitants* ». Cette niche écologique propre à chaque espèce lui permet de se développer dans des conditions qui lui sont propres. Leur croissance dépend ainsi de facteurs dit biotiques (présence de nutriments, maladies, prédateurs...) et abiotiques (vent, taux d'humidité, PH du sol...). La niche écologique est source d'énergie mais aussi de protection, car elle est le lieu d'habitat des espèces. Cette niche écologique implique qu'une population peut croître relativement facilement dans un espace qui lui convient mais qu'elle sera soumise à une compétition plus forte si une autre espèce est plus adaptée à une niche écologique. Ce qui permet à la fois une plus grande diversité d'espèces et une régulation des populations puisque qu'elles ne peuvent pas se développer de partout, chaque espèce s'excluant entre elles. Cela est explicité par le principe de Gause qui affirme que deux espèces, hormis les symbiotes, ne peuvent coexister ensemble dans une même niche écologique sur un même territoire. L'évolution des espèces peut se traduire par une évolution de la niche écologique. On peut ainsi dire que la croissance est située dans un espace donné. D'ailleurs, on parle d'aire de distribution des espèces.

Lorsque les facteurs freinent la croissance d'une population, on parle de facteurs limitants. Il s'agit par exemple des cycles, qui correspondent à l'évolution des conditions du milieu. Ces derniers ont un impact sur la croissance des populations.

¹³ Lexique d'écologie, d'environnement et des gestion du littoral, IFREMER, 2012 ((<https://archimer.ifremer.fr/doc/00026/13721/10827.pdf>))

Chez les végétaux par exemple, nous savons que les saisons entraînent une croissance ou non des individus et des populations.

Chaque milieu dans lequel vit une population a d'ailleurs des ressources limitées. On parle de capacité de charge du milieu. Cela désigne le nombre maximal d'espèces que peut supporter un territoire donné sans que le sol ou les ressources végétales ne subissent de dégradation irréversible. Voilà pourquoi la croissance d'une population est par essence déterminée. On parle d'ailleurs de croissance logistique : le taux de croissance sature au fil du temps avec le nombre d'individus.

Cela est d'ailleurs renforcé parce ce qu'on appelle l'effet densité-dépendance. A mesure qu'une population croît, le nombre d'individus augmente tout comme leur volume. Les ressources ne sont plus suffisantes, les maladies sont plus susceptibles de se transmettre ou il n'est plus possible de trouver un abri pour se protéger des prédateurs. Il y a donc une régulation de la population avec un croissance freinée voire interrompue par une baisse de la reproduction entre les individus ou augmentation de la mortalité. A l'inverse, quand la population diminue, le taux de reproduction tend à augmenter et le taux de mortalité à baisser, ce qui maintient la population. A noter que cet effet n'est pas universel. Au contraire, passé un certain seuil caractérisé par un certain nombre d'individus certaines populations continuent de décroître, sans que la diminution n'entraîne une croissance de population. On parle alors « d'effet d'Allée ». Celui-ci peut mener à l'extinction d'une espèce. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cela : la baisse de la diversité génétique, la plus grande vulnérabilité aux prédateurs quand le nombre d'individus n'est plus suffisant pour qu'une stratégie de regroupement (comme les bancs de poissons) protègent des attaques ou encore à cause d'une très forte perturbation environnementale.

Chez certaines espèces, la croissance, entendue comme la reproduction des populations, est permise par un système culturel, que l'on peut définir par un système de relations sociales complexes, qui permet de s'adapter à l'environnement. Ainsi chez les orques, le système matriarcal basé sur la transmission des savoirs est essentiel pour s'adapter au changement. La « grand-mère », la matriarche, partage son expérience pour, par exemple, s'adapter lorsque la nourriture devient trop peu abondante ou pour faire évoluer les comportements. Pensons, par exemple, ici à l'apprentissage de la technique de l'échouage faite par la matriarche auprès des plus jeunes pour attraper les phoques sur la plage. La technique est d'ailleurs excessivement dangereuse puisque les orques peuvent rester

bloqués sur les plages. On pourrait d'ailleurs parler de « support de croissance » pour qualifier ces paramètres culturels, comme l'éducation, le jeu, la transmission, qui permettent d'adapter les comportements et de maintenir une croissance pour permettre la survie d'une espèce à travers le temps.

La croissance des populations est aussi conditionnée aux types de relations qu'elles entretiennent au sein d'une même espèce ou entre les espèces. Comme à l'échelle de l'individu, les types de relations interspécifiques et intraspécifiques vont conditionner le taux de croissance d'une population. La prédation va avoir tendance à augmenter la taille et l'abondance des prédateurs, avec l'effet inverse sur les proies. Une relation symbiotique ou mutualiste va permettre aux deux populations de croître. Une relation de compétition va diminuer en moyenne le taux de croissance des deux populations. Une relation de parasitisme a tendance à entraîner l'accroissement de la population des parasites et diminuer le taux de croissance des hôtes.

A noter que les activités humaines ont un fort impact sur la disparition de certaines populations, du fait de l'artificialisation des sols ou de la culture qui entraîne la disparition des habitats pour d'autres espèces, ou des actions de pêche et de chasse destinées à notre alimentation. Dans un rapport publié en 2021¹⁴, les scientifiques ont par exemple montré le déclin de la biodiversité dans la Méditerranée : l'abondance des populations de vertébrés du bassin méditerranéen a baissé de 20% depuis 1993.

ILLUSTRATION DE LA CROISSANCE D'UNE POPULATION DE PHYTOPLANCTON

Le phytoplancton est constitué de l'ensemble des cyanobactéries et microalgues (végétaux microscopiques) qui sont présentes dans les eaux de surface et qui dérivent au gré des courants. Son rôle est essentiel pour assurer la viabilité de notre planète puisque le phytoplancton transforme le dioxyde de carbone en oxygène. Sa croissance est saisonnière et dépend de processus physiques, biologiques et chimiques, principalement de la température et de la salinité de l'eau. En effet, les mers et les océans sont formés de couches de densité différente. Plus la

¹⁴ « Méditerranée Vivante », <https://tourduvalat.org/actualites/mediterranee-vivante-une-source-inedite-de-donnees-sur-levolution-de-la-biodiversite-mediterraneenne/>

température de l'eau est élevée, plus sa densité est faible. L'évaporation de l'eau salée fait augmenter sa densité, tandis que les apports d'eau par la pluie et les rivières la diminuent. Dans la mesure où l'océan et les mers sont des systèmes dynamiques puisque les températures et la salinité évoluent sans arrêt, il y a des échanges d'eau. Quand la température augmente, les eaux qui se réchauffent voient leur densité diminuer et tendent à remonter vers la surface. Inversement, quand l'eau à la surface se refroidit, elle a tendance à redescendre vers les eaux profondes.

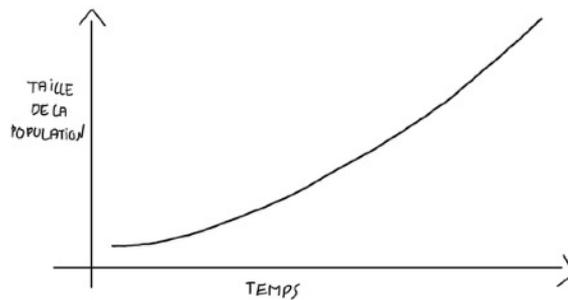
En hiver, la température de l'eau diminue, ce qui augmente les échanges entre les eaux profondes et les autres surfaces. Les nutriments présents au fond des océans remontent ainsi jusqu'à la surface. Cependant, la lumière à cette époque de l'année n'est pas suffisamment importante. La photosynthèse du phytoplancton est trop peu importante. Celui-ci se développe donc peu. Quand arrive le printemps, les nutriments se sont accumulés à la surface où se situe le phytoplancton. Désormais la lumière est abondante ce qui encourage la photosynthèse des phytoplanctons, le cocktail permet une forte croissance. Celle-ci attend même son pic. C'est ce qu'on appelle le bloom. À mesure que l'été arrive, les nutriments sont de moins en moins abondants car ils ont été déjà bien ingérés par le phytoplancton. Le phytoplancton se développe à un rythme beaucoup moins important. À l'automne, des nutriments remontent à la surface à un rythme beaucoup moins important qu'en hiver. Le phytoplancton qui dispose d'assez de lumière à cette époque de l'année connaît un nouveau pic de croissance certes bien moindre qu'au printemps.

D-Une approche dynamique de la croissance

La croissance des populations ne peut être comprise que dans le cadre d'un équilibre dynamique où les effectifs varient au fil du temps. Cet équilibre dynamique est fait de phases de croissances et de décroissances des populations marquées par des naissances, des décès et des migrations. Cette dynamique est liée non seulement aux relations au sein d'une même espèce mais aussi et surtout aux relations interspécifiques; et aux nombreux facteurs biotiques et abiotiques au sein de l'écosystème.

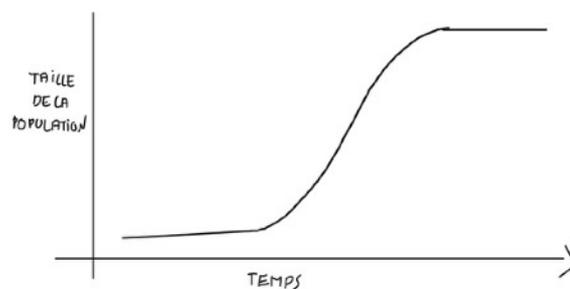
Cette dynamique ne peut être comprise que par rapport à une période de temps donné. La fenêtre temporelle par laquelle nous regardons la croissance est ainsi essentielle.

Ainsi chez les espèces, la croissance d'une population, représentée de manière graphique, peut prendre plusieurs formes. On parle de croissance exponentielle pour désigner une croissance rapide et quasi illimitée. C'est le type de croissance que l'on observe lors de la période de bloom des phytoplanctons par exemple.



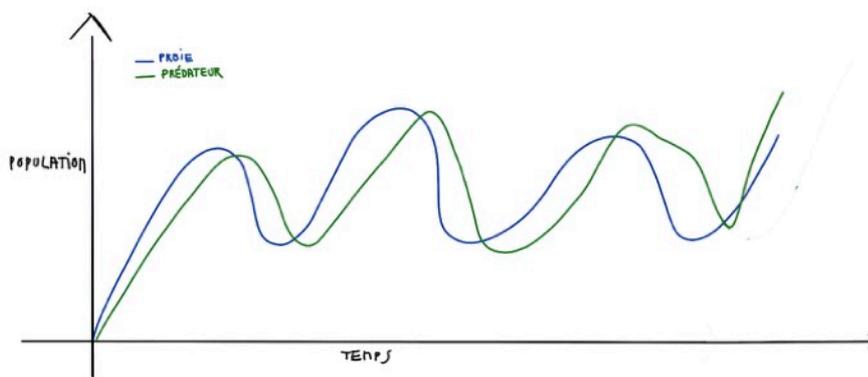
Croissance exponentielle

A court-terme, cette croissance est viable en raison de l'abondance en ressources et parce que les conditions de croissance sont optimales. En revanche, cette croissance n'est pas illimitée, sans quoi d'ailleurs elle causerait la disparition de l'espèce puisque les ressources seraient très vite épuisées. Voilà pourquoi à long-terme, la croissance est dite logistique. Au bout d'un certain temps, le taux de croissance diminue puis devient quasi nul, ce qui entraîne une stabilité de la population, avant une éventuelle diminution.



Croissance logistique

Remis dans un contexte d'interactions interspécifiques, la croissance des populations prend une autre forme. C'est notamment ce que montre l'équation Lokta-Voltera. Elle est le résultat d'une modélisation des évolutions proies/prédateurs. Elle montre que la croissance n'est pas nécessairement continue. Les populations croissent et décroissent du fait de la compétition : les prédateurs se développent à mesure que les populations des proies croissent aussi. Mais la compétition entre les prédateurs de plus en plus nombreux entraîne une pression sur la population des proies qui finissent par décliner. Ainsi, le nombre de prédateurs finit lui aussi par diminuer par manque d'accès aux ressources. Cette baisse du nombre de prédateurs provoque alors un répit pour les proies qui connaissent à nouveau un accroissement de leur population. Et ainsi de suite. C'est le décalage comme nous le voyons sur le graphique ci-dessous qui permet la dynamique.



Evolution de la population proie/prédateur

Par ailleurs, il est intéressant de noter que les expériences faites par les scientifiques dans les laboratoires pour essayer de reproduire l'évolution des populations dans un écosystème finissent généralement par la disparition de l'espèce dominée, remplacée par l'espèce dominante. Ce qui ne se produit généralement pas dans un écosystème. En effet, la complexité y est telle, incluant de multiples relations, de nombreux facteurs, d'importantes boucles de rétroactions, qu'on assiste à un équilibre des populations par une forme d'auto-organisation.

Ce relatif échec n'est pas sans rappeler que les dynamiques de populations comptent aussi de nombreux facteurs dits stochastiques. Ce sont tous les

événements aléatoires qu'il est difficile de prévoir, et qui influent sur l'ensemble des populations présentes dans un écosystème.

Cette dynamique des populations vue à travers le temps long, et donc l'évolution, tient aussi à la capacité d'adaptation des individus et des populations. C'est là que la sélection naturelle opère. Comme l'a montré Darwin dans *L'origine des espèces*, les espèces les plus aptes survivent et leurs traits génétiques sont conservés au fur et à mesure de l'évolution. A l'inverse, les moins aptes ne sont pas capables de prospérer. Un des exemples les plus célèbres pour illustrer ce propos est certainement la phalène du bouleau. Avant la révolution industrielle, les populations de phalène du bouleau de couleur blanche étaient prépondérantes sur les phalènes du bouleau de couleur noir. Dans le milieu où elles évoluaient, les papillons noirs étaient en effet beaucoup plus visibles que les blancs. La révolution industrielle a changé la donne puisque l'utilisation intensive du charbon a noirci l'environnement, rendant les phalènes noirs beaucoup moins visibles que les blanches. Les phalènes du bouleau noirs ont alors vu leur population croître fortement, tandis que les populations de couleur blanche ont décliné.

E- Croissance dysfonctionnelle : les espèces envahissantes

Les espèces envahissantes sont des « espèces en tout genre (plantes, animaux, champignons, microbes) et de tout milieu, terrestre comme aquatique, déplacées, volontairement ou non, par les activités humaines hors de leur région d'origine, entrant en compétition avec les espèces locales pour s'approprier les ressources, en devenant de redoutables prédateurs ou modifiant complètement les écosystèmes »¹⁵. Ces espèces s'adaptent finalement à toutes les niches écologiques présentes, ce qui fait qu'elles sont des prédateurs sans mécanisme de régulation. Leurs effets sont d'ailleurs catastrophiques sur les écosystèmes puisque leur arrivée provoque une baisse drastique de la biodiversité. Selon le Centre Nationale de Recherche Scientifique (CNRS)¹⁶, les espèces envahissantes sont même la deuxième cause

¹⁵ Espèces envahissantes : une catastrophe écologique et économique, CNRS, <https://lejournel.cnrs.fr/articles/especes-envahissantes-une-catastrophe-ecologique-et-economique>

¹⁶ Espèces envahissantes : une catastrophe écologique et économique, CNRS, <https://lejournel.cnrs.fr/articles/especes-envahissantes-une-catastrophe-ecologique-et-economique>

d'extinction de la biodiversité. La France n'est d'ailleurs pas épargnée par cette menace puisque de nombreuses invasions biologiques ont eu lieu ou ont lieu, comme celles de l'écrevisse de Louisiane ou le frelon asiatique.

Passons maintenant à l'analyse de la croissance à l'échelle d'un écosystème.

III-Croissance à l'échelle d'un écosystème

A-Définitions clés

Un écosystème est constitué d'un milieu qui lui est propre, le biotope et des espèces qui y habitent et interagissent entre eux, la biocénose.

La croissance d'un écosystème peut être quantifiée par sa biomasse entendue comme la quantité de matière vivante existante dans un écosystème par unité de volume ou de superficie et exprimée en unités massiques¹⁷.

On parle également de productivité des écosystèmes. La productivité des écosystèmes est la capacité de celui-ci à produire de la biomasse.

Enfin, la succession écologique désigne le processus d'évolution d'un écosystème à travers le temps, de sa naissance jusqu'au climax, entendu comme le stade de maturité de ce dernier.

B-Un système basé sur l'équilibre dynamique

Un écosystème n'est pas statique. Il évolue constamment au cours du temps avec différents stades. C'est qu'on appelle la succession écologique. En fait, un écosystème vivant suit une trajectoire vers ce qu'on appelle le climax, qui est le point d'équilibre de l'écosystème. Puis il décline avant de se régénérer.

Prenons l'exemple d'une forêt. Celle-ci est caractérisée par des cycles dit sylvogénétiques (ou sylvigénétiques) qui représentent chacun un stade d'évolution. En théorie, il y a 6 stades d'évolutions. Le premier stade est celui du sol nu qui accueille les espèces pionnières. Le second est celui du stade dit mucinal avec l'apparition des mousses. Le troisième est celui des vermines vivaces. Le quatrième est celui des buissons. Le cinquième est celui des arbres à croissance rapide et le dernier, le climax, est marqué par une très forte densité d'arbres.

Le climax n'est qu'une étape puisque généralement une phase de régénération va entraîner un renouvellement de l'écosystème.

¹⁷ Définition du Centre National de Ressources textuelles et lexicales

Ce dynamisme est aussi caractérisé par la création et destruction de matière organique. En général, la production n'excède pas la décomposition, ce qui permet de former un équilibre. On parle même d'équilibre dynamique puisqu'il peut y avoir accumulation pendant une saison suivie d'une diminution l'année suivante. En fait, on peut dire que l'équilibre d'un écosystème tient davantage à une alternance entre croissance et décroissance de la quantité de matière organique.

Plus un écosystème vieillit, plus il a besoin d'énergie, car plus sa biomasse est élevée, un peu comme un camion qui a besoin de plus d'énergie qu'un véhicule léger pour avancer, et plus c'est difficile de le maintenir. Une crise écologique comme un incendie, une tempête ou une inondation joue un rôle en permettant à un écosystème de se régénérer. Il y a alors à nouveau croissance jusqu'à atteindre à nouveau la maturité puis un déclin. Et le cycle recommence..

1-D'UN ARBRE À LA FORÊT : UN VOYAGE A TRAVERS 7 SIECLES

A l'origine des arbres, se trouvent des graines qui finissent pour certaines d'entre elles par germer. La croissance commence vers le bas puisque des racines se créent et permettent de récupérer dans les sols les éléments nutritifs nécessaires à la croissance. C'est l'apparition des premières feuilles.

De l'eau, de l'air et du soleil sont transformés par la chlorophylle et fournissent de l'énergie aux plantes. C'est la photosynthèse. Les pionniers sont sans défense pendant leur croissance. Ils risquent de mourir. Pour éviter cela, les arbres comptent sur la coopération. Par exemple, le sécropia fait appel à des fourmis. Elles s'installent dans l'arbre et en échange de l'habitat, elles s'occupent de défendre l'arbre contre ses envahisseurs venus se nourrir des feuilles.

Cinquante ans après la germination des premières graines, les pionniers meurent tous ensemble. C'est une mort génétique. Suite à cette mort, ils se décomposent grâce à une faune minuscule qui remet l'énergie dans le cycle du vivant.

La forêt secondaire apparaît en se nourrissant de l'énergie issue de la décomposition des pionniers. C'est la lumière qui organise la forme des bois. Le monde souterrain des arbres est également très riche. Les arbres s'appuient sur les racines et des champignons qui aident les racines à capter l'eau. En retour l'arbre partage l'énergie fabriquée par les parties aériennes. La forêt s'enrichit aussi avec des végétaux et d'autres espèces. Les lianes se déploient avant que le sous-bois ne soit plongé dans l'obscurité. Les lianes remontent le long des troncs d'arbres à la recherche du soleil.

D'ailleurs, les stratégies de croissance des espèces évoluent avec le temps dans une dynamique dite de course à l'armement : une espèce fait évoluer ses mécanismes de défense ou d'attaque, elle prend le dessus sur l'autre espèce, le temps que celle-ci finisse elle-même par développer une stratégie de réponse.

Le liane passiflore en est un bon exemple. Elle n'a qu'un ennemi, les chenilles du papillon, qui lui mangent ses feuilles. Au hasard d'une mutation, elle est devenue vénéneuse pour les chenilles et s'est mis à prospérer, le temps qu'une chenille qui au hasard d'une mutation finisse par être insensible. Puis la passiflore a changé la forme de la feuille pour tromper les papillons. Les papillons ont fini par se rendre compte. Et les passiflores ont créé l'illusion d'œufs sur les feuilles pour faire croire que tout était déjà occupé... Cette course à l'armement a entraîné l'apparition de 45 espèces de papillon et 150 espèces de passiflore¹⁸.

Le développement de la forêt entraîne le retour de la biodiversité animale. Les nouveaux venus rapportent des graines d'arbres qui n'étaient pas là. A mesure que la densité augmente, les « faibles » doivent partir et laisser la place aux « forts ». Les arbres communiquent par des molécules chimiques. Les fleurs permettent la reproduction. L'animal qui se nourrit permet de transporter les pollens. Quand ils sont agressés, les arbres réagissent. Ils deviennent toxiques.

Les arbres se battent pour avoir de la lumière à mesure que celle-ci se fait rare, du fait de la densification de la forêt. Parfois, cela se fait au prix d'une forte compétition. Par exemple, la graine du figuier étrangleur se développe dans un arbre d'une autre espèce. Les racines s'entourent autour de l'arbre pendant des dizaines d'années jusqu'à le détruire.

¹⁸ « Il était une forêt », Luc Jacquet, 2012

Les arbres produisent des fruits qui servent à nourrir de nombreuses espèces. En échange, ces dernières permettent de disséminer les graines.

La forêt est dépendante des pluies, spécialement les plantes qui n'ont rien pour stocker l'eau. Les arbres « appellent la pluie » par évaporation de l'eau à travers les feuilles. Les racines pompent l'eau, qui est acheminée par des vaisseaux, et transformée en sève. Quand il ne peut plus pousser l'eau jusqu'à sa cime, l'arbre arrête de pousser.

A la fin de sa vie, un arbre est un écosystème en soi, il est habité par de plus en plus d'espèces végétales, elles-mêmes habitées par des animaux. Ce poids finit par faire chuter l'arbre qui se décompose et laisse place à une nouvelle espèce. Le cycle peut recommencer.

2-RÔLE DU SYSTÈME TROPHIQUE

La croissance des organismes, et celle de leurs populations, est intimement liée au réseau trophique, soit la chaîne alimentaire dans lequel ils se trouvent. Le réseau trophique est défini comme « *l'ensemble des relations qui s'établissent entre des organismes en fonction de la façon dont ceux-ci se nourrissent dans un écosystème* »¹⁹

Le réseau trophique est divisé en plusieurs niveaux :

- les producteurs primaires : ce sont les espèces autotrophes, qui comme on l'a vu sont capables de produire leurs propres éléments organiques pour croître. Ce sont principalement les plantes.
- les consommateurs primaires : ce sont les organismes qui se nourrissent des producteurs primaires, que l'on qualifie d'herbivores.
- les consommateurs secondaires : ce sont les organismes qui se nourrissent des consommateurs primaires, que l'on qualifie de carnivores.
- les décomposeurs : ce sont des organismes, comme les bactéries, les champignons ou encore les vers de terre qui se nourrissent des cadavres d'animaux, des restes végétaux ou encore des excréments.

¹⁹ dictionnaire d'agroécologie, <https://dicoagroecologie.fr/dictionnaire/reseaux-trophiques/>

Dans un écosystème, chaque espèce a un rôle important. Les producteurs permettent de nourrir les consommateurs qui en retour assurent un équilibre de l'écosystème en régulant les populations. Les décomposeurs quant à eux permettent de recycler la matière organique qui servira aux producteurs primaires. Il est primordial de ne pas considérer la chaîne trophique comme un système hiérarchique mais comme un tissu de relations complexes. Ainsi, dans un écosystème, le superprédateur n'est pas le dernier maillon de la chaîne qui bénéficie de la croissance de toutes les autres espèces mais un des maillons essentiels de l'équilibre des systèmes et de la biodiversité. Prenons l'exemple du loup. Ces dernières décennies, de nombreux acteurs se sont battus pour réintroduire l'espèce en France. Une de leur motivation principale était l'apport du loup pour la santé des forêts. La présence du loup permet en effet de réguler le nombre d'herbivores et de réduire la présence de phosphate et d'azote dans le sol ce qui permet de faciliter la pousse de la forêt. Celle-ci est d'ailleurs facilitée par ce qu'on appelle l'effet « paysage de la peur ». La simple présence du loup incite les proies à ne pas aller sur son territoire. Cette diminution de la pression facilite la pousse de la forêt qui bénéficie à son tour à de nombreuses autres espèces. C'est par exemple le cas du castor qui trouve de nombreux arbres, aménage les cours d'eau et crée ainsi des rivières plus calmes propice à davantage de biodiversité. On parle alors de cascade trophique.

Chaque écosystème a son réseau trophique propre, il n'existe pas de règles générales. Il est également primordial de considérer que chaque écosystème n'est pas figé mais est le résultat d'un équilibre dynamique.

On remarque d'ailleurs que plus on monte dans les niveaux trophiques, plus le nombre d'individus diminue. Il y a par exemple beaucoup plus de phytoplanctons que de grands prédateurs comme le requin dans les océans.

La présence des espèces en haut du réseau trophique est généralement signe de bonne santé de l'écosystème : pour simplifier, l'écosystème est assez productif pour assurer la survie des espèces les plus exigeantes en ressources.

Le réseau trophique est organisé de manière à assurer un développement pour tout le monde. De ce fait, la présence des espèces au sommet du réseau trophique profite aux espèces à la base de ce réseau. Il y a un cercle vertueux : plus il y a de gros animaux, plus y en a de petits et plus il y en a de petits, plus il y en a de gros.

C'est par exemple ce qu'on appelle le paradoxe du krill. Les baleines se nourrissent de ces petites crevettes dans des quantités astronomiques. Or, contrairement à ce qu'on pourrait penser, l'accroissement du nombre de baleines ne provoque pas une baisse de nombre du krill mais au contraire un accroissement. Cela s'explique par le fait que les défécations des baleines offrent plus de nutriments aux krills, qui peuvent alors mieux se développer.

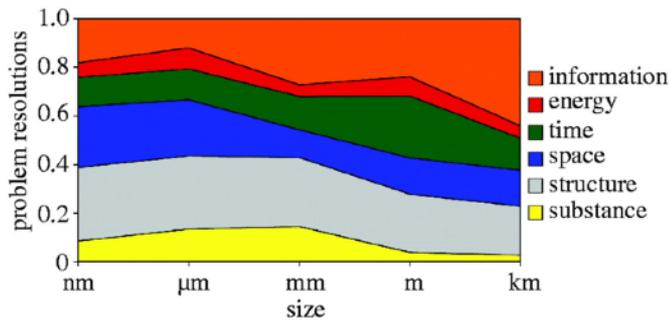
Conséquence de l'organisation en système trophique, la croissance ne produit donc aucun déchet puisque ceux-ci sont recyclés dans l'écosystème.

3-IMPORTANCE DE L'INFORMATION SUR L'ENERGIE

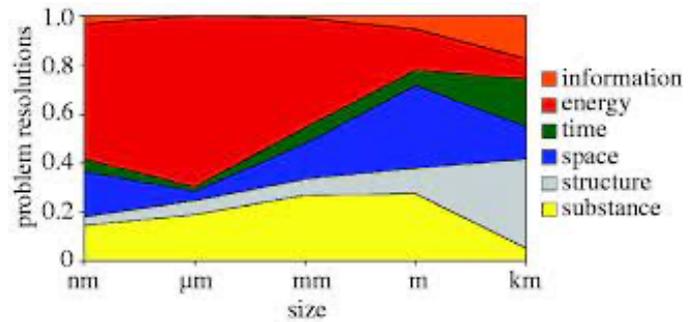
Dans un écosystème vivant, la croissance de la biomasse et le développement de l'écosystème passe avant tout par l'information, plus que par l'énergie. En effet, dans un écosystème riche, l'énergie est paradoxalement une ressource rare parce que convoitée par de nombreuses espèces.

Signe de cette rareté de l'énergie, l'écologiste américain Raymond Lindemann a établi que dans ceux-ci, seulement une fraction de l'énergie, estimée à 10 %, qui se trouve dans un niveau donné d'une chaîne trophique passe au niveau supérieur. C'est ce qu'on appelle la loi de Lindemann qui mesure l'efficacité écologique. Ce qui explique la forme « pyramidale » des niveaux trophiques puisque le super prédateur n'a finalement que peu d'énergie disponible en bout de chaîne. Ce qui explique aussi qu'ils sont moins nombreux.

Dans un article, publié en 2016, intitulé *Biomimetics: its practice and theory*, Julian Vincent a d'ailleurs montré les différences entre les réponses apportées par la nature et les réponses apportées par l'ingénierie humaine. Selon lui et son équipe, les solutions trouvées par les vivants misent sur l'information plutôt que sur l'énergie. C'est plutôt l'inverse pour les projets humains qui tendent à n'utiliser que l'énergie. Cela est d'autant plus vrai, comme nous pouvons le voir sous le schéma suivant, que plus la taille des projets augmente, plus c'est l'information qui va structurer la réponse dans le vivant.



Résolution dans la nature



Résolution dans les sociétés humaines

Source : Julian Vincent, *Biomimetics: its practice and theory*

Cette déperdition de l'énergie est à mettre en regard de la thermodynamique qui s'intéresse aux échanges d'énergie entre et dans les systèmes. Il y est surtout question d'entropie, qui mesure ce qu'on pourrait appeler la « qualité » de l'énergie. Plus l'entropie est forte, plus l'énergie est dégradée en qualité et donc difficilement transférable ou réutilisable. C'est selon la deuxième loi de la thermodynamique ce qui se passe dans nos systèmes à toutes les échelles ²⁰ au long du temps.

C-CONDITIONS DE LA PROSPERITE D'UN ECOSYSTEME

Parler de croissance d'un écosystème est une vision au final assez réductrice si on ne limite qu'à l'accroissement de sa biomasse. La croissance d'un écosystème n'est au final que le résultat de croissances, décroissances ou encore de périodes de relative stabilité dans cet écosystème. Cela est permis par plusieurs facteurs que l'on peut nommer les facteurs de la prospérité d'un écosystème.

1-BOUCLES DE RÉTROACTION ET MÉCANISMES DE RÉGULATIONS

Le dynamisme d'un écosystème implique une évolution des paramètres à travers le temps. Cette évolution dans un écosystème entraîne par effet domino des rétroactions. Une rétroaction désigne « l'action en retour d'un système à la modification d'un paramètre »²¹. Il existe deux types de rétroaction : les rétroactions positives et les rétroactions négatives.

²⁰ « Toute transformation d'un système thermodynamique s'effectue avec augmentation de l'entropie globale incluant l'entropie du système et du milieu extérieur. On dit alors qu'il y a création d'entropie. »

²¹ « rétroaction », *futura sciences*

Une rétroaction positive accroît l'effet de l'action initiale tandis qu'une rétroaction négative diminue l'effet de l'action initiale. Ces rétroactions sont essentielles à la stabilité de l'écosystème car les rétroactions permettent de corriger les perturbations en jouant un rôle d'amortisseur qui permet d'atténuer l'effet, afin d'éviter un emballement du système.

Prenons l'exemple des nuages pour expliciter ce qu'est une rétroaction négative. Lorsque la température augmente, l'évaporation de l'eau augmente à son tour, entraînant la création des nuages. Ces nuages absorbent alors plus de rayonnement solaire, ce qui permet de réduire la température.

A l'inverse, une rétroaction positive peut entraîner un basculement d'un écosystème vers un état chaotique. Prenons l'exemple ici du permafrost. La fonte du permafrost, qui permet l'absorption de rayonnements solaires, entraîne un réchauffement du climat. Ce réchauffement entraîne en retour une fonte accélérée du permafrost. Et ainsi de suite... Très schématiquement, on peut assimiler ces deux notions au concept de cercles vertueux et de cercles vicieux.

2-IMPORTANCE DES RELATIONS INTERSPÉCIFIQUES : LA COMPÉTITION N'EST PAS LA SEULE LOI

L'analyse des écosystèmes montre que si la compétition existe, elle se fait avant tout dans un cadre de coopération marqué par des relations de symbioses. Une loi semble émerger : quand les ressources sont abondantes, il y a compétition. Quand elles se raréfient, il y a collaboration. Dans Le livre *L'entraide, l'autre loi de la jungle* de Pablo Servigne et Gauthier Chapelle illustre parfaitement ceci au travers de l'exemple d'arbres. Dans une forêt abondante en ressources, la disparition d'un arbre va généralement entraîner la croissance d'un autre, montrant que les arbres étaient en compétition. Dans un milieu plus extrême, comme en montagne par exemple, la disparition d'un arbre va entraîner la décroissance de ceux situés à côté, car les arbres coopéraient. La coopération est un moteur essentiel de la croissance car elle permet d'accroître les interdépendances et d'être plus efficace d'un point de vue énergétique.

3-LES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES ET LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

La prospérité d'un écosystème tient aux nombreuses fonctions écologiques qui s'y déroulent. Selon l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN), les fonctions écologiques sont entendues comme « *les processus biologiques de fonctionnement et de maintien de l'écosystème* »²². Ces fonctions sont très nombreuses, il s'agit par exemple de l'auto-épuration de l'eau par des micro-organismes ou encore de la reproduction des espèces par la pollinisation. Notons que les bénéfices retirés par les humains de ces fonctions biologiques sont appelés les services écosystémiques. Il s'agit par exemple des ressources naturelles comme l'eau ou la régulation du climat.

4-IMPORTANCE DES CYCLES

Dans le vivant, il n'y a de stock que pour répondre aux enjeux cycliques. Par exemple, une plante va utiliser la nuit une partie de ce qu'elle a produit le jour pour continuer de vivre alors qu'il n'y a plus de soleil. Certains animaux stockent également, sous forme de graisse, de l'énergie l'hiver quand les ressources énergétiques sont plus faibles.

Le respect des cycles est une condition essentielle de la pérennité d'un écosystème. En effet, cela lui permet d'avoir suffisamment de temps pour se régénérer et pouvoir assurer une allocation efficace entre ce qui est produit et ce qui est consommé. Ce qui compte aussi, c'est le phasage des cycles entre les différentes espèces. Ce sont des interactions qui vont permettre à la chaîne alimentaire de fonctionner et donc aux écosystèmes de perdurer. Prenons l'exemple du phytoplancton et du zooplancton dans les océans. Le zooplancton est un des premiers maillons de la chaîne alimentaire dans les océans. Il est la base de nourriture de nombreuses espèces comme les baleines. Leur croissance dépend de la quantité de nutriments disponibles qui sont en l'occurrence les phytoplanctons. Comme nous l'avons vu, le phytoplancton atteint son bloom autour du mois d'avril. C'est précisément à cette période que le zooplancton remonte du fond de l'océan pour se nourrir et assurer leur croissance, car les quantités sont les plus importantes. Un décalage des deux cycles provoquerait une très forte diminution de la quantité de zooplanctons avec des effets importants sur l'ensemble de la chaîne alimentaire.

²² « *Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France* », IUCN (https://uicn.fr/wp-content/uploads/2016/09/Brochure_Panorama_des_services-vol1.pdf),

5-RÉSILIENCE ET RÉGÉNÉRATION :

La pérennité d'un écosystème tient aussi à sa capacité de résilience et de régénération. Elle est définie par sa capacité à se remettre d'une perturbation. Ainsi, après un feu, certaines espèces sont capables de repousser grâce à certains mécanismes. Les résineux, par exemple, ont certaines graines qui ne poussent qu'après le passage du feu. D'autres plantes maintiennent une existence sous terre et sont capables de repousser après le passage du feu. La régénération permet un renouvellement des espèces.

Cette résilience est permise par plusieurs propriétés du système : la diversité qui augmente les interactions, la redondance qui implique qu'une fonction est remplie par plusieurs organismes et l'adaptation grâce à l'autorégulation.

Cette capacité de régénération est aussi permise par ce qu'on appelle la mémoire des écosystèmes. Celle-ci est définie²³ comme « *la capacité du passé à influencer la trajectoire actuelle des écosystèmes* ». Une étude²⁴ a par exemple montré que les coraux avaient connu une disparition moindre en 2017 que 2016, année d'étude marquée par une augmentation de la température de l'eau, perturbant le cycle des coraux. Les chercheurs considèrent qu'une partie des coraux a adapté sa stratégie d'une année sur l'autre, en fonction des paramètres connues lors de la première perturbation pour trouver d'autres stratégies. Cette mémoire écologique impliquerait néanmoins un temps long pour être pleinement effectif. Dans le cas des coraux, la mémoire écologique n'est pour l'instant pas suffisante du tout, le déclin étant important.

Cette capacité de résilience et de régénération, et donc de dégradation, tout comme de croissance, doit être appréhendée avec la notion de continuum. Une

²³ (Ecological memory modifies the cumulative impact of recurrent climate extremes, *Nature*, Terry P. Hughes 1,7*, James T. Kerry1,7, Sean R. Connolly 1,2,7, Andrew H. Baird 1, C. Mark Eakin.)

²⁴ « Comment la mémoire écologique des coraux a permis à certains récifs de résister au réchauffement climatique », *France Inter*, Alex Villard, 2018

étude scientifique²⁵ a ainsi montré qu'il n'y a pas de point de basculement qui entrainerait la chute d'un écosystème mais que la dégradation serait lente et continue. Corollaire de cela, le point de basculement n'est pas nécessairement un évènement de forte intensité mais peut aussi être de beaucoup plus faible importance tout en ayant un impact important. Les scientifiques notent toutefois qu'ils existent bien des effets seuils, comme l'augmentation de la température de l'océan pour les coraux, mais que ceux-ci sont moindres : sur les 4600 écosystèmes analysés par les scientifiques, seuls 5% se dégradent en fonction d'un effet seuil prévu.

6-UN SYSTEME SOUS-OPTIMISÉ?

Dans le biomimétisme, l'idée de l'optimisation est omniprésente. C'est d'ailleurs l'une des motivations même du biomimétisme. Pour ses promoteurs, l'un des grands avantages du vivant est sa capacité à optimiser. On l'a vu par exemple pour l'os dont la structure croit en fonction de différentes contraintes physiques : il n'y a rajout de matière que lorsque la partie concernée subit plus de forces. Dans le cas contraire, c'est le minimum de matière qui est assurée. Si cette vision est plutôt vraie à l'échelle individuelle ou d'un organisme ou à une échelle locale, des chercheurs ont montré qu'à une échelle écosystémique ou du supra-système, un écosystème est d'abord fondé sur la sous-optimalité. C'est ce que défend notamment le biologiste Olivier Hamant dans son livre *La troisième voie du vivant*. Pour l'auteur, l'optimisation à échelle systémique est source de fragilité. Et à l'inverse, c'est la sous-optimalité qui permet de construire la robustesse. Selon lui, le vivant construit avant tout sur l'aléatoire, sur l'incertitude, l'incohérence sur la redondance, sur du chaos, ou encore sur du conflit. Ce sont ces ingrédients-mêmes qui permettent la résilience. Cela laisse une marge de manœuvre pour s'adapter au changement. Pour illustrer cela, Olivier Hamant prend l'exemple de la température corporelle. En cas de fièvre, l'organisme continue de fonctionner malgré une température plus élevée que la température de fonctionnement normale. Sans cette marge de manœuvre, la moindre hausse conduirait à la dégradation de l'intégrité de l'écosystème. La notion d'efficacité semble donc la plus adéquate.

²⁵ « Existe-il- un point de non retour dans les écosystèmes ? », Laure Cailloce, septembre 2020, CNRS journal, <https://lejournel.cnr.fr/articles/existe-t-il-un-point-de-non-retour-dans-les->

D-Dysfonctionnement d'un écosystème : exemple des sols et de la production de pétrole

Le pétrole peut être considéré comme un déchet à l'échelle d'un écosystème. Il est le résultat d'une dégradation dysfonctionnelle de la matière organique par le sol.

La formation du pétrole s'est faite sur plusieurs dizaines de millions d'années. Il est issu des résidus de l'accumulation de matière organique, des végétaux, des animaux morts...) qui ne sont pas décomposés. Cette matière se mélange ensuite à des minerais, qui s'accumulent et se transforment, devenant du kérosène. Puis en s'enfonçant dans la croûte terrestre, la température et la pression augmentent. Ce sont les conditions idéales pour la transformation du kérosène en pétrole. Une fois formé, le pétrole reste à l'état de stock.

4/Synthèse des grandes principes

A la lumière de la compréhension de la croissance dans le vivant, et ce à différentes échelles, nous pouvons en dégager plusieurs principes (le système est compris ci-dessous aussi bien comme un individu, qu'une population ou qu'un écosystème):

1-La croissance est un processus qui permet d'atteindre un seuil de viabilité dans une optique de la survie à long terme d'un système. Elle s'arrête quand ce seuil est atteint, ce sans quoi elle finit par détruire l'intégrité du système. Voilà pourquoi elle n'est qu'une étapes dans le cycle de vie d'une espèce, d'une population ou d'un écosystème.

2- La croissance ne joue qu'un rôle d'expansion dans le développement d'un système. Elle est quantitative quand le développement est lui qualitatif. Le développement est premier, la croissance est seconde.

2-L'évolution, et non simplement la croissance, est ce qui caractérise les changements aux différentes échelles, à travers le temps, d'un système. L'évolution désigne les mécanismes par lesquels les populations varient, les espèces se transforment, naissent ou encore s'adaptent. L'évolution peut être vue comme une synthèse entre croissance et développement à travers le temps. Elle implique également des phases de croissance et des phases de décroissance quand le système n'est pas à la bonne échelle, soit trop gros, soit trop petit, pour survivre. C'est un donc fonctionnement dynamique et non pas statique, basé sur les relations, les interdépendances et l'influence de l'environnement.

3-On ne parle pas de la croissance mais des croissances qui dépendent des contraintes physiques internes au système et externes à celui-ci, issus du milieu, et dont le rythme varie lui aussi. Il existe aussi plusieurs stratégies de croissances.

4-Le changement d'échelle entraîne un changement de nature.

5-Une croissance excessive, sans lien avec son milieu, remet en cause l'intégrité d'un système et finit par entraîner sa destruction. C'est pourquoi des mécanismes de régulation et des limites existent. Quand les conditions du milieu ne permettent plus la viabilité du système, celui-ci décroît.

6-La croissance est une étape extrêmement énergivore, et par conséquent non viable sur le long-terme.

7-La croissance ne peut être comprise que dans l'interdépendance entre les différentes échelles. La croissance d'un système dépend et influe sur son suprasystème tout comme son sous-système.

CONCLUSION

Cette partie nous a permis de mieux comprendre le fonctionnement de la croissance dans les écosystèmes, dont nous avons pu dégager quelques principes clés. Poursuivons maintenant la bio-inspiration pour mieux saisir, à la lumière de ces connaissances, les convergences et les divergences dans la conception de la croissance économique au sein des sociétés humaines.

PARTIE 2 : QUELLE CROISSANCE DANS NOS SOCIÉTÉS HUMAINES ?



Forts de cette meilleure compréhension de la manière dont fonctionne la croissance à partir des sciences du vivant, nous allons dans cette deuxième partie utiliser ce que nous avons vu pour réfléchir à la place de la croissance dans nos sociétés humaines. Il s'agira d'établir les divergences et les convergences avec les grands principes établis précédemment.

I/Nécessaire réévaluation des principes économiques ?

A-EN FINIR AVEC UNE CROISSANCE OPPORTUNISTE, INCOMPATIBLE AVEC LES LIMITES DE LA TERRE.

Dans le livre *Biomimétisme, quand la nature inspire des innovations durables*, Janine Benyus fait une analogie entre l'espèce humaine et les espèces qu'elle qualifie de type 1. Ces dernières sont dites opportunistes, c'est-à-dire qu'elles occupent une niche dans laquelle leur stratégie est de croître à court-terme. Autrement dit, elles maximisent l'assimilation de nutriments pour s'étendre, sans prendre en compte la régénération de ces ressources. Pour la biologiste américaine, cette situation s'explique par le fait que ces espèces ont la possibilité de changer de niche rapidement. Quand l'abondance n'est plus présente dans une niche, elles se dirigent vers un autre écosystème tout aussi abondant. Pour les êtres humains, cette possibilité est épuisée du fait de la consommation des ressources et de l'impossibilité, jusqu'ici, de changer de planète. Pour pousser l'analogie jusqu'au bout, l'autrice prend l'exemple de vers de terre placés dans une boîte fermée riche en ressources. Les vers vont se multiplier tout en diminuant les ressources disponibles. Mais face à l'impossibilité de sortir, ils vont finir par se dévorer jusqu'à s'éteindre car les ressources ne sont pas renouvelées.

Cette métaphore est tout à fait indiquée pour témoigner de l'évolution des sociétés humaines, surtout dans le monde dit « occidental ». L'ensemble des indicateurs sont d'ailleurs sans équivoque : la croissance s'est faite et se fait au-delà des ressources de notre écosystème. Les activités des humains, principalement dans les pays les plus développés, ont depuis plusieurs décennies, causé de nombreux dégâts sur nos écosystèmes. Contrairement à ce que nous avons vu dans la partie 1 en

étudiant le fonctionnement des écosystèmes vivants, notre croissance s'affranchit de toutes les capacités de renouvellement. C'est d'ailleurs ce que montre le jour du dépassement qui ne cesse d'avancer dans l'année depuis des décennies. En France, en 2022, dès le 5 mai, nous avons consommé tout ce que la Terre est capable de produire en une année²⁶. Outre les dégâts portés à notre écosystème, notre croissance se retourne contre nous. Un article scientifique publié en mai dernier²⁷ a fait état pour la première fois de traces de plastique retrouvées dans le sang humain. On estime également à 9 millions le nombre de morts par an à cause de la pollution de l'eau, du sol ou de l'air.²⁸

Cette destruction de l'environnement n'est d'ailleurs pas que conjoncturelle et limitée à certaines parties de notre planète. Elle est systémique. C'est ce qu'a montré en 2009 un groupe d'experts emmené par Johan Rockstrom. Ils ont établi que nous devons prendre en compte, pour assurer la viabilité de la vie sur notre planète, neuf limites planétaires : le réchauffement climatique, l'érosion de la biodiversité, l'appauvrissement de la couche d'ozone, la pollution atmosphérique en aérosol, l'acidification des océans, la déforestation, la perturbation des cycles de l'azote et du phosphore, l'introduction de nouvelles substances chimiques, et la perturbation du cycle de l'eau douce. Dépasser ces limites planétaires reviendrait selon les auteurs à un changement irréversible de l'écosystème. Or, il est établi que nous avons aujourd'hui déjà dépassé six de ces neuf limites planétaires²⁹ : le changement climatique, l'érosion de la biodiversité, les perturbations du cycle de l'azote et du phosphore, l'appauvrissement des sols, l'introduction de nouvelles substances et le cycle de l'eau douce.

²⁶ "Jour du dépassement en France : « En vérité chaque seconde compte »", Public Sénat, 5 mai 2022, <https://www.publicsenat.fr/article/politique/jour-du-depassement-en-france-en-verite-chaque-seconde-compte-205563>

²⁷ "Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood", Heather A. Leslea Martin J.M. van Velzena Sicco H. Brandsmaa A. Dick Vethaakab Juan J. Garcia-Vallejoc Marja H. Lamoreea, 22 mai 2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412022001258>

²⁸ "La pollution est responsable de 9 millions de morts chaque année dans le monde", , Le Monde, 18 mai 2022, https://www.lemonde.fr/planete/article/2022/05/18/la-pollution-est-responsable-de-9-millions-de-morts-chaque-annee-dans-le-monde_6126552_3244.html

²⁹ <https://www.radiofrance.fr/franceculture/pollution-chimique-sur-neuf-limites-planetaires-cinq-ont-desormais-ete-depassees-6534920>, Pierre Ropert, Mai 2022, <https://www.radiofrance.fr/franceculture/pollution-chimique-sur-neuf-limites-planetaires-cinq-ont-desormais-ete-depassees-6534920>

B-L'ÉCONOMIE A PERDU SA JUSTE PLACE

Nombreux sont les critiques à considérer que c'est avant tout nos modèles économiques et donc de développement qui sont la cause du dépassement de ces limites.

Pourtant, cette exclusion de l'économie par rapport à la planète n'est pas historiquement la norme. Les premières réflexions économiques avaient pleinement intégré la question des ressources. Étymologiquement parlant, économie et écologie sont d'ailleurs des synonymes. Économie vient du grec « oikos » qui signifie maison et de « nomos » qui signifie gestion. Le terme écologie a la même racine « oikos » auquel on peut adjoindre le terme « logos » qui signifie matrice. L'économie n'était qu'une fille de l'écologie car il ne pouvait pas y avoir d'économie sans écologie.

Dans son livre *Économie de la nature*, le philosophe Alain Denault retrace l'évolution de la pensée économique. Selon lui, le terme écologie est apparu bien après celui d'économie de la nature dont la première occurrence date du XVIIIème siècle. Pour ses premiers auteurs, l'économie de la nature désigne « *l'organisation des relations entre les espèces au vue du climat du territoire et leur évolution* ». Il y a donc une volonté de penser les interdépendances entre les espèces, dont l'espèce humaine, en pensant les relations dans un écosystème. C'est avec l'arrivée des physiocrates au XVIIIème siècle qu'il y a eu un basculement. Ces derniers sont d'ailleurs considérés comme les inventeurs de la science économique. Leur postulat de départ est assez simple : penser l'économie à partir de l'agriculture. Il en découle une idée de domination d'un système fermé, le champ, qui représente un capital à partir duquel l'Homme va pouvoir s'enrichir et donc croître. Cette restriction de l'économie va également entrainer une modification de la notion de valeur : celle-ci n'est comprise que dans une dimension monétaire. Autrement dit, avec l'arrivée des Physiocrates, il n'y a de valeur que dans ce qui peut se compter. Alors que chez un auteur comme Darwin, la valeur tenait aussi dans une forme de contingence, dans la part de mystère de l'évolution des espèces naturelles, elle n'a plus qu'une dimension extrêmement réduite.

C'est sur cette évolution que s'est construit au fil du temps le prisme économique et comptable qui domine aujourd'hui notre société. Considérée seulement sous le prisme quantitatif, pratiquer l'économie conduit, logiquement mais de manière réductrice, à la volonté de maximiser la croissance coûte que coûte. Or, comme

nous l'avons vu dans la première partie, la seule chose qui croît pour croître est le cancer.

Voilà pourquoi la croissance ne peut pas s'affranchir de la phase de développement. Cette phase dite qualitative est essentielle dans les processus de croissance du vivant.

C-REDONNER SA PLACE À LA CROISSANCE : LA CROISSANCE N'EST PAS MAUVAISE EN SOI

Même si la croissance purement quantitative est soumise à de nombreuses critiques, elle n'en demeure pas néanmoins dénuée d'un certain intérêt, à condition de n'être qu'une étape et non pas l'alpha et l'oméga de toute politique économique.

D'ailleurs si on reprend l'histoire de l'humanité, la croissance est finalement une période excessivement courte. Les économistes ont montré que les 18 premiers siècles ont été une période de croissance quasi nulle. C'est seulement à partir du XVIII^{ème} siècle, époque des Physiocrates et du début de l'agriculture mécanique, que la croissance telle que nous la connaissons aujourd'hui débute. C'est avec l'invention du semoir électrique que l'agriculture et donc l'économie prend un autre essor. Cette invention va être le prélude à de nombreuses autres évolutions techniques, comme l'apparition du chemin de fer et de la machine à vapeur, ouvrant ainsi la voie à l'accroissement de la production. C'est véritablement après la seconde guerre mondiale que la croissance bat son plein : entre 1949 et 1973 le produit intérieur brut de la France est multiplié par 6 avec une croissance mesurée à plus 5,3 % par an³⁰ . C'est après le choc pétrolier de 1973 que la croissance commence à ralentir, 2 % pour la France. Aujourd'hui, la croissance économique du fait de la multiplication des crises est beaucoup plus ténue. Certains économistes parlent même de stagflation pour parler d'une période marquée par une croissance faible et une inflation forte.

³⁰ « Une brève histoire de la croissance », Denis Clerc, 2013, *Alternatives Economiques*; <https://www.alternatives-economiques.fr/une-breve-histoire-de-croissance/00061017>

On peut donc supposer que la croissance, au-delà même de l'illusion selon laquelle elle est illimitée, va s'arrêter un jour, si ce n'est déjà le cas au regard des faibles chiffres de la croissance, à l'image de ce que nous avons vu dans le vivant où celle-ci n'est qu'une étape. Pour Denis Meadows, auteur d'un rapport précurseur sur les limites de la croissance dès 1972, avec sa femme Donella Meadows, estime³¹ même que la croissance est terminée.

La croissance n'est d'ailleurs pas mauvaise en soi. A l'image de la croissance des écosystèmes, la croissance a permis une amélioration des conditions de vie, alors même que la population s'accroissait, garantissant les besoins humains essentiels. Mais d'après ce que nous avons appris dans la première partie, l'analogie faite avec la croissance dans les écosystèmes ne tient plus la route sur plusieurs points.

Le premier est que la recherche de la croissance en tant que politique économique est devenu une norme, et non pas une période transitoire. Le Produit Intérieur Brut (PIB), inventé aux États-Unis par l'économiste Richard Kuznets, a été importé en Europe, et donc en France après la seconde guerre mondiale et le Plan Marshall destinée à reconstruire une Europe détruite³². Dans un contexte où il fallait tout rebâtir, la croissance faisait sens. Mais une fois cette reconstruction passée, cet indicateur a suscité des critiques, renforçant l'idée qu'il ne jouait plus son rôle. Dès 1974, soit à la fin de la période des 30 glorieuses, des premières études ont montré que la croissance, dépassé un certain plancher, n'impliquait pas une amélioration du sentiment de bonheur chez les populations. Par exemple, une étude a montré que la proportion de personne se déclarant plutôt satisfaites de leur vie sur la période 1975-2000 était stable, autour de 75 %, malgré une croissance du PIB de 60 %³³.

Le second tient à la capacité de redistribution de cette croissance. Nous l'avons vu dans un écosystème stable, on assiste à une forme de redistribution à l'ensemble des espèces présentes. De nombreux travaux, dont notamment ceux de Thomas

³¹ *La fin de la croissance ? Denis Meadows, Podcast Sismique, <https://www.sismique.fr/post/77-la-fin-de-la-croissance-dennis-meadows>*

³² *Comment expliquer la longévité du PIB face aux indicateurs alternatifs de richesses, Ministère de la transition écologique et SOLIDAIRE, FEVRIER 2018, <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-11/document-travail-37-indicateurs-richesse-fevrier2018.pdf>*

³³ *Comment expliquer la longévité du PIB face aux indicateurs alternatifs de richesses, Ministère de la transition écologique et solidaire, février 2018, <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-11/document-travail-37-indicateurs-richesse-fevrier2018.pdf>*

Piketty, dans une « Brève Histoire de l'égalité », ont montré que la croissance tend à accroître les inégalités.

Autre grande divergence, dans un écosystème, la croissance n'est pas censée détruire l'écosystème. Or nous l'avons vu un peu plus haut de nombreux chiffres et étude attestent non seulement d'un épuisement des ressources mais d'une destruction de la biodiversité en raison des activités humaines.

Enfin, la croissance ne semble plus liée aux besoins humains, ce qui semble traduire sa déconnexion avec sa finalité. Prenons l'exemple de la production alimentaire. Dans le monde, on estime que 20% de la nourriture finit par être jetée chaque année³⁴. Dans le même temps, l'Organisation des Nations-Unies (ONU) estime que près de 690 millions de personnes ont souffert de la faim en 2019³⁵, un chiffre en constante augmentation.

Voilà pourquoi, si la croissance ne semble plus adaptée aux sociétés matures comme celle des pays développés, elle a encore toute sa place dans les sociétés où les besoins primaires ne sont pas assouvis. Car à l'image de la croissance dans le vivant, il y a un seuil minimum pour vivre. Et c'est la croissance, entendue comme une augmentation en volume et masse de l'activité économique traduisant la satisfaction des besoins, qui permet de l'atteindre. La croissance est aussi importante à mesure que la population augmente car il faut pouvoir partager les richesses produites. Or, nous le venons de le voir, le principe distributif de la croissance est lui aussi de plus en plus remis en cause.

A échelle individuelle, elle l'est également chez les personnes disposant d'un niveau de vie plus faible. En France par exemple, Il est tout à fait légitime que les personnes les plus pauvres, soit près de 9 millions de personnes³⁶, puissent prétendre à une croissance de leurs revenus. Pour les plus aisés, un taux de croissance aussi important que celui que nous connaissons actuellement est moins justifiable dans

³⁴ « Gaspillage alimentaire : dans le monde, près de 20 % de la nourriture est jetée à la poubelle », *Les échos*, 4 mars 2021, <https://www.lesechos.fr/monde/enjeux-internationaux/gaspillage-alimentaire-dans-le-monde-pres-de-20-de-la-nourriture-est-jetee-a-la-poubelle-1295483>

³⁵ « Dans le monde, de plus en plus de monde souffrent de faim », juillet 2020, UNICEF, <https://www.unicef.fr/article/dans-le-monde-de-plus-en-plus-de-personnes-souffrent-de-la-faim>

³⁶ En 2018, en France métropolitaine, 9,3 millions de personnes vivent en dessous du seuil de pauvreté monétaire, fixé à 60 % du niveau de vie médian selon l'Insee

la mesure où leurs besoins essentiels sont assurés, que leur empreinte écologique est bien plus forte³⁷ et que la croissance financière des plus riches ne se redistribuent pas dans le reste de l'économie. Il ne s'agit pas là d'être dans une vision morale ou anti-riches mais de considérer que le seuil de richesses ou les écarts ne sont plus proportionnées aux conséquences sur la société, d'un point de vue écologique, ni de réponses aux besoins. Ou alors il s'agit de croître pour croître, comme le cancer.

D-REQUESTIONNER LES PRINCIPES ÉCONOMIQUES ?

Comme nous l'avons vu avec Alain Denault, la porosité entre économie et écologie est forte. Il n'est donc pas étonnant que l'on retrouve de nombreux termes communs entre économie et écologie : le terme croissance en est certainement un des plus grands exemples. Mais l'on peut penser aussi à bien d'autres termes comme celui d'évolution, de sélection, d'adaptation ou encore de compétition. Pour autant, l'entrée par le prisme écologique invite à repenser certains principes, en particulier ceux attachés à la notion de croissance. Prenons par exemple le concept d'externalités. Pour les économistes classiques et néoclassiques, les externalités sont définies comme « *le fait que l'activité de production ou de consommation d'un agent économique crée un avantage ou un désavantage à autrui, sans aucune contrepartie financière* »³⁸. Certaines externalités sont dites « positives » quand elles bénéficient aux autres agents et d'autres sont dites « négatives » lorsqu'au contraire elles impactent les autres agents. Or dans un écosystème, la notion d'externalités ne fait pas sens car tout y est intégré : un effet négatif a des conséquences sur l'ensemble des espèces et des organismes. On peut donc supposer que considérer que payer une compensation pour un acte de destruction de l'environnement ne fait pas sens.

La notion de ruissellement, qui impliquerait que les plus aisés redistribuent leur argent aux plus pauvres est également remise en cause si nous adoptons un raisonnement analogique avec le système trophique. En effet, s'il y a ruissellement, il ne se fait que dans un sens, des espèces situées en bas du réseau vers les super

³⁷Selon le GIEC, Les 10% de ménages les plus riches représentent entre 36% et 45% des émissions totales de gaz à effet de serre responsables du changement climatique (https://www.huffingtonpost.fr/entry/giec-les-plus-riches-representent-pres-de-la-moitie-des-emissions_fr_624b34b6e4b0e44de9c59d21)

³⁸ Lexique, externalité, Novethic, <https://www.novethic.fr/lexique/detail/externalite.html>

prédateurs, qui ont besoin du plus d'énergie. Voilà pourquoi dans un écosystème, les super prédateurs sont, en un sens, plus fragiles que les espèces au début de la chaîne. Car la régulation d'une espèce dépend avant tout de sa capacité à se nourrir plus que sa régulation par un prédateur. Repensons ici à l'exemple des sardines de Méditerranée dont la taille diminue en raison de la baisse du plancton disponible.

La lecture biologique nous invite aussi à repenser le dogme de la sélection naturelle pensée sous le prisme de la compétition. Dans nos économies, nous considérons que la loi du plus fort est de mise : les entreprises les plus innovantes finissent par détruire celles qui ne le sont pas, les meilleurs sont ceux qui réussissent les concours... Et la politique économique est globalement tournée vers ce dogme. Pourtant, comme le montre François Sarano dans son livre *Au nom des requins*, la sélection naturelle ne consiste pas à sélectionner le plus fort mais le plus apte. Ce n'est donc pas une sélection négative mais une sélection positive. Pour François Sarano, la nature sélectionne « selon prisme « morphologie-physiologie-comportement ». Tant que cela fonctionne et permet la reproduction, il n'y a pas d'élimination. Voilà pourquoi il existe autant de diversité dans les écosystèmes car cela est permis par ce processus de sélection.

A l'inverse, la bioinspiration de la croissance dans le vivant va dans le sens de certaines théories économiques. En faisant une analogie entre niche écologique et secteurs d'activités par exemple, une réflexion suivant le mécanisme de fonctionnement de la croissance dans le vivant nous invite à valider la volonté de lutter contre ce qu'on appelle les « trusts », telle que préconisé par la théorie économique. Ces entreprises qui ont des positions dominantes sur plusieurs marchés, soit sur plusieurs niches écologiques, finissent par envahir un territoire. Elles n'ont plus vraiment de compétiteurs et peuvent s'étendre sans régulation. Pensons ici aux géants du numérique dont les appels au démantèlement sont réguliers. A titre d'exemple, la justice américaine appelle régulièrement à des changements structurels chez Google³⁹.

³⁹ « La justice américaine s'attaque à google, vers un démantèlement ? », 20/10/2020, <https://www.capital.fr/entreprises-marches/la-justice-americaine-sattaque-a-google-vers-un-demantelement-1383699>

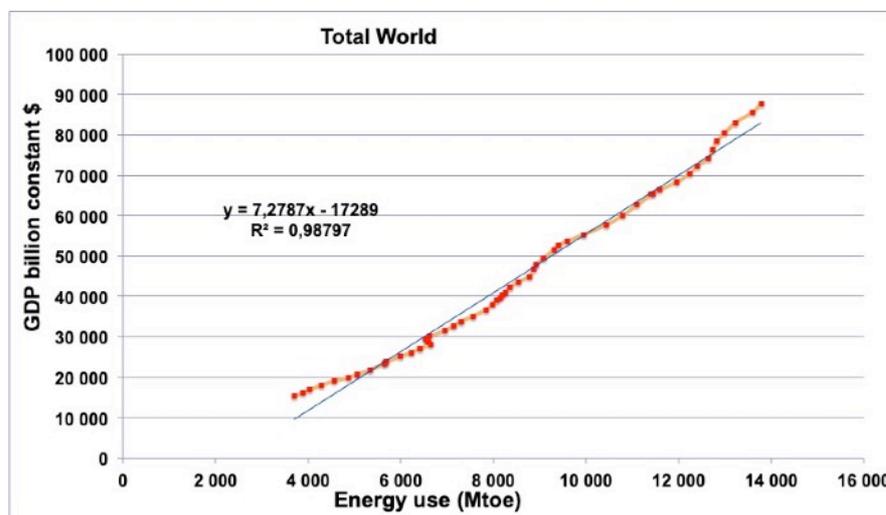
La notion de cycle est aussi intéressante car elle est à la fois présente dans le vivant et dans l'économie. L'économiste autrichien Joseph Schumpeter a théorisé par exemple la notion de destruction créatrice pour décrire la disparition de certains champs économiques et l'apparition de nouveaux au cours du temps. Un consensus économique a été aussi établi pour montrer que croissance et récession s'alternent au cours du temps, même si des divergences existent sur les causes et la durée de ces cycles. Pour autant, à de rares exceptions près, qui concernent principalement des événements externes, les cycles dans le vivant et ce à toutes les échelles ne sont pas chaotiques, à l'inverse de ce que nous voyons dans les sociétés humaines. On pourrait émettre l'hypothèse que cela s'explique par le fait que ces moments de crise ne sont pas un moment de réflexion et de remise en question des racines de ceux-ci, mais au contraire souvent une invitation à répondre par du plus. Pensons notamment ici aux grandes crises financières causées par la spéculation qui n'ont véritablement jamais remis en cause le système financier, mais souvent aggravées.

E-L'ÉNERGIE, UNE QUESTION SUBALTERNE ?

Si une chose est prépondérante dans la croissance des écosystèmes, nous l'avons vu dans la première partie, c'est la question de l'énergie. Qu'elles soient sous forme de nutriments, de rayons solaires ou encore d'éléments chimiques, l'énergie joue un rôle essentiel dans la croissance des individus, des populations et des écosystèmes. Pour les économistes néoclassiques, dont les idées dominent aujourd'hui la science économique, cette question de l'énergie est pourtant considérée comme une question subalterne, et ce pour au moins 3 raisons. La première tient au fait que les ressources leur apparaissent comme illimitées, au moins à court et moyen-terme. La seconde tient au fait que les ressources sont considérées comme un capital, au même titre que l'argent ou le travail. La dernière tient au fait que pour eux, les ressources sont dites substituables, c'est-à-dire qu'on peut les remplacer par de la technologie ou encore du travail humain. Cette substituabilité implique aussi souvent la notion de réversibilité : la technologie sera, selon eux, capable de réparer les dégâts. Voilà pourquoi, pour les économistes classiques et néoclassiques, on peut hypothéquer l'avenir car il y aurait toujours un moyen de retrouver un état initial.

Cette considération est d'autant plus problématique que, à la lumière d'une analogie avec le vivant, on peut supposer que la croissance s'accompagne d'une

intensification de la consommation d'énergie, hypothèse confirmée d'ailleurs par les analyses disponibles. En effet, les données montrent que le niveau de croissance est corrélé à la consommation d'énergie. A quelques différences près, elle suit le même niveau. D'une certaine manière, on peut considérer que le PIB est tout autant un indicateur énergétique qu'économique.



PIB mondial en milliards de dollars constants (axe vertical) et consommation d'énergie mondiale en millions de tonnes équivalent pétrole (axe horizontal), pour les années 1965 à 2019.

(Source : Jean-Marc Jancovici, *Vive la croissance Verte*, 2021)

A partir de là, on peut se demander si la croissance peut se faire avec une utilisation moindre de l'énergie. Pour Jean-Marc Jancovici, spécialiste de la décarbonation, « une telle conjonction semble pourtant hautement improbable sur le plan physique ». Pour lui, le rythme de la croissance mondiale n'est possible que par l'utilisation de machines et de technologies qui ont rendu possible ce que les hommes n'était pas capables de faire, en tout cas à une telle échelle. A la différence des espèces vivantes ces machines ont besoin, pour l'instant, d'une énergie secondaire issue de la transformation de ressources naturelles : majoritairement du pétrole et du charbon, ou de manière moins large à l'échelle humaine du plutonium... Si bien que toute croissance nécessitera une somme d'énergie qui paraît quoi qu'il en soit beaucoup plus importante que ce que les écosystèmes peuvent nous fournir sans effet secondaires importants, comme par exemple les émissions à effet de serre issues des énergies fossiles ou la destruction de la biodiversité à échelle locale. Voilà pourquoi de nombreux doutes existent sur notre capacité à pouvoir assurer les besoins en énergie tout en restant dans une politique

de croissance. Il reste alors une possibilité pour y arriver : le découplage entre énergie et croissance.

C'est d'ailleurs sur cette promesse que les économistes classiques solutionnent la question de l'énergie : ils font le pari que la technologie pourra s'affranchir de ses contraintes énergétiques en consommant moins et en limitant les effets secondaires.

Il s'agit certainement là du plus grand point de désaccord entre les partisans de l'économie classique et ceux de l'économie dite écologique, ces derniers jugeant que c'est physiquement impossible. Certains ont même été des précurseurs. C'est notamment le cas du roumain Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994).

Pour lui⁴⁰, l'économie ne doit pas être basée sur les lois de la mécanique, comme c'est le cas actuellement, mais sur les lois de la thermodynamique qui étudient les transferts d'énergie entre les systèmes. Contrairement à la conception mécanique, la thermodynamique inclut la notion de finitude et de limites dans notre système. Elle considère aussi que les ressources ne sont pas au même niveau que le capital ou la productivité, les premiers changeant de nature alors que les second non. Les ressources sont premières car elles sont nécessaires au travail et au capital, qu'ils ne peuvent pas substituer. La thermodynamique divise ainsi le monde en système et sous-systèmes fermés ou ouverts, dont l'énergie évolue et se transmet entre de manière irréversible (par exemple l'énergie de l'eau chaude se dissipe vers l'eau froide mais non pas l'inverse) et où l'énergie est de moins utilisable à mesure qu'elle est transférée entre système : il est ainsi théoriquement impossible de récupérer 100 % de l'énergie produite par la combustion du pétrole pour produire la même quantité d'énergie et ainsi de suite. Selon lui, la Terre est un système ouvert si nous utilisons les rayonnements solaires (ce qui impliquerait une énergie en continue et illimitée) mais devient fermée avec les énergies fossiles.

Enfin, pour Nicholas Georgescu-Roegen, la technologie ne peut pas être une solution à tout. En effet, c'est, selon lui, un éternel recommencement : il faut de la

⁴⁰ NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN, *POUR UNE RÉVOLUTION BIOÉCONOMIQUE*, ANTOINE MISSEMER, ENS ÉDITION, 2013

technologie pour créer de la technologie et donc des matières et de ressources à réutiliser à chaque fois.

II-Remise en cause de certains dogmes philosophiques

Au-delà de l'économie, la compréhension de la croissance que nous avons détaillée dans la première partie nous invite à mieux comprendre pourquoi nous, espèce humaine, sommes tant attachés à celle-ci. Il s'agit avant tout de comprendre la vision occidentale de la croissance car c'est cette vision qui domine jusqu'ici.

A-LA CROISSANCE COMME PROGRÈS

Croissance et progrès ont suivi une trajectoire intimement liée. Voilà pourquoi la notions de décroissance revêt certainement une connotation négative pour de nombreuses personnes. La question de l'imaginaire est d'ailleurs frontalement évoquée par Denis Meadows pour parler de l'addiction à la croissance. Car aujourd'hui la croissance est synonyme de bonheur. Autrement dit, selon lui, « *toute tentative pour proposer une société qui consomme moins d'énergie se heurte à l'argument vous voulez nous faire revenir à l'âge de pierre ?* »⁴¹

D'un point de vue historique, il est vrai que la croissance a joué un rôle primordial dans l'amélioration des conditions de vie, notamment après la première et la seconde guerre mondiale qui ont ravagé une grande partie du monde et surtout l'Europe. Pour autant, de nombreux indicateurs montrent des signes que cette croissance à marche forcée ne produit plus les résultats escomptés. La pauvreté stagne voire empire, les inégalités augmentent...

On peut également souligner que la croissance est un héritage du développement de l'Occident, et notamment des grandes puissances anglo-saxonnes qui, de par leur puissance, ont infusé le reste des nations dites aujourd'hui développées. Au-

⁴¹ *La fin de la croissance ?* Denis Meadows, Podcast Sismique, <https://www.sismique.fr/post/77-la-fin-de-la-croissance-dennis-meadows>

delà de l'aspect monétaire et de l'accumulation des richesses, il y a derrière cette idéologie l'idée que l'expansion, le dynamisme, la mobilité sont essentielles à la survie. Sans quoi il y aura forcément une régression. C'est le philosophe Hartmut Rosa qui, dans son livre *Résonance, Une sociologie de la relation au monde*, identifie l'accélération comme une des principales caractéristiques de notre monde moderne. Pour lui, c'est avant la peur d'avoir moins qui justifie une course effrénée chez les individus. Ces derniers sont condamnés à avoir toujours plus pour rester stables.

Dans leur livre, *Héritage et Fermeture, pour une écologie du démantèlement*, les chercheurs Emmanuel Bonnet, Diego Landivar et Alexandre Monin montrent bien que la croissance, telle que nous la menons aujourd'hui, s'inscrit dans une conception bien particulière du monde. Ils parlent d'une « cosmologie de projet » où le monde n'est qu'un projet pour l'Homme. Il en découle ici une appropriation du langage par le secteur économique et du management, et la construction artificielle du monde comme une dualité Monde/Homme et donc Nature/Homme. Or, l'expansion de cette conception et sa promotion à travers de nombreuses institutions, comme le Fond Monétaire International (FMI), nous a laissé penser que c'était la seule solution, l'unique façon d'être au monde.

Le lien entre croissance et progrès a aussi été fabriqué par les acteurs économiques et publics. C'est que nous apprenons dans le documentaire, *The century of the self* ⁴², retraçant l'utilisation des découvertes de Freud autour du psychisme dans la sphère publique. Selon le documentaire, les grandes entreprises américaines ont, à la suite à la crise de 1930, lutté contre les tentatives de régulation du gouvernement. Leur stratégie a été de déployer un imaginaire autour du rôle des entreprises dans la réalisation du progrès technique et la réponse aux besoins. La croissance permettait selon eux la création d'emplois, de richesses et la satisfaction des désirs humains. Le problème est que ce n'était plus aux gouvernements, et donc aux citoyens de décider de leurs désirs, mais aux acteurs économiques d'apporter les réponses, car « seuls ces derniers en étaient capables ». C'est une stratégie qui irrigue aujourd'hui le monde à travers le marketing et la publicité.

42 "The century of the self", Adam Curtis, 2002

Enfin, une hypothèse, purement biologique, que nous pouvons faire est que l'évolution fait partie intégrante des espèces habitant la Terre, dont la nôtre. C'est d'ailleurs l'hypothèse défendue par le biologiste Leigh Van Valen⁴³. Selon lui, les espèces sont sans cesse obligées d'évoluer et de s'adapter pour co-exister de manière pérenne. Lorsque deux espèces ont une interaction forte, une modification du comportement d'une espèce entraîne l'adaptation de l'autre, nécessaire à sa survie et sa reproduction : on parle alors de co-évolution adaptative. On retrouve ces comportements aussi bien dans les relations de mutualisme/symbiose que dans les relations de compétition. Une proie va par exemple développer un mécanisme de défense face à son prédateur. Celui-ci va en retour adapter sa stratégie. Et ainsi de suite. Voilà pourquoi nous avons peut-être toujours ce besoin d'être en mouvement ou d'avoir la sensation de ne pas faire du surplace. Or aujourd'hui, une des problématiques est de réduire l'évolution à la simple croissance. Et cela peut expliquer pour quoi un terme comme « la décroissance » fait aussi peur. Ce biais du surplace est d'ailleurs pleinement exploité par l'idéologie de la croissance et celle la compétition qui nous invite à avoir toujours plus, à franchir toutes les limites possibles. C'est d'ailleurs ce qu'on appelle la course aux armements : deux nations rivales vont tenter d'avoir en permanence la meilleure arme pour prendre le dessus l'une sur l'autre, conduisant à des développements militaires toujours plus puissants : arme nucléaire, missile hypersonique, arme biologique...

B-VISION MÉCANIQUE DE LA NATURE ET PRIMAUTÉ DE LA NORME

Parmi les divergences notables entre la croissance observée dans les sociétés humaines et celle observée dans la nature, la vision mécanique de la nature est certainement l'une des principales causes des dégâts occasionnés par l'idéologie de la croissance.

Cette vision, principalement occidentale, s'est développée notamment au travers de la religion chrétienne, prônant une vision anthropocentrée et l'instauration du rationalisme comme dogme. Dans cette entreprise, la science a été réduite à un outil de maîtrise de la nature, comme le montre Val Plumwood dans son livre *Réanimer la Nature*. Selon elle, cette infusion culturelle au fil des siècles a créé et renforcé la

⁴³ « Hypothèse de la dame rouge », Wikipédia, consulté le 21 mai 2022, https://fr.wikipedia.org/wiki/Hypothèse_de_la_reine_rouge

scission Homme/Nature et enfermé les êtres vivants non humains dans une vision dite de réductionnisme matérialisme : la nature n'est qu'une matière et in fine qu'une ressource.

Cette vision a entraîné une mise à distance de l'environnement par l'Homme. Ce dernier n'avait qu'à comprendre les lois de la nature et se l'approprier pour la dominer. Or, nous l'avons vu dans la première partie, l'étude des systèmes écologiques nous invite d'abord à l'humilité de par leur complexité. Les interactions, les boucles de rétroactions, les cycles sont tellement nombreux qu'un modèle ne saurait pleinement l'expliquer.

Une autre conséquence de la vision mécanique de la nature est certainement d'oublier la diversité des écosystèmes et le fonctionnement propre d'un biotope. Or, la croissance dans nos sociétés s'est accompagnée d'une diffusion de normes à portée universelle, facilitée par la mondialisation. Tout doit être pareil dans tous les pays du monde. Suzanne Berger, dans sans son livre *Made in Monde*⁴⁴, parle même d'une « économie de Légo » pour caractériser une production qui se fait par des modules interchangeables à travers le monde. Or cette question de la norme est plus que questionnable, au prisme de l'analogie avec le vivant.

Elle l'est d'abord d'un point de vue de la diversité car comme nous l'avons vu, la croissance favorise la biodiversité afin notamment de faciliter la résilience aux chocs. Elle l'est ensuite d'un point de vue formelle. Comme nous l'avons vu dans la première partie, la croissance et la forme sont intimement liées. La croissance tend à s'adapter au milieu plutôt que l'inverse, donnant une forme située, c'est-à-dire qui prend en compte le biotope. Or la norme implique l'inverse. Il n'y a pas de prise en compte de l'environnement mais une volonté de faire rentrer le réel, coûte que coûte, dans cette norme. Ce qui implique que le local n'est peu, voire pas, pris en compte. La norme, d'un point de vue design, pose aussi le risque de s'affranchir de toutes régulations et limites puisqu'elle implique une répliquabilité à quasi l'infini (sans prendre en compte les questions d'énergie et de capacité de production ou de transport) et une mise à l'échelle sans changement de nature. Autrement dit, 10 000 conteneurs superposés auront les mêmes propriétés et contraintes que deux conteneurs superposés. Il n'est pas étonnant dès lors que les normes profitent avant

44 « *Made in monde, les Nouvelles frontières de l'économie mondiale* », Suzanne Berger, 2006

tout aux plus grosses entreprises et institutions, et qu'elles permettent leur croissance au détriment des plus petites.

A l'opposé, comme nous l'avons vu dans la partie une, dans la nature, le changement d'échelle suppose un changement de nature : il ne suffit pas de multiplier les dimensions d'un os par 100 pour avoir un os 100 fois plus grand. On peut faire l'hypothèse que ce principe permet de poser, par design, des limites.

Il ne s'agit pas ici bien entendu de remettre en cause toutes les normes mais d'interroger leurs proportions prises à une échelle systémique, l'absence de régulations ou encore l'absence de rediscussions de celles-ci.

Autre conséquence de la vision mécanique de la société et de la primauté des normes, il s'agit de la vision linéaire qui guide les décisions. Comme le soulignent les trois auteurs du livre *Héritage et fermeture*, cette vision implique de voir tout problème comme une crise à régler, jusqu'à la prochaine incongruité. Cette course en avant n'invite ni à réfléchir aux causes, ni à prendre en cause les cycles dans la nature. Elle explique aussi pourquoi peut-être la technologie et la technique ont pris tant de place dans nos sociétés, et paraissent être le seul horizon pour résoudre les crises écologiques et sociales amenées à s'amplifier. Il n'est pas étonnant dès lors que la géo-ingénierie, qui consiste à modifier le climat et les équilibres terrestres pour s'adapter aux changements climatiques, devienne une solution envisagée par la gouvernance mondiale. Cela a en tout cas été mis à l'agenda⁴⁵ de la Commission mondiale sur la gouvernance des risques liés au dépassement climatique, commission créé récemment au forum de Paris sur la paix et antichambre aux discussions à l'Organisation des Nations-Unies (ONU).

Il en résulte enfin une primauté de l'utilitarisme. Celui-ci est définie par le Centre National de Ressources Textuelles (CNRT) comme une « *doctrine qui fait de l'utile, de ce qui sert à la vie ou au bonheur, le principe de toutes les valeurs dans le domaine de la connaissance comme dans celui de l'action* ». Appliquée dans le champ économique, cela implique que tout ce qui n'a pas d'utilité en matière économique n'a pas sa place ou alors qu'il faut justifier d'une valeur économique pour considérer cela comme acceptable. Ou bien que seule la valeur économique

⁴⁵ « CERTAINES DES TECHNOLOGIES ENVISAGÉES POUR MAINTENIR HABITABLE LA TERRE RELÈVENT DU CAUCHEMAR », STÉPHANE FOU CART, 29 MAI 2022, LE MONDE

compte et peut justifier toute action. C'est d'ailleurs ce qu'on retrouve la plupart du temps dans les arbitrages qui sont faits : l'emploi suffit bien souvent à justifier tout dégât sur l'environnement, y compris ceux qui finissent par se retourner contre les sociétés humaines. Cet utilitarisme s'est d'ailleurs déporté sur la gestion des écosystèmes. Il y a eu et il y a encore une exploitation des espèces pour leur valeur économique : les cornes d'éléphants, les peaux de phoque, les ailerons de requin... jusqu'à leur quasi extinction. Au nom d'une relative inutilité, il n'est pas aussi pas justifiable et justifier de protéger certaines espèces. Enfin, l'utilitarisme peut dans une certaine mesure justifier une séparation entre l'Homme et la Nature. : En protégeant certaines zones, en interdisant leur accès aux êtres humains, on peut justifier une croissance démesurée ailleurs. C'est le principe de la compensation.

D'ailleurs cette vue utilitariste est assez présente dans l'écologie : des études évaluent la pollinisation des abeilles à une valeur de 150 milliards d'euros dans le monde, une baleine vaut 1000 milliards de dollars pour son rôle dans la captation du carbone ... Si cette vision a le mérite de redonner une certaine valeur à ce qui est détruit, elle est par certains points réductrice. Et elle peut comporter des effets pervers : destruction des espèces qui ne valent rien, nouvelle appropriation de la nature... Certains acteurs dénoncent même cette position, appelant à dépasser l'utilitarisme qui est considérée comme la cause de nos problèmes. Il s'agit notamment de l'océanographe François Sarano. Dans le livre, *Réconcilier les hommes avec la vie sauvage*, co-écrit avec Coralie Schaub, il déclare ainsi : « Malheureusement, même les écologistes jouent le jeu des économistes en bataillant avec des chiffres pour démontrer que les êtres vivants sont économiquement rentables. Ils comparent la valeur économique du mérrou vivant et du mérrou mort, du requin libre et de celui transformé en soupe. Ils protègent la forêt alluviale parce qu'elle rend des services écosystémiques, parce qu'elle épure l'eau polluée. Et on ne va la garder que parce qu'elle nous sert à économiser de l'argent qu'on va pouvoir investir ailleurs. Cette manière de voir, c'est la fin du monde ! »⁴⁶

46 Chapitre 2, « Préserver l'océan et les créatures qui y vivent, c'est indispensable ! »

C-L'HOMME, SÉPARÉ DES ÉCOSYSTÈMES ?

Dans la première partie, sur la compréhension des mécanismes dans les écosystèmes, il a été peu question de l'espèce humaine. Pourtant, celle-ci a un impact important sur l'évolution des écosystèmes, puisque au même titre que les autres espèces, elle en est partie prenante. Preuve en est, de nombreux scientifiques parlent aujourd'hui d'Anthropocène pour qualifier notre période. Selon eux, l'impact de l'Homme sur notre planète est telle que celle-ci porte des traces géologiques de notre action et que nous sommes, pour la première fois dans l'histoire, les acteurs du changement climatique de la Terre.

Cette vision de l'Homme comme séparé des écosystèmes a deux conséquences majeures. La première est celle de se mettre dans une position de domination vis-à-vis de celle-ci, la nature étant un « supermarché » pour notre espèce. La croissance effrénée telle que nous la vivons en est la meilleure preuve. La seconde est de penser que nous n'aurons pas à subir les conséquences d'une modification trop abrupte du climat et de la perte de la biodiversité. Ni de voir les conséquences climatiques sur la dégradation des conditions de vie, alors même que la réduction de la pauvreté est un des grands mantras des défenseurs d'une croissance illimitée. La Banque mondiale a pourtant estimé en 2015 que 100 millions de personnes pourraient basculer dans la pauvreté du fait du changement climatique.⁴⁷ Le philosophe Bruno Latour parle même d'actants pour qualifier les éléments non-humains qui agissent sur les humains et qui infusent notre vie.

Cette conception en dehors des choses, d'un monde comme un supermarché où tout est disponible tout le temps, tout est stocké, est probablement à l'origine d'une croissance qui a montré ses limites : dérégulations, déni des dépendances, quête de l'individualisme et croyance, certainement disproportionnée, dans les capacités des hommes à tout résoudre. C'est d'ailleurs ce qu'on retrouve chez certaines voix⁴⁸ qui appellent, pour résoudre la crise écologique, à plus de croissance et plus d'investissements afin de trouver les réponses adéquates.

⁴⁷ « Inégalités mondiales et changement climatique », Revue de l'OFCE, Cecile Guivarch, 2020 <https://www.cairn.info/revue-de-l-ofce-2020-1-page-35.htm>

⁴⁸ Voir par exemple « Face à l'urgence climatique, le camp de l'adaptation et celui de la rupture », Philippe Escande, Le Monde, 30 mai 2022, https://www.lemonde.fr/economie/article/2022/05/30/face-a-l-urgence-climatique-le-camp-de-l-adaptation-et-celui-de-la-rupture_6128164_3234.html

La nécessaire inclusion de l'Homme dans les écosystèmes invite aussi à repenser la place de la biodiversité dans l'équilibre de notre monde. Si la crise climatique est aujourd'hui un problème qui fait globalement consensus, même si les solutions divergent, la biodiversité est encore peu mise à l'agenda bien qu'elle soit particulièrement menacée. Les scientifiques s'accordent même pour parler d'une sixième extinction⁴⁹. Pourtant, nous l'avons vu, la biodiversité est essentielle pour l'équilibre des écosystèmes. Elle l'est également pour maintenir l'habitabilité de notre Terre. On parle d'ailleurs des services écosystémiques pour rendre compte des bénéfices tirés par les êtres humains de l'activité de la biodiversité : production d'oxygène, absorption du carbone, pollinisation des plantes, purification de l'eau, bien-être (biophilie)... La disparition de la biodiversité aura donc un impact sur les ressources, au même titre que la modification du climat.

Signe du profond lien entre écosystème et espèce humaine, là où les écosystèmes sont maltraités, les êtres humains le sont souvent aussi.

D-LE MYTHE DE LA PERFORMANCE, NOURRI PAR L'IDÉOLOGIE DU CALCUL

L'idéologie de la croissance s'inscrit aussi pleinement dans la quête de performance qui anime notre société. Cette performance peut être comprise comme la maximisation des moyens en vue d'atteindre les meilleures places dans un contexte de compétition, animée par une approche essentiellement quantitative. Elle peut être également vue comme la volonté d'exhiber cette performance, de la rendre publique, de la rendre visible.

Cette recherche de la performance s'explique par une volonté de faire toujours plus, de produire toujours plus, de tout maximiser. On comprend dès lors que c'est la quantité, la mesure, le calcul qui prime, et qui nous guide. Avec la volonté d'avoir des résultats tout de suite.

Nous voyons donc se dessiner ici plusieurs différences avec la croissance dans le vivant, telle que nous l'avons vu dans la première partie.

⁴⁹« Vers une sixième extinction de masse », Bruno David, GreenlecteurClub, 2021

La première est la prévalence du court terme sur le long terme. La croissance à toutes les échelles dans le vivant est pensée dans le long terme, dans une logique d'assurer la reproduction, la survie, et l'adaptation. Aujourd'hui, cette vision du long terme n'est absolument pas la norme. Dans son livre intitulé *Le vide stratégique*, Philippe Baumard démontre d'ailleurs que nos sociétés humaines ont abandonné l'idée de la vision stratégique sur le long terme pour laisser place à une vision essentiellement tactique, de court-terme.

La seconde différence tient à la volonté de tout optimiser, de tout maximiser. Si cela est vrai pour certaines échelles du vivant, plus on se rapproche d'une logique écosystémique, moins l'optimisation est de mise. Il ne s'agit pas de maximiser mais de trouver un compromis entre plusieurs paramètres qui permettent l'efficacité du système sur le long-terme. Pour le biologiste Olivier Hamant, c'est justement la redondance, le hasard, la sous-optimalité ou encore l'erreur qui permettent aux vivants de perdurer. Ce sont les conditions-mêmes de sa robustesse car les marges laissent au système une capacité d'adaptation en cas de choc. La redondance permet par exemple à plusieurs organismes de remplir une même fonction ce qui permet au système d'absorber les chocs.

La troisième différence, et qui découle de cette volonté de tout maximiser, touche à la question de la taille. Nous l'avons vu dans les écosystèmes, l'échelle joue un rôle primordial. Il ne suffit pas d'agrandir les dimensions par 10 d'une araignée pour avoir la même araignée d'une taille 10 fois plus importante. Cette question du non-dimensionnement de notre société à nos besoins a d'ailleurs fait l'objet de plusieurs ouvrages. Citons-en deux. Jan Gehl, architecte et urbaniste, dans *La société à échelle humaine* appelle à en finir avec « toutes ces constructions complètement démesurées qui finissent par être contre-productives à l'idée de convivialité ». Olivier Rey, dans *Une question de taille*, montre à quel point nos technologies, notre monde, sont devenus disproportionnés, et finissent par créer plus de problèmes que par en résoudre.

Il en devient que la taille est devenue un élément majeur dans la décision de nombreux acteurs, probablement à une échelle disproportionnée. Prenons le cas de l'entreprise Renault. Une des marques de fabrique du constructeur automobile était de fabriquer des voitures de petite taille. Or aujourd'hui, dans une logique de marché et de rentabilité, elle ne produit que des voitures beaucoup plus imposantes,

ces fameux SUV, qui connaissent une croissance importante. Or cette question de taille n'est pas sans conséquences sur les ressources. Il faut beaucoup plus de matière et d'énergie pour produire et faire rouler une grosse voiture qu'une petite. ... Certaines infrastructures ont même une durée de vie de quelques années. Ce sont ce que les économistes appellent les éléphants blancs⁵⁰. Il s'agit par exemple des nombreuses infrastructures olympiques qui ne survivent pas après l'événement en raison de leur inadéquation aux besoins locaux et de leurs coûts impossibles à assumer une fois le grand événement passé..

La dernière différence, et certainement la plus importante, c'est la confusion entre quantité et qualité. Dans un écosystème, croissance et développement vont de pair : le développement, associé à une évolution quantitative, joue même un rôle primordial. Passé un certain stade de maturité, la croissance est ponctuelle et ne sert qu'à régénérer un manque. Par exemple, suite à un coup de soleil, nous reproduisons des cellules pour palier la disparition de celles touchées. Or cet aspect qualitatif semble avoir disparu des politiques basées sur la croissance. Voilà pourquoi, face à un problème, les sociétés omnibulées par la croissance ont tendance à privilégier une réponse par le plus plutôt que par le mieux. Une des illustrations les plus probantes de cette prééminence de la quantité sur la qualité, ou le fait de voir que plus quantité est en soi une qualité, est la transformation sémantique de l'indicateur du niveau de vie vers celui du pouvoir d'achat.

Le symbole de la primauté du quantitatif sur le qualitatif est d'ailleurs le Produit Intérieur Brut (PIB). Celui-ci mesure la valeur ajoutée et donc la croissance, avec d'énormes biais. Par exemple, en cas de pollution majeure, il y aura un regain d'activités économiques en raison des moyens mobilisés pour nettoyer. Et donc une croissance du PIB. Ni les conséquences environnementales, ni l'activité bénévole, souvent utilisée en renfort (pensons ici par exemple aux marées noires) ne sont comptabilisées. Voilà pourquoi cet indicateur est d'ailleurs de plus en plus remis en cause avec la volonté d'y adjoindre des critères qualitatifs comme le bien-être, l'éducation, l'accès aux services publics...

⁵⁰ « Elephants blancs, les ruines du rêve olympique » par Guillaume de Champs, Lucie Plançon et Marjorie Terral <http://multimedia-sorbonne.com/Jo/ElephantsBlancs/>

Conclusion

Cette partie nous a montré que bien que le terme croissance soit partagé entre la biologie et l'économie, il y a d'énormes divergences entre ce qui se passe dans le vivant et ce qui se passe dans nos économies. Prise dans nos sociétés humaines, la croissance est réduite à la quantité et au court-terme, et assimilée, à tort, à l'évolution. C'est l'inverse dans le vivant : la croissance n'est qu'une étape, le développement est primordial et c'est le long-terme qui prime.

PARTIE 3 : CARTOGRAPHIE DE DIRECTIONS



Maintenant que nous avons vu comment la croissance humaine s'est installée peu à peu dans notre paysage politique et économique en s'éloignant des principes issus du vivant, nous allons voir ici un panorama de directions qui se rapprochent des modalités de la croissance prise dans son prisme biologique.

I-Repenser le cahier des Charges

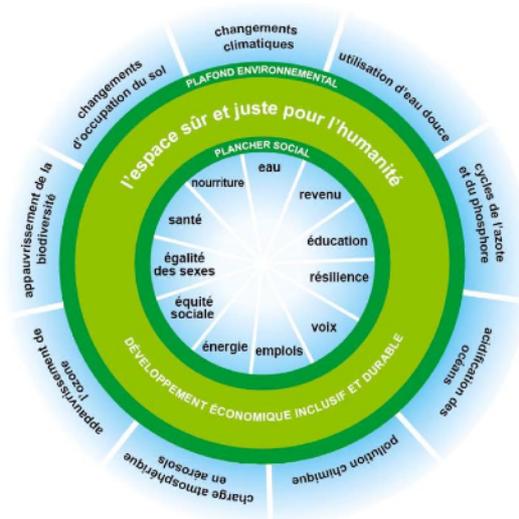
A-POUR UN DESIGN DES LIMITES

Ce qui est intéressant dans le vivant, c'est la notion de compromis. Comme nous l'avons vu dans la nature, la croissance n'est pas une maximisation ni une minimisation d'un paramètre mais un compromis entre plusieurs paramètres. Ce sont ces compromis qui font la diversité mais également la viabilité d'un système vivant. C'est par exemple le cas de la croissance d'un os qui doit résoudre le compromis solidité/poids. Voilà pourquoi nous pouvons repenser la manière de concevoir les projets en faisant évoluer le cahier des charges. Plusieurs approches existent déjà : l'économie du donut, le Framework for Sustainable Development, l'écomimétisme, la permaéconomie, les principes du vivant, la sous-optimalité, la redirection écologique,.

-L'économie du Donut

L'économie du Donut a été théorisée par l'économiste britannique Kate Raworth avec un objectif principal : concilier développement humain et protection de l'environnement. Elle part du principe que la croissance économique est nécessaire pour répondre aux besoins humains fondamentaux comme l'accès à la nourriture ou à l'éducation. Voilà pourquoi le développement économique doit permettre de franchir un certain seuil. Celui-ci est défini comme le plancher social. L'économiste ajoute cependant un deuxième seuil, celui des limites planétaires, à ne pas dépasser par les activités économiques. C'est le plancher dit environnemental.

Toute action juste se situe entre ces deux limites puisque si la croissance est nécessaire aux défis humains, le dépassement des limites est contreproductif car il cause à nouveau les maux combattus : famine, perte d'habitats...



Représentation graphique du modèle de l'économie du Donut

Source : Bon pote, <https://bonpote.com/leconomie-du-donut-definition-et-analyse-critique/>

Ce modèle fait d'ailleurs l'objet d'une expérimentation dans la ville d'Amsterdam qui souhaite utiliser les travaux de l'économie du donut pour le futur développement de la ville et notamment les nouveaux projets⁵¹.

Toutefois, si ce modèle est intéressant, la notion de limite mérite d'être prise avec des pincettes. La première raison est, nous l'avons vu dans la partie une, que la notion de limite dans la gestion écologique est remise en cause par différentes études scientifiques. La dégradation d'un écosystème se fait très majoritairement par une pluralité de dépassements de seuils et non pas en raison d'un seul évènement à grand impact. De ce fait, une attention particulièrement importante doit être portée aux systèmes dans leur globalité, et de manière continue, dans un souci de préserver un ensemble de paramètres plutôt qu'un seul comme une quantité d'espèces présentes ou l'absence d'un élément chimique dans l'eau par exemple. Autre point important, c'est la notion de transfert d'impact. Si les écosystèmes ont leur propre singularité à l'échelle mondiale, ils ne sont néanmoins pas isolés pour la plupart d'entre eux. Cela implique ce qu'on appelle l'effet papillon : un petit évènement dans un écosystème peut avoir de gros impact dans

⁵¹ "A Amsterdam, un donut pour adoucir la ville" Margaux Solinas, 2021, https://www.liberation.fr/plus/a-amsterdam-un-donut-pour-adoucir-la-ville-20210422_L2SY7NP72NFKBDXSE3RWFSK33A/

un écosystème B. C'est parfois ce qui se passe dans les politiques publiques : la réduction d'un impact n'est en effet dû qu'à son transfert vers un autre écosystème. Prenons par exemple la déforestation. Si nous arrêtons la déforestation en France mais que nous la remplaçons par une importation d'une forêt d'Amazonie par exemple, on parlera d'un transfert d'impact.

-Le Framework For Sustainable Development

C'est peut-être là que le modèle naturel step ou Framework For Sustainable Development paraît extrêmement intéressant. Derrière ce modèle il y a l'idée de se doter d'un nouveau cahier des charges pour s'assurer de la compatibilité d'un projet avec les contraintes planétaires. Plus précisément le modèle dessine quatre paramètres importants à respecter pour limiter les impacts des solutions envisagées⁵² :

La nature n'est pas sujette à augmenter systématiquement :

- 1- les concentrations de substances provenant de la croûte terrestre (telles que le CO2 fossile, les métaux lourds et les minéraux)
- 2- les concentrations de substances produites par la société (comme les antibiotiques et les perturbateurs endocriniens)
- 3- la dégradation par des moyens physiques (comme la déforestation et le drainage des nappes phréatiques).
- 4- et dans cette société, il n'y a pas d'obstacles structurels à la santé, à l'influence, à la compétence, à l'impartialité et au sens des personnes.

Respecter ses principes, c'est déjà s'inscrire dans une forme de durabilité.

-l'écomimétisme

Ce basculement dans le cahier des charges et la manière de concevoir des projets afin de concilier développement économique et respect de la nature peut aussi passer par une approche dont l'objectif est de « copier » le fonctionnement d'un écosystème. C'est en tout cas la solution proposée par Michael Pawlin dans son ouvrage *Biomimétisme et architecture*. L'architecte anglais démontre que notre manière de faire projet diffère complètement du fonctionnement d'un

⁵²The natural step, <https://thenaturalstep.org>

écosystème naturel. Et ce sur plusieurs points que nous pouvons résumer dans le tableau ci-dessous :

Système humain	Ecosystème naturel
flux de ressources linéaires	circuits fermés, flux de ressources riches en feedback
déconnecté et mono fonctionnel	densément interconnecté et symbiotique
résistant au changement	adapté au changement constant
gaspillage	tout est un nutriment
toxines permanentes	pas de toxines permanents
souvent centralisé et mono culturel	distribué et divers
controlé hiérarchiquement	autorégulé de manière récurrente
dépendant des énergies fossiles	fonctionne à l'énergie solaire
conçu pour maximiser un but	optimisé comme un système entier
extractif	régénératif
utilise des ressources mondiales	utilise des ressources locales

Principales caractéristiques d'un système humain versus un écosystème naturel

Selon lui, nous aurions tout intérêt à copier le fonctionnement d'un écosystème pour garantir le respect des limites planétaires. Cela passe par une approche dite selon lui dit additive : on enrichit peu à peu le système avec de nouvelles fonctions des relations d'interdépendances.

-Les principes du vivant

Cette invitation à repenser le cahier des charges « en copiant » le vivant n'est pas sans nous faire penser aux principes du vivant. Ces principes regroupent un ensemble de règles que l'on retrouve de manière récurrente dans le vivant et qui sont des principes de bon fonctionnement. Dans le guide Karim⁵³, il est fait état de

⁵³ « A guide to entrepreneurs and innovation support organizations to implement Biomimicry as a tool for responsible innovation », • Michka MÉLO*, Kalina RASKIN* & Michel DAIGNEY, Paris Region Entreprises, Sebastiaan DE NEUBOURG, Greenloop , Tarik CHEKCHAK, French Committee of Biomimicry Europa, Janvier 2015 https://ceebios.com/wp-content/uploads/2020/09/Guide_Biomimicry_Karim.pdf

plusieurs principes qui peuvent guider les projets d'innovation : l'auto-assemblage, la modularité, la résilience, la multifonctionnalité, l'adaptabilité, la capacité d'évolution, la capacité d'apprentissage, la forme qui suit la fonction, la capacité de réparation, le désassemblage, l'utilisation de ressources renouvelables, le recyclage et l'emploi de matériaux recyclables, l'usage de ressources locales, l'absence d'utilisation de ressources fossiles, l'approvisionnement mutualisé, l'usage de matériaux compatibles avec le vivant, la chimie verte, l'eau comme solvant, l'utilisation des éléments abondants, la construction additive, l'usage de matériaux biodégradables, la capacité de production d'énergie, la diversité des stratégies de stockage et de distribution...

Là aussi, ces principes peuvent nous guider dans la construction d'une économie plus soutenable.

- La permaéconomie

Développé par Emmanuel Delannoy, la permaéconomie invite à repenser nos systèmes économiques, en reprenant les principes de la permaculture telle que définis par son fondateur David Holmgren dans les années 1970 pour les transposer au domaine économique. Ces principes, au nombre de 12 sont les suivants: 1/ observer et interagir, 2/capter et stocker de l'énergie, 3/obtenir une production, 4/ appliquer l'auto-régulation et accepter la rétroaction, 5/utiliser et valoriser les ressources et les services renouvelables, 6/ne produire aucun déchet, 7/la conception des motifs aux détails et 8/intégrer au lieu de ségréguer 8/utiliser des solutions lentes et à petite échelle 9/Se servir de la diversité et la valoriser 10/utiliser les bordures et valoriser les marges 11/Face au changement, être inventif

-la sous-optimalité et la robustesse

Développée par le biologiste Olivier Hamant dans son livre *La troisième voie du vivant*, l'idée de sous-optimalité invite à créer autour de la notion de robustesse. Pour lui, il ne s'agit pas seulement de s'adapter mais être aussi adaptable, comme dans la nature. Avec les changements climatiques, encore plus que dans des conditions normales, il est plus qu'important de prévoir l'imprévu, d'avoir une marge

Pour Olivier Hamant⁵⁴, le vivant en est un exemple : « *Le rendement de la photosynthèse quand on considère sa capacité à capter la lumière du soleil est de 1%. Bien moins qu'un panneau solaire. Le panneau solaire, fait avec des terres rares, peut avoir un rendement de 20-30 %, voire jusqu'à 50 % dans certains cas. On pourrait dire que le vivant garde 99 % de marge de manœuvre. Cela doit nous questionner. Quand nous augmentons les rendements par des incréments d'efficacité, nous prenons aussi des risques. Quand on optimise, on fragilise* ».

Voilà pourquoi, il nous invite à construire des sociétés autour de la notion d'incertitudes, de hasards, de redondances, d'erreurs, qui sont pourtant des notions combattues par la société de la performance.

Point important, le biomimétisme ou l'écomimétisme ne conditionnent aucunement l'aspect durable d'une solution. L'inspiration du vivant est bien sûr soumise à de plus amples études sur la soutenabilité car copier un écosystème ou appliquer ses principes n'est aujourd'hui pas suffisant pour s'assurer de son caractère conforme aux limites planétaires.

-Redirection écologique

Théorisée par les membres d'Origens Medialab, Alexandre Monin, Emmanuel Bonnet et Diego Landivar⁵⁵, la redirection écologique s'inscrit dans une volonté de dépasser la notion de transition écologique et de développement durable. Pour ces auteurs, les crises que nous vivons, et plus particulièrement d'un point de vue écologique, ne doivent pas nous amener à nous interroger simplement sur les moyens (comme nous invite à le faire le développement durable), mais aussi à interroger les racines de notre système, dont beaucoup de pratiques sont aujourd'hui incompatibles avec les limites planétaires. Ce qui implique que, pour les chercheurs, nous devons renoncer à certaines activités. Cela nécessite de prendre en compte les attachements que nous avons pour être capable de se limiter. Cela invite aussi à se doter de mécanismes sociaux ou d'institutions capables d'être plus à même d'accompagner les transformations.

⁵⁴« *S'inspirer du vivant pour bâtir la ville résiliente* », DIXIT, 13 juillet 2021, <https://dixit.net/olivier-hamant-ville-resiliente/>

⁵⁵ Voir *Héritage et Fermeture*, Emmanuel Bonnet, Diego Landivar et Alexandre Monnet, Édition Divergence, 2021

Cette refonte des institutions est un axe de recherche particulièrement intéressant car aujourd'hui la croissance économique est l'alpha et l'oméga de toutes les politiques publiques. Et ce pour plusieurs raisons. D'abord parce que dans une économie marquée par la dette, la croissance est un moyen de faciliter son remboursement et d'alléger son fardeau. Ensuite, nos institutions ont été créées dans un contexte où le prisme écologique était un impensé. Voilà pourquoi, pour un décideur public, et nous pouvons le comprendre, il est encore aujourd'hui extrêmement difficile ne pas privilégier un projet synonyme de croissance. Voilà pourquoi la redirection écologique nous invite aussi à être capable de ne pas faire un projet et d'accepter une forme d'improductions, et à réfléchir sur les clichés, ce qui nous fait avancer sans que nous le questionnons.

B-POUR UN DESIGN DE LA SOBRIÉTÉ : MISER SUR BIEN PLUS QUE DE LA TECHNOLOGIE

Nous l'avons vu, dans le vivant, l'information est cruciale quand il s'agit d'évoluer. Ce principe nous invite à réinterroger la place que nous donnons à la technologie et aux solutions techniques dans les solutions qui nous permettent d'évoluer. En effet si on peut voir les technologies comme un moyen d'information, il ne faut pas oublier que celles-ci sont énergivores puisqu'elles nécessitent de l'énergie pour fonctionner et des minerais rares pour être fabriquées. C'est d'ailleurs sur cette idée de limites physiques et d'énergie que repose toute la critique de la croissance verte emmenée notamment par le théoricien du mouvement low-tech, Philippe Bihouix. Pour ce dernier⁵⁶, le recours à la technologie offre plusieurs limites. D'abord parce que cela rend le coût énergétique de l'extraction quasi nul si ce n'est négatif. Il faut ainsi autant d'énergie pour extraire le pétrole issu des sables bitumineux du Canada que ce que l'extraction fournit. Ensuite, parce que cela conduit à des modèles économiques qui nécessitent des subventions. Pensons ici aux grands bateaux de la pêche industrielle, de véritables usines, dont la rentabilité n'est assurée que par des subventions publiques. Enfin, parce que les métaux rares dont nous avons besoin pour concevoir toutes les technologies nécessite de recourir à des procédés d'extraction polluants, qui plus est souvent dans des pays où les droits humains ne sont absolument pas respectés.

⁵⁶ Philippe Bihouix, *le mensonge de la croissance verte ? Thinkerview*, <https://youtu.be/Bx9S8gvNKkA>

Voilà pourquoi un ensemble de théories et de mouvements s'inscrivent à rebours de cette proposition uniquement technophile. Il s'agit par exemple du mouvement Low-Tech qui invite à reconsidérer notre manière de produire mais aussi de vivre en comptant sur le partage des connaissances, les ressources locales et la sobriété énergétique.

On peut aussi faire référence aux travaux de recherche qui invite à reconsidérer l'immatériel comme une source de valeur et d'innovation autant d'un point de vue économique que sociétal. Paul Boulanger⁵⁷ propose ainsi de transposer des principes issus de la nature pour évoluer : la coopération, le partage d'informations, la diversité... Emmanuel Delannoy, dans *Perméconomie*, parle aussi d'exaptation qui consiste à transférer son savoir-faire d'un secteur d'activité à un autre.

C-REQUESTIONNER LES ECHELLES

Notre étude sur les écosystèmes nous a montré une chose : à toutes les échelles, de la plus petite cellule jusqu'à la baleine bleue, tous les organismes ont une place importante dans l'équilibre des écosystèmes. Il n'y a pas de hiérarchie de valeurs. C'est ce que résume à merveille le philosophe Etienne Souriau quand il nous dit⁵⁸ qu' il « *n'y a rien de moins philosophique que la confusion des degrés de valeur avec la dyade du grand et du petit. Nulle raison pour qu'un grand corps céleste, galaxie ou système stellaire vaille mieux que tel Ariel infime, telle petite idée blottie aux feuillets d'un livre, telle motte de terre pétrie en statuette. Il n'est pas dit que le grain de sable ne contienne pas, dans son abîme, quelque atome habité plus précieusement que telle planète. Un seul acte de charité, œuvre d'un instant dans une âme humble, peut valoir mieux que les vastes actions, aveugles d'un grand corps social. Les sommets moraux de l'existence n'ont rien à voir avec les dimensions spatiales de l'être* ».

Or notre développement économique s'est souvent accompagné d'infrastructures démesurées, marquées souvent par la volonté du geste architectural. Voilà pourquoi

⁵⁷Innover et collaborer comme dans la nature, Paul Boulanger, Nature=Futur, <https://www.youtube.com/watch?v=L6O61bmoV0k>

⁵⁸ Les différents modes d'existence, Etienne Souriau, 2009

le travail de design pourrait être aussi de valoriser ce qui est plus petit. C'est certainement là un point très intéressant du biomimétisme qui permet de redonner une attention aux petites échelles. Le vivant utilise en effet des échelles allant du microns aux nanomètres pour assurer des fonctions essentielles.

Il rejoint aussi l'idée que le monde ne peut être réduit à sa dimension objectivante et comptable, comme le ferait penser la quantité. Plus en quantité n'est pas une qualité en soit. La subjectivité est essentielle car elle guide l'aspect qualitatif. En tant qu'espèce humaine, nous avons d'ailleurs notre propre *umwelt*, c'est à dire notre manière de percevoir le monde et de le ressentir, à la mesure de nos cinq sens. Même si la perception de chaque individu diffère en fonction de notre histoire, nous partageons un socle commun et une perception partagée qui implique une manière d'habiter le monde qui nous est propre, et qui ne correspond pas à l'échelle de certains projets.

Nous l'avons vu aussi, dans le vivant, la nature d'un organisme change avec sa taille. Cette question de l'échelle est pourtant une partie peu questionnée par nos sociétés, si ce n'est sous le prisme que de l'économie d'échelle qui guide l'ensemble des politiques économiques, et la volonté panoptique qui guide les institutions, mais qui semble pourtant faire l'impasse sur la qualité de vie, et *in fine*, sur l'habitabilité de notre monde. Pensons ici à la notion de contre-productivité telle que défendue par Ivan Illich. Selon lui, passé un certain seuil, une certaine échelle, les désavantages sont plus importants que les avantages. Il cite par exemple la voiture qui censée nous faire aller plus vite s'est finalement traduit pas des trajets plus longs en distance (par rapport à un trajet à pied, on peut habiter plus loin que son lieu de travail) et en durée (accroissement de la durée de trajet du fait de la distance et des embouteillages).

II-L'imaginaire au sein de l'enjeu des représentations

L'imaginaire est également un levier essentiel pour adopter un système économique adapté aux contraintes environnementales et sociales. Nous l'avons vu, la croissance telle que pratiquée aujourd'hui est aussi le résultat d'une certaine manière de concevoir le monde.

A-OUI, LA CROISSANCE POUR LA CROISSANCE EST UNE IMPASSE

Ces dernières années, de plus en plus de voix se sont élevées pour dénoncer le dogme d'une croissance illimitée. Ce travail mérite d'être poursuivi pour montrer les incompatibilités et les impasses. Une étude⁵⁹ faite sur 28 politiques internationales en matière de conservation montre ainsi que dans les conditions actuelles, toute tentative de conservation de la biodiversité dans un contexte de croissance est incompatible. Dans les conditions actuelles, sans découplage, une économie en croissance entraînerait nécessairement une augmentation et une intensification de l'utilisation des terres et des émissions.

Dans un rapport intitulé *Growth without economic growth*⁶⁰, l'Union Européenne appelle d'ailleurs à sortir de cette vision réductrice de la croissance pour la croissance économique, résumant son étude à « *la croissance économique est étroitement liée à l'augmentation de la production, de la consommation et de l'utilisation des ressources et a des effets néfastes sur l'environnement naturel et la santé humaine. Il est peu probable qu'un découplage durable et absolu de la croissance économique des pressions et impacts environnementaux puisse être réalisé à l'échelle mondiale; par conséquent, les sociétés doivent repenser ce que l'on entend par croissance et progrès et leur signification pour la durabilité mondiale* ».

Bien qu'encore limité, on assiste à une prise de conscience des enjeux et des failles d'une croissance sans borne.

B-L'ÉCOLOGIE N'EST PAS UNE RÉDUCTION DE L'ACTIVITÉ ÉCONOMIQUE ET DU PROGRÈS

Redonner sa place à l'économie et à l'écologie ne doit pas être vu comme une contrainte ni comme une réduction de l'activité économique. Il s'agit d'une évolution, qui implique la fermeture de certaines activités certes, mais aussi la création de nombreuses autres. Comme cela existe d'ailleurs dans l'économie actuelle ou les plans sociaux et les délocalisations sont monnaies courantes.

⁵⁹ Perte de biodiversité et croissance économique : quelles politiques ?, 2020, CNRS, <file:///Users/martingiezekvictor/Zotero/storage/2ESH8U9T/perde-de-biodiversite-et-croissance-economique-quelles-politiques.html>

⁶⁰ Rapport « *Growth without Economic Growth*, Agence européenne de l'environnement, Janvier 2022, <https://www.eea.europa.eu/publications/growth-without-economic-growth>

Dans son livre *Permaéconomie*, Emmanuel Delannoy montre de nombreux exemples à travers lesquels la question écologique traitée sous le prisme de la mutualisation, de la coopération ou encore de l'économie de la fonctionnalité a entraîné la création d'activités économiques et de valeur ajoutée compatibles avec un respect de l'environnement.

Et il y a même de nombreuses créations d'emploi en jeu. Selon l'Agence de Développement et de Maitrise de l'Energie (ADEME)⁶¹, « les évaluations macro-économiques de la stratégie bas carbone en France montrent, quant à elles, un solde positif de 540 000 emplois (en ETP) supplémentaires créés d'ici à 2030, qui pourrait atteindre 1 million d'emplois à l'horizon 2050 ».

Au contraire, il s'agit pour les collectivités de comprendre que les grands projets, qui sont souvent l'alpha et l'oméga des politiques locales, ne sont pas forcément positifs pour le territoire. Nous pouvons par exemple penser aux retombées de l'Aéroport Roissy Charles de Gaulles dans le département de la Seine-Saint-Denis. Une étude⁶² a montré que les emplois sur l'aéroport sont occupés majoritairement par des gens extérieurs au territoire. Au moins deux raisons peuvent expliquer cela. La première est le haut niveau de qualification de ces emplois qui ne correspondent pas aux besoins des populations locales. Le second est que la plateforme provoque des nuisances (pollution, bruit, embouteillages) qui font que les gens qui y travaillent n'ont pas envie d'habiter autour du fait de la qualité de vie. Voilà pourquoi le développement économique ne devrait pas se faire en détruisant l'habitabilité d'un territoire. C'est même peut-être le signe que ce n'est pas une bonne décision économique.

C-L'ESPÈCE HUMAINE, UNE RELATION D'INTERDÉPENDANCES AVEC LE VIVANT

L'enjeu autour de la représentation est aussi celui de réintégrer l'espèce humaine parmi son milieu. Un énorme travail philosophique a été menée ces dernières

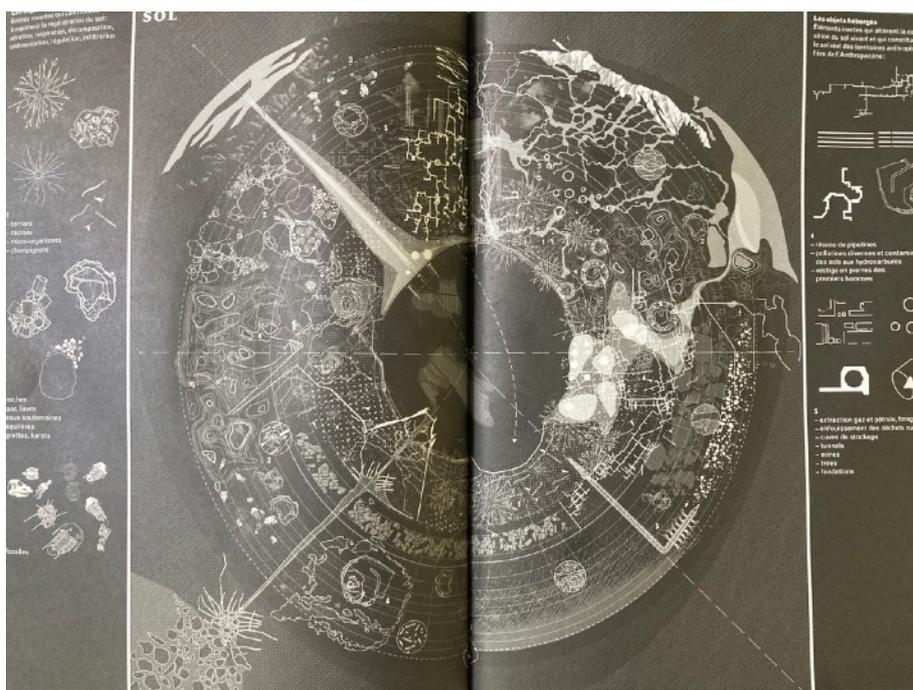
⁶¹ Transition écologique et emploi: un cercle vertueux ?, ADEME, 2021, <https://infos.ademe.fr/magazine-octobre-2021/dossier/transition-ecologique-et-emploi-un-cercle-vertueux/>

⁶² Présentation du projet par les étudiants du master Redirection Ecologique, Rencontrer de la redirection écologique, 9 juin 2022, State Ecole de Design

années pour lutter contre le naturalisme ou la séparation homme/Nature. Citons par exemple le travail de Bruno Latour, de Virginie Maris ou encore de Baptiste Morizot qui nous invitent à réinventer notre relation vis-à-vis des autres êtres vivants.

Après tout, un individu humain est lui-même composé à 57 % de micro-organismes, et donc seulement de 43 % de cellules humaines.⁶³

Ce travail sur les enjeux de représentation concerne également la cartographie dont la vision standardisée tend à nous faire oublier les multiples points de vue possibles pour regarder un territoire, en incluant les humains et non-humains qui y habitent. C'est notamment l'intention des auteures du livre *Terra forma, manuel de cartographie potentielle*, Frédérique Aït-Touati, philosophe et Alexandra Arènes, Axelle Grégoire, architectes, dont le travail a consisté à représenter le territoire sous la forme de cartographie de ruines, de mouvements ou encore de points de vie.



exemple de carte proposée par les auteures de *Terra Forma*

Ce travail a le mérite de re-situer la conception des politiques publiques en la réincarnant par sa dimension géographique. C'est un travail d'autant plus essentiel

⁶³ « Nous sommes plus microbe qu'humain, mais ce n'est pas une mauvaise nouvelle », Aurélie Rodruigues, 2018, Slate, <http://www.slate.fr/story/160246/sciences-sante-microbiote-intestinal-corps-microbe-humain-bacteries-virus>

que les stratégies territoriales, souvent menées par le prisme de l'attractivité et de la mondialisation, ont tendance à s'affranchir de savoirs situés.

III-FAIRE EVOLUER NOTRE CADRE PHILOSOPHIQUE DANS LA CONCEPTION DES PROJETS.

La domination des sciences dites « dures » ou du prisme de la gestion dans la société ne doit pas occulter la place importante que prend les sciences humaines et notamment la philosophie dans l'élaboration et la conception de projets notamment publics.

A-LA CROISSANCE : UN MOYEN PLUTÔT QU'UNE FIN

Considérer la croissance pour la croissance, c'est copier le mécanisme du cancer dont nous savons qu'il finit par détruire l'intégrité du système.

Pour l'économiste Dennis Meadows⁶⁴, la croissance est problématique à plusieurs niveaux. Le premier est bien sur celui de l'incompatibilité de celle-ci avec les limites planétaires. Le second tient aussi à sa vulnérabilité, qui menace la soutenabilité de notre modèle social, conçu autour de cette croissance. Selon lui, la croissance puisque conditionnée à des limites physiques que nous atteignons, est condamnée à se tasser. Elle est même déjà selon lui en train de disparaître. Ce qui renforce la nécessité de faire évoluer le système, voir l'apprentissage de solutions issues du passé dans une logique d'archivisme.

B-RÉAPPREHENDER LA COMPLEXITÉ, EN TANT QUE SOCIÉTÉ

La multiplication des technologies, des interdépendances, des luttes ou encore des visions du monde ont donné à la société une forme complexe. Voilà pourquoi, plus

⁶⁴ La fin de la croissance ? Denis Meadows, Podcast Sismique, <https://www.sismique.fr/post/77-la-fin-de-la-croissance-dennis-meadows>

que jamais, la vision mécanique n'est pas adaptée à une majeure partie de nos problèmes. Il s'agirait plutôt de faire face à des problèmes dit vicieux (« wicked problems »). Ces derniers ont été théorisés par Horst W.J. Rittel et Melvin M. Webber, professeurs de design et de planification urbaine, en 1973 dans un article in *Policy Sciences magazine*⁶⁵. Ils sont définis comme « un problème social ou culturel qui est difficile ou impossible à résoudre pour pas moins de quatre raisons : des connaissances incomplètes ou contradictoires, le nombre de personnes et d'opinions impliquées, le lourd fardeau économique et la nature interconnectée de ces problèmes avec d'autres problèmes. »⁶⁶ Voilà pourquoi ces problèmes ne sont pas solutionnables par l'approche classique dite mécanique et linéaire, où une solution est connue et applicable. Au contraire, la résolution de problèmes vicieux implique de changer de cadre : il s'agit non pas d'être dans le bon ou dans le mauvais mais de prendre des décisions qui sont probablement meilleurs ou probablement pires.

Dans ce cadre, l'individu est certainement l'échelle de réflexion la plus inefficace parce que les solutions ne pourront être trouvées que de manière collective, où chacun a son rôle et à sa place.

En revanche, la complexité ne doit pas être une excuse pour l'inaction, servant parfois de justification pour garder une politique de statut quo.

C-REDONNER UNE PLACE À LA LIMITE

La notion de limite est trop souvent assimilée directement à la perte de liberté et de manières d'agir, encore plus quand elle touche le champ économique. Cette intégration des limites dans la conception des politiques publiques et des institutions n'est pas pourtant pas un frein à la créativité, elle n'est pas le synonyme d'un immobilisme, bien au contraire.

Reconsidérer la limite peut même être un appel à revisiter le concept de normes, qui parfois facilite l'accumulation en empêchant la créativité au profit de la reproductibilité. C'est l'intention du mouvement du *Reconstrained Design*. Celui-ci invite à critiquer la notion de progrès tout en trouvant des solutions sur mesure à des problématiques techniques. Ses auteurs ont pour objectif d'embrasser les

⁶⁵ « *Strategy as a Wicked Problem* », [John C. Camillus](#), *Harvard Business Review*, 2018

⁶⁶ traduit de « *Wicked Problems* », https://www.wickedproblems.com/1_wicked_problems.php

contraintes par un jeu de renversement des principes tels qu'ils sont appliqués actuellement. Le tableau ci-dessous illustre ce basculement :

Système Contraint	système Recontraint
Ressources anciennes	En temps réel
appareil	système d'objets
abstrait	tangible
générique	sur mesure
jeter	réparer
dominer la nature	collaborer avec la nature
désir	besoin
dissimuler	révéler
universel	local
réflexion à court-terme	réflexion à long-terme
cynisme	espoir
centre-périphérie	périphérie-centre

Principe de la contrainte dite classique versus la contrainte repensé par le Recontrained design

Cette prise de conscience des limites invite plus globalement à être capable de « désinnover » c'est-à-dire à considérer que le progrès n'est pas nécessairement synonyme d'une nouvelle innovation technologique mais que cela peut être une nouvelle forme organisationnelle, l'application de nouvelles valeurs ou encore un changement de mode de gouvernance.

D-Redonner une place à la justice et à l'éthique

Le point d'accroche le plus important entre les partisans d'une économie écologique et les partisans d'une économie néoclassique est certainement le rapport à la nature qui se traduit par les multiples usages fait des termes biologiques dans la sphère économique. Il en ressort que l'entremêlement des deux champs aboutit à plus de confusions que de solutions. Après tout, la théorie de

l'évolution de Darwin pourrait très bien justifier une politique de compétition dans laquelle seuls les plus aptes et donc les plus forts pourront s'en sortir.

La biologie au même titre que la science n'est qu'un outil. Croissance ou décroissance, aucune loi dans la nature ne peut justifier telle ou telle politique politique y compris biologique. Voilà pourquoi l'outil scientifique ne peut s'accompagner que d'une réflexion éthique.

De l'autre côté, l'économie s'est aussi parée d'une capacité quasi religieuse à considérer la croissance, tout comme certains autres dogmes, comme un déterminisme dont on ne peut échapper. On le voit chez les dirigeants politiques, le simple fait de questionner la croissance suscite immédiatement une fin de non-retour.

Nous avons peut-être là un pas de côté à faire. D'abord d'un point de vue institutionnel où les questions de justice et d'éthique ont finalement une portée très faible dans la conception des politiques publiques. Le seul comité d'éthique français à portée nationale, le Comité Consultatif d'Éthique, se limite aux questions de santé et de biologie. Et son avis n'est, comme le dit son titre, que consultatif.

Alors que ce sont bien la justice et l'éthique qui fixent les cadres et les règles que nous considérons comme acceptables pour vivre ensemble. Pourquoi ne pas élargir cela à l'activité économique et à la prise en compte de l'environnement ?

Ce pas de côté doit d'ailleurs peut-être commencer par une évolution du langage. Croissance, décroissance, sélection, évolution ... nombreux sont les mots communs entre les disciplines dite biologiques et les disciplines économiques. On l'a vu, cette porosité est surtout source de confusion. On peut comprendre pourquoi au travers du concept de « framing » développé par le linguiste américain George Lakoff⁶⁷. Selon lui, le langage est un concept qui nous enferme directement dans un cadre de pensées dont il nous est difficile de sortir. On le voit les termes croissance, décroissance suscitent des controverses interminables renforcées par des études scientifiques renvoyés dos-à dos, qui peinent aussi à prendre en compte la question des valeurs et des principes.

⁶⁷ *Don't think of an elephant*, George Lakoff, 2004

Voilà pourquoi un travail linguistique pourrait être intéressant pour sortir de ces querelles stériles. Plusieurs propositions existent déjà : Emmanuel Delannoy dans « Permaéconomie » parle de prospérité, Bernard Stiegler, philosophe, parle de bifurcation, François Sarano parle de place plutôt que de fonction, Marc-André Selosse, chercheur au Muséum d'Histoire Naturelle et auteur notamment du livre *L'origine du monde*, parle de valeur calorique plutôt que strictement monétaire, Jane Jacobs, philosophe au autrice du livre *L'économie de la nature* invite à parler d'expansion plutôt que de croissance...

Ce travail linguistique n'est bien sûr par une solution miracle mais un outil à ne pas négliger.

IV-Réintégrer l'écologie à la sphère économique comme la pièce d'une même face

Un des points essentiels est notre capacité à réintégrer la sphère économique dans le champ des limites écologiques. Outre la dimension de l'imaginaire que nous avons vue un peu plus haut, plusieurs propositions existent : les droits de la nature, un changement de pratique, une approche basée sur le ménagement plutôt que l'aménagement, l'importance de l'articulation entre les échelles et une place aux solutions fondées sur la nature et

A-Accorder des droits à la nature

Pour certaines voix, la prise en compte des limites environnementales dans les activités économiques et dans le développement ne peut être possible que par l'intégration de droits à la nature. Ceux-ci ont été théorisés dans les années 1970⁶⁸. Il s'agit, par exemple, de reconnaître à une rivière ou à une forêt une personnalité juridique afin de les protéger et de faire reconnaître leur existence en contraignant les humains à une responsabilité envers leur environnement. Bien qu'étant un concept récent, les droits de la nature connaissent une expansion relativement rapide. De nombreux pays y ont recours : l'Amazonie Colombienne a un statut

⁶⁸ « Droits de la nature émergence du concept... » <https://droitsdelanature.com/la-reconnaissance-des-droits-de-la-nature>

juridique depuis 2018, la Nouvelle Zélande a reconnu un droit au fleuve Whonganui et au mont Tarakani....

B-Faire évoluer les pratiques vis-à-vis de notre environnement

Faire projet autrement commence aussi par faire évoluer les pratique vis-à-vis du milieu dans lequel on vit.

Pour le paysagiste Gilles Clément⁶⁹, une nouvelle philosophie d'aménagement du paysage s'incarne dans ce qu'il appelle « le tiers paysage ». Pour lui, nous devons faire confiance au vivant pour se développer et se réguler. Plutôt que de forcer le paysage, l'intervention de l'homme doit composer avec lui. C'est ce qui permet à la biodiversité de se développer.

Pour Marc-André Selosse, le sol est l'un des symboles les plus emblématiques de la déconnexion que nous avons avec le vivant et la manière dont nous traitons notre milieu. L'agriculture intensive, les pesticides et l'artificialisation des sols ont provoqué une détérioration de celui-ci, alors même que c'est un un écosystème primordial pour la bonne santé de nos écosystèmes : décomposition et recyclage des déchets organiques, filtration de l'eau, absorption de CO2 sont parmi les exemples des innombrables services écosystémiques rendus par ces derniers.

D'une manière symbolique, mais néanmoins non moins problématique, nombreux sont les critiques à faire part d'une économie jugée hors-sol pour désigner une activité économique incapable de prendre en compte les réalités sociales comme écologiques. Voilà pourquoi l'aménagement du territoire ne peut pas faire l'économie de cette prise en compte des fondations sur lesquels sont bâties nos sociétés. C'est dans cette optique que nous pouvons comprendre les critiques émises contre l'artificialisation des sols, toujours plus importantes. Pour rappel, l'équivalent d'un département français est artificialisé tous les sept à 10 ans⁷⁰.

⁶⁹ « A l'invitation numéro 31, Gilles Clément, conférence à l'Ecole Nationale Supérieure de la création Industrielle, 20 juin 2022.

⁷⁰ France Stratégie

Bruno Latour parle d'ailleurs de la zone critique⁷¹ pour désigner la partie de la terre du sol seul jusqu'à la basse atmosphère qui regroupe l'ensemble des êtres vivants. Ramenée à l'échelle de la planète, cette zone est en fait une zone relativement mince, mais qui regroupe pourtant l'essentiel des interactions et des mécanismes de régulation qui permettent à la vie de se développer.

Rompant avec la vision utilitariste et fonctionnaliste de l'aménagement du territoire, le philosophe Thierry Paquot⁷² appelle à faire preuve de plus de ménagement vis-à-vis de nos territoires. Il s'agit de prendre soin de l'ensemble des êtres vivants et de leur écosystème en considérant l'habitat comme un lieu de rencontres et d'interactions. Pour cela, il y a nécessité de changer de posture. En prenant d'abord le temps de comprendre et d'observer les spécificités propres à chaque territoire, sa biodiversité comme sa culture. En acceptant aussi de se réinterroger en permanence sur la place de chacun au sein de l'espace. C'est pourquoi le ménagement a vocation d'être aussi bien une méthodologie pour la fabrique d'un territoire qu'un cadre éthique garantissant la création et le partage de valeurs.

Ce travail s'inscrit dans un travail plus général qui est celui de l'éthique du care. L'éthique du Care est issue d'une réflexion entamée dans les années 1980 aux Etats-Unis par Carol Gilligan autour du féminisme et qui a pris depuis, plusieurs directions. En France, une réflexion a été entreprise depuis 2018 par la philosophe Cynthia Fleury et l'agence de design Les Sismos pour intégrer cette philosophie aux enjeux de design. L'intérêt de l'approche est de remettre au centre des réflexions les notions de dépendance, d'interdépendances, de vulnérabilité, de fragilités et de soins. Bien que principalement étudié dans le milieu hospitalier, le care design offre de nombreux potentiels dans la conception et la protection des environnements dans lesquels nous vivons pour transformer le cadre éthique dans lequel les projets sont conçus.

C-REDONNER DE L'IMPORTANCE À L'ARTICULATION ENTRE LES SYSTÈMES ET LES INTERDÉPENDANCES COMME PRINCIPE DE GOUVERNANCE

⁷¹ 71« Les zones critiques et la redéfinition de la notion de territoire », site de Bruno Latour <http://www.bruno-latour.fr/node/650.html>

⁷² « Ménager le ménagement », Thierry Paquot, 2021, *Topophile*, <https://topophile.net/savoir/menager-le-menagement/>

Nous l'avons vu, dans les écosystèmes, les relations et les interconnexions sont primordiales et ce à toutes les échelles. Ce sont ces liens qui doivent primer aujourd'hui. Dans la lutte contre le réchauffement climatique et pour une croissance plus en phase avec les limites planétaires, nous entendons souvent parler du local comme la décision la plus raisonnée. Mais cette direction ne contient qu'une partie de la réponse. Une étude intitulée *My neighbourhood, my country or my planet? The influence of multiple place attachments and climate change concern on social acceptance of energy infrastructure*⁷³ a montré que l'installation de solutions énergétiques soutenables dans la campagne anglaise n'est réellement possible que dans une articulation entre toutes les échelles. Nous nous transformons parce que notre région se transforme, que notre pays se transforme, que les pays voisins se transforment et que le reste du monde se transforme.

Dans ce cadre, la notion de commun offre un potentiel intéressant en matière de gouvernance articulée. Les communs désignent « *des formes d'usage et de gestion collective d'une ressources ou d'une chose par une communauté* »⁷⁴.

L'avantage des communs est d'offrir une alternative à la notion de public/privé et de dépasser la notion de propriété pour s'intéresser au partage et à l'accès aux différentes ressources. Elle remet en cause le dogme du libre marché et de l'appropriation comme unique moyen de favoriser l'allocation des ressources.

Les travaux des communs ont connu un avancé fondamentale avec Elinor Ostrom, prix Nobel d'économie en 2009 pour son travail sur ces questions-là. Ses travaux d'analyse de plusieurs projets à travers le monde lui ont permis de dégager 8 principes⁷⁵ de conception nécessaire à la bonne gouvernance d'un bien commun :

- 1/ des limites nettement définies des ressources et des individus qui y ont accès (qui permettent une exclusion des entités externes ou malvenues),
- 2/ des règles bien adaptées aux besoins et conditions locales et conformes aux objectifs des individus rassemblés,

⁷³ *My neighbourhood, my country or my planet? The influence of multiple place attachments and climate change concern on social acceptance of energy infrastructure*, Devine-Wright, Batel, *Global Environmental Change*, 2017

⁷⁴ *Géoconfluences*, Notion en débat : les communs, ENS Lyon, <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/a-la-une/notion-a-la-une/communs>

⁷⁵ https://fr.wikibooks.org/wiki/Construire_des_communs/Elinor_Ostrom

- 3/ un système permettant aux individus de participer régulièrement à la définition et à la modification des règles (faisceau de droits accordés aux personnes concernées),
- 4/ une gouvernance effective et redevable à la communauté vis-à-vis des appropriateurs,
- 5/ un système gradué de sanction pour des appropriations de ressources qui violent les règles de la communauté,
- 6/ un système peu coûteux de résolution des conflits,
- 7/ une auto-détermination reconnue des autorités extérieures,
- 8/ s'il y a lieu, une organisation à plusieurs niveaux de projet qui prend toujours pour base ces bassins de ressources communes.

Une des applications est le biorégionalisme. Il est un courant apparu aux États-Unis dans les années 1970, à une époque marquée par des mouvements utopistes. Il s'est ensuite diffusé dans le monde entier, notamment en Italie puis en France, où l'acceptation s'est enrichie, développée et modifiée. Le biorégionalisme nous invite à repenser l'organisation de nos sociétés dans un rapport avec la nature. Cela implique de redéfinir l'ancrage de nos communautés, non pas dans une logique purement institutionnelle comme elle existe aujourd'hui. Ils invitent par exemple à dépasser une organisation basée sur des limites artificielles pour réancrer la gouvernance.

Le biorégionalisme propose en effet de changer d'échelle dans la construction des communautés. Cette échelle est construite autour d'éléments communs partagés qu'ils soient culturels ou naturels. Il peut, par exemple, s'agir d'une rivière, d'un bassin versant... le local a donc une place particulièrement importante notamment dans la gestion des ressources. S'il est admis que les sociétés humaines ont besoin par définition des ressources humaines, cet usage doit être raisonné et proportionné. Voilà pourquoi, toute biorégion est construite autour de « sa valeur d'usage », décidée de manière conjointe par les habitants concernés. Sortant d'une logique pleinement utilitariste, le biorégionalisme considère aussi qu'une biorégion a sa propre valeur d'existence et que l'évolution des sociétés doit se faire en synergie avec l'évolution des autres espèces. C'est donc une refondation démocratique qui est appelée par les défenseurs du biorégionalisme : ils souhaitent sortir d'une logique institutionnelle descendante et centralisée, pour passer à une logique constructiviste où ce sont aux communautés qui vivent dans la biorégion de définir

leurs orientations au fur et à mesure du temps. C'est la logique de co-évolution qui prime.

D-ACCORDER UNE PLACE AUX SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE

Selon l'Union Internationale pour la Conservation Internationale de la Nature⁷⁶, les solutions basées sur la nature sont définies comme « *les actions qui s'appuient sur les écosystèmes afin de relever les défis globaux comme la lutte contre les changements climatiques ou la gestion des risques naturels* ».

Elles offrent le bénéfice d'assurer à la fois la réponse aux besoins humains et le bien-être des populations tout en garantissant la préservation de la biodiversité, avec l'avantage de permettre de garder les écosystèmes fonctionnels en bon état, d'améliorer la gestion des écosystèmes dans une logique d'usage par les humains, et de régénérer les écosystèmes dégradés.

Il s'agit par exemple d'utiliser des algues pour filtrer l'eau, la végétation pour refroidir les villes...L'avantage de ces solutions, qui méritent bien entendu d'être accompagnée d'un questionnement éthique, est leur pouvoir de régénération tout en redonnant une place à la biodiversité dans nos systèmes humains.

⁷⁶ Solutions fondées sur la Nature, <https://www.iucn.org/fr/commissions/commission-ecosystem-management/solutions-fondees-sur-la-nature>, 'Union Internationale pour la Conservation Internationale de la Nature

Conclusion

Bien que la croissance soit un terme synonyme entre les sciences du vivant et l'économie, nous avons vu qu'il existe de nombreuses divergences entre les deux formes de croissance. Deux grandes scissions apparaissent. D'une part, quand la croissance n'est qu'une étape dans le cycle de vie d'un individu, d'une population ou d'un écosystème, en complément d'un développement dit qualitatif, elle est dans nos sociétés humaines occidentales une fin en soi, exclusivement tournée autour d'une approche quantitative. D'autre part, l'évolution dans le vivant ne s'affranchit pas de la notion de limites quand la croissance humaine n'est ni proportionnée ni mesurée s'affranchissant de toutes les règles physiques et biologiques de notre planète.

Ce travail nous a confirmé l'intérêt de la bioinspiration, à la fois pour questionner les racines d'une politique propre à l'espèce humaine, mais aussi pour réinterroger les directions possibles afin de réconcilier économie et écologie. Nous l'avons vu, les questions soulevées dans ce mémoire sont encore nombreuses.

Si l'analogie avec le vivant mérite d'être démontrée davantage, les points de comparaison entre nos économies et nos écosystèmes sont nombreux, comme nous avons pu le voir.

Ce qui me semble le plus intéressant, dans la lignée des travaux menés par Nicholas Georgescu-Roegen, est d'approcher l'économie par son prisme énergétique. Au fond, l'économie ne serait qu'une forme d'organisation et de distribution entre les humains de l'énergie dans toutes ces formes, que ce soit le travail ou encore les ressources naturelles, pour assurer la viabilité de notre espèce et l'habitabilité du monde. Cette analogie a le mérite de nous réintégrer dans notre milieu car une grande partie de l'énergie, si ce n'est toute, dépend des ressources naturelles. Elle nous invite aussi à nous interroger sur l'aspect qualitatif de cette énergie : sa redistribution, la qualité de ce qui est produit, les impacts...

En adoptant cette vue, on peut même adosser à la monnaie une valeur « calorique », l'argent n'étant finalement qu'une conversion symbolique de l'énergie investie pour produire un bien ou un service. Ainsi, cette vue, qui mérite bien sûr

d'être détaillée et étudiée, nous ferait comprendre que plus il y a de richesses au sens économique, plus il y a d'énergies dépensées et donc nécessaires à prélever. Cette approche impose aussi de réfléchir à la place que nous accordons à cette énergie, convertie en valeur monétaire: l'énergie fournie par le travail humain est-elle suffisamment valorisée, autrement dit payée ? L'énergie issue des écosystèmes est-elle suffisamment valorisée, autrement dit le coût reflète-t-il l'énergie nécessaire incluant celles des ressources naturelles? L'énergie est-elle suffisamment redistribuée, autrement dit l'économie réduit-elle les inégalités et pourvoit-elle aux besoins humains élémentaires ? Comment créer de l'énergie pour la redistribuer, autrement dit quelles activités économiques faut-il développer ?

Requestionner l'économie sous le prisme de la répartition et de la place de l'énergie, dans sa dimension aussi bien qualitative que quantitative, c'est au fond une manière de réconcilier écologie et économie, car c'est prendre en compte les limites de notre planète tout en accordant une place importante à ce que nous concevons comme étant juste socialement.

Réinterroger nos modèles économiques est en tout cas un travail complémentaire de celui qui consiste à revoir nos modes de production et de conception comme le propose notamment le biomimétisme. C'est d'ailleurs tout le propos de Jane Jacobs qui dit dans son livre *l'Économie de la nature* que : « le biomimétisme est une forme de développement économique, alors si on s'intéresse au biomimétisme, il faut aussi s'intéresser au développement économique sinon il ne peut être question d'obtenir des produits de plus haute qualité ou de mettre au point des méthodes de production moins nocives ».77

77 « *Économie de la nature* », Jane Jacobs, 2001

Bibliographie complémentaire

Ressources Partie 1

"Eclairage scientifique, Biologie végétale et vieillissement" <https://fondation-lamap.org/sites/default/files/pdf/biologie-vegetale-croissance-et-vieillessement.pdf>

"Eclairage scientifique, Biologie animale et vieillissement" <https://fondation-lamap.org/documentation-scientifique/biologie-animale-croissance-et-vieillessement>

Le fonctionnement du vivant : Les stades du développement d'un être vivant http://www.acgrenoble.fr/ecole/74/maths.sciences74/IMG/pdf/module_de_formation_stades_developpement_etre_vivant_V2.pdf

« Comment le cancer se forme, se développe et se propage » : <https://cancer.ca/fr/cancer-information/what-is-cancer/how-cancer-starts-grows-and-spreads>

<https://www.cnrtl.fr/definition/prototrophe>

"comprendre la forêt", Office nationale des forêts, <https://www.onf.fr/onf/forets-et-espaces-naturels/+1f::comprendre-la-foret.html>

Le cycle saisonnier de croissance du phytoplancton végétal : http://klimat.czn.uj.edu.pl/enid/2__Nutriments_de_Loc_an/-_Croissance_du_plancton_v_g_tal_3gn.html

<https://www.larecherche.fr/zoologie-biologie/lavantage-evolutif-de-la-metamorphose>
- Comme le loup booste la biodiversité <https://www.notrenature.be/article/comment-le-loup-booste-t-il-la-biodiversite>

L'état de santé des sardines en Méditerranée, IFREMER <https://wwz.ifremer.fr/L-ocean-pour-tous/A-la-loupe-d-lfremer/L-etat-de-sante-des-sardines-en-Mediterranee>

Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur le blob sans jamais oser le demander, Audrey dusautour, j'ai lu.

10 principes et concepts essentiels en écologie <http://www.biodiversite-positive.fr/productivite-des-ecosystemes-biomasse/>

Biologie des populations et des organismes [https://elearn.univ-tlemcen.dz/pluginfile.php/129861/mod_resource/content/1/L3_dynamique_POP_-_Copie3\(1\).pdf](https://elearn.univ-tlemcen.dz/pluginfile.php/129861/mod_resource/content/1/L3_dynamique_POP_-_Copie3(1).pdf)

Définition de capacité de charge du milieu : <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/capacite-de-charge-dun-milieu>

Écologie des populations, https://edu.ge.ch/decandolle/sites/localhost.decandolle/files/ecologie_2_population_et_communautes14.pdf

Espèces envahissantes : une catastrophe écologique et économique, CNRS le journal <https://lejournale.cnr.fr/articles/especes-envahissantes-une-catastrophe-ecologique-et-economique>

Biodiversité, seuils de tolérance des écosystème, résilience des forêts. <https://www.fao.org/3/i2560f/i2560f05.pdf>

Sénescence : qu'est-ce que c'est ?, <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-senescence-6791/>

Franck Courchamps, l'effet d'Allee, <https://www.biodiversitydynamics.fr/recherche/effet-allee/>

La croissance et la reproduction des êtres vivants, <https://www.erudit.org/en/journals/ltp/1947-v3-n2-ltp0931/1019790ar.pdf>

<https://toolbox.biomimicry.org/core-concepts/natures-unifying-patterns/optimize/>
<https://www.biodiversitydynamics.fr/recherche/effet-allee/>

Les orques ont aussi une culture ! Felix Gouty, juin 2016, sciences et avenir, https://www.sciencesetavenir.fr/animaux/animaux-marins/les-orques-aussi-ont-de-la-culture_103158

Biomimétisme et architecture, Mathew Pawlyn, Rue de l'échiquier, 2019

Existe-il- un point de non retour dans les écosystèmes ?»<https://lejournal.cnrs.fr/articles/existe-t-il-un-point-de-non-retour-dans-les-ecosystemes>, Laure Cailloce, septembre 2020, CNRS journal, [https://lejournal.cnrs.fr/articles/existe-t-il-un-point-de-non-retour-dans-les-](https://lejournal.cnrs.fr/articles/existe-t-il-un-point-de-non-retour-dans-les-ecosystemes)

Ressources Partie 2

« la croissance est-elle nécessaire, Elsa Mourgues, 2019, <https://www.radiofrance.fr/franceculture/la-croissance-est-elle-necessaire-4581950>

« Réconcilier les hommes avec la vie sauvage » de Coralie Schaub et François Sarano, 2020, actes sud

Le difficile dialogue entre économie néoclassique et économie écologique, Michel Gueldry, 2013, La vie des idées, <https://laviedesidees.fr/Le-difficile-dialogue-entre.html>

« Ariane Tichit : Le développement durable », ENS, <https://ses.ens-lyon.fr/articles/ariane-tichit-le-developpement-durable-25383>

La fin de la croissance ? Denis Meadows, Podcast Sismique, <https://www.sismique.fr/post/77-la-fin-de-la-croissance-dennis-meadows>

« Une brève histoire de la croissance », Denis Clerc, 2013, Alternatives Economiques;<https://www.alternatives-economiques.fr/une-breve-histoire-de-croissance/00061017>

Agency at the time of anthropocene, Bruno Latour, 2014, <http://www.bruno-latour.fr/sites/default/files/128-FELSKI-HOLBERG-NLH-FINAL.pdf>

Redéfinir l'imaginaire de la croissance, festival Agir pour le vivant,<https://m.youtube.com/watch?v=m4gbP0AvQtg>

Qu'est-ce que l'anthropocentrisme , vie publique, Francois gemenne <https://www.vie-publique.fr/parole-dexpert/271086-terre-climat-quest-ce-que-lanthropocene-ere-geologique>

Coévoluer pour survivre, JEAN-FRANÇOIS SILVAIN ET GUILLAUME JACQUEMONT|2009 , Pour la science, <https://www.pourlascience.fr/sd/ecologie/coevoluer-pour-survivre-3198.php>

Jan Ghel, Pour des villes à échelle humaine, Jan Ghel, 2013

Les services rendus à la société par les écosystèmes, Nature France, 10 février 2022, <https://naturefrance.fr/les-services-rendus-la-societe-par-les-ecosystemes>

"10 indicateurs pour compléter le PIB, France Stratégie, 23 juin 2015, <https://www.strategie.gouv.fr/espace-presse/10-indicateurs-completer-pib>

la Croissance, une affaire d'énergie, CNRS le journal, 27/08/2015, Gaëlle Giraud, <https://lejournal.cnrs.fr/articles/la-croissance-une-affaire-denergie>

Claire Bernard. La théorie de la viabilité au service de la modélisation mathématique du développement durable. Application au cas de la forêt humide de Madagascar. Mathématiques générales [math.GM]. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2011. Français. NNT : 2011CLF22158 .

La décroissance, notre seule issue ? Timothée Parrique, podcast Time for the planet, https://www.youtube.com/watch?v=B77STGVOZcg&ab_channel=TimeforthePlanet

« Certaines des technologies envisagées pour maintenir habitable la Terre relèvent du cauchemar », Stéphane Foucart, 29 mai 2022, Le monde

« Le vide stratégique », Philippe Baumard, 2012, CNRS éditions

Val Plumwood, Réanimer la nature, 2020

Ressources Partie 3

« La Théorie du donut. L'économie de demain en 7 principes », Kate Raworth, 2021

« Héritage et Fermeture », Emmanuel Bonnet, Diego Landivar, Emmanuel Bonnet, 2022

Aux origines de la biorégion, Mathias Rollot, Métropolitiques, 2018, <https://metropolitiques.eu/Aux-origines-de-la-bioregion.html>

"A Amsterdam, un donut pour adoucir la ville » Margaux Solinas, 2021, https://www.liberation.fr/plus/a-amsterdam-un-donut-pour-adoucir-la-ville-20210422_L2SY7NP72NFKBDXSE3RWFSK33A/

The Natural Step, <https://thenaturalstep.org/approach/>

Reconstraiend Design, <https://reconstrained.design>

Cours de Tarik Tchekchak « Résilience and Navigating toward desirable futurs : what can we learn from ecosystem dans la cadre du master Nature Inspired Design, mai 2020

« A guide to entrepreneurs and innovation support organizations to implement Biomimicry as a tool for responsible innovation », • Michka MÉLO*, Kalina RASKIN* & Michel DAIGNEY, Paris Region Entreprises, Sebastiaan DE NEUBOURG, Greenloop, Tarik CHEKCHAK, French Committee of Biomimicry Europa, Janvier 2015 https://ceebios.com/wp-content/uploads/2020/09/Guide_Biomimicry_Karim.pdf

Permaéconomie, Emmanuel Delannoy, Editions Wild project 2016

Rapport « Growth without Economic Growth, Agence européenne de l'environnement, Janvier 2022, <https://www.eea.europa.eu/publications/growth-without-economic-growth>

Marc-André Selosse : « Le sol, c'est un patrimoine, notre devoir est de le transmettre », Florence Rosier, 30 novembre 2021, https://www.lemonde.fr/sciences/article/2021/11/30/marc-andre-sellosse-le-sol-c-est-un-patrimoine-notre-devoir-est-de-le-transmettre_6104197_1650684.html

« S'inspirer du vivant pour bâtir la ville résiliente », DIXIT, 13 juillet 2021, <https://dixit.net/olivier-hamant-ville-resiliente/>