

## Introduction

L'humanité est aujourd'hui confrontée à la crise la plus grave de son environnement, que nous appelons la crise écologique, susceptible de menacer ses conditions de développement et même de survie. Celle-ci est le produit de toute une série, de multiples dégâts et destructions et dérèglements de notre environnement dit naturel. Cette crise s'est concrétisée au siècle dernier par les crises énergétiques<sup>1</sup>, et plus récemment le réchauffement rapide de l'atmosphère terrestre<sup>2</sup> que l'on a nommé le réchauffement climatique, et le dérèglement climatique qui en découle. Ses conséquences, principalement sur le système hydroatmosphérique, engendrant dérèglements, catastrophes naturelles et sécheresses. Mais la « crise environnementale » se manifeste par toute une série de processus, tels que les pollutions, le rejet massif des déchets de notre activité et leur accumulation gigantesque, la tendance à l'épuisement des ressources naturelles, la saturation des rendements agricoles à la fois par les limites quantitatives atteintes et le forçage azotique devenu générateur de pollution, la destruction des espaces naturels, par le développement des espaces agricoles et par la déforestation, mais aussi par l'urbanisation massive et plus généralement par l'artificialisation des sols.

Aussi ne s'agit-il pas uniquement d'une crise climatique, voire d'une crise écologique au sens de la crise de la biosphère, mais d'une crise environnementale globale engendrant des dégradations massives et souvent irréversibles, des dynamiques de déséquilibre destructeur, mettant en cause l'équilibre global du **système Terre**, bouleversant ses quatre composantes : la lithosphère ou système tellurique, la sphère atmosphérique et la machine climatique, le système hydrologique et la biosphère ou système écologique. Cette crise est une crise systémique ; les dégradations et destructions des

---

1. Notamment la série de crises pétrolières des années 1975-1981.

2. Mise en évidence par le premier rapport du GIEC en 1990.

équilibres de ces différentes sphères interagissent en s'amplifiant jusqu'à des dégradations massives et irréversibles de ces systèmes environnementaux. L'ampleur et l'acuité de cette crise est de nature à mettre en cause la possibilité d'une vie et activité humaines sur terre, elle implique et a entraîné depuis plus d'une dizaine d'années une réaction mondiale pour l'arrêter et en neutraliser voire en réparer les conséquences.

Cette prise de conscience et la recherche d'une action efficace contre cette dégradation environnementale, devenue cumulative et systémique, ont amené à identifier les causes de ce processus et en modéliser les mécanismes d'évolution. La conception générale qui en est issue est celle d'une cause anthropique dominante résidant très généralement dans l'activité humaine. Cette activité, en dépit d'une création gigantesque de richesses, est apparue parallèlement massivement destructrice de l'environnement par les effets négatifs des technologies qui la portent, mais n'a fait atteindre à ces dégradations un niveau et une dynamique critique que par l'accroissement explosif du volume et de l'échelle de cette activité<sup>3</sup>.

Cette recherche d'une explication d'ensemble de cette crise environnementale est aujourd'hui couronnée par le recours à la conceptualisation de cette évolution environnementale et de ses causes, sous le concept d'**anthropocène**. L'Anthropocène est l'ère géologique contemporaine caractérisée par une dynamique d'évolution et de transformation du système Terre déterminée d'une manière dominante par les effets de l'activité humaine (Magny 2019 ; Bonneuil et Fressoz 2016). Un accord général s'est établi pour dater le début de l'Anthropocène au commencement de la révolution industrielle du XVIII<sup>e</sup> siècle, certains allant même jusqu'à lui attribuer plus précisément celle de l'événement générateur qu'est le début de la machine à vapeur de James Watt<sup>4</sup>. Cette datation est d'importance puisqu'elle situe le commencement de cette ère, prédominance des conséquences de l'action humaine sur l'état et l'évolution du système Terre, au commencement de la possession par l'humanité d'une technologie d'une puissance inégalée, née de la révolution industrielle, puissance de transformation, d'action et de production, d'une technologie mécano-thermique qui va s'avérer aussi posséder un degré supérieur de puissance de dégradation de l'environnement, faisant de l'Anthropocène une ère de dégradation continue et de plus en plus rapide de l'environnement écologique, climatique, hydrologique et tellurique. Ce processus va tendre vers ce que nous appelons aujourd'hui la « crise de l'Anthropocène » qui est le moment où cette dégradation atteint une ampleur et une dynamique susceptibles

---

3. D'où le débat permanent sur le moyen principal de remédier à la crise environnementale, entre appuyer l'activité humaine sur des technologies neutres envers l'environnement et limiter le volume de l'activité humaine et sa croissance.

4. D'autres chercheurs proposent de dater le début de l'Anthropocène, radicalement, à la révolution néolithique, d'autres la reportant au début de l'ère nucléaire.

de menacer notre niveau de vie et nos genres de vie mais aussi notre survie même sur la planète.

Les premières formes de projection de ce que devrait devenir une activité humaine non destructrice de l'environnement, maintenant la tendance au développement de l'activité humaine, ont été formalisées à travers les notions de durabilité avec le concept de « développement durable ». Mais cette conception continue à supposer la compatibilité majeure du type de développement de l'activité humaine, y compris sa croissance importante, avec l'intégrité et la reconstitution de l'environnement, ceci au prix de modifications finalement mineures des technologies humaines et des modes de production. Le développement durable peut apparaître aujourd'hui comme une utopie transitoire, première forme de la recherche d'un projet de développement de l'activité humaine compatible avec l'intégrité et l'équilibre dynamique de l'environnement mais combiné à la recherche du développement économique et d'une dimension de développement social.

À cette approche du développement durable, se substitue aujourd'hui la problématique de la transition environnementale, processus de transformation technologique, de mutations économiques et sociétales nécessaires pour mettre en harmonie et en synergie l'écologie de l'activité humaine avec les dynamiques et équilibres du système Terre, dans une écologie globale harmonieuse et synergique. La caractérisation de transition environnementale est en première approche plus rigoureuse que celle de transition écologique, puisqu'il s'agit de tendre vers l'équilibre non seulement de l'écologie au sens de la biosphère, mais aussi du système hydrologique, du système climatique et du système tellurique, c'est-à-dire de l'ensemble de ce que l'on définit comme le « système Terre » ce que le langage courant et médiatique a bien intégré lorsqu'il parle de « la planète » pour désigner le cadre global de la crise environnementale et de l'objet de la politique de transformation que constitue la transition environnementale.

La transition environnementale est ainsi l'ensemble du processus de transformation de notre mode d'occupation de la planète, de nos formes technologiques, économiques et sociales d'activité. Sa finalité est d'inverser les processus de dégradation de l'environnement en vue de reconstruire un équilibre dynamique conservateur et reconstituant du système, en rétablissant l'ensemble des dynamiques positives du système Terre, restaurant les situations de stabilité climatique et écologique proches de celles que notre planète a connues dans les derniers 10 000 ans et qui la maintiennent vivable et fertile. Il s'agit finalement de construire l'écologie globale, l'harmonie dynamique entre la logique de préservation dynamique du système Terre avec la logique et les effets de l'activité humaine. Écologie est alors entendue non comme le champ de la biosphère, mais au sens du fonctionnement équilibré et reproductif d'un système avec

son milieu. Ainsi la crise écologique est la non-harmonie, le déclenchement de processus antagoniques et destructeurs entre les effets des activités humaines et les mécanismes de conservation et de reproduction des différentes sphères du système Terre.

La transition écologique peut alors être définie comme le processus tendant à éradiquer les mécanismes de l'activité humaine qui génère ces mécanismes antagonistes des processus de conservation et de reproduction positive du système Terre. Quelles sont les voies de cette transition, comment concevoir, piloter et mener les transformations concourant à cette transition environnementale ? La première condition est d'en comprendre, identifier les facteurs de dégradation et les dynamiques de système qui se sont installées et amplifiées pour conduire à la crise de l'Anthropocène, à la crise écologique actuelle. La partie 1 de ce travail sera consacrée à cette recherche des coupables, recherche maintenant bien avancée<sup>5</sup>, mais qui reste à compléter, car tout au long du développement humain depuis le néolithique, la question de l'équilibre écologique ne se posait pas dans la vision prométhéenne du développement de l'activité humaine, ignorant totalement son interaction avec l'environnement.

Dans cette crise écologique, la technologie apparaît comme un facteur central critique. Les technologies mises en œuvre sont, depuis pratiquement l'époque néolithique, des technologies destructrices ou tout au moins déprédatrices de l'environnement, par le prélèvement de ressources, par la dégradation des milieux naturels, par les pollutions émises, pour partie d'entre elles longtemps indétectables comme l'émission de gaz à effet de serre. En fait, c'est le paradigme même qui a présidé à la conception de ce monde technologique, celui d'une humanité dont le développement est désolidarisé du milieu naturel voire en est antagonique. On peut dire que l'humanité s'est dès l'origine, consacré à développer des outils qui maximisaient son efficacité matérielle, mais sans aucune préoccupation de leur compatibilité, articulation, synergie avec les systèmes naturels. Ce mouvement se fondait sur le paradigme de la distinction de l'homme d'avec la nature (Whyte 2019), considérant que la nature est un réservoir inépuisable de ressources pour le développement de l'activité humaine, qu'elle est un réceptacle sans limites pour les déchets de cette activité ; que l'environnement naturel, écologique, tellurique, hydrologique et même climatique est un ensemble à la fois inerte et indestructible, capable de supporter l'ensemble des prédatons, pollutions et dégradations produites par l'activité humaine.

Dans le chapitre 1, nous analyserons cette évolution de longue durée conduisant à la genèse de l'Anthropocène et à sa crise actuelle. L'évolution, celle d'une croissance ininterrompue de l'activité humaine, a mené à un accroissement d'échelle gigantesque

---

5. Comme le montre l'ouvrage de Michel Magny *Aux racines de l'Anthropocène* (Magny 2019).

de cette activité, qui a fait que les technologies mises en œuvre, intrinsèquement déprédatrices de l'environnement, ont par leur niveau et rythme de développement quantitatif, par cet effet d'échelle et par son rythme de croissance, atteint un niveau critique de dégradation de l'environnement.

Le niveau critique du processus de dégradation environnementale est celui qui engendre une destruction du milieu, cumulative et souvent irréversible, susceptible de détruire les conditions mêmes d'une activité humaine organisée et équilibrée. C'est là le sens et l'explication de ce que l'on appelle la crise écologique de l'Anthropocène, présentée dans le chapitre 2.

Face à cette crise de l'Anthropocène s'est progressivement mise en place une action de transformation mondiale, de modalités diverses, visant à ce qu'il est convenu d'appeler la transition écologique. La [transition écologique](#) est ainsi le mouvement de transformation des conditions d'interaction de l'activité humaine avec son milieu et d'élimination de tous les facteurs de la [crise écologique](#) qui en a résulté, ceci en vue de restaurer un équilibre dynamique du système Terre et une harmonie de son interaction avec l'activité humaine<sup>6</sup>. Or les premières réponses apportées à l'échelle mondiale à cette crise sont des réponses centrées sur les technologies, consistant à éliminer les technologies particulièrement déprédatrices de l'environnement et générer des technologies innovantes à l'impact environnemental minimal. C'est le cas, en particulier, pour les technologies innovantes dites « bas carbone ». Un mouvement massif d'innovations de ce type s'est déclenché depuis le milieu des années 1990, qui apparaît comme la première réaction générale à la crise de l'Anthropocène, en particulier par rapport à sa dimension la plus inquiétante et sans doute la plus centrale, le réchauffement et le dérèglement climatiques.

La partie 2 de cet ouvrage sera ainsi consacrée à la compréhension de l'émergence de ces technologies, par secteurs d'activité, en réponse à leur problématique environnementale spécifique. Ces mutations seront analysées en détail sur les grandes technologies et secteurs d'activités tels que l'énergie, les transports dans un chapitre 3, l'industrie, les technologies de l'information l'agriculture dans un chapitre 4 et de technologies déjà dédiées à la correction des effets déjà manifestés de la crise environnementale, telles que les technologies de l'économie circulaire, de production d'eau, de recomposition des espaces dans un chapitre 5, mais aussi en faisant apparaître partout l'extraordinaire foisonnement, puissance et diversité de ce courant de réponse technologique.

---

6. Il est en cela une « transition écologique » tendant à établir une écologie globale, mettant en synergie positive la dynamique et l'équilibre écologique du système Terre avec l'écologie spécifique des activités humaines, qui est justement à construire dans ce processus de transition.

L'ampleur du mouvement d'innovations technologiques engagé fournit déjà la base et la diversité d'une mutation technologique majeure. Or comme cela s'est toujours constaté dans le passé au cours des révolutions technologiques, ces innovations ne sont pas un ensemble erratique de nouveautés techniques mais constituent un mouvement organisé et interactif tendant vers la recombinaison d'un nouveau système technologique. Ainsi, la crise de l'Anthropocène se répercute comme une crise du système technologique existant, induisant un mouvement proliférant et local de réponses technologiques à cette crise, qui auront tendance à s'organiser à travers une mise en cohérence nouvelle d'un nouveau système technologique en émergence. C'est la tendance que nous allons examiner dans une troisième partie autour de la question : est-ce que le système technologique actuel est en train, à travers un courant d'innovations, mais aussi de la disparition d'un certain nombre des technologies existantes, de se reconfigurer dans un nouveau système technologique ? Cette question donnera lieu au chapitre 6, en troisième partie. L'analyse s'attachera à décrire comment les technologies génériques du système contemporain telles que les technologies de l'information, la biotechnologie, les technologies nanométriques intégrant et appuyant ce mouvement de mutation contribuent à générer un nouveau système technologique global : le quatrième système technologique<sup>7</sup> qui serait ainsi le premier système technologique écologique, intégrant et maîtrisant l'interaction de l'activité humaine avec l'environnement.

Le recours au modèle de la systémique technologique (Gille 1978 ; Aït-El-Hadj 2018) permet d'analyser la confrontation de la technologie humaine à une limite écologique qui va conduire à la reconfiguration massive d'une part majeure de nos systèmes techniques et même à la transformation de la dynamique technologique elle-même, avec des conséquences sur les formes économiques et sociales de l'activité humaine.

Comme la transition écologique doit se dérouler sous un impératif d'urgence, la question du rythme de sa mise en place se pose en particulier à travers celle du développement du nouveau système technologique qui peut la porter. Nous examinerons à travers la dynamique de mise en place de ce nouveau système technologique les facteurs déterminants d'accélération ou de frein de sa mise en place dans un chapitre 7.

Mais la question posée dans ce chapitre est : est-ce que cette mutation technologique seule est en mesure de résoudre la crise de l'Anthropocène et de permettre à elle seule de réaliser la transition écologique ? La présentation finale dans ce chapitre de deux études prospectives récentes permettra d'approcher ces questions d'une manière nuancée et éclairante.

---

7. Voir la présentation de la succession des systèmes technologiques, notamment « industriels » dans notre ouvrage (Aït-El-Hadj 2018).