

RESET

(re)comprendre

le changement

climatique

Socio-histoire de l'explication du changement climatique, du
XIXème siècle aux années 1970

Mémoire de certificat

Auteur : Régis Niederoest

Expert : Prof. Dr. Thomas Hammer

Certificate of Advanced Studies Développement durable

Interdisziplinäres Zentrum für Nachhaltige Entwicklung und
Umwelt (CDE) - Universität Bern

Lausanne, Décembre 2018

Régis Niederoest : www.regisniederoest.com

Résumé

Au départ de ce travail, il y a la volonté de « lever le nez du guidon », de mettre de côté les projets pratiques pour comprendre à nouveau les fondements du changement climatique. C'est le moment d'être plus politique. Je ne voulais pas m'en remettre à une explication, j'ai décidé de reconstruire une histoire sociale du changement climatique. Une histoire que je pensais plus courte à reconstruire et à raconter. J'ai alors arrêté cette histoire dans les années 1970, au moment où le concept/outil de système climatique se met en place dans les organisations internationales.

J'ai démarré l'histoire du changement climatique au XIX^{ème} siècle, le siècle où la machine-vapeur se diffuse depuis la Grande-Bretagne et l'Europe. On y retrouve le lien étroit entre le développement du capitalisme industriel et énergie, on y retrouve aussi le lien étroit entre industrie et Etat, en particulier à l'Âge des Empires, lorsque les nouvelles puissances cherchent de nouveaux débouchés. Jusqu'à la première guerre mondiale, on découvre aussi les premières études sur l'effet de serre, ainsi que les travaux de quelques partisans d'une conception holiste de la Terre, avec Humboldt et Suess notamment.

Dès la Première Guerre mondiale, on entre dans l'ère de la guerre totale, on découvre l'atome, le pétrole prend davantage d'importance. Les scientifiques sont étroitement mis au service de chaque puissance, le russe Vladimir Vernadsky, lui-même promoteur de l'énergie nucléaire soviétique, développe néanmoins le concept de Biosphère, concept essentiel pour penser l'interaction entre toutes les formes de vies.

Après la Deuxième Guerre mondiale, compte tenu de l'importance stratégique lors de la Guerre froide et du boum économique, l'environnement sera l'objet de nombreuses recherches, même internationales. Des recherches promues directement par les armées. On s'inquiètera aussi de la surpopulation, associée à des chocs climatiques, qui pourrait mener à des famines et d'inquiétantes crises dans le Tiers-monde. Progressivement on commence à envisager l'irrégularité climatique, mais le climat reste encore une chose acquise dans les années 1970, la certitude de l'action anthropique sur le climat n'est pas encore complètement établie et les recherches sur cette question précise ne sont pas prioritaires. Il s'agit surtout de s'adapter.

C'est dans le cadre des organisations internationales qu'indirectement une voie s'ouvre pour renforcer les études en matière d'impact humain sur le climat. Durant les années 1970, la conception holistique de la Biosphère est de retour sur la scène internationale. Elle débouchera sur le développement de nouvelles études transdisciplinaires sur le système Terre et le changement climatique, donnant plus de chance à l'intégration du rôle de l'homme et de l'industrie sur le changement climatique. Car jusqu'à alors, l'homme semblait seulement être déterminé par le climat.

Table des matières

Résumé	2
Table des matières	3
Introduction	4
Développement du capitalisme thermo-industriel à l'ère du capital et des empires. 7	
Le premier âge : l'ère du capital et du libéralisme.....	7
Le deuxième âge : l'ère des empires.....	8
L'atmosphère intellectuelle du XIXème siècle : scientisme et déterminisme.....	10
Reconnaissance émergente de l'action humaine sur l'environnement	11
Découverte de la thermodynamique et de l'effet de serre.....	12
La biosphère à l'âge de la guerre totale, de l'atome et du pétrole	14
Vladimir Vernadsky : Biosphère et énergie nucléaire.....	15
Autres exemples de recherche : cycle du carbone et fonte des glaces.....	18
La guerre froide et la Terre sous surveillance.....	19
Le Grand Bond en avant et une nouvelle crise.....	19
La planète sous surveillance.....	20
Mesure de la concentration du CO ₂ dans l'atmosphérique	22
Les irrégularités climatiques émergent et inquiètent	23
Le rapport Meadows au Club de Rome	24
Vers une vision globale du système Terre	25
Le système climatique	26
Conclusion	28
Bibliographie.....	29

Introduction

Ce travail de mémoire sur le thème du changement climatique est une profonde découverte et un nouveau début pour moi. Formé en sciences sociales et politiques ainsi qu'en histoire, j'ai acquis les principes de la durabilité dès le milieu des années 2000, mais ce n'est qu'à travers ce présent mémoire de certificat que je découvre l'écologie, la science qui étudie les êtres vivants dans leur milieu et les interactions entre eux. C'est aussi à travers ce mémoire que je découvre l'histoire du développement capitaliste et énergétique mondial, pourtant central dans la compréhension du réchauffement climatique.

Comment ai-je pu passer à côté de l'écologie et de l'histoire du développement-réchauffement ? A la fin de mon master universitaire, en 2004, j'ai pourtant appris les enjeux du développement et de l'environnement dans les relations internationales. Ensuite, je me suis engagé dix ans, sur le plan associatif, dans le domaine des écoquartiers. Puis, j'ai suivi le certificat en développement durable et me suis formé en urbanisme durable. Mais je suis passé à côté de l'écologie et de l'histoire du développement. Peut-être en raison de mon profil de sciences sociales, et peut-être par volonté d'être actif, de mettre en œuvre la durabilité, plutôt que d'approfondir ses fondements scientifiques et historiques. Cette erreur n'est pas seulement une erreur personnelle je crois, car la durabilité est souvent restreinte à un ensemble de principes à mettre en œuvre, plutôt qu'à un univers d'analyses et de débats plus fondamentaux.

Mais voilà, il apparaît que face aux rapports de force, face à l'inaction des preneurs de décision politiques et économiques, il faut être plus réaliste, critique et politique, en commençant par comprendre les enjeux de fond. En effet, depuis le sommet de Rio de 1992, depuis que les principes de développement durable sont repris dans les politiques publiques (en Suisse, c'est depuis 1997 que le Conseil fédéral s'est doté d'une stratégie de développement durable), est-ce que quelque chose a avancé significativement sur la question climatique ?

En même temps que je constate les rapports de force et l'inaction des décideurs, je me rappelle du discours très confiant du développement durable et j'entends aussi les discours catastrophistes actuels, parmi eux ceux du GIEC et du secrétaire général de l'ONU. Le GIEC/IPCC appelle maintenant à des actions urgentes. Antonio Guterres, appelle lui à changer de cap d'ici 2020 : « If we do not change course by 2020, we risk missing the point where we can avoid runaway climate change, with disastrous consequences for people and all the natural systems that sustain us (...) There is no more time to waste. We are careering towards the edge of the abyss. It is not too late to shift course, but every day that passes means the world heats up a little more and the cost of our

inaction mounts. »¹ Ce pot-pourri de discours contradictoires est étourdissant, avec d'un côté des hyperboles catastrophistes, et de l'autre, les euphémismes voire le déni, avec des facteurs idéologiques et des intérêts qui pèsent souvent lourd sur les analyses et discours.

Face à l'inaction et à ce pot-pourri de discours, il est donc devenu nécessaire pour moi de comprendre le phénomène du changement climatique en lui-même. Pour ce faire, je dois m'appuyer sur les explications existantes du phénomène, mais je ne peux pas les prendre tel quel, sans leur contexte. Je dois relier les explications à leur contexte, car c'est le point de vue qui crée l'objet. En effet, le contexte socio-politique, idéologique et scientifique, détermine le problème que le locuteur délimite et l'explication qu'il formule. De plus, au-delà de la seule explication, lorsque le locuteur identifie un problème et des causes, il définit aussi, même implicitement, des réponses à apporter, et il évacue d'autres causes et d'autres réponses à apporter. En somme, reprendre une explication du changement climatique isolée de son contexte, c'est adopter une définition arbitraire du phénomène, de ses causes et des réponses à apporter. Négliger le contexte revient à embarquer sur un bateau sans connaître la compagnie de navigation, le capitaine, ni le plan de route.

J'ai donc décidé de réaliser une socio-histoire des explications du changement climatique. Cette socio-histoire permet aussi de montrer les forces en présence, qui conduit les débats et qui a de l'influence. Elle sera guidée par les questions suivantes : Qui parle ? Qui explique le changement climatique ? Dans quelle configuration l'explication est-elle formulée ? Quel est le contexte social, politique, économique et scientifique ? Quelle est l'idéologie du locuteur et quels sont ses intérêts ?

A mesure que je réalise cette socio-histoire, il se révèle que ce projet est bien trop important pour le temps et la place dédiés à ce mémoire de certificat, d'autant plus pour un domaine, les sciences de l'environnement, que je découvre complètement. Pour que cette histoire soit bien réalisée, il faut prendre beaucoup de temps et beaucoup de pages, pour situer correctement les explications du phénomène dans l'histoire de la science, dans les développements économiques et techniques, et dans les grands mouvements de l'histoire mondiale. La place est petite, d'autant plus qu'il faut débiter par le développement du capitalisme thermo-industriel au XIX^{ème} siècle. C'est donc une socio-histoire de plus de deux siècles qu'il faudrait mener pour bien asseoir la compréhension du changement climatique. Je me rends compte de l'ampleur du travail alors que je suis en train d'essayer de le réaliser. C'est cela la chance d'une recherche que j'appellerai exploratoire. Mais compte tenu du temps et de la place qui me sont impartis, j'étudierai la période du XIX^{ème} siècle aux années 1970, car cette période recouvre les développements historiques majeurs ainsi que l'émergence du système Terre et du concept de système climatique. C'est donc une découverte et un début, pour mener, peut-être, une autre recherche bien plus importante.

¹ <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2018-09-10/secretary-generals-remarks-climate-change-delivered>

Organisation du travail

Pour organiser cette socio-histoire, je procède d'abord par une périodisation de l'ensemble de la trajectoire, en m'appuyant notamment sur les travaux d'Erik J. Hobsbawm (1917-2012). Hobsbawm est un célèbre historien britannique et juif qui a fui Berlin avec ses parents en 1933 pour la Grande-Bretagne. Historien de tradition marxiste, Eric J. Hobsbawm était aussi membre du parti communiste anglais depuis 1936. Il distingue la période de la fin du XVIIIème siècle au début du XXème siècle, en trois périodes : « L'Âge des Révolutions » de 1789 à 1914, « L'Âge du Capital » de 1848 à 1875, et enfin « L'Âge des Empires » de 1875 à 1914. Ensuite, appelle « Âge des extrêmes » le « Court vingtième siècle » qu'il date de 1914 à 1991. Il divise ce court siècle en trois parties : « L'Ère des catastrophes » de 1914 à 1945, marquée notamment par « L'Âge de la guerre totale » ; puis « L'Âge d'Or » de 1946 à 1973, marqué par le « Grand Bond en avant » économique mondial, et bien sûr par la Guerre froide, la décolonisation et l'émergence du Tiers-monde, et enfin de 1974 à 1991, la dernière période qu'il appelle « La Débauche », avec le retour de la crise économique, la chute du socialisme et le développement de l'idéologie néo-libérale.²

Sur cette base, j'ai ordonné et thématiqué ainsi la période que je traite de la manière suivante :

- Du XIXème à 1914 : développement du capitalisme thermo-industriel à l'ère du capital et des empires
- De 1914 à 1946 : L'Âge de la guerre totale, de l'atome et du pétrole
- De 1946 aux années 1970 : La Guerre froide et la Terre sous surveillance

Mitchell (2013) et Beaud (2010) me permettent également de préciser le contexte historique. Pour identifier et structurer les apports des différents scientifiques, je me suis appuyé d'abord sur le travail de Jacques Grinevald, puis m'en suis partiellement autonomisé³. Né en 1946, Jacques Grinevald est un philosophe et historien des sciences français, qui a effectué l'ensemble de sa carrière académique à l'Université de Genève et en particulier à l'Institut universitaire d'études du développement IUED, de 1972 à 2011. Il est membre de plusieurs sociétés savantes internationales, dont le *Anthropocene Working Group*. Son approche est celle de la Décroissance. Son ouvrage *La Biosphère de l'Anthropocène. Pétrole et climat, la double menace. Repère transdisciplinaire 1824-2007*⁴, offre des repères très utiles à la fois chronologiques et thématiques pour se situer dans le champ des sciences de l'environnement. Les apports de Romain Felli, géographe et politiste, nous permettent aussi de comprendre et structurer le contexte scientifique et politique dès les années 1960.⁵

² Hobsbawm a rédigé ses principaux ouvrages successivement : *The Age of Revolution* en 1962, *The Age of Capital* en 1975, *The Age of Empire* en 1987, et *The Age of Extremes* en 1994.

³ https://fr.wikipedia.org/wiki/Jacques_Grinevald

⁴ Grinevald, 2007

⁵ Felli, 2016

Développement du capitalisme thermo-industriel à l'ère du capital et des empires

Le premier âge : l'ère du capital et du libéralisme

L'histoire du changement climatique à l'époque moderne commence avec l'avènement du capitalisme industriel et de l'énergie carbonée au XIX^{ème} siècle en Europe. C'est au tournant du siècle que le capitalisme industriel prend son essor, d'abord avec la combinaison du charbon et de la vapeur, la vapeur facilitant grandement l'extraction du charbon et son transport. Par cette combinaison charbon et vapeur, Mitchell explique qu'alors, « affranchie des limites de la force musculaire animale et de la vitesse de régénération des forêts, l'offre d'énergie commença à croître de manière non pas linéaire, mais exponentielle. (...) cette transformation a libéré des populations entières de leur dépendance aux vastes superficies de terre jadis nécessaires pour produire de l'énergie primaire.»⁶ L'essor du système énergétique charbon-vapeur transforma puissamment les économies, le travail, la société et les territoires. Il facilita les processus d'industrialisation et d'urbanisation, mais aussi le développement de l'agriculture sur les terres libérées de l'exploitation forestière destinée auparavant à fournir du carburant-bois. Il donna lieu à la construction de réseaux d'énergie stratégiques entre les régions et pays, « des réseaux de voies d'eau et de voies ferrées qui acheminaient les réserves concentrées de charbon depuis les fronts de taille, sous terre, vers les gares, les ports, les villes et les sites de production industrielle et électrique – en surface.⁷ »

Pour répondre aux nouvelles capacités de production qu'il apportait, le nouveau système énergétique charbon-vapeur, d'abord britannique puis européen et qui puisait ses ressources de charbon en Europe, impliquait aussi la mobilisation de nouvelles surfaces de terres et du travail humain supplémentaire, loin de l'Europe, par l'exploitation coloniale, afin de se fournir en matériaux bruts (comme le coton et le sucre).⁸ Michel Beaud souligne le rôle de l'Etat dans la formation du capitalisme industriel : « parmi les forces transformatrices à l'œuvre dans les sociétés européennes, l'Etat reste certainement la plus puissante, il lui revient de mettre en place les conditions d'un marché national, d'encourager et protéger le renouveau des productions, d'assurer l'ordre social face aux flambées de protestations, d'organiser conquêtes et dominations dans le monde. »⁹

Alors que l'Europe continentale est déchirée par les guerres, que la Révolution est en marche en France, c'est donc la Grande-Bretagne qui est pionnière pour la formation du capitalisme industriel et carboné. Selon Beaud, l'avance britannique est écrasante pendant toute la première moitié du

⁶ Mitchell, 2013, pp.23-25

⁷ Ibid, p.30

⁸ Mitchell, 2013, p.26

⁹ Beaud, 2000, p.115

XIX^{ème} siècle, et reste importante après 1850 (...) l'Angleterre est la « maîtresse des mers », « l'atelier du monde », « la première puissance marchande » et dispose du « premier empire colonial du monde ». En outre, la structure de ses exportations et importations montre qu'elle est déjà engagée dans la logique de la spécialisation internationale du travail ; elle importe des matières premières et des produits alimentaires (90%) et exporte des produits manufacturés (90%).¹⁰

L'ère du premier capitalisme industriel s'étend jusqu'aux années 1870. Depuis la Grande-Bretagne pionnière, le mouvement s'étend de part et d'autre de l'Atlantique Nord, dans l'Europe occidentale et l'Amérique du Nord, berceau du capitalisme mondial. Le reste du monde change aussi, pour remplir les objectifs des régions industrielles. Hobsbawm, parle alors de « deux grandes aires, l'une développée et l'autre en retard, l'une dominante, l'autre dépendante, l'une riche, l'autre pauvre, formant un ensemble intégré. »¹¹

Avant la première grande crise du capitalisme industriel, la crise de 1873-1895, le développement économique était perçu par la bourgeoisie libérale en particulier comme un progrès linéaire, avec les innovations techniques et avec l'idéal du libre-échange. Hobsbawm explique qu'alors « la bourgeoisie croyait en une ère ininterrompue de progrès matériel, intellectuel et moral grâce au libéralisme ; le prolétariat, ou ceux qui s'en faisaient les porte-parole, y croyait aussi, mais pensait qu'elle se réaliserait grâce à la révolution. »¹² Le progrès était alors particulièrement visible à travers l'augmentation de la production matérielle et l'essor des communications : la plupart des machines étaient mues par la vapeur ; devenu la principale source d'énergie dans l'industrie, le charbon représentait 95% de la consommation industrielle européenne ; les nouvelles sources d'énergie, l'électricité et le pétrole, ne jouaient pas encore un rôle important, quoique, dans les années 1880, on sût déjà produire de grandes quantités d'électricité et que le moteur à combustion interne fût déjà au point ; au début des années 1880, la plus moderne des économies industrielles d'Europe, l'Allemagne, consommait moins de quatre cent mille tonnes de pétrole par an ; le chemin de fer représentait la plus formidable réalisation de l'histoire de l'humanité en matière de travaux publics ; et dans le courant de la décennie 1880 le bateau à vapeur s'imposa dans le domaine du trafic maritime.¹³

Le deuxième âge : l'ère des empires

La crise du premier capitalisme industriel, de 1873 à 1895, déclencha la seconde ère du capitalisme industriel et l'ère des empires, avec le renforcement du rôle de l'Etat à la fois pour prendre des mesures sociales, mais aussi pour défendre les industries nationales face à la concurrence internationale, et pour conquérir de nouveaux territoires outre-mer. Les raisons de la grande crise

¹⁰ Ibid, 2000, p.132-151

¹¹ Hobsbawm, 2012, p.29

¹² Ibid, 2012, p.434

¹³ Ibid, pp.42-43

sont la surproduction due au développement excessif des capacités de production, l'aiguïsement de la concurrence, et la baisse des profits liée à la difficulté de réaliser la valeur produite et à la baisse des prix.¹⁴ Hobsbawm parle d'une ère des empires de 1875 au déclenchement de la Première Guerre Mondiale. A travers l'impérialisme, il s'agissait alors de trouver de nouveaux débouchés et marchés pour la production européenne, un vaste mouvement d'exportation devait résorber la surproduction des industries nationales. Mais il s'agissait aussi de créer et contrôler les sources d'approvisionnement en ressources naturelles et matières premières situées outre-mer, qu'il s'agisse de denrées alimentaires, de coton, de caoutchouc, de cuivre, de métaux précieux, mais aussi de pétrole. Le pétrole provenait à la fin du XIXème siècle essentiellement des Etats-Unis et d'Europe (Russie), mais les champs pétrolifères du Moyen-Orient étaient déjà l'objet de convoitises ; ils avaient alors été remportés par la France et la Grande-Bretagne.¹⁵ Ainsi, à la fin du XIXème siècle, la suprématie économique et militaire des pays capitalistes était déjà incontestable, mais dès 1880 et jusqu'à 1914, elle cherche systématiquement à se traduire en conquêtes, en annexions et en régions administrées. Près d'un quart de la surface du globe se trouva distribué ou redistribué en colonies principalement entre six Etats : la Grande-Bretagne, la France, l'Allemagne, la Belgique, l'Italie et les Etats-Unis.¹⁶ « L'expansion territoriale, disait un responsable du Département d'Etat américain en 1900, n'est que la conséquence de l'expansion du commerce. »¹⁷

Après la confusion avec l'Etat et l'impérialisme, la deuxième caractéristique de ce deuxième capitalisme industriel, c'est la concentration du capital. En même temps que les classes dirigeantes mobilisaient l'Etat pour le protectionnisme et l'expansion territoriale, elles limitaient la libre concurrence et concentraient le pouvoir économique au sein de grandes entreprises, de cartels et de monopoles capitalistes. En Allemagne, le syndicat rhéno-westphalien du charbon (1893) détenait près de 90% de la production de la région. Aux Etats-Unis, la Standard Oil détenait, en 1880, 90 à 95% du pétrole raffiné aux Etats-Unis. On distinguait désormais l'industrie et « la Grande industrie, die Grossindustrie, the big business ».¹⁸

La troisième caractéristique de ce deuxième capitalisme industriel, issu de la première grande crise, c'est le développement de la consommation de masse et la création d'un marché de masse. Grâce à la croissance démographique, à l'urbanisation, à la hausse des salaires, mais aussi aux innovations techniques et à l'impérialisme qui donnèrent accès à toute une nouvelle panoplie de produits et services, allant de la cuisinière à gaz, à la bicyclette, au cinéma, et à l'automobile (la Ford modèle T produite dès 1907), en passant par la banane.¹⁹

¹⁴ Beaud, 2000, p.185

¹⁵ Hobsbawm, 2012, p.88+406

¹⁶ Ibid, pp.80-82

¹⁷ Ibid, p.66

¹⁸ Ibid, p.63+75

¹⁹ Ibid, p.75

En synthèse, de la première à la seconde ère du capitalisme industriel, durant le XIX^{ème} siècle, les ressources naturelles mondiales ont pris une importance stratégique dans le développement du capitalisme industriel, avec une implication croissante de l'Etat pour créer et contrôler les approvisionnements mondiaux des industries nationales, avec la création d'un lien désormais intrinsèque entre capitalisme industriel et politique extérieure et militaire : chaque Etat est mobilisé pour assurer le développement du capitalisme industriel pour créer des marchés et pour assurer son approvisionnement en ressources naturelles. Hobsbawm explique qu'au tournant du XX^{ème} siècle, « il y avait désormais plusieurs économies industrielles rivalisant les unes avec les autres, si bien que la concurrence économique que se livraient les différents pays devint un élément indissociable leurs décisions politiques et mêmes militaires. (...) Pour le capital, l'appui du pouvoir pouvait désormais se révéler indispensable afin de se protéger de la concurrence étrangère sur le marché intérieur, et même peut-être dans ces régions du monde dont plusieurs pays se disputaient le marché. Pour les Etats, l'économie était devenue le fondement de toute politique internationale ambitieuse. »²⁰

L'atmosphère intellectuelle du XIX^{ème} siècle : scientisme et déterminisme

Sur le plan intellectuel et scientifique, il est important d'évoquer l'hégémonie de la pensée scientiste et déterministe la plus rigide pendant le XIX^{ème} siècle et jusqu'aux deux guerres mondiales, que cela soit en matière de développement économique et humain, ou en matière de climat. Les penseurs de l'économie libérale classique tels Smith et Ricardo défendent l'idée d'un marché et d'une compétition naturels. Malthus et les adeptes du darwinisme social nient et naturalisent les inégalités sociales. Et bien sûr l'époque place au centre la croyance en le progrès technique et scientifique. C'est seulement à partir de la fin du XIX^{ème} siècle que Emile Durkheim a donné une nouvelle impulsion à la sociologie et à l'étude des faits sociaux.

En géologie, l'approche majoritaire est alors uniformitariste ou gradualiste, incapable d'envisager des discontinuités et changements rapides et d'autant plus dus à l'homme. En géographie, la vision de l'impact du climat sur le développement des peuples est, dans la même veine, majoritairement déterministe. Selon Aufenvenne, « Meticulously, geography devoted itself to an examination of climate and its consequences on men and society. In a quantitative and therefore "scientific" approach, nearly all aspects and processes of human life were tied to climatic causes. »²¹ Pascal Acot explique que « derrière ces conceptions « climatiques » se profile l'idée plus générale de fatalité dans l'histoire des sociétés humaines, en raison du sempiternel « poids des circonstances ». Pour un déterministe, il est toujours impossible de « faire autrement » et cette manière de nier la liberté humaine conduit *in fine* à la justification de l'ordre existant. »²² L'ensemble de ces justifications

²⁰ Ibid, p.405

²¹ Aufenvenne, 2010

²² Acot, 2009, p. 184

naturelles de l'économie de marché, de la pauvreté, de la colonisation, des famines, et du développement en général, forment un ensemble cohérent. Elles évacuent les rapports et facteurs socio-politiques à l'origine des phénomènes, ainsi que la capacité d'adaptation des sociétés.

Reconnaissance émergente de l'action humaine sur l'environnement

Malgré l'importance de l'idéologie scientiste et déterministe, il émerge dès les années 1850, une conscience des interactions réciproques entre l'homme et la nature et donc une reconnaissance de l'impact de l'action humaine sur son environnement. Cette émergence se déploie dans trois domaines : à travers les travaux de naturalistes et géographes, tels que ceux du géographe, naturaliste et explorateur allemand Alexander von Humboldt (1769-1859) et du géographe américain Georges Perkins Marsh (1801-1882) ; à travers les travaux de Eduard Suess, géologue et homme politique autrichien (1831-1914) ; et à travers les travaux des chercheurs en matière de d'énergie, de géochimie et de climat.

Alexander von Humboldt, est considéré comme « un des derniers savants universels » issu des Lumières, mais aussi comme le père de la bio-géographie et de la géographie moderne. Prussien d'origine, Humboldt collabore régulièrement avec les intellectuels et scientifiques européens, français, britanniques et des Etats-Unis. Il fait un premier passage à Paris en 1798, puis mène ses fameuses explorations dans les Amériques, et revient en Europe, d'abord en France de 1804 à 1826, puis doit s'établir en Prusse à nouveau. Une des œuvres majeures de Humboldt est *Cosmos, essai d'une description physique du monde* qu'il publia de 1845 à 1862. Cette œuvre fut instantanément un succès, un best-seller scientifique, traduit en quatre langues, avec plus 80'000 copies vendues jusqu'en 1951. Aux Etats-Unis, la décennie 1850 aurait été selon Laura Dassow Walls la décennie Humboldt, avec une popularité si forte, presque un culte du savant allemand.²³

Humboldt propose une approche globale et en mouvement de la géographie, entendue comme science de l'environnement. Philippe Descola, dans sa leçon inaugurale de 2001 à la chaire d'Anthropologie de la nature au Collège de France, explique que lorsqu'Humboldt « étudiait un phénomène en géologue ou en botaniste, c'était pour le lier aux autres phénomènes observables dans le même milieu, sans en exclure les faits historiques et sociologiques. (...) Il eut l'intuition, en somme, que l'histoire naturelle de l'homme était inséparable de l'histoire humaine de la nature, que l'habitabilité progressive de la surface du globe, pour reprendre l'une de ses formules, dépendait autant des facteurs physiques que des manières fort diverses dont ceux-ci sont appréhendés et mis à profit par les sociétés qui les ont reçu en partage. »²⁴

²³ <https://www.humansandnature.org/introducing-humboldt-s-cosmos>

²⁴ Descola, 2001, p.10

Quelques années après Humboldt, en 1864, Georges Perkins Marsh publie *Man and Nature, or physical geography as modified by human action*, ouvrage référence et considéré comme un monument de la pensée environnementale, écologique et géographique.²⁵ L'ouvrage montre que l'espèce humaine est en mesure de manipuler la nature avec un impact sans égal, que la révolution industrielle portait cet impact à un niveau sans précédent. Marsh écrivait « The Earth is fast becoming an unfit home for its noblest inhabitant, and another era of equal human crime and human improvidence, [...] would reduce it to such a condition of impoverished productiveness, of shattered surface, of climatic excess, as to threaten the depravation, barbarism, and perhaps even the extinction of the species. »²⁶ Si Marsh met en avant les limites environnementales et en matière de ressources, il intègre aussi des explications socio-politiques, et non pas déterministes, aux phénomènes. L'ouvrage de Marsh va inspirer les futures politiques conservacionnistes et préservationnistes qui se mettront en place, en particulier aux Etats-Unis, dès la fin du XIXème siècle.

Eduard Suess est le premier à parler de Biosphère en 1875, dans son ouvrage sur la formation des Alpes. Il désigne l'ensemble des êtres vivants de notre planète. Dans son traité *La Face de la Terre* publié de 1883 à 1909, il souligne « la solidarité de toute vie » et précise que la Biosphère « marque à la vie sa place au-dessus de la lithosphère, avec les conditions de température, de constitution chimique, etc., qu'elle suppose, et à l'exclusion de toutes les spéculations sur les processus vitaux dont d'autres corps célestes peuvent être le siège. » Nous verrons que Vernadsky qui va poursuivre, dès les années 1920, l'élaboration du concept de Biosphère.

Découverte de la thermodynamique et de l'effet de serre

Pour Grinevald, le développement de la thermodynamique lance en même temps les recherches dans le domaine climatique. Il cite un déclencheur, la « révolution carnotienne », du nom du jeune physicien français Sadi Carnot (1796-1832) à l'origine de la discipline de la thermodynamique et du principe d'entropie. En 1824, Carnot publia ses *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*. « Nous savons aujourd'hui que c'était la création, avant la lettre, d'une nouvelle science, la Thermodynamique, en rupture avec le paradigme newtonien de la science mécaniste classique. Dans le même temps, c'était l'annonce de notre modernité: la révolution thermo-industrielle. » La rupture que propose Carnot est le principe physique de l'irréversibilité de l'écoulement de la chaleur, c'est le principe d'entropie que le physicien prussien Rudolf Clausius (1822-1888) formalisera en 1865. La thermodynamique est alors la science de l'énergie et de l'entropie.²⁷

²⁵ Perkins Marsh, 2008

²⁶ Perkins Marsh, 2003, p.43

²⁷ Grinevald, 1990

En même temps que Carnot publie son ouvrage pionnier, le physicien français Joseph Fourier (1768-1830) découvre les premiers indices de l'effet de serre. Dans son étude *Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires* publiée en 1824, il observe que «la température est augmentée par l'interposition de l'atmosphère, parce que la chaleur trouve moins d'obstacle pour pénétrer l'air, étant à l'état de lumière, qu'elle n'en trouve pour repasser dans l'air lorsqu'elle est convertie en chaleur obscure.» Selon Grinevald, Fourier tient compte, comme Carnot, du principe d'irréversibilité de la chaleur. En outre, Fourier évoque un effet de l'activité humaine et industrielle sur l'environnement et le climat : «les mouvements de l'air et des eaux, l'étendue des mers, l'élévation et la forme du sol, les effets de l'industrie humaine et tous les changements accidentels de la surface terrestre modifient les températures dans chaque climat. (...) L'établissement et le progrès des sociétés humaines, l'action des forces naturelles, peuvent changer notablement et dans de vastes contrées, l'état de la surface du sol, la distribution des eaux et les grands mouvements de l'air. De tels efforts sont propres à faire varier, dans le cours de plusieurs siècles, le degré de la chaleur moyenne.»²⁸

Par la suite, c'est le physicien irlandais John Tyndall (1820-1893) qui démontre, dans les années 1860, que l'effet de serre est dû à la présence de gaz dans l'atmosphère, la vapeur d'eau et le gaz carbonique. Comme Fourier et Carnot, Tyndall s'intéresse à la théorie de la chaleur, qu'il considère «comme une «nouvelle philosophie naturelle»; elle se situe en effet dès ses origines au voisinage des sciences du vivant, des sciences de la terre et de ce qu'on peut nommer «une nouvelle cosmologie.»²⁹ Tyndall place explicitement ses travaux dans la lignée d'autres travaux en matière de «transmission of solar and terrestrial heat through the earth's atmosphere», évoquant De Saussure, Fourier, Pouillet et Hopkins.³⁰

C'est ensuite le chimiste Svante August Arrhenius (1859-1927) qui démontre au tournant du siècle, le rôle de l'effet de serre dans les changements climatiques. Le savant suédois, prix nobel de chimie en 1903, considère, en outre, que les activités humaines sont un facteur possible d'intensification de l'effet de serre. Selon Grinevald, Arrhenius admet que «le cycle naturel du carbone, dans sa phase atmosphérique, pouvait subir l'influence, «dans le cours des siècles», de la «consommation industrielle du charbon» et il essaya de montrer qu'on pouvait mesurer le rapport entre consommation d'énergie fossile, dioxyde de carbone dans l'atmosphère et climat.» Mais Arrhenius, comme la plupart des autres penseurs de la «civilisation thermo-industrielle», ne perçoit pas de risque écologique : «personne n'imaginait alors un quelconque déséquilibre de l'économie de la nature, surtout pas lié à une perturbation de la teneur de l'atmosphère en gaz aussi mineurs que la vapeur d'eau ou le gaz carbonique. (...) Arrhenius voit bien le besoin d'énergie à l'entrée du système

²⁸ Ibid

²⁹ Ibid

³⁰ Grinevald, 2007, p.57

économique, mais non la pollution à la sortie, la dégradation de l'environnement, qui en est la contrepartie (...) Ne doutant nullement de la science et de la technique, Arrhenius voyait dans l'augmentation humaine du gaz carbonique dans l'atmosphère une sorte de géotechnique prométhéenne qui pourrait bien, dans les siècles à venir, contrebalancer la prochaine période glaciaire et permettre (comme le pensent certains de nos jours) au sol de «produire des récoltes considérablement plus fortes qu'aujourd'hui, pour le bien d'une population qui semble en voie d'accroissement plus rapidement que jamais.»³¹

La plupart des savants était préoccupée bien davantage par le manque de ressources énergétiques : «à l'instar de Rudolf Clausius (1822-1888), le père du concept d'entropie (...) Arrhenius s'inquiétait en effet, pour l'avenir, de l'épuisement des ressources en combustibles, y compris du pétrole, dont les Etats-Unis lui semblaient faire une consommation d'une «prodigalité effrayante». Pour les penseurs de la civilisation thermo-industrielle, «il devient nécessaire de trouver d'autres sources d'énergie, afin que la civilisation du monde ne s'effondre pas lorsque les combustibles fossiles seront sur le point d'être épuisés.»³²

Synthèse du chapitre

Ce chapitre sur le XIXème siècle était important, car il nous a montré des éléments essentiels que sont la genèse et le fonctionnement du capitalisme thermo-industriel. Nous avons que son fonctionnement repose sur plusieurs éléments stratégiques : le couple Industrie-Etat, l'approvisionnement en ressources naturelles énergétiques, l'approvisionnement en matières premières (agricoles et minières), l'impérialisme et l'appareil militaire, les territoires colonisés et l'échange inégal, les marchés et la consommation de masse, ainsi que des scientifiques convaincus des progrès en cours.

La biosphère à l'âge de la guerre totale, de l'atome et du pétrole

A partir de 1914, Hobsbawm estime que le monde bascule dans «L'Ère des catastrophes» et «L'Âge de la guerre totale», et ceci jusqu'à la fin de la Seconde Guerre mondiale. Mais cette ère des catastrophes et de la guerre totale, de 1914 à 1945, marqua aussi profondément la suite du XXème siècle. Selon lui «L'espèce humaine a survécu, mais le grand édifice de la civilisation du XIXème siècle s'est écroulé dans les flammes de la guerre mondiale (...) On ne saurait comprendre le Court

³¹ Grinevald, 1990, voir aussi Weart, 2003, p.7.

³² Grinevald, 1990

Vingtième Siècle sans cela. Ce fut un siècle marqué par la guerre, qui a vécu et pensé en termes de guerre mondiale, même lorsque les armes se taisaient et que les bombes n'explosaient pas. »³³

Les deux guerres mondiales ont aussi profondément bouleversé le domaine de l'énergie, avec l'avènement du nucléaire et du pétrole. La montée des fascismes et la guerre totale ont aussi bouleversé la science. Dès les années 1930, la science est moins eurocentrée avec un déplacement du centre de gravité vers les Etats-Unis³⁴ et elle davantage, voire étroitement, mise au service de la puissance des nations et de la guerre totale. Les quatre grandes puissances de l'époque ont alors lancé officiellement leur programme nucléaire au début de la Deuxième Guerre Mondiale : les Etats-Unis avec le « Projet Manhattan » en 1939, l'Allemagne nazie avec le « Projet Uranium » en 1939 également, l'Union Soviétique quelques mois après son entrée en guerre en 1942 avec le « Projet nucléaire de l'URSS », et la Grande-Bretagne avec son programme « Tube Alloys » lancé en 1940. En même temps, la production de pétrole mondiale est devenue stratégique et s'est étendue sur la planète. Selon Grinevald, « le pétrole devient, à cause de la mécanisation des forces armées, la ressource stratégique par excellence », avec une production mondiale qui passe de 20 à 100 millions de tonnes entre 1913 et 1920, puis de 295 à 355 millions de tonnes entre 1940 et 1945. D'ailleurs l'automobile prend aussi son essor, avec aux Etats-Unis, le nombre de voitures passe de aux Etats-Unis passe de 120000 en 1909 à 4,8 millions en en 1940.³⁵

Vladimir Vernadsky : Biosphère et énergie nucléaire

Dans ce contexte troublé, émerge le minéralogiste et chimiste russe Vladimir Vernadsky (1863-1945), figure à la fois d'une approche écologique globale en devenir et de l'énergie nucléaire soviétique. Vernadsky figure parmi d'autres savants qui ont perpétué l'approche holiste des Humdolt et Suess. Grinevald estime que dans les années 1920, plusieurs savants étaient en avance sur leur temps et travaillaient à fonder « une approche globale du vivant, une science du vivant à l'échelle de la Terre, une bio-géographie qui soit en même temps une bio-géologie. » Il cite le savant jésuite français Teilhard de Chardin (1881-1955), le mathématicien et bio-physicien Alfred Lotka (1880-1949), le physiologiste, chimiste et biologiste américain Lawrence J. Henderson (1878-1942), ainsi que Vernadsky.³⁶

Né en 1862 à Saint-Pétersbourg, Vernadsky fuit les bolchéviques en 1917, en direction de l'Ukraine. De 1922 à 1925, il collabore avec l'Université de la Sorbonne et le laboratoire de Marie Curie, donc au plus proche des scientifiques français. En 1926, il retourne travailler en Union Soviétique où il acquiert le statut de « père de la science » soviétique et participe au développement des recherches

³³ Hobsbawm, 2003, p.44

³⁴ Hobsbawm, 2012, p.675

³⁵ Grinevald, 2007, pp.76-93

³⁶ Grinevald, 1987

atomiques en Russie. En 1924, il publie *La Géochimie*, tiré de ses cours donnés à la Sorbonne. En 1926, il publie en Russie son ouvrage *La Biosphère* qui sera traduit en France en 1929 et Allemagne en 1930.

En 1945, quelques mois après la mort de Vernadsky, son fils George Vernadsky et George Evelyn Hutchinson, professeur à Yale, publient un article traduit du russe dans la revue *American Scientist* « The Biosphere and the Noosphere ». Vernadsky y définit ainsi la Biosphère : « Living matter exists only in the biosphere. This includes the whole atmospheric troposphere, the oceans, and a thin layer in the continental regions, extending down three kilometers or more. Man tends to increase the size of the biosphere. The biosphere is distinguished as the domain of life, but also, and more fundamentally, as the region where changes due to incoming radiation can occur. »³⁷

Selon Polunin et Grinevald, « Vernadsky adopted a new scope of perception, viewing The Earth as a 'living planet' in the solar system, and presenting the concept of The Biosphere as a 'scientific revolution' (...) Vernadsky was the first natural scientist, in the 1920s, to define the Biosphere within a modern thermodynamic and biochemical perspective. » En effet, comme il l'explique dans l'article de 1945, « In my own scientific work the First World War was reflected in a most decisive way. It radically changed my geological conception of the world. It is in the atmosphere of the war that I have approached a conception of nature, at that time forgotten and thus new for myself and for others, a geochemical and biogeochemical conception embracing both inert and living nature from the same point of view. »³⁸

Une autre idée forte de Vernadsky est le rôle géologique de l'homme, qu'il observe à travers les deux guerres mondiales et à travers l'emprise coloniale sur l'ensemble de la planète. « In the twentieth century, man, for the first time in the history of the earth, knew and embraced the whole biosphere, completed the geographic map of the planet Earth, and colonized its whole surface. Mankind became a single totality in the life of the earth. There is no spot on earth where man can not live if he so desires. » Vernadsky explique le rôle géologique de l'homme par le processus d'évolution pour le moins anthropocentrique : « the evolution of living matter is proceeding in a definite direction (...) the realm of man had come ». Il évoque aussi A. P. Pavlov (1854-1929) et sa notion d'« ère anthropogène », formulée dans les années 1920. Selon Vernadsky, l'évolution vers le rôle géologique de l'homme est le résultat de la « céphalisation », de la croissance du cerveau humain et de la croissance du travail qu'il conduit. C'est dans cette perspective que Vernadsky définit le phénomène de force géologique humaine par le terme de « noösphère », du grec noos

³⁷ Vernadsky 1945, p.1

³⁸ Ibid, p.5

(esprit) : « the noösphere is a new geological phenomenon on our planet. In it for the first time man becomes a large-scale geological force ». ³⁹

Les manifestations empiriques de cette nouvelle « noösphère » sont visibles dans le domaine de la minéralogie, des métaux, mais aussi de la chimie : « that mineralogical rarity, native iron, is now being produced by the billions of tons. Native aluminium, which never before existed on our planet, is now produced in any quantity. The same is true with regard to the countless number of artificial chemical combinations (...) All of the strategic raw materials belong here. Chemically, the face of our planet, the biosphere, is being sharply changed by man, consciously, and even more so, unconsciously. The aerial envelope of the land as well as all its natural waters are changed both physically and chemically by man. » ⁴⁰

En même temps, qu'il élabore ses concepts de biosphère et de noösphère, Vernadsky travaille au développement de l'énergie nucléaire qui est même co-substantielle à sa vision de la noösphère : « we are indeed in the wake of a new era of the humankind, as I and many other geo-chemists and physicists think, the new era of application of new forms of atomic energy ». Déjà en 1910, à l'Académie des sciences de la Russie tsariste, il avait souligné le potentiel de l'énergie nucléaire « We watch a revelation of such a source of energy that will make negligible power of steam, electricity, power of explosive chemical processes..., in the phenomenon of radioactivity we anticipate a source of nuclear energy which is millions of time greater than all energy sources that the mankind was dreaming of » ⁴¹. Ensuite, dès 1942, alors que l'Union Soviétique est entrée en guerre contre l'Allemagne nazie, l'urgence de développer l'énergie nucléaire apparaît alors nécessaire autant pour des applications militaires que pour la reconstruction du pays. En novembre 1942, le gouvernement soviétique lance le « Projet nucléaire de l'URSS ». A la même époque, Vernadsky presse l'Académie des sciences d'accélérer le travail de sa commission dédiée à l'uranium : «I consider it is urgent to resume activities of the Uranium commission, having in mind possibility of military application of uranium as well as in quick reconstruction of the economy after devastation of the country from Hitlers barbarians. New sources of powerful energy are needed to reach these tasks.»

Malgré son approche évolutionniste et anthropocentriste, Vernadsky ne défend toutefois pas, un progrès linéaire par la science et la technique, au sens des positivistes, Au contraire, il souligne la nécessité d'une action volontaire de l'esprit humain : « if man does not use his brain and his work for self-destruction, an immense future is open before him in the geological history of the biosphere. ». Il se préoccupe de la préservation de l'environnement, pour les générations futures, ici en particulier de la conservation des mers : « Man now must take more and more measures to preserve for future generations the wealth of the seas which so fare have belonged to nobody. » Il

³⁹ Ibid, p.8

⁴⁰ Ibid

⁴¹ Kuzmin, 2013

souligne enfin la nécessité que les idéaux démocratiques soient en harmonie les lois élémentaires de la nature : « This new elemental geological process is taking place at a stormy time, in the epoch of a destructive world war. But the important fact is that our democratic ideals are in tune with the elemental geological processes, with the laws of nature, and with the noösphere. Therefore we may face the future with confidence. It is in our hands. We will not let it go. »⁴²

L'approche de Vernadsky est très ambivalente, difficile à interpréter de manière unifiée, mais elle est peut-être représentative de l'époque, avec une idéologie évolutionniste et anthropocentrique qui place l'homme et la raison au sommet de l'évolution biologique, avec la volonté de défendre la démocratie contre la barbarie nazie (je reprends ici ses deux termes démocratie et barbarie), avec l'espoir qu'il place tout de même dans le progrès technique, et en même temps avec sa conscience des capacités de destruction de l'homme.

Autres exemples de recherche : cycle du carbone et fonte des glaces

Sinon, d'une guerre à l'autre, les travaux sur le changement climatique, au sens strict, se développent à partir de travaux d'individus apparemment isolés.

George Evelyn Hutchinson (1903-1991), le professeur de Yale qui avait publié l'article de Vernadsky en 1945, travaille sur les cycles et le métabolisme du carbone. Il enseigne dès les années 1940, parmi l'ensemble de ses activités, le lien entre les gaz à effet de serre et le changement climatique, et il envisage d'ailleurs une augmentation de la température du globe. Considéré plus tard comme le père de l'écologie moderne, Hutchinson a reçu en 1974, le premier « Tyler Prize for Environmental Achievement ». Pour Pascal Acot, Hutchinson représente scientifiquement « le dénominateur commun aux conceptions holistiques de Vernadsky, à l'écologie contemporaine et à l'approche actuelle du changement climatique. »⁴³ C'est Hutchinson le pivot, mais un pivot encore discret. Bien avant d'être reconnue dans les années 1970, l'approche écologique dans laquelle s'engageait Hutchinson était encore une approche discrète aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne, comme l'a constaté son élève puis collègue, un autre scientifique et écologue, Larry Slobodkin (1928-2009)⁴⁴.

C.E.P. Brooks, un expert en climat évoqué par Weart, avait émis l'hypothèse, dès 1925, de changements rapides du climat en raison de la diminution des surfaces enneigées dans les latitudes nord, découvrant des terres sombres qui absorbent davantage de rayons du soleil et augmentant ainsi la température de l'air, ce qui amènerait à une nouvelle fonte de glaces et qui représenterait un cercle vicieux de rétroactions. Enfin de compte, « an abrupt and catastrophic rise of tens of degrees was conceivable, "perhaps in the course of a single season." » Selon Weart, « Most scientists dismissed Brooks's speculations as preposterous. Talk of sudden change was liable to remind them

⁴² Vernadsky 1945, p.8

⁴³ Acot, 2009, p.315

⁴⁴ Lovejoy, 2011

of notions popularized by religious fundamentalists, who had confronted the scientific community in open conflict for generations. » Les changements rapides étaient alors inconcevables pour la plupart des scientifiques, et rappelaient les thèses théologiques catastrophistes. Ils étaient encore certains de leurs principes uniformitariens. Le climat comme la glace étaient alors stables : « Among other arguments, they pointed out that ice sheets kilometers thick must require at least several thousand years to build up or melt away. The physics of ice, at least, was simple and undeniable. »

La littérature évoque aussi régulièrement l'exposé du journaliste Steward Callendar devant la Royal Meteorological Society à Londres en 1938. Selon Grinevald, Callendar « démontre, statistiques et graphiques à l'appui, que la combustion du charbon (qui a envoyé depuis 50 ans plus de 150 milliards de tonnes de CO₂ dans l'air) est responsable d'une augmentation (6% depuis 1900) de la concentration de gaz carbonique dans l'air, ce qui a déjà entraîné une augmentation sensible de la température moyenne de l'hémisphère Nord. »⁴⁵

La guerre froide et la Terre sous surveillance

De 1946 aux années 1970, les questions environnementales seront cadrées par plusieurs phénomènes majeurs : par l'expérience des catastrophes des trente années précédentes, par l'exercice de la guerre totale et la perspective d'une troisième Guerre mondiale avec l'Union Soviétique, par le développement de l'appareil militaire et de l'appareil scientifique qui lui est associé, par l'avènement des Etats-Unis comme puissance globale sans précédent, et bien sûr par le développement économique.⁴⁶

Le Grand Bond en avant et une nouvelle crise

Alors que la Troisième Guerre mondiale est en préparation, le capitalisme mondial entre dans une période de croissance sans précédent et ceci jusqu'au début des années 1970. Au début de cette période, l'ère des catastrophes n'est pas encore derrière, et en même temps, la course à la richesse matérielle est lancée. Hobsbawm souligne l'importance des 25 années de 1945 à 1970 : « le troisième quart du siècle a marqué la fin des sept ou huit millénaires d'histoire humaine qui avaient commencé à l'Âge de pierre avec l'invention de l'agriculture, ne serait-ce qu'en mettant fin à la longue période où l'écrasante majorité de l'espèce humaine vivait du travail de la terre et de l'élevage. » Michel Beaud précise que « La croissance de l'après-guerre est la plus forte qu'ait connu l'ensemble des pays capitalistes. Plus lente en Grande-Bretagne, appréciable aux Etats-Unis compte tenu du niveau élevé de la production des années 1940, elle est particulièrement importante en France et en Allemagne, et plus encore au Japon. » La croissance se manifeste dans les pays capitalistes par l'urbanisation, le

⁴⁵ Grinevald, 2007, p.93

⁴⁶ Pour cadrer cette période, lire aussi Hobsbawm (2012), Felli (2016) et Robertson (2008)

développement des réseaux routiers, par l'extension des sorties et loisirs, par un élargissement des dépenses de santé, par le recours au crédit pour l'immobilier mais aussi pour les voitures. Le nombre total de voitures aux Etats-Unis passe de 30,7 millions en 1947 à 106,8 millions en 1975, et de 1,5 millions à 15,3 millions en France à la même période. La diffusion des biens d'équipement dans les ménages français est alors impressionnante : en 1954, 8% des familles d'ouvriers détenaient une voiture, en 1975 elles sont 73,6% à en détenir ; 8,5% détenaient en 1954 une machine à laver, en 1975 elles sont 77,1% ; pour les réfrigérateurs le taux passe de 3,3% à 91,3% ; pour les téléviseurs le taux passe de 0,8% à 86,8%.⁴⁷

Mais dès les années 1970, les économies capitalistes retrouvent la crise. Pour Michel Beaud, « la logique même de l'accumulation capitaliste implique la crise (...) Dans la prospérité des années soixante étaient déjà les germes de la crise des années soixante-dix. (...) la tendance d'ensemble est, dans chaque grand pays capitaliste, à l'alourdissement des coûts, à la saturation des marchés, à l'accentuation de la compétition que l'on observe dès les années soixante. Restent bien sûr les marchés extérieurs. Pour chaque capitalisme national, l'effort à l'exportation apparaît devoir au moins permettre de pallier à la saturation progressive des marchés intérieurs. »⁴⁸

La planète sous surveillance

Dans l'après-guerre, les questions de développement économique mais aussi de survie et de sécurité, d'une puissance globale, nouvel empire, sont omniprésentes. L'environnement prend alors une place très importante dans les débats sur l'avenir des sociétés, mais pas forcément comme on l'entend maintenant. L'environnement est, d'un côté, un risque et une opportunité de la guerre totale, à travers l'usage d'armes de destruction massives qui utilisent l'environnement, même le climat. L'armée américaine développe alors des programmes de « climatological warfare ». De l'autre côté, la préoccupation environnementale se concentre essentiellement sur la peur du manque de ressources, relié alors principalement à la surpopulation. Un manque de ressources à même de créer des crises intérieures ou des crises extérieures, en particulier dans les pays du tiers-monde où le nouvel empire mène âprement la Guerre froide.

Après le temps des catastrophes et au temps de la Guerre froide, l'impact de l'homme sur l'environnement est toujours évoqué – surtout l'impact des populations du Sud et des pauvres du Nord –, mais ce n'est que marginalement ou ponctuellement que l'impact de la société et du modèle de développement capitaliste sont évoqués, même dans les conférences internationales. Les

⁴⁷ Beaud, pp.290-294

⁴⁸ Ibid, pp.297-300

principaux initiateurs de l'approche malthusienne de la surpopulation sont, de l'après-guerre aux années 1970, d'abord Fairfield Osborn et William Vogt, puis Garrett Hardin et Paul Ehrlich.⁴⁹

Les sciences de l'environnement se développent alors dans ce climat et cette volonté de mettre à la fois la planète et les populations sous surveillance. Dès 1946, la science fut recrutée à l'aide de financements sans précédent en vue de préparer la Troisième Guerre mondiale face à l'Union Soviétique. Les sciences de l'environnement et du climat étaient alors mobilisées pour préparer la guerre totale à l'aide d'armes environnementales et climatiques, et plus seulement à l'aide de l'arme nucléaire. « Military officers recognized that they needed to understand everything about the environments in which they operated, from the ocean depths to the top of the atmosphere. (...) Beyond the daily forecast, some experts had visions of deliberately altering the weather. (...) A nation that understood weather might also obliterate an enemy with droughts or endless snows - a Cold war indeed ! A few scientists warned that "climatological warfare" from cloud seeding or the like could become more potent than even nuclear bombs. These programs all addressed questions of how to predict, and perhaps control, the weather temporarily within a localized region. Questions about long-term climate change over the planet as a whole were not a favored field of inquiry. Why pay for research about, for example, the global effects of increased CO₂, when such change was not expected for centuries to come, or more likely never ? »⁵⁰

Jacob Darwin Hamblin décrit de manière plus forte l'instrumentalisation militaire de la science et son grand développement lors de la Guerre froide, en lieu et place de l'arme atomique, alors peu disponible : « in the earliest days of the Cold War, scientists refined their expertise at maximizing human death by arming Mother Nature. (...) Scientific research became a tool to extend "total war" thinking to the natural environment. Top scientists began to imagine contamination on a city and a regional scale as an important line of research. (...) Although the Cold War era is sometimes characterized as the "nuclear age," all weapons of widespread human death assumed legitimacy in the immediate postwar years. (...) Scientific growth after World War II owes its greatest debt to the US armed services, which paid the lion's share of the bill. Indeed, the discovery of global warming would have been impossible without scientific projects funded by the American military. »⁵¹

Partant de la volonté du gouvernement des Etats-Unis et de l'armée, mais aussi de l'Union Soviétique, de comprendre et de contrôler l'environnement, même d'agir dessus, dès les années 1950, les recherches scientifiques vont se multiplier et s'organiser à l'échelle des Etats mais aussi à l'échelle globale. Plusieurs recherches dépasseront le cadre envisagé par l'armée américaine et mèneront indirectement vers de nouvelles études du cycle du carbone et du changement climatique. Les principaux chercheurs engagés directement ou indirectement par l'armée américaine, et qui

⁴⁹ Voir Robertson (2008) et Locher (2013)

⁵⁰ Weart, 2003, p.23

⁵¹ Hamblin, 2013, pp.5-9

s'intéresseront au changement climatique, sont alors Gilbert Plass (1920-2004), Charles David Keeling (1928-2005), Roger Revelle (1909-1991) et Hans Suess (1909-1993). Initialement, ces chercheurs ne se consacraient au changement climatique et au CO₂ qu'en parallèle de leurs mandats officiels pour l'armée. Selon Weart, « if just one of these men had been possessed by a little less curiosity, or a little less dedication to laborious thinking and calculation, decades more might have passed before the possibility of global warming was noticed. (...) Government agencies like the Navy could hardly be expected to devote much more money to the question. »⁵² Plus globalement, dans les années 1950, il n'existait pas de communauté scientifique dédiée au changement climatique, il s'agissait seulement de travaux ponctuels menés par des chercheurs dans les limites de leur propre domaine scientifique.

Dans ce cadre éclaté des années 1950, se déroule en 1957 et 1958, l'Année Géophysique internationale (AGI). Plus de 60 pays se coordonnent pour mener des études multidisciplinaires et pour partager des informations sur les propriétés physiques de la Terre ainsi que sur les interactions entre le Soleil et la planète. Selon Hamblin, cette année géophysique était organisée aussi dans l'intérêt bien compris des grandes puissances et de leurs appareils militaires, en vue de récolter un maximum d'informations destinées à comprendre et à maîtriser les propriétés de l'atmosphère, des océans, et de zones stratégiques comme le continent antarctique.⁵³

Mesure de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère

Le changement climatique était alors situé au bas de la liste des priorités de l'AGI⁵⁴, mais Revelle et Suess ont pu, néanmoins, lancer un programme dans ce cadre, géré par le géochimiste américain Charles David Keeling et destiné à mesurer la concentration du CO₂ atmosphérique. Keeling parvient alors à mesurer le cycle saisonnier annuel. Il mesure aussi la croissance accélérée de la concentration moyenne de CO₂ dans l'atmosphère, ce que Keeling associe à la perturbation humaine du cycle du carbone, en raison de la déforestation accrue et à l'usage des combustibles fossiles. Weart envisage ainsi la portée des analyses de Keeling : « This was not quite the discovery of global warming. It was the discovery of the possibility of global warming. Experts would continue for many years to argue over what would really happen to the planet's climate. But no longer could a well-informed scientist dismiss out of the hand the possibility that our emission of greenhouse gases would warm the Earth. That odd and unlikely theory now emerged from its cocoon, taking flight as a serious topic. »⁵⁵

⁵² Weart, 2003, pp.30+31

⁵³ Hamblin, 2013, p.90

⁵⁴ Weart, 2003, p.35

⁵⁵ Weart, 2003, p.38

Les irrégularités climatiques émergent et inquiètent

Poursuivant ses travaux, Keeling affirme en 1964, avec d'autres experts, devant l'importante Conservation Foundation, que le doublement des émissions de CO₂ pourrait engendrer une augmentation de 4°C la température globale, et par là engendrer la fonte des glaces, l'augmentation du niveau des mers et l'inondation des côtes. A la même époque, en 1965, l'administration Johnson commande la création d'un panel d'expert sur les questions environnementales et crée un groupe dédié aux questions climatiques.⁵⁶ Mais l'impact de l'homme sur le climat n'est en fait qu'une préoccupation marginale pour le gouvernement des Etats-Unis, et la météorologie ne reçoit que de faibles budgets pour la plupart destinés à prédire le temps. Lorsque des enjeux à plus long terme sont envisagés, il s'agit de pollution et de modification militaire du climat : « climate change was not on any official's list of responsibilities (...) asked about human influence on the atmosphere, the public would think first about smog, and next about deliberate attempts to make rain. Such attempts included climatological warfare—indeed the US armed forces had already secretly begun a large-scale attempt to bog down the North Vietnamese army with artificial rainmaking. Progress on global warming would come mainly from money earmarked for other purposes. »⁵⁷

C'est à partir des années 1970, que le changement climatique intéresse davantage les gouvernements, en particulier depuis les sécheresses et famines dans le Sahel et en Inde, qui peuvent être de nouvelles sources de crises et qui révèlent les irrégularités climatiques. En même temps, depuis la fin des années 1950, des scientifiques remettent en question la croyance en un climat immuable, et décèlent des premiers indices de changements abrupts.⁵⁸ Si la préoccupation pour les irrégularités climatiques est alors croissante, notamment dans les conférences internationales, l'impact de l'homme et de l'industrie reste toutefois secondaire dans les débats climatiques. Il s'agit d'abord de s'adapter à des changements naturels.

Selon Romain Felli, avant les années 1980, « la thèse d'un réchauffement dû essentiellement aux émissions humaines de gaz à effet de serre n'est pas encore établie (...) Les scientifiques qui thématisent la question climatique parlent surtout de variabilité croissante du climat. (...) peu d'analystes de l'époque prônent la maîtrise, ou le « contrôle », des changements climatiques en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Au contraire, la plupart tiennent les changements climatiques pour acquis et réfléchissent à la manière dont les sociétés vont en subir les impacts, ou vont réussir à s'y adapter. »⁵⁹ Dans les années 1970, nous retrouverons effectivement cette approche de changements climatiques comme acquis dans les différents travaux de l'Organisation météorologique mondiale (OMM/WMO).

⁵⁶ Ibid, p.44

⁵⁷ Ibid, p.45

⁵⁸ Weart, 2017

⁵⁹ Felli, 2016, p.38

Le rapport Meadows au Club de Rome

Dans les avancées scientifiques des années 1970 vers une compréhension globale des phénomènes environnementaux, il est nécessaire de prendre en compte le rapport Meadows au Club de Rome, qui tente de produire un système Terre ou « World model ». En août 1970, le Club de Rome a commandé au Massachusetts Institute of Technology (MIT) un rapport qui a été publié en 1972 sous le titre de *Limits to Growth / Halte à la croissance ?*. Pour le Club de Rome, l'étude poursuivait deux objectifs : « One goal was to gain insights into the limits of our world system and the constraints it puts on human numbers and activity. Nowadays, more than ever before, man tends toward continual, often accelerated, growth—of population, land occupancy, production, consumption, waste, etc.—blindly assuming that his environment will permit such expansion, that other groups will yield, or that science and technology will remove the obstacles. (...) A second objective was to help identify and study the dominant elements, and their interactions, that influence the long term behavior of world systems. »⁶⁰

Une conclusion majeure du rapport envisage que la croissance de la population et des divers capitaux engendre une telle consommation des ressources naturelles, atteignant ou dépassant les limites naturelles, qu'elle sera suivie d'un effondrement : « Although we have many reservations about the approximations and simplifications in the present world model, it has led us to on conclusion that appears justified under all the assumptions we have tested so far. The basic behavior mode of the world system is exponential growth of population and capital, followed by collapse. »⁶¹.

L'apport principal de ce travail est double : la proposition d'un modèle d'interactions globales, le « World model » et l'identification détaillée de limites environnementales au développement, des limites en termes de ressources fossiles ou de capacité d'absorption des diverses formes de pollution. Néanmoins, il est à noter qu'on ne trouve pas de nouvel apport sur le cycle du carbone et le changement climatique, malgré la référence aux travaux de Keeling et de Bolin : « It is not known how much CO₂ or thermal pollution can be released without causing irreversible changes in the earth's climate, or how much radioactivity, lead, mercury, or pesticide can be absorbed by plants, fish, or human beings before the vital processes are severely interrupted. »⁶²

Le rapport reste encore marqué par un point de vue ethnocentré, peu politique et par le paradigme population-ressources-survie prédominant depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale. Le mode de développement capitaliste, et impérialiste, n'est pas mis en cause. C'est un mode de développement humain et mondial. C'est d'ailleurs une des critiques qui a été émise par des jeunes scientifiques, venus de pays « développés » et du Tiers-monde, rassemblés par l'UNESCO en vue

⁶⁰ Meadows, 1972, p. 185, tiré du commentaire final du rapport par le Comité exécutif du Club de Rome

⁶¹ Ibid, p.142

⁶² Ibid, p.81

de donner leur avis sur le rapport : « Pourquoi a-t-on refusé de considérer la guerre, le commerce des armes, le colonialisme et l'impérialisme comme des facteurs spécifiques qui peuvent être et sont déjà à l'origine de crises? Pourquoi l'analyse ne tient-elle pas compte de l'inégalité de la répartition des ressources aussi bien entre les nations qu'à l'intérieur des frontières ? Les participants se sont très largement accordés à penser que toutes les hypothèses reposent sur le maintien du statu quo dans le monde : c'est un modèle qui ne fait aucune place au conflit, dans un monde déchiré. » Les jeunes scientifiques ont aussi rejeté unanimement la cause principale de la surpopulation et ont souligné le sous-développement comme cause de la surpopulation, « dû en fait à l'exploitation des pays en voie de développement par les pays développés. »⁶³

Selon Grinevald, ce rapport Meadows, préparé pour la Conférence des Nations Unies sur l'environnement de 1972, « a fait l'effet d'un pavé dans la mare. Un large public a été choqué, mais parfois séduit, suscitant de vives réactions contradictoires. Il a servi de catalyseur à la naissance de l'écologie politique (...) Ce catastrophisme écologique suscita un tollé du côté de l'establishment, des économistes et des hommes politiques, y compris des syndicalistes, des partis communistes et des intellectuels marxistes. L'ensemble du spectre philosophico-politique des pays démocratiques occidentaux chercha la parade dans une réaffirmation de la foi dans le mythe de la régulation du marché et le progrès scientifique et technique illimité. »

Vers une vision globale du système Terre

Le « World model » proposé dans le rapport Meadows prend place dans un panorama d'autres travaux et démarches multidisciplinaires, réalisés dès la fin des années 1960, en vue d'élaborer une vision globale du système Terre. Grinevald estime même qu'on assiste alors à un « tournant majeur » dans l'histoire des idées sur l'environnemental à un « changement de perspective changement de perspective qui impliquera, en profondeur, une réconciliation entre développement et environnement, économie et écologie, société et nature. »⁶⁴

Dès 1968, les organisations internationales, au sein de l'ONU, ont organisé différentes conférences sur les thèmes environnementaux et ont remobilisé l'approche de la Biosphère, en réclamant la filiation avec les travaux de Vernadsky. En même temps, l'hypothèse Gaïa, bien que privilégiant une vision auto-régulatrice du système Terre, commençait aussi à se diffuser dans l'univers scientifique. Défendant une vision holiste de l'environnement, l'hypothèse Gaïa se plaçait, selon Grinevald en filiation avec les travaux de Humboldt, Vernadsky ou encore Hutchinson.⁶⁵

En 1968, l'UNESCO organise à Paris, la Conférence internationale de la Biosphère. Selon Grinevald, l'UNESCO va contribuer à diffuser la notion de Biosphère dans la coopération

⁶³ ONU, 1972, pp.14-15.

⁶⁴ Grinevald, 1990

⁶⁵ Grinevald, 1995

internationale, mais lui donne des acceptions floues et variées. Malgré son intitulé, la conférence de 1968 ne parle pas du cycle du carbone et du changement climatique, elle se concentre sur les ressources biotiques et, « s'inquiète surtout de l'explosion démographique, de la pollution et de la dégradation de l'environnement humain, cependant elle ne touche pas (à l'instar de l'IUCN) au pétrole et aux ressources minérales, à la base de la croissance industrielle moderne. »⁶⁶.

La notion de Biosphère sera reprise lors de la conférence de Stockholm en 1972 (Conférence des Nations Unies sur l'environnement). Le rapport final « Only One Earth / Pour que Terre demeure » revendique dès les premières lignes le concept de biosphère de Vernadsky : « le concept fondamental d'une politique mondiale de l'environnement, c'est aujourd'hui la biosphère. Ce terme, comme l'idée qu'il exprime, n'a guère plus d'un siècle d'existence. Mais son extension est vraiment internationale. Son origine remonte à Lamarck, le naturaliste français ; il apparaît pour la première fois en 1875 dans les travaux scientifiques du géographe autrichien Suess ; il a fait carrière depuis, et il est entré dans le lexique scientifique surtout grâce au minéralogiste russe V.I. Vernadski. »⁶⁷

Le système climatique

Depuis que les organisations internationales ont utilisé, même de manière floue et variée, l'approche de la Biosphère de Vernadsky, elles ont aussi développé l'outil numéro un pour analyser et prédire le changement climatique, c'est le « système climatique ». La première trace que j'ai trouvée de cet outil, se trouve dans un bulletin de janvier 1977 de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), plus précisément dans le « Rapport technique sur les changements climatiques présenté par le groupe d'experts des changements climatiques du Comité exécutif de l'OMM » : « Par système climatique on entend l'ensemble que constituent l'atmosphère, les océans, les zones de neige et de glace, les masses continentales et la végétation. Les liens, nombreux et complexes, d'ordre aussi bien physique que chimique, qui unissent ces divers éléments jouent un rôle prépondérant dans l'organisation du régime climatique du globe et sont, sans doute, à l'origine des fluctuations et de la variabilité du climat. »⁶⁸ Les sociétés humaines et l'industrie ne font alors pas partie du système climatique, elles sont considérées à l'extérieur : « Les fluctuations climatiques peuvent aussi résulter, tout au moins en partie, de phénomènes extérieurs au système climatique, comme (...) l'accumulation dans l'atmosphère de gaz carbonique résultant de la combustion de carburants fossiles. » En 1979, lors de la première Conférence internationale sur le climat, organisée par l'OMM, le système climatique comprend : l'atmosphère, les océans, la cryosphère (glaces et neige),

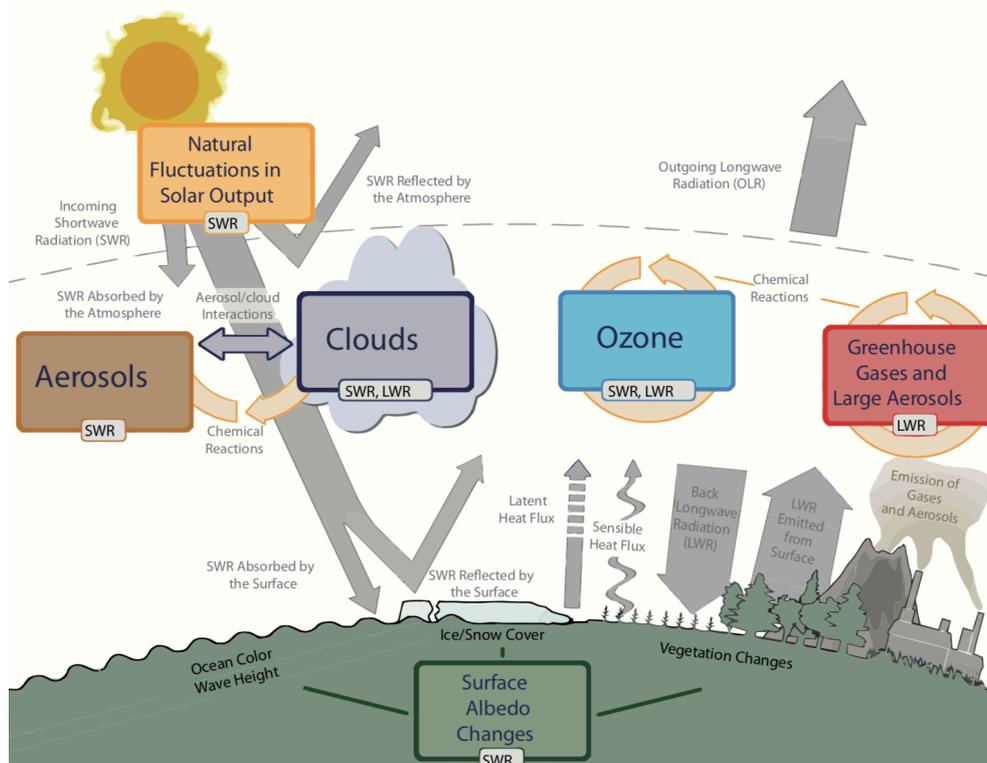
⁶⁶ Grinevald, 2007, p.130

⁶⁷ Pour que terre demeure, p.4

⁶⁸ Bulletin 26, 1, Janvier 1977

la surface terrestre et la biosphère terrestre et marine.⁶⁹ Ces composantes de 1979 sont encore celles qui sont utilisées actuellement par le GIEC/IPCC.

A l'heure actuelle, le GIEC explique le fonctionnement du système climatique de la manière suivante.⁷⁰ Le système climatique de la Terre détient son énergie des radiations solaires. La moitié des radiations solaires sont absorbées par la surface terrestre, 30% sont renvoyées vers l'espace par des gaz et aérosols, par les nuages et par la surface terrestre (albedo), 20% est absorbé par l'atmosphère. Les radiations d'onde longue (LWR) ou radiations infrarouges émises par la surface terrestre sont largement absorbées par les composants atmosphériques, vapeur d'eau, oxyde de carbone (CO₂), méthane (CH₄), protoxyde d'azote (N₂O) et d'autres gaz à effet de serre, qui émettent eux des radiations (LWR) dans toutes les directions. Les radiations descendantes de LWR augmentent la chaleur des couches inférieures de l'atmosphère et de la surface terrestre, c'est l'effet de serre. Le soleil diffuse principalement son énergie dans les régions tropicales et subtropicales, ensuite cette énergie partiellement est redistribuée par l'atmosphère et les courants océaniques, vers les latitudes moyennes et Nord. Dans cet ensemble, des changements - naturels ou anthropiques - dans l'atmosphère, la surface terrestre, les océans, la biosphère ou la cryosphère peuvent affecter le climat. Des mécanismes de feedbacks, rétroactions peuvent amplifier les changements (positive feedbacks) ou les diminuer (negative feedbacks). Ces mécanismes de rétroaction impliquent que les changements ne sont pas graduels ou linéaires, mais peuvent être cumulatifs et abrupts.



⁶⁹ OMM, 1979, p. 752.

⁷⁰ Cubasch, 2013, pp.126-127 (Même référence pour la figure ci-dessus).

Conclusion

En relisant l'histoire que j'ai reconstruite ici, j'ai l'impression que l'écologie était peu de choses face aux grands phénomènes historiques des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles, face au poids du couple économie capitaliste et Etat, face à l'émergence des empires au XIX^{ème} siècle et dans l'après-guerre, face à la guerre totale, face à la Guerre froide, face à ce que le Président Eisenhower appelait le « complexe militaro-industriel », voire à ce que j'appellerai le complexe militaire-industriel-pétrolier. En fait, l'écologie n'est rien lorsque les économies capitalistes et les Etats s'engagent dans une course effrénée à la puissance. L'écologie n'est peut-être rien quand ce qui compte c'est la compétition et l'accumulation.

C'est donc dans les années 1970, et au sein des organisations internationales ou multilatérales qu'une vision plus globale de l'environnement a été diffusée à nouveau. Dans des sphères où une variété d'intérêts sont représentés, plus seulement des grandes puissances du Nord, mais aussi des pays du Tiers-Monde, dans des sphères où les budgets de recherche peuvent être un peu plus ouverts que les budgets d'Etats en compétition. Mais malheureusement, les années pendant lesquelles les questions climatiques et anthropiques commencent à être prises en compte, ce sont les années où le néo-libéralisme s'installe, où les régulations étatiques sont petits à petits démantelées, et pas seulement les protections environnementales, ce sont en même temps les années où ce néo-libéralisme diffuse encore davantage le règne de la marchandisation et de l'accumulation.

Ce travail de mémoire, m'a ouvert les yeux, avec joie et grand intérêt, sur le développement des sciences de l'environnement et sur l'écologie globale. Il donne envie de faire de l'histoire des sciences, de vulgariser les sciences, mais d'abord de continuer cette histoire du changement climatique, de tisser mieux les fils entre événements et phénomènes, de mieux dessiner les contextes, de fouiller davantage les recherches et les profils des savants. La frustration d'avoir fait si vite, sur un sujet si nouveau, est vite oubliée devant l'envie de me reposer et aussi d'approfondir le sujet, de découvrir plus.

Bibliographie

Littérature secondaire

ACOT, Pascal, Histoire du climat, Du Big Bang aux catastrophes climatiques, Paris : Librairie Académique Perrin, 2009.

AUFENVENNE, Philipp, Climate Change and Society: About the Rediscovery of Climatic Causation, 2010. Disponible sur internet : http://igr.aau.at/images/stories/pdf/Aufenvenne_2010.pdf. (Consulté le 20 novembre 2018)

BEAUD, Michel, Histoire du capitalisme. De 1500 à 2000, Paris : Points, 2000.

DESCOLA Philippe. « L'anthropologie de la nature » In: Annales. Histoire, Sciences Sociales. 57e année, N. 1, 2002. pp. 9-25; Disponible sur internet : https://www.persee.fr/doc/ahess_0395-2649_2002_num_57_1_280024. (Consulté le 20 décembre 2018).

FELLI, Romain, La grande adaptation, Paris : Seuil, 2016.

GRINEVALD, Jacques. « Le développement de/dans la biosphère » In : *L'homme inachevé : Un devenir à construire : les « possibles » de l'homme*. Genève : Graduate Institute Publications, 1987. Disponible sur Internet : <http://books.openedition.org/iheid/3299>. (Consulté le 18 déc. 2018).

GRINEVALD, Jacques. « L'effet de serre de la biosphère : de la révolution thermo-industrielle à l'écologie globale », In : Stratégies énergétiques, Biosphère et Société (SEBES), mai 1990, 1, p.9-34. Internet : <http://www.akademia.ch/sebes/textes/1990/1990Grinevald.html> (Consulté le 28 novembre 2018).

GRINEVALD, Jacques. « De Carnot à Gaya, l'histoire de l'effet de serre », In : La Recherche n°243, vol 23, mai 1992.

GRINEVALD, Jacques. « L'ingérence des écologistes dans les affaires internationales » In : *Écologie contre nature : Développement et politiques d'ingérence*, Genève : Graduate Institute Publications, 1995. Disponible sur Internet : <http://books.openedition.org/iheid/2904>. (Consulté le 30 déc. 2018).

GRINEVALD, Jacques. La Biosphère de l'Anthropocène. Pétrole et climat, la double menace. Repère transdisciplinaire 1824-2007. Genève : Georg, 2007.

HAMBLIN, Jacob Darwin, Armin Mother Nature, The Birth of Catastrophic Environmentalism, Oxford/New York, Oxford University Press, 2013.

HOBBSAWM, Erik J., L'âge des extrêmes, Le Court Vingtième Siècle 1914-1991, Paris : Complexe, 2003.

HOBBSAWM, Erik J., L'ère des empires (1875-1914), Paris : Hachette, 2012.

KUZMIN V.I., Vladimir I. Vernadsky and his role in resolution of challenges of nuclear energy utilization in Russia, *New Data on Minerals*. 2013. Vol. 48. p. 113 – 116. Russian Academy of Science, Fersman Mineralogical Museum. Disponible sur internet : https://www.fmm.ru/images/4/40/NDM_2013_48_Kuzmin_eng.pdf. (Consulté le 20 décembre).

LOCHER Fabien, « Les pâturages de la Guerre froide : Garrett Hardin et la « Tragédie des communs » », *Revue d'histoire moderne & contemporaine*, 2013/1 (n° 60-1), p. 7-36. Disponible sur internet : <https://www.cairn.info/revue-d-histoire-moderne-et-contemporaine-2013-1.htm-page-7.htm> (Consulté le 20 décembre 2018).

LOVEJOY, Thomas E., « GEORGE EVELYN HUTCHINSON: 13 January 1903 — 17 May 1991. » *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, vol. 57, 2011, pp. 167–177. Disponible sur internet : <https://www.jstor.org/stable/41412876>. (Consulté le 20 décembre 2018).

MERLE Jacques, VOITURIEZ Bruno, DANDONNEAU Yves, Changement climatique. Histoire et enjeux, Paris : L'Harmattan, 2016.

MITCHELL, Tommy, Carbon Democracy. Le pouvoir politique à l'ère du pétrole, Paris : La Découverte, 2013.

PERKINS MARSH, George, « L'homme et la nature ; ou, la géographie physique modifiée par l'action humaine », *Ecologie & politique*, 2008/1 (N°35), p. 155-176. Disponible sur internet : <https://www.cairn.info/revue-ecologie-et-politique1-2008-1.htm-page-155.htm> (Consulté le 20 novembre 2018).

POLUNIN, Nicholas., GRINEVALD, Jacques, Vernadsky and Biospherical Ecology, *Environmental Conservation*, 15(2), 117-122. Disponible sur internet : <http://doc.rero.ch/record/298254/files/S0376892900028915.pdf>. (Consulté le 20 novembre 2018).

ROBERTSON, Thomas; "This Is the American Earth": American Empire, the Cold War, and American Environmentalism, *Diplomatic History*, Volume 32, Issue 4, 1 September 2008, Pages 561–584. Disponible sur Internet : <https://academic.oup.com/dh/article/32/4/561/457399>. (Consulté le 28 décembre 2018).

WEART, Spencer R., The Discovery of Global Warming, Cambridge (USA)/London : Harvard University Press, 2003.

WEART, Spencer R., The Discovery of Global Warming, February 2017, Site internet : <https://history.aip.org/climate/rapid.htm> (Consulté le 20 novembre 2018).

Sources primaires

VERNADSKY, Vladimir, The Biosphere and the Noösphere, *American Scientist*, Volume 33, No 1, January 1945, Pages 1-12. Disponible sur internet : <http://www.erichwalters.org/foundations/literature/Vernadsky1945.pdf>. (Consulté le 3 déc. 2018).

PERKINS MARSH, Georges, Man and Nature, Seattle : University of Washington Press, 2003.

MEADOWS, Donella H., [and others], The Limits To Growth; a Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. New York : Universe Books, 1972. Disponible sur internet : <https://www.clubofrome.org/report/the-limits-to-growth/>. (Consulté le 3 déc. 2018).

Discours du secrétaire général de l'ONU, Antonio Guterres, le 10 septembre 2018, Disponible sur internet : <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2018-09-10/secretary-generals-remarks-climate-change-delivered> (Consulté le 2 novembre 2018).

CUBASCH, U., [and others] 2013: Introduction. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. (Consulté le 28 décembre 2018)

UNESCO, Pour que Terre demeure, *Le Courrier de l'UNESCO*, XXVI, 1, 1976. Disponible sur internet : https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000050608_fre. (Consulté le 28 déc. 2018).

World Meteorological Organization (WMO), Proceedings of the World Climate Conference - a conference of experts on climate and Mankind, World Climate Conference-1 (WCC-1) (12-23 February 1979; Geneva, Switzerland), Col. WMO- No. 537, Disponible sur internet : http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_537_en.pdf. (Consulté le 28 décembre 2018).

World Meteorological Organization (WMO), Bulletin de l'OMM, Volume XXVI, N°1: Janvier 1977. Disponible sur internet : https://library.wmo.int/pmb_ged/bulletin_26-1_fr.pdf. (Consulté le 28 déc. 2018).

„Ich erkläre hiermit, dass ich die Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Quellen entnommen sind, habe ich als solche gekennzeichnet. Mir ist bekannt, dass andernfalls die Arbeit mit 'nicht erfüllt' bewertet wird und dass ggf. ein bereits ausgestelltes Zertifikat Nachhaltige Entwicklung von der Philosophisch- naturwissenschaftlichen Fakultät für ungültig erklärt werden kann.“

Régis Niederoest, Décembre 2018, Lausanne

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'R. Niederoest', written in a cursive style.