

1850 – 1950 : Quels liens ont existé entre les grandes découvertes de la physique et l'histoire environnementale ?

par

Natie Lahitte

Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env) et à l'Université de Technologie de Troyes en vue de l'obtention du diplôme de master en Ingénierie et Management de l'Environnement et du Développement Durable (IMEDD)

UNIVERSITE DE SHERBROOKE, CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN  
ENVIRONNEMENT

UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE DE TROYES, MASTER INGENIERIE ET  
MANAGEMENT DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Troyes, France, septembre 2010

## **IDENTIFICATION SIGNALÉTIQUE**

1850 – 1950 : QUELS LIENS ONT EXISTÉ ENTRE LES GRANDES DÉCOUVERTES DE LA PHYSIQUE ET L'HISTOIRE ENVIRONNEMENTALE ?

Natie Lahitte

Essai effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env) et en vue de l'obtention du diplôme de master en ingénierie et management de l'environnement et du développement durable (IMEDD)

Sous la direction de Bertrand Guillaume

Université de Sherbrooke – Université de Technologie de Troyes

Septembre 2010

Mots clés : histoire environnementale, histoire des sciences, histoire de la physique, histoire de l'environnement, durabilité, nanotechnologies.

L'histoire environnementale et l'histoire scientifique présentent de nombreuses composantes communes. Le présent essai se propose de les détailler, en particulier en ce qui concerne la période allant de 1850 à 1950. Pour ce faire, une série d'exemple d'évènements marquants y est détaillé. Suite à cette chronologie, une analyse des liens entre l'histoire environnementale et scientifique est établie, autour de quatre composantes communes : l'éthique, les échelles, le doute et la complexité. Enfin, cette classification permet de proposer des pistes de solutions pour qu'une thématique scientifique, ici les nanotechnologies, puisse aller dans le sens de la durabilité en s'appuyant sur les leçons du passé.

## SOMMAIRE

La science peut représenter un espoir ou une menace en matière d'environnement. En effet, parfois elle explique des phénomènes et permet de protéger le patrimoine naturel alors que pour d'autres projets, elle est la source d'émissions nocives. Néanmoins, il arrive souvent que les relations entre les deux mondes, le monde scientifique et le monde environnemental soient plus complexes que ces deux extrêmes.

Tout d'abord, cet essai revient sur les premiers événements de l'histoire environnementale. Celle-ci commence au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle avec les premiers mouvements des hommes qui prennent individuellement ou collectivement la décision de protéger un paysage, une espèce faunique ou floristique. Cet essai étudie plus particulièrement la période allant de 1850 à 1950.

Pour la même période, la partie sur l'histoire scientifique revient sur les événements majeurs en science, notamment les découvertes de la physique. Ainsi, on traverse des domaines et des découvertes variés comme la thermodynamique, la mécanique quantique, la radioactivité, la relativité...

Ces deux chronologies mises en perspective permettent ensuite de définir quatre composantes communes que sont l'éthique, les échelles, le doute et la complexité. Pour chacune de celles-ci, les événements qui s'y relient sont expliqués. Grâce à cette analyse, une vision de la durabilité entre les années 1850 et 1950 est alors proposée.

Enfin, une étude de cas prospective est proposée à la fin du document. Le cas choisi est celui des nanotechnologies. Les points forts et les points faibles de la situation présente au regard des quatre composantes communes permettent d'établir un certain nombre de mesures correctives de manière à intégrer la durabilité dans ce champ de recherches.

## REMERCIEMENTS

En premier lieu, je souhaite remercier mon directeur d'essai, Bertrand Guillaume, pour avoir offert de son temps pour me guider dans ce travail. Le partage de son expérience et de ses connaissances ont pu me permettre de rendre un travail dont je suis fière mais aussi ses encouragements m'ont permis de me rendre jusqu'au bout de cette épreuve.

Ensuite, quatre personnes ont donné de leur temps pour me relire, m'aider à corriger mes phrases « écrites avec les pieds », il s'agit de Fabienne, Jean-Marc, Solène et Teddy. Ils m'ont offert un soutien sans faille, et surtout ont permis de faire des moments de détente durant ma rédaction des souvenirs inoubliables. A eux un grand merci.

Enfin, sans l'environnement humain dans lequel j'ai évolué durant mes deux années de master, ce travail n'aurait sans doute pas été le même, ni moi la même personne à l'heure où je rédige ces mots. Je souhaite donc remercier mes enseignants et surtout les deux responsables du programme de la « double-diplômation », Sabrina Brulot de l'UTT et Judith Vien du CUFÉ. Cette liste ne serait pas complète sans une pensée affectueuse à mes camarades étudiants croisés lors des travaux d'équipe ou des cours et surtout ceux du double diplôme : Lucie, Mélo, Laëtitia, Lucile, Justine, Tat, Simon et Alex.

## TABLE DES MATIERES

Sommaire .....	i
Remerciements.....	ii
Liste des figures et des tableaux.....	v
Liste des acronymes, des symboles et des sigles.....	vi
Introduction.....	1
1 L'histoire entre 1850 et 1950 .....	3
1.1 Contexte historique.....	3
1.1.1 Le contexte idéologique, social et géopolitique en Europe.....	3
1.1.2 La situation en Amérique du Nord.....	6
1.1.3 Le contexte mondial de révolution industrielle.....	8
1.2 L'histoire de la physique entre 1850 et 1950 .....	10
1.2.1 La physique macroscopique.....	10
1.2.2 La physique microscopique.....	13
1.3 L'histoire environnementale entre 1850 et 1950.....	15
1.3.1 Les préoccupations de la recherche scientifique.....	15
1.3.2 Les actions nationales ou internationales .....	19
1.3.2.1 La création de parcs naturels.....	19
1.3.2.2 Création de lois nationales.....	20
1.3.2.3 Création d'ententes multilatérales .....	21
1.3.2.4 La réaction aux catastrophes environnementales.....	22
1.3.3 Les changements de perception des citoyens.....	23
1.3.3.1 Les mouvements artistiques et culturels .....	23
1.3.3.2 Création d'organisations non gouvernementales .....	24
2 Analyse des liens entre histoire des sciences et histoire environnementale.....	25
2.1 Méthodologie.....	25
2.2 Composantes communes identifiées .....	26
2.3 L'éthique.....	27
2.3.1 Définition.....	28
2.3.2 L'éthique comme composante commune de l'histoire des sciences et de l'histoire environnementale .....	28
2.4 Les échelles .....	31
2.4.1 Définition.....	31

2.4.2	La notion d'échelle comme composante commune de l'histoire des sciences et de l'histoire environnementale .....	32
2.5	Le doute .....	35
2.5.1	Définition .....	35
2.5.2	Le doute comme composante commune de l'histoire des sciences et de l'histoire environnementale .....	36
2.6	La complexité .....	38
2.6.1	Définition .....	38
2.6.2	La complexité comme composante commune de l'histoire des sciences et de l'histoire environnementale .....	38
2.7	Synthèse des liens entre histoire environnementale et histoire scientifique .....	41
3	Les nanotechnologies, étude prospective .....	43
3.1	Description du cas d'études .....	43
3.2	Justification du cas d'études.....	46
3.3	L'éthique.....	46
3.4	Les échelles .....	47
3.5	Le doute .....	48
3.6	La complexité.....	49
3.7	Recommandations .....	51
3.7.1	Pour les nanotechnologies.....	51
3.7.2	Extension aux projets scientifiques .....	54
	Conclusion .....	57
	Références .....	59
	Bibliographie .....	62

## **LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX**

Tableau 3.1 - Recommandations pour l'usage des nanotechnologies ..... 51

Tableau 3.2 - Recommandations pour les projets technologiques et scientifiques ..... 54

## **LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES**

MKSA : système de quatre unités de mesure élémentaires (mètre, kilogramme, seconde, ampère) qui permet d'obtenir par équivalences toutes les autres grandeurs du système international de mesures.



## INTRODUCTION

« Il est étrange que la science, qui jadis semblait inoffensive, se soit transformée en un cauchemar faisant trembler tout le monde » (Einstein, Lettre à la Reine Elisabeth de Belgique, 28 mars 1954). La science est parfois un outil de terreur militaire pour les peuples et les nations mais aussi synonyme d'espoir, par exemple grâce aux avancées médicales. De nombreuses questions autour de l'utilité et de l'éthique des sciences étaient en 1954 et restent encore non résolues.

L'histoire des sciences est une discipline qui permet de comprendre comment les théories qui actuellement sont définies comme vraies et vérifiables ont vu le jour et quels sont les acteurs de ces découvertes. Dans ce rapport, c'est l'histoire de la physique qui a été retenue, car en ce qui concerne la période allant de 1850 à 1950, c'est dans ce domaine que les avancées ont été les plus spectaculaires avec, entre autres, la découverte de la radioactivité, la relativité ou encore la mécanique quantique.

L'histoire environnementale relate, quant à elle, les relations qu'entretiennent les hommes avec leur environnement. L'environnement est ici à comprendre comme le milieu physique et biologique dans lequel ils évoluent. Les hommes peuvent être considérés comme des individus mais aussi comme groupement d'individus ou même entités politiques (pays, villes...). L'histoire environnementale est donc le reflet des préoccupations individuelles et collectives ainsi que de leurs rapports au patrimoine naturel, aux paysages, à la faune, à la flore. Ainsi, on étudie dans cette discipline les nouvelles lois, les mouvements de citoyens, les œuvres culturelles et artistiques qui ont trait à l'environnement.

Au cours de cette étude, et afin de mieux comprendre les liens entre la science et l'environnement, un voyage dans le temps sera effectué. Le premier chapitre s'intéresse au premier siècle de l'histoire environnementale, à savoir les années 1850 à 1950. Dans ce chapitre, des événements clés dans les chronologies scientifiques et environnementales seront décrits, de manière à pouvoir créer un aperçu de la situation dans chacun des deux domaines.

La science et la nature, telles qu'elles ont été précédemment définies, peuvent paraître opposées, mais présentent en réalité de nombreuses similitudes. C'est à partir de ces

ressemblances que, dans une seconde partie, seront extraites quatre composantes communes : l'éthique, la notion d'échelles, le doute et la complexité. Pour chaque composante commune, les éléments s'y rattachant dans chacune des catégories seront détaillés. Ensuite, la synthèse de cette étude permettra de poser en filigrane des quatre composantes communes le spectre de la durabilité.

Le voyage dans le temps s'achèvera ensuite avec un retour dans le présent puis un avant-goût du futur. En effet, en suivant les enseignements extraits de la période 1850 à 1950, une étude sur la situation des nanotechnologies sera effectuée. A partir des composantes communes du chapitre 2, on cherchera à déterminer une série de recommandations pour la recherche ou l'utilisation des nanotechnologies en visant un objectif de durabilité.

## **1 L'HISTOIRE ENTRE 1850 ET 1950**

La période allant de 1850 à 1950 est le théâtre de nombreux événements qui forment une partie des bases sur lesquelles repose le monde d'aujourd'hui. En effet, certains régimes politiques établis durant cette période continuent de perdurer. Les guerres mondiales hantent toujours les mémoires. Les découvertes et les nouveautés de la révolution industrielle ont modelé les paysages urbains et ruraux. Tout d'abord, le contexte historique et certains événements clés seront décrits avec les nouvelles idées et les nouveaux modes de pensée qui s'y rapportent, les refontes géopolitiques ainsi que la révolution technique et industrielle qui en découle. Ensuite, les grandes découvertes et nouvelles théories du monde de la physique seront expliquées, tant d'un point de vue de la physique macroscopique que microscopique. Enfin, certains aspects de l'histoire environnementale seront développés.

### **1.1 CONTEXTE HISTORIQUE**

Entre 1850 et 1950, le monde industrialisé subit d'importantes transformations sur tous les plans. Les aspects idéologiques, sociaux et géopolitiques seront détaillés pour l'Europe puis pour l'Amérique du Nord. Ensuite, le sujet international de la révolution industrielle sera abordé.

#### **1.1.1 Le contexte idéologique, social et géopolitique en Europe**

Le contexte européen, entre 1850 et 1950 peut se diviser en deux périodes : de 1850 à 1914, l'Europe connaît une période de refondation géopolitique de grande ampleur où les conflits armés se déroulent majoritairement sur le continent. Puis, de 1914 à 1950, l'Europe est le théâtre des deux conflits à dimension mondiale, les plus destructeurs de l'histoire des hommes.

Ces bouleversements s'appuient sur des mouvements fondés sur le nationalisme. Celui-ci s'exprime de manière différente selon les états. Ainsi des états-nations sont constitués ; certains peuples demandent un changement de régime allant vers une augmentation de la démocratie (établissement d'une république), des conflits éclatent autour de l'organisation

économique avec l'opposition entre les théories du libéralisme et celles du socialisme. Parallèlement, les empires coloniaux s'agrandissent considérablement.

Cette période est aussi celle d'un accroissement combiné de la population et de la production de biens de consommation, marquant intensément les paysages et les modes de vie des européens. En France par exemple la production de pommes de terre passe de 50 millions de quintaux en 1850 à 140 millions de quintaux en 1939 (Braudel, 2001), la population du pays passant sur la même période de 36 à 45 millions d'habitants (*id.*). Cette évolution de la production et de la population aura aussi pour corollaire un changement radical dans les modes de vie. C'est dans les années 1930 que s'inverse le rapport entre la population rurale et la population urbaine, passant de 23,5 millions de ruraux pour 5,5 millions d'urbains en 1810 à 23.9 millions d'urbains pour 18 millions de ruraux en 1950 (*id.*).

En Europe, des mouvements libéraux et nationaux entraînent des changements idéologiques. Ainsi, les idées proposées par les philosophes des Lumières, les armées de la révolution et de l'Empire Napoléonien sur la liberté, la démocratie, la religion ainsi que les théories libérales et démocratiques font vaciller les anciennes structures politiques (de Tocqueville, 1840). La géopolitique de l'Europe est redéfinie : les grecs obtiennent leur indépendance vis à vis de l'empire ottoman en 1829 (Ambrière, 1997), la Roumanie se crée en 1859 (*id.*). En 1849, Victor Hugo imagine les états unis d'Europe (Rolland, 2006) où les biens et les idées circuleraient librement et où le pouvoir reviendrait au peuple. En parallèle, l'Italie bâtit peu à peu son unité et celle de l'Allemagne est réalisée par la Prusse (Ambrière, 1997). Ces conflits politiques qui dessinent par à-coups la carte de l'Europe à la veille de la seconde guerre mondiale s'appuient idéologiquement sur le droit des peuples à disposer d'eux-mêmes et l'aspiration à une organisation politique démocratique.

La question de l'organisation politique se double de la question de l'organisation sociale et économique. La classe ouvrière qui augmente numériquement se reconnaît dans les idées socialistes et la doctrine de Karl Marx et Friedrich Engels qui, dans le manifeste du parti communiste, en 1847, exposent la nouvelle conception du monde : le matérialisme et le rôle dévolu au prolétariat pour l'avènement d'une société révolutionnaire sans classe.

Ces tensions et combats idéologiques, les nouveaux équilibres qui modifient les frontières et les nations et les crises incessantes n'empêchent pas les progrès de la société industrielle. Du point de vue du progrès social, les premières lois d'assurances sociales sont promulguées par le chancelier Otto von Bismarck en Allemagne en 1883 (Ambrière, 1997). En ce qui concerne l'utilisation de combustibles fossiles, la consommation de charbon passe entre 1871 et 1901 de 277 à plus de 800 millions de tonnes. Les investissements bancaires sont multipliés par 10 en Europe durant cette même décennie (*Id.*). La condition ouvrière est extrêmement pénible comme l'a décrite Emile Zola dans son roman *Germinal*. Les ruraux gagnent les villes et les régions industrielles ou émigrent en masse.

Les pays européens transportent leurs conflits et leurs concurrences aux quatre coins de la planète en établissant de vastes empires coloniaux. Le canal de Suez est inauguré en 1869 par l'impératrice Eugénie et la plupart des gouvernements européens. Grâce à cette nouvelle voie navigable, les convois peuvent transporter rapidement vers l'Europe la laine, la peau, le blé d'Australie et de Nouvelle Zélande, le riz, le thé, le teck, l'étain, le latex et le pétrole d'Orient et d'Extrême-Orient. Empruntant ce même canal, les bateaux apportent également en Asie et en Océanie des tissus, des machines et des produits chimiques venus d'Europe (Ambrière, 1997). A la veille du premier conflit mondial, l'Europe est encore l'usine et la banque du monde.

En 1914, la France, le Royaume Uni et l'Empire Russe forment la triple Entente. La coalition ennemie, la triple Alliance, est formée par l'Allemagne et l'Autriche-Hongrie. Ces deux blocs entrent en guerre en 1914. La guerre jusque là guerre de mouvement se transforme dès 1915 en guerre de position. Les belligérants s'enterrent et se fortifient. Les fronts sont multiples. Loin des combats, les femmes se substituent aux hommes pour assurer l'économie de guerre. En 1917, la Russie, en pleine révolution bolchévique, se retire du conflit et les Etats-Unis entrent en guerre aux côtés de la triple Entente. L'Allemagne signe l'armistice en 1918.

L'entre-deux guerre peut se diviser en deux périodes. La première moitié est aussi appelée « les années folles ». L'Europe est alors dévastée par la guerre qui a fait des millions de morts, détruite sur une grande superficie et matériellement affaiblie. Néanmoins, on observe des ruptures sur le plan de l'organisation sociale et de la vie

quotidienne des européens. Les transports se développent, les femmes, renforcées par leur rôle pendant la guerre prennent de l'assurance, l'art se diffuse au plus grand nombre avec par exemple le cinéma qui devient de plus en plus accessible. La seconde moitié est le résultat de la crise financière de 1929. Les concurrences entre les états sont exacerbées par le sentiment d'incertitude vis-à-vis de l'avenir. Ainsi, les mouvements totalitaires de gauche (stalinisme) comme de droite (nazisme, fascisme) prennent le pouvoir en Europe.

La seconde guerre mondiale est un bouleversement dans la manière de faire la guerre. En effet, une majorité des victimes sont civiles et par le jeu d'alliances et de colonies, le conflit est mondial, sur des fronts multiples. Avec plus de soixante millions de victimes, la seconde guerre mondiale est l'évènement le plus meurtrier de l'histoire. Elle se termine le 2 septembre 1945 avec la capitulation du Japon. Les deux états qui sortent vainqueurs de ce conflit sont l'URSS et les Etats-Unis. Ils s'opposeront lors de la guerre froide pendant les 45 années suivantes.

### **1.1.2 La situation en Amérique du Nord**

Dans les années 1850, les Etats-Unis reçoivent d'importants flux de migrants venus d'Europe qui sont attirés par « le droit au bonheur » proclamé dans la déclaration d'indépendance de 1776 dont ceux qui fuient la famine en Irlande, ou ceux qui rejoignent l'armée de l'Union pendant la guerre de Sécession (Portes, 1991).

Cette guerre oppose les états de l'Union, comprenant tous les états abolitionnistes ainsi que cinq états frontaliers et les confédérés, onze états esclavagistes du Sud des Etats-Unis ayant fait sécession. Cette guerre s'étend sur une période de quatre ans, entre 1861 et 1865. Avec plus de 620 000 soldats tués, c'est la guerre la plus meurtrière pour le peuple américain. La victoire des états de l'Union marque la fin de l'esclavage et confirme l'unité de la nation américaine (Portes, 1991).

La période suivante, entre la fin de la guerre et le début du XXème siècle est parfois appelée Gilded Age (période dorée) pour les Etats Unis, illustrée par Mark Twain dans son roman du même nom. Elle est caractérisée par une très grande prospérité économique et industrielle. Des milliers de kilomètres de voies ferrées sont construites. Les

infrastructures ferroviaires nécessitent une grande quantité de matériaux et les conséquences de l'installation d'une ligne de chemin de fer sont bénéfiques pour les commerces de régions entières. Malgré cela, une étape de crise financière en 1873 entraîne la faillite puis le rachat à bas prix de certaines compagnies ferroviaires (*Portes, 1991*). C'est aussi l'époque de la création de trusts dans les domaines pétroliers notamment.

C'est également le temps de la conquête de l'ouest où, grâce à l'essor du chemin de fer, les pionniers en quête de métaux précieux ou de terres cultivables affluent à l'ouest des Etats-Unis. En découlent de nombreux affrontements avec les peuples autochtones comme la bataille de Little Big Horn en 1876 face à une coalition de tribus amérindiennes (*Id.*). En 1890, le massacre de Wounded Knee entraîne la fin de la résistance autochtone (*Id.*). Les Etats Unis tentent alors avec les amérindiens une politique d'assimilation notamment en substituant la propriété individuelle des terres à la traditionnelle propriété collective.

En 1893, à l'occasion de l'exposition universelle de Chicago, la puissance des Etats-Unis se dévoile au monde entier. Pendant les six mois que dure l'exposition, plus de 27 millions de participants, soit environ l'équivalent de la moitié de la population étatsunienne de l'époque participe à l'évènement. (*Portes, 1991*).

Malgré cette démonstration de puissance, il faut attendre quatre années pour qu'en 1897, la période de dépression s'achève. Des avancées sociales notables ont lieu, notamment grâce à une grande grève des mineurs. D'un point de vue économique, la fin du XIXème siècle est marquée par la création de la loi antitrust en 1890, la loi Sherman, mais il faut attendre 1911 pour que la Standard Oil de John D. Rockefeller, la plus grande entreprise pétrolière mondiale, soit démantelée.

En 1906, un séisme frappe la ville de San Francisco qu'il détruit à 80 % (*Portes, 1991*). S'en suit un épisode de panique financière sur le sol américain due au déplacement des capitaux de New York vers la côte ouest dans un objectif de reconstruction. Les banquiers new yorkais ne peuvent plus trouver les capitaux pour rembourser leurs débiteurs.

En 1914, l'ouverture du canal de Panama permet un transport maritime rapide entre les deux côtes américaines. De plus, ce canal étant sous administration américaine, il est considéré comme une voie d'eau américaine. Les Etats-Unis maîtrisent ainsi l'économie et le commerce de tout un continent. (Portes, 1991)

La décennie d'après guerre signe la prospérité économique dans les secteurs nouveaux (aéronautique, automobile, radio, cinéma, chimie...). En revanche, le secteur de l'agriculture s'effondre. Cela entraîne un exode rural massif et une forte urbanisation de certains secteurs. En 1920, plus d'un américain sur deux vit en ville (Mc Neill, 2000).

En 1929, une crise boursière sans précédent éclate : la grande dépression. Aux Etats-Unis, elle se traduit par une période de chômage massif, une baisse des salaires et une économie tournant au ralenti. L'agitation sociale est à son comble et porte au pouvoir en 1932 le président Franklin D. Roosevelt qui introduit plusieurs mesures favorisant les pauvres et les sans-emploi. Cependant, la situation économique reste très instable jusqu'à la seconde guerre mondiale.

Au début de celle-ci, les américains pratiquent une politique d'isolationnisme et ne souhaitent pas entrer en guerre. Après l'attaque japonaise sur Pearl Harbor ils rejoignent les alliés contre le Japon, l'Allemagne nazie et l'Italie fasciste. La guerre se termine par l'attaque atomique sur Hiroshima et Nagasaki au Japon en août 1945.

Le bilan de la guerre est marqué par le recul de la volonté d'isolationnisme chez les américains. Ils signent en juin 1945 avec 49 autres pays la Charte des Nations Unies qui fonde l'Organisation des Nations Unies. L'expansionnisme soviétique et les débuts de la guerre froide les amènent à se positionner comme leader du monde libre.

### **1.1.3 Le contexte mondial de révolution industrielle**

La révolution industrielle commence au début du XIXème siècle en Grande-Bretagne. A cette époque, de riches propriétaires achètent de vastes territoires agricoles et en augmentent la productivité tout en utilisant moins de main d'œuvre. Les ruraux sont contraints de se diriger vers les villes pour trouver du travail. Grâce à cette main d'œuvre disponible et à bas prix, de vastes usines se développent. De plus, la médecine progresse



et les conflits armés se font rares. Il en résulte un accroissement démographique qui provoque l'apparition de nouveaux travailleurs mais aussi de nouveaux consommateurs.

Grâce aux progrès techniques et aux regroupements géographiques des industries, la productivité augmente considérablement. L'industrie textile est la première à en bénéficier. La métallurgie se développe à son tour notamment grâce à l'utilisation des machines à vapeur, l'utilisation du coke et l'invention du puddlage (Mc Neill, 2000). Comme il faut du fer et du charbon pour la construction et le fonctionnement des machines, l'extraction minière connaît à son tour son heure de gloire. Néanmoins, les gisements ne sont pas toujours proches des zones d'utilisation. En conséquence, on améliore les réseaux ferroviaires et maritimes dont les infrastructures nécessitent elles-mêmes des ressources.

Dès 1830, cette révolution industrielle, qui est au départ cantonnée à deux territoires européens : la Belgique et le Royaume-Uni, se transmet en France, en Allemagne, aux Etats-Unis et au Japon.

Les bouleversements touchent aussi le domaine des transports. Ainsi, en 1863, le premier métro à vapeur, celui de Londres, est inauguré. Connaissant un succès immédiat, il transporte dès sa première journée plus de 30 000 passagers (Ambrière, 1997).

La seconde révolution industrielle arrive dès 1896 en Angleterre. Alors que la première repose sur le textile, la métallurgie et les ressources minières, la seconde s'appuie sur le pétrole, l'électricité, la mécanique et la chimie.

En effet, la première lampe à incandescence de Thomas Edison en 1879 est une étape fondatrice dans l'histoire de l'électricité. L'automobile, quant à elle, est mise au point par Carl Benz en 1886. Elle est munie d'un moteur à explosion, d'une boîte de vitesse et d'un différentiel. Elle est rapidement produite industriellement et commercialisée sous plusieurs modèles. Le moteur à essence plus léger et plus rapide de Gottlieb Daimler est mis au point en 1887. Les deux firmes automobiles fusionnent en 1926.

L'industrie lourde, dans de nouveaux secteurs comme l'automobile, apparaît. Avec ce secteur naissent le fordisme et le taylorisme, deux nouvelles façons de travailler dans les usines ainsi que de nouvelles manières de les gérer avec des cartels, des trusts et la

multiplication des actionnaires (Portes, 1995). L'heure de gloire de la seconde révolution industrielle s'achève en 1929 avec la grande crise économique.

Les ouvriers des usines de la révolution industrielle ont des conditions de travail misérables. Le salaire est très faible et les enfants sont souvent contraints de travailler pour aider à subvenir aux besoins de leur famille. Cette classe sociale s'oppose à la bourgeoisie industrielle et propriétaire. A la fin du XIXème siècle naît de cette opposition l'idée de condition sociale et la formation des premiers syndicats (Ambrière, 1997).

Pour résumer, on peut dire que de nombreux changements décisifs dans les domaines sociaux, économiques, géopolitiques et industriels ont jalonné toute la période allant de 1850 à 1950. Ceux-ci sont à mettre en parallèle avec les découvertes scientifiques.

## **1.2 L'HISTOIRE DE LA PHYSIQUE ENTRE 1850 ET 1950**

La physique est la science qui étudie les propriétés générales de la matière, de l'espace et du temps et qui établit les lois permettant d'expliquer les phénomènes naturels. En 1850, la physique classique avec la mécanique et l'optique géométrique sont déjà bien développées. Néanmoins, le siècle suivant va bouleverser cette discipline en créant de nombreux nouveaux champs de recherche. Certains d'entre eux sont détaillés dans la présente section, en présentant de manière vulgarisée les nouvelles découvertes et les nouvelles théories qui apparaissent durant la période considérée.

### **1.2.1 La physique macroscopique**

La physique macroscopique est la physique des phénomènes tangibles, observables à l'œil nu ou au moyen d'instruments optique. Cependant, les éléments considérés en physique macroscopique ne sont pas forcément à échelle de l'œil humain. La section suivante de ce rapport présente donc les principales découvertes en physique macroscopique entre les années 1850 et 1950.

Le domaine de la mécanique analytique repose en 1850 sur le postulat suivant (Taton, 1961) : lorsque les conditions initiales d'un système sont connues, alors on peut prévoir son évolution de façon exacte. La masse d'un corps est supposée constante. Gabriel

Lamé, en 1852, dans ses *Leçons sur la théorie mathématique de l'élasticité des corps solides*, explique qu'un changement de mode d'élaboration des théories physiques est nécessaire. Il explique qu'il est préférable de déduire les lois et les causes à partir des phénomènes plutôt que de chercher directement l'équation qui régit le phénomène. Ainsi, le mouvement tourbillonnaire de Ludwig von Helmholtz est expliqué en 1858 suivant ces principes.

La conséquence de l'accumulation des effets mineurs et imperceptibles est mise en évidence par Léon Foucault en 1851. Celui-ci démontre expérimentalement et tangiblement le mouvement de rotation de la Terre au moyen d'un pendule. L'année suivante, cette découverte est appliquée pour concevoir un appareil de mesure : le gyroscope. De la même manière, Pierre-Henri Hugoniot, en 1887, explique les accidents de mouvements dans les milieux continus.

La dualité onde-corpuscule de la lumière commence à s'affirmer. Tout d'abord, son caractère électromagnétique est vérifié par James Maxwell et Hendrik Lorentz qui continuent les travaux d'Augustin Fresnel sur les lois de la réflexion et de la réfraction puis par l'aboutissement des équations de Maxwell en 1855 (Taton, 1961). En 1926, Erwin Schrödinger formalise la mécanique ondulatoire puis en 1927, cette théorie est appliquée à l'électron. On prouve ainsi sa dualité onde-corpuscule. En 1929, Paul Dirac ajoute à la théorie ondulatoire l'invariance relativiste et la notion de spin.

Le domaine de l'astronomie est marqué par l'arrivée d'un instrument d'observation qui change la façon d'observer l'infiniment loin : le télescope. Il permet par exemple la découverte des nébuleuses spirales. En parallèle, se développent des méthodes analytiques et mathématiques pour déterminer l'emplacement des planètes invisibles aux appareils de mesure. Cette branche est appelée astronomie de l'invisible. (Taton, 1961) L'astrophysique naît le 27 octobre 1859 avec la communication de Gustav Kirchhoff à l'Académie de Berlin au sujet du lien entre analyse spectrale et composition chimique. La spectroscopie permet de déterminer également la température des astres. A partir de ces mesures, la composition du soleil est connue et les éléments qui le composent sont les mêmes que ceux présents sur la Terre. Le concept d'universalité de la matière apparaît. Dès 1885, Edward Pickering publie le catalogue général des spectres stellaires. La cartographie des étoiles connaît également un essor impressionnant. En 1879, le

catalogue de la Bonner Durchmusterung recense 304 188 étoiles visibles depuis l'hémisphère nord. (Taton, 1961). Félix Tisserand, en collaboration avec le mathématicien Raymond Poincaré, met au point la mécanique céleste entre 1889 et 1896.

Dans le domaine de l'optique, les observations au microscope deviennent de plus en plus fidèles à la réalité. En effet, en 1883, l'objectif apochromatique, qui permet de corriger l'aberration de sphéricité pour toutes les couleurs, est mis au point. Il a peu évolué depuis. De plus, la vitesse de la lumière est mesurée avec précision en 1879 par Hippolyte Fizeau et James Maxwell.

Dans le domaine de la thermique, Henri Becquerel, en 1863, découvre que tous les corps élevés à la même température émettent la même lumière. L'unité élémentaire et universelle d'énergie et de chaleur est utilisée en 1859, c'est la calorie. Nicolas Sadi Carnot énonce les deux principes de la thermodynamique et explique ainsi pourquoi un moteur perpétuel, c'est-à-dire un mouvement infiniment long sans apport d'énergie est impossible. Il définit le rendement énergétique, c'est-à-dire le rapport entre l'énergie fournie et l'énergie sortante. Celui-ci est toujours inférieur à 100 %. La notion d'entropie est introduite par le second principe de la thermodynamique. L'entropie d'un système isolé ne peut pas décroître. Cette théorie scientifique engendre plusieurs débats métaphysiques (Taton, 1961) et des spéculations sont faites sur la mort de l'univers. En effet, si l'entropie ne cesse d'augmenter, il doit exister une valeur maximale à laquelle une rupture s'opère : la mort de l'univers. Si cela n'est pas possible, cela signifie que l'univers n'est pas un système isolé ou qu'il n'existe pas de valeur limite d'entropie, mais ces conceptions de réalité de l'infini dérangent les scientifiques comme les philosophes.

En 1871, James Maxwell rapproche information et entropie. Ensuite, Ludwig Boltzmann définit l'entropie comme étant le logarithme de la probabilité de formation d'une certaine configuration au sein d'un ensemble de configurations données. En 1929, Léo Szilard démontre qu'un bit d'information entraîne une réduction de l'entropie de  $k \log 2$  (où  $k$  est la constante de Boltzmann) et la source d'où provient l'entropie augmente son entropie de la même quantité. L'entropie se paye par l'information.

En revanche, dans la mécanique classique, on ne peut pas expliquer l'entropie avec les notions de points matériels, de masses constantes et de milieux continus.

Vers 1910, la discontinuité s'installe petit à petit au cœur des connaissances sur la matière. En 1913, Niels Bohr présente à James Maxwell la théorie des quanta de Max Planck et d'Albert Einstein appliquée à l'atome et y ajoute le principe de correspondance. C'est Hendrik Lorentz qui en déduit que la représentation à notre échelle est en fait la somme statistique des grands nombres de processus élémentaires à quanta. La somme de petits éléments discontinus qui ont lieu à une échelle très petite donne une illusion de continuité à plus forte échelle.

### **1.2.2 La physique microscopique**

La physique microscopique est celle de l'échelle de l'angström, soit  $10^{-10}$  m. Les composantes élémentaires de la matière (neutrons, protons, électrons) appartiennent à cet ordre de grandeur. En 1850 comme en 1950, cette échelle n'est pas observable mais on peut mesurer, calculer et théoriser sur ces types de particules à partir de données expérimentales.

Les premières découvertes dans le domaine microscopique consistent en une description du noyau atomique. En 1895, Jean Perrin apporte la première preuve tangible de l'existence de l'électron. L'année suivante, Pieter Zeeman détermine sa masse comme étant 2 000 fois plus faible que celle d'un atome d'hydrogène. En 1911, Ernest Rutherford explique les masses atomiques qui s'écartent des valeurs proches des nombres entiers par l'existence d'isotopes, c'est-à-dire des atomes avec un ou plusieurs neutrons excédentaires ou déficitaires, ce qui ne modifie pas les propriétés chimiques de l'élément. Grâce à cette découverte, on peut en déduire un ordre de grandeur des dimensions du noyau atomique et de la force de cohésion nucléaire, l'interaction forte. En 1920, on détermine avec précision l'existence du neutron, particule nucléaire ayant une taille et une masse voisines de celles du proton. De plus, de nouvelles particules sont découvertes. Celles-ci sont microscopiques, invisibles à l'observation mais les calculs démontrent leur existence. En 1930, la liste s'allonge de trois particules : le neutron, le neutrino et le méson.

En 1865, Johann Loschmidt (Taton, 1961) mesure le diamètre des molécules et détermine le nombre d'Avogadro. La statistique et la notion de probabilité s'invitent en physique microscopique grâce à Willard Gibbs qui démontre que la probabilité d'état d'un système entraîne des états suivants de plus en plus probables. Cette théorie cinétique des atomes converge avec celle de l'entropie grâce à Clausius. Se basant sur cette théorie, Max Planck commence ses raisonnements sur les quanta d'énergie.

La physique quantique, elle, s'intéresse au calcul des probabilités de présence des électrons à un endroit précis, à un instant donné. En 1924, Louis de Broglie associe trois nombres à un électron, le nombre quantique principal  $n$ , le nombre quantique azimutal  $l$  et le nombre quantique magnétique  $m$ . Le quatrième nombre, le spin  $s$  est défini par Paul Dirac en 1930. Erwin Schrödinger les intègre dans un système de calcul matriciel qui permet d'expliquer les phénomènes visibles en spectroscopie et les propriétés physiques et chimiques des atomes et des molécules. Ces équations peuvent être écrites pour plusieurs particules et sont dans la grande majorité des cas trop compliquées pour admettre une solution analytique de sorte que sa résolution est approchée ou numérique.

Une des plus grandes découvertes de la physique du XXème siècle est sans conteste celle de la relativité restreinte. Alors qu'auparavant, on considère que l'espace est absolu, indépendant des corps qui s'y trouvent et que le temps est universel et qu'il s'écoule de manière uniforme, la relativité restreinte, en 1905, bouleverse ces idées en présentant une structure non euclidienne de l'espace temps qui peut se contracter et se distendre ainsi que des masses non constantes. Dans cette théorie, la simultanéité de 2 événements à distance est impossible à cause de la contraction et la dilatation des distances. En découle le principe de dynamique relativiste avec la formule de l'inertie de l'énergie, qui relie l'énergie  $E$ , la masse  $m$  et la célérité  $c$  dans la formule  $E=mc^2$ . Ensuite, la théorie de la relativité générale impose l'idée que tout dépend du point de vue de l'observateur, de la situation dans laquelle il observe le phénomène.

Les études sur la radioactivité commencent avec la découverte en 1895 des rayons X par Wilhelm Röntgen. Ces rayonnements ont la faculté de pénétrer dans la matière à masse atomique faible mais sont absorbés par les éléments plus lourds. A cette époque, la structure des noyaux est encore un mystère. De plus, la découverte de certains éléments pouvant se trouver dans un état excité, ou métastable, pendant plusieurs millions

d'années et subissant à un instant quelconque une transformation, étonne les chercheurs. Cette transformation est la radioactivité, découverte par Henri Becquerel en 1896, et son effet produit un rayonnement visible sur une plaque photographique. De plus en plus d'éléments possèdent cette capacité. Au départ, on pense que seuls les sels d'uranium sont radioactifs, puis, en 1898, deux nouveaux éléments sont découverts par les époux Pierre et Marie Curie, le polonium et le radium. En 1904, Pierre Curie découvre les conséquences de la radioactivité sur la santé humaine en effectuant une série d'expériences sur lui-même. Les rayonnements issus du radium peuvent provoquer des brûlures. D'autres types de radioactivités, les radioactivités  $\alpha$  et  $\beta$  sont découvertes vers 1930. La radioactivité artificielle est découverte en 1934 et dès 1939, on comprend que la fission de l'uranium dégage une grande quantité d'énergie et émet des neutrons qui permettent d'initier une réaction en chaîne. Des recherches à ce sujet voient le jour aux Etats Unis durant la seconde guerre mondiale. En 1942, Enrico Fermi fabrique la première pile atomique à Chicago mais les citoyens du monde entier ne découvrent l'intérêt porté par l'armée américaine à la libération de l'énergie atomique que lors des explosions d'Hiroshima et de Nagasaki.

### **1.3 L'HISTOIRE ENVIRONNEMENTALE ENTRE 1850 ET 1950**

Le volet de l'histoire environnementale qui sera détaillé ici relate les événements majeurs et marquants en ce qui concerne la relation entre les sociétés humaines, la nature et l'environnement biophysique. Ainsi, seront abordés, pour la période considérée, les préoccupations de la recherche scientifique, les actions nationales, internationales et les prises de conscience citoyennes. La méthode retenue pour cette étude est de choisir certains exemples significatifs pour expliquer le déroulement des événements sans viser l'exhaustivité.

#### **1.3.1 Les préoccupations de la recherche scientifique**

Après avoir détaillé dans la section précédente les découvertes de la physique, il semble nécessaire d'avoir un aperçu des découvertes dans les autres champs tels que la biologie, la chimie, la médecine, la géologie et l'agronomie.

Le phénomène de photosynthèse, à savoir la respiration végétale, est découverte dans les années 1850 conjointement par plusieurs chercheurs, notamment Julius Von Sachs et Jean-Baptiste Boussingault (Taton, 1961) : les végétaux ont la capacité de produire de l'oxygène à partir du CO<sub>2</sub> sous l'influence de la lumière, elles peuvent également stocker de l'énergie sous forme d'amidon. L'utilité du couvert végétal pour la vie humaine n'est donc plus uniquement la production de biomasse à destination énergétique (bois) ou alimentaire (agriculture) mais aussi une nécessité vitale : pouvoir respirer. Cette découverte est un élément de plus en faveur de la préservation de la flore.

En 1859, Charles Darwin publie *De l'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle ou la lutte pour l'existence dans la nature*. Il expose dans ce livre sa théorie, basée sur des observations tangibles. Les espèces évoluent et elles ont une origine commune. La sélection naturelle est le mécanisme qui permet aux espèces les plus adaptées à leur environnement de survivre et de perdurer grâce à des caractéristiques transmises de génération en génération. Le concept d'unité du vivant apparaît dans ce livre : l'espèce humaine y est apparentée à une espèce animale au même titre que les autres. Les autres espèces sont donc parentes à la notre et donc plus proches de nous puisque potentiellement, un ancêtre commun existerait, même s'il n'est pas encore déterminé. (Darwin, 1849).

A la même époque, Alfred Russel Wallace retrouve les mêmes conclusions en travaillant sur la répartition géographique des espèces animales. Ces idées permettent la découverte d'un nouveau concept, celui de la biocénose, terme inventé en 1877 par Karl Möbius, c'est-à-dire l'interaction entre plusieurs espèces vivant au sein d'un même biotope.

En observant la nature, et la répartition de la vie en trois milieux : l'hydrosphère, la lithosphère et l'atmosphère, Eduard Suess, géologue autrichien, propose le terme de biosphère en 1875 (Taton, 1961). Celle-ci englobe les trois milieux cités précédemment, les espèces qui y vivent et les cycles qui leur permettent d'interagir.

Dans les années 1920, Vladimir Ivanovich Vernadsky reprend et poursuit ses travaux dans son livre *La Biosphère* (1926). Il requalifie alors la biosphère comme étant l'ensemble des écosystèmes, c'est-à-dire le système interactif entre le biotope (les milieux de vie) et la biocénose (les êtres vivants). Le mot écologie, définissant l'étude des écosystèmes est



adopté en 1935 suite aux travaux de Arthur George Tansley. Il signifie étymologiquement "oikos" (la maison, le domaine et, par extension, ce qui entoure et dont on fait partie, c'est à dire la biosphère); et "logos" (discours raisonné et argumenté, sciences, savoir, connaissance).

La génétique, encore à ses balbutiements, est une science de l'observation macroscopique. Celle-ci débute avec les travaux de Gregor Mendel en 1865 qui démontre la transmission de ce qu'il appelle alors les « particules d'hérédité » aux générations suivantes. En 1877, Alexander Fleming observe pour la première fois des chromosomes. Les progrès sont spectaculaires et rapides dans ce domaine si bien que dès 1940, on connaît le système de codage de l'ADN pour certaines protéines. (Stansfield, 2008)

En chimie, la classification périodique de Dimitri Mendeleïev incarne une rupture avec la chimie classique. Il crée un tableau où se retrouvent en colonnes des éléments aux propriétés chimiques semblables tout en les classant en ligne par leur masse atomique croissante. Certaines cases restent vides. Les éléments manquants sont découverts postérieurement.

La notion de temps s'invite aussi dans la chimie grâce à Ludwig Wilhelmy en 1850. Il mesure les facteurs influençant les vitesses de différentes réactions lentes de chimie organique. Auparavant, on considérait qu'une réaction chimique était toujours instantanée. L'architecture de la matière à l'échelle moléculaire dans les cristaux est définie par Auguste Bravais dans son ouvrage *Etudes Cristallographiques* en 1851. Les molécules et atomes y sont agencés de manière parfaitement géométrique et il existe de nombreuses symétries. Dans les cristaux, la piézoélectricité est découverte, c'est à dire la capacité de certains corps à se polariser pour créer de l'électricité à partir d'une contrainte mécanique, comme l'ont démontré Pierre et Jacques Curie en 1881.

Du côté de la médecine, Louis Pasteur s'oppose à la génération spontanée, c'est à dire l'apparition soudaine à partir de rien de microorganismes pathogènes et explique que ces vecteurs de maladies sont trop petits pour être visibles à l'œil nu mais qu'ils existent (Taton, 1961). Par la suite, on comprend mieux la propagation de certaines maladies comme le choléra.

Dans le domaine de la géologie, jusqu'au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, les scientifiques pensent que la Terre et les événements qui la façonnent sont brutaux, tel le Déluge mentionné dans la Bible. Cette théorie est appelée le catastrophisme. Georges Cuvier, en 1830, la remet en cause et postule que les mouvements géologiques sont longs, imperceptibles à l'œil humain et que ceux d'aujourd'hui sont identiques à ceux d'hier. Il admet aussi que certaines crises passagères peuvent survenir mais que le moteur des mouvements géologiques n'est pas instantané mais progressif. Cette théorie s'appelle l'actualisme ou uniformitarisme (Buffetout, 2002).

Dans le domaine de l'agronomie, les pratiques agricoles se modifient. Une seule personne est nécessaire pour nourrir de plus en plus de monde avec un minimum de surface à cultiver (Braudel, 2001). Les plantes les plus productives sont sélectionnées et les sols exploités sans pratiquer la technique de jachère. Les pesticides, insecticides et engrais sont utilisés pour satisfaire les besoins des populations.

Les pesticides en 1850 sont issus de la chimie minérale. Ainsi des substances telles que la célèbre « bouillie bordelaise », chimiquement du sulfate de cuivre, ou des insecticides comme l'arsénite de cuivre sont épandus en grandes quantités. Avec le développement de la chimie organique et l'utilisation croissante du pétrole, la nature des pesticides se modifie. Ils deviennent de nature organique. Le DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane) est créé dans les années 1940. C'est encore de nos jours le pesticide le plus utilisé au monde (McNeill, 2002).

Les engrais chimiques font leur apparition et viennent concurrencer les amendements de sol traditionnels tels que le fumier ou le chaulage. Ainsi, en 1858 à la période des semailles, la presse locale rapporte que les agriculteurs se sentent harcelés par les marchands d'engrais chimiques qui assurent une meilleure efficacité de leurs produits que le fumier, alors même que la Société Impériale d'agriculture a mené des essais démontrant le contraire. (*Id.*)

Toutes ces modifications au sujet des pratiques culturales changent le paysage des régions rurales : la taille moyenne des champs augmente avec l'utilisation accrue de tracteurs, des grandes plaines céréalières voient le jour loin des exploitations de bétail, des immenses zones sont dévolues aux cultures permettant d'alimenter les villes. A partir

des années 1950, on débouche sur une période dite de révolution verte : les céréales cultivées sont choisies pour leur haut rendement grâce à la sélection variétale, des manières culturales plus intensives, et les facteurs agronomiques d'utilisation d'engrais, d'eau, de pesticides sont optimisés.

### **1.3.2 Les actions nationales ou internationales**

Les scientifiques ne sont pas les seuls à tenir une place importante dans l'histoire environnementale. En effet, les états, à leur niveau ou alors des coalitions de plusieurs états mettent en œuvre des actions, que ce soient des lois, des ententes, des créations de fondations ou d'autres mesures pour entamer un processus de protection de la nature. Dans cette partie, certains exemples de telles actions seront détaillés.

#### *1.3.2.1 La création de parcs naturels*

L'action fondatrice de l'histoire de l'environnement (McNeill, 2000) est la création du premier espace naturel protégé, le 30 juin 1864, Yosemite Valley aux Etats-Unis qui bénéficie d'une protection officielle et du titre de terrain public inaliénable. Le décret signé par Abraham Lincoln protège la vallée et empêche l'exploitation commerciale des séquoias. Toutefois, c'est Yellowstone, en 1872 qui obtient le premier statut de parc national. Cette zone doit alors être « exempte de toute activité mercantile et vouée à la satisfaction du peuple » comme le proclame le décret signé par le président américain Ulysses Grant (National Park Service, 2009). Yosemite n'accède à ce statut qu'en 1890.

L'écologue George Perkins Marsh, avec son livre *Man and Nature* en 1865 est à la source de la création d'un grand parc américain, celui de l'Adirondack qui est créée en 1885, dans l'état de New York. L'auteur du livre, porté par des préoccupations scientifiques en matière d'environnement et plus particulièrement d'érosion, conseille de protéger cet espace pour le sauver d'un état de désertification.

Ces initiatives feront des émules en Argentine avec la création du Parc National Nahuel Huapi en 1903. En Europe, dans les années 1910, il se crée en France le Parc National du Pelvoux en 1913, et en 1914 le Parc National d'Europe en Suisse (Lizet, 2009).

### 1.3.2.2 Création de lois nationales

En France, en 1884, le préfet Eugène Poubelle impose l'usage de récipients fermés destinés à contenir les ordures ménagères domestiques pour toute la Ville de Paris et ses deux millions d'habitants. Le tri des déchets est inscrit dans la loi, avec l'obligation d'avoir trois contenants : un pour les matières putrescibles, un pour les papiers et chiffons et un pour le verre, la porcelaine et les coquilles d'huîtres (Barles, 2005). Cependant, l'initiative se heurte à l'hostilité des parisiens (*Id.*) et devient relativement impopulaire, car les concierges y voient une augmentation de leur travail, les propriétaires une augmentation des charges et les chiffonniers une perte de leur emploi. Néanmoins la généralisation de la collecte des ordures ménagères est effective en France après la fin de la seconde guerre mondiale, et est confiée aux municipalités. (*Id.*)

Dans les années 1930 et pendant une décennie environ, une série de tempêtes de poussière, le Dust Bowl, sévit aux Etats-Unis et au Canada dans la région des Grandes Plaines (Masutti, 2004). Les champs cultivables deviennent impropres à l'agriculture à cause d'une arrivée massive de poussières dues à l'érosion, entraînant un déplacement d'environ 3 millions de personnes. L'érosion étant la conséquence d'une culture intensive des sols et notamment d'un labour très profond, on peut considérer que c'est la première catastrophe environnementale sur le sol étatsunien dont les causes sont imputables à l'activité anthropique. En réaction à cette catastrophe, le gouvernement crée le Soil Conservation Service en 1932, connu aujourd'hui sous le nom de National Resources Conservation Service. Cet organisme est chargé alors de la sauvegarde des ressources naturelles et de l'environnement notamment de ce qui est relié aux usages agricoles des sols. (Cimarron County Chamber of Commerce, 2007).

La condition animale est un volet important des premiers actes de législation environnementale. C'est dès 1822 en Angleterre que les premières lois en faveur de la protection animale sont promulguées. Richard Martin, député britannique, fait passer une loi protégeant le bétail de la cruauté humaine. Après reconnaissance de son association de protection des animaux, la Royal Society for the prevention of cruelty to animals, par la Reine Victoria en 1840, des mécanismes de répression des contrevenants sont mis en place (d'Este, 2006).

En France, le mouvement antivivisectionniste est porté par l'écrivain Victor Hugo. Celui-ci est d'ailleurs le principal moteur de la loi de protection des animaux domestiques qui instaure une amende en cas de mauvais traitements sur ceux-ci. En 1929, la première loi européenne qui officialise la protection des animaux dans le seul but de les protéger pour eux-mêmes est instaurée en Belgique (*Id.*). Cependant, c'est en Allemagne nazie que les lois les plus avancées en la matière ont cours avec notamment la loi du 24 avril 1933 qui décrit les conditions dans lesquelles le bétail doit être abattu et qui donne une légitimité aux associations de protection des animaux. Néanmoins, selon l'historienne Elisabeth Hardouin Fugier (2001), ces lois n'auraient servi qu'à faire de la propagande, car l'idée de bien-être animal serait incompatible avec les idéologies fascistes. Ce n'est pas l'avis du philosophe Luc Ferry (1992) qui explique que les sources de ces lois seraient plutôt une suite logique du sentimentalisme romantique et la nécessité de protéger la nature vierge de toute influence humaine. En effet, le romantisme a été d'une grande ampleur en Allemagne juste avant la période nazie et il semblerait que ce mouvement ait été un des piliers grâce auquel le régime nazi a pu s'établir en Allemagne. (*Id.*).

#### *1.3.2.3 Création d'ententes multilatérales*

En 1859, le premier gisement de pétrole est découvert aux Etats Unis, en Pennsylvanie. Dès lors, la fièvre de l'or noir commence et la découverte de nouveaux gisements fait peu à peu sortir des villes du désert. Ces villes sont alors dépendantes d'une seule industrie et doivent importer toutes leurs ressources. La prospection s'intensifie et s'étend dans différents pays, comme la Russie en 1873 et l'Indonésie en 1885. Mais c'est en 1896, avec l'invention de l'automobile, que l'on entre dans l'âge d'or du pétrole devenu indispensable aux nations pour leurs guerres mais aussi un fort enjeu territorial comme le montre l'accord de San Remo en 1920 sur le partage des ressources de l'Irak .

En 1916, la convention bilatérale concernant la protection des oiseaux migrateurs au Canada et aux Etats-Unis est le premier traité reconnu en matière de droit international de l'environnement. (McNeill, 2002). Son objectif est de « sauver du massacre général les oiseaux migrateurs qui sont utiles à l'homme ou inoffensifs, et d'assurer la conservation de ces oiseaux ». La chasse et la destruction des œufs sont interdites. Des lois sont ensuite votées dans les deux pays pour en assurer l'application. Une convention similaire est créée en 1936 entre les Etats-Unis et le Mexique.

En 1919, à Madrid, les états riverains de la mer Méditerranée créent la commission internationale pour l'exploration scientifique de la Méditerranée (*Id.*). Par la suite, les états qui conduisent des projets scientifiques dans cette zone pourront y adhérer. Grâce à cette organisation, une coopération internationale en matière de recherche scientifique maritime est possible et certaines infrastructures peuvent être mutualisées, comme les stations de recherches nationales. La commission est devenue petit à petit un acteur incontournable dans les études sur la faune et la flore méditerranéennes.

#### *1.3.2.4 La réaction aux catastrophes environnementales*

En 1858, durant l'été, a lieu la "grande puanteur" à Londres. En effet, la Tamise étant ce que l'on pourrait appeler un égout à ciel ouvert, la chaleur et l'évaporation massive de l'eau entraînent une augmentation fulgurante de la concentration en matière organique du fleuve. L'odeur se répand dans la ville et devient insupportable. Le parlement, situé au bord du fleuve, n'a d'autre choix que de déménager temporairement. De plus, la peur d'une épidémie s'accroît car on pense à l'époque que les maladies se transmettent par des miasmes odorants dans l'air. Face aux moqueries de la presse internationale, le parlement décide, deux semaines plus tard d'installer un réseau d'égouts pour la ville. C'est le début de l'arrivée des installations sanitaires en ville. Suite à cette catastrophe environnementale, le Royaume-Uni applique dès 1876 le River Pollution Control Act, une loi qui interdit le déversement de polluants ou d'eaux usées directement dans les rivières et les cours d'eau. (McNeill, 2002).

En 1883, le volcan Krakatau en Indonésie entre en éruption. Le bruit de l'explosion est perçu en Chine et en Australie. S'en suit une chute des températures durant plusieurs années (Boyer, 2009). De plus, 36 000 personnes meurent à cause d'un raz de marée dû à l'effondrement du cratère. La communauté scientifique ainsi que certains citoyens prennent conscience qu'un phénomène local et lointain peut avoir des conséquences mondiales en l'occurrence en ce qui concerne le climat. (*Id.*)

### 1.3.3 Les changements de perception des citoyens

Les changements de perception au sujet de l'environnement n'ont pas seulement lieu dans les hautes sphères politiques et scientifiques de la société. Elles ont aussi un écho auprès du grand public et de la communauté artistique et culturelle. La section suivante se propose donc de donner quelques exemples de ces nouvelles manières de percevoir la nature.

#### 1.3.3.1 Les mouvements artistiques et culturels

En 1854, aux Etats-Unis, un roman est publié. Il s'agit de *Walden, ou la vie dans les bois* de Henry-David Thoreau. Ce roman marque pour certains la naissance de l'environnementalisme (Farcet, 1990). C'est un roman de type autobiographique qui explique une expérience de vie de plus de deux ans dans les bois. Cette retraite dans la nature est le prétexte à une réflexion sur l'humanité à la façon d'un pamphlet ou d'un éloge et également sur les liens qui s'établissent entre l'homme et la nature.

Le courant de science-fiction naît dans les années 1860 avec des romans tels que celui de Jules Verne *De la Terre à la Lune* en 1865. De la même manière que dans ses autres romans, tels que *Voyage au Centre de la Terre* et *20 000 lieues sous les mers*, ses héros explorent des mondes inconnus et apprivoisent de nouveaux espaces. Ses romans connaissent un grand succès et popularisent la notion d'explorateur et d'observateur de la nature (Lamy, 2005).

En France, en 1862, l'astronome Camille Flammarion publie la *Pluralité des mondes habités*. Cet ouvrage de vulgarisation présente les conditions et circonstances qui font que la Terre est habitée et qui explique la possibilité d'une vie extra-terrestre. Cet ouvrage connaît un grand succès auprès du public mais n'est pas reconnu par la communauté scientifique et entraîne le renvoi de Flammarion du Grand Observatoire de Paris.

Les peintres de l'école de Barbizon (1869) militent également en faveur de la protection de l'environnement et plus particulièrement du paysage de la forêt de Fontainebleau, en s'opposant à son exploitation commerciale. Contrairement à d'autres mouvements de protection de la nature, l'objet de leur engagement est une forêt non naturelle, entretenue par l'homme. (Bourg, 2002)

Le tourisme devient de plus en plus répandu et les merveilles de la nature attirent un nombre croissant de visiteurs. C'est en 1875 qu'est créé le premier office de tourisme français à Gérardmer dans les Vosges. Des sentiers sont tracés au cœur de la région des lacs vosgiens (Ville de Gérardmer, 2010). La nature apporte alors une plus-value estivale à cette station de sports d'hiver.

Dans le domaine cinématographique, la catastrophe américaine du Dust Bowl aux Etats-Unis inspire les premiers documentaires environnementalistes. (McNeill, 2002)

### *1.3.3.2 Création d'organisations non gouvernementales*

En France, la prise de conscience collective de la nécessité de protéger la faune et la flore date de 1854. A cette date, un organisme est créé : la société impériale zoologique d'acclimatation. Elle deviendra ensuite la société nationale de protection de la nature puis fédération France-Nature-Environnement. Reconnue d'utilité publique dès 1855, elle encourage ensuite la création de la société des Amis de l'Eléphant en 1906 puis de la ligue pour la protection des oiseaux en 1912. Son rôle est la gestion et l'administration des réserves naturelles et la publication de revues et bulletins d'information. En 1923, elle co-organise le premier Congrès International de protection de la nature à Paris puis participe à la fondation en 1948 de l'Union Internationale de Conservation de la Nature.

Aux Etats-Unis, la première ONG de préservation de l'environnement est créée en 1892. Il s'agit du Sierra Club fondée par John Muir, qui, à l'aide de ses membres bénévoles, exerce des activités de protection des milieux, de lobbying environnemental, de discussions autour des problématiques rattachées à la nature et à son utilisation (Cohen, 1988). Cette organisation est toujours active et influente de nos jours, avec plus d'un million d'adhérents aux Etats-Unis et des groupes locaux présents dans chacun des états.



## **2 ANALYSE DES LIENS ENTRE HISTOIRE DES SCIENCES ET HISTOIRE ENVIRONNEMENTALE**

L'analyse comparée des chronologies scientifiques et environnementales entre 1850 et 1950 a permis de déterminer quatre composantes communes. Ce sont celles-ci qui vont être présentées dans cette section. Tout d'abord, une présentation de la méthode d'analyse sera effectuée. Ensuite, chacune des quatre composantes communes à l'histoire environnementale et scientifique sera définie puis les évènements des chronologies s'y rapportant seront listés. Enfin, une synthèse proposera un retour sur cette analyse et une ouverture à une thématique plus large : le développement durable.

### **2.1 METHODOLOGIE**

Après avoir eu un aperçu des chronologies historique, scientifique et environnementale, une recherche de liens entre les différents évènements a été effectuée. Pour ce faire, les chronologies ont été découpées en un certain nombre de mots clés. Ensuite, les mots-clés ont été regroupés, en fonction de grands champs lexicaux ou des notions auxquelles ils semblaient appartenir. Peu à peu, quatre grandes familles sont apparues. Le terme de composante commune a été retenu pour signifier l'unité de chacun des groupes de mots.

A partir de ce travail, une définition précise a été établie pour chacune des composantes communes. Cela a permis d'ajuster les catégories puis de classer chacun des évènements des chronologies dans une ou plusieurs composantes communes. C'est cette étude qui est détaillée dans les sections 2.3 à 2.6 du présent document.

L'ensemble de ces composantes communes constitue un modèle de représentation synthétique de certains aspects de la durabilité, son analyse est présentée dans la section 2.7.

## 2.2 COMPOSANTES COMMUNES IDENTIFIEES

Les quatre composantes communes qui sont ressorties de l'analyse des chronologies sont les suivantes (l'ordre dans lequel ces quatre items apparaissent n'a aucune signification) :

- l'éthique,
- les échelles,
- le doute,
- la complexité.

Tout d'abord, l'éthique est une notion au cœur de certaines démarches de développement durable, comme, par exemple, en entreprise, la certification ISO 26 000 sur la responsabilité sociale des entreprises, ou de l'adhésion au global compact (Nations Unies Global Compact, 2010) dont les dix principes sont forts de valeurs éthiques. Ils concernent quatre thématiques principales : les droits de l'homme, les droits du travail, l'environnement et la lutte contre la corruption. Ces valeurs morales trouvent leur penchant dans les chronologies développées précédemment.

La notion d'échelle, particulièrement celle de temps, est un fondement de la durabilité. Elle est d'ailleurs inséparable de ce concept car, par définition, la durabilité est quelque chose de pérenne et où la notion de long terme est primordiale. De plus, l'idée de permettre aux générations futures de subvenir à leurs besoins est un changement d'échelle par rapport au mode de vie préexistant « business as usual » ou « économie de front pionnier » (Olivier, 2002) qui ne tient compte que de la génération actuelle aux dépens de celles qui lui succéderont. La notion d'échelle spatiale est un peu plus dispersée dans la notion de développement durable. Néanmoins, pour faire une démarche de développement durable territoriale pérenne, il est nécessaire d'envisager de manière systémique le territoire avec ses interactions avec l'extérieur et non pas comme un circuit clos.

Le domaine du doute scientifique est lui aussi présent dans les processus d'augmentation de la durabilité. En effet, il est parfois impossible de théoriser un évènement mais il faut quand même prendre des décisions. L'exemple du principe de précaution illustre parfaitement cet aspect :

« L'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable » (loi Barnier, 1995) Une autre façon de voir la notion de doute dans la durabilité est l'anticipation de celui-ci par l'augmentation de l'accès à l'information ou la transparence des décisionnaires.

Enfin, la durabilité est un domaine complexe. En effet, pour prendre en considération tous les aspects d'une problématique et pour choisir la solution la plus durable, un point de vue plus large et systémique (De Rosnay, 1977) est nécessaire. Il est souhaitable de composer avec plusieurs éléments qui sont eux-mêmes complexes : l'environnement biophysique, avec par exemple les aspects écosystémiques et écologiques, les organisations humaines, etc... Grâce à une démarche intégrée de développement durable et en tenant compte de la complexité du système, des conséquences plus éloignées de leurs causes sont perceptibles et une démarche complète est possible.

Ces quatre composantes communes forment un modèle cohérent d'analyse des chronologies, étant donné que chacun des événements trouve sa place dans au moins une des composante et que les composantes choisies sont assez nombreuses pour être représentatives mais leur nombre est aussi suffisamment restreint pour pouvoir avoir un modèle relativement simple.

### **2.3 L'ETHIQUE**

La première composante retenue pour l'étude est l'éthique. Dans cette section, la définition choisie et adaptée pour cette analyse sera déterminée puis les événements des chronologies se rapportant à cette composante seront décrits.

### **2.3.1 Définition**

L'éthique est, selon le dictionnaire Larousse (2010), la partie de la philosophie qui envisage les fondements de la morale, qui est elle-même l'ensemble des règles de conduite considérées comme bonnes de façon absolue ou découlant d'une certaine conception de la vie.

Néanmoins, cette notion peut être généralisée à l'échelle collective plutôt qu'individuelle. Selon Paul Ricoeur (2005), la vision éthique est proche des notions de sagesse, de justice et de morale. Une mesure éthique prend en compte le souci de soi, des autres et des institutions, elle essaye de choisir la meilleure solution possible pour tous, en écartant la notion d'individualité.

L'éthique est un concept strictement défini par les philosophes. Dans une acception plus large, plus communément usitée, elle concerne la façon la plus morale qui détermine le comportement de l'individu ou d'un groupe de personnes dans leurs décisions et dans leurs agissements. Cette notion élargie de l'éthique permet de porter un jugement sur le bien fondé d'une action (qu'elle est la « meilleure » action à accomplir), ou d'une décision (quelle est la « meilleure » décision à prendre) du point de vue des normes morales en vigueur.

Localement et temporellement, la notion d'éthique s'enracine donc dans un ensemble de valeurs, complexe et interactif, de nature historique, culturelle, scientifique, religieuse ou traditionnelle. C'est une notion toujours relative.

Les événements de l'histoire scientifique seront ci-après évoqués au travers de la question de la notion élargie de l'éthique, soit qu'ils en soient profondément empreint, soit, au contraire, que cette notion d'éthique en soit tout à fait exclue.

### **2.3.2 L'éthique comme composante commune de l'histoire des sciences et de l'histoire environnementale**

Après avoir défini la notion d'éthique, les chronologies ont été étudiées pour connaître quelle sont les événements s'y rapportant que ce soit par leur visée éthique ou au contraire leur absence d'éthique.

La présentation de ces évènements se fera de manière thématique en regroupant ceux qui font partie du même champ, et, dans un souci de clarté, les dates relatives aux évènements relatés ne sont pas reprises, elles figurent toutes dans la section 1 du présent document.

Au début de la découverte de certaines technologies ou inventions, des barrières d'ordre philosophiques émergent. En effet, le concept d'universalité de la matière, c'est-à-dire le fait que la matière soit la même partout dans l'univers est difficile à accepter pour la communauté scientifique. Ainsi, la nouvelle théorie de l'actualisme, qui explique les évènements géologiques lents et continus et qui s'oppose à l'évolution par catastrophes rapides et soudaines, est également un grand changement dans la pensée scientifique.

La transmission de l'information en sciences et en environnement par la publication de journaux d'information se multiplie durant la période considérée. Cela permet sa diffusion au plus grand nombre et à des personnes peu sensibilisées. Cette démarche permet de transmettre les valeurs environnementales et de communiquer sur l'importance de la protection de la nature.

De la même manière, le concept de certaines valeurs qui pourraient être soit infinies soit bornées à une valeur limite, tout particulièrement l'entropie posent problème. Cette grandeur étant systématiquement croissante, il doit exister une valeur limite et si les hommes entraînent une accélération de la croissance de l'entropie, alors la valeur limite, qui serait synonyme de destruction de l'univers, serait atteinte plus vite. Les conséquences de l'action humaine pourraient donc être universellement impactantes et absolument irréversibles. Suivant cette même idée, la naissance de l'environnementalisme marque la première théorisation de l'impact négatif que peut avoir l'homme sur la nature. La notion de responsabilité humaine sur l'avenir de la Terre voit le jour.

La notion de préservation de la biodiversité, qu'elle soit faunique ou floristique est également une nouveauté. La raison de cette protection est différente selon les cas : production d'oxygène ou beauté du paysage végétal pour la flore et aspect patrimonial ou services écologiques (production d'oxygène, pollinisation...) pour la faune. Cela est nouveau, l'animal est considéré comme une entité qu'il est important de préserver et de bien traiter, en créant soit des espaces protégés comme des parcs naturels ou alors en

légiférant sur la protection animale. De plus, une raison pour laquelle les animaux sont protégés est qu'ils sont parents avec l'espèce humaine, comme l'explique Darwin dans sa théorie nouvelle sur l'hérédité et l'évolution. La prise de conscience éthique est à ce titre un changement avec ce qui préexistait. Le souci d'autrui est étendu à autre chose qu'un être humain : la biosphère tout entière, avec ses animaux et ses végétaux.

Quand Pierre Curie expérimente sur sa propre personne les effets négatifs sur la santé de l'exposition aux rayonnements radioactifs, il ne décide pas de stopper ses expériences ou de prendre plus de précautions. Emporté par la visée scientifique de ses découvertes, il expose son équipe entière à des risques et à des conséquences qui tueront son épouse quelques années après. Pareillement, l'utilisation massive de pesticides, insecticides et herbicides sans se préoccuper des conséquences néfastes sur l'environnement est de plus en plus fréquente et répandue durant la période 1850-1950. A cela, peut s'ajouter une pression supplémentaire sur les agriculteurs par les industries de ces produits et par la société qui demande de plus en plus de productivité agricole. L'éthique de ces deux actions est en effet discutable car aussi bien le chercheur que les industriels font subir à leur environnement, humain pour l'un, biophysique pour l'autre, des pressions auxquelles nul n'aimerai être soumis. Il y a une transgression de la règle d'or, appelée aussi éthique de réciprocité qui consiste à ne pas faire subir à autrui ce qu'on ne voudrait pas subir soi-même.

Au contraire, suite aux conséquences du Dust Bowl aux Etats-Unis, le motif pour créer le Soil Conservation Service est la prévention des phénomènes d'érosion et sensibiliser les agriculteurs aux pratiques culturales adéquates, dans ce cas précis, il y a une prise de conscience qui entraîne une extension de la règle d'or à la sphère environnementale.

Enfin, il est impossible d'omettre, dans une partie consacrée à l'éthique entre 1850 et 1950, le projet Manhattan qui, en août 1945, entraîne l'explosion de deux bombes atomiques sur les villes japonaises d'Hiroshima et de Nagasaki, faisant plus de 140 000 victimes (237 062 selon le maire d'Hiroshima en 2005, mais ce chiffre est à prendre avec recul (Grace, 2004). A ce projet ont contribué de nombreux scientifiques sans prendre en considération les conséquences que leurs recherches pourraient avoir.

En résumé, l'éthique, dans certains domaines, est souvent la remise en question de la neutralité de la science. Suite aux événements, on remarque une prise de conscience voire parfois même une prise de décision dont l'éthique est un motif.

## **2.4 LES ECHELLES**

La façon de mesurer les phénomènes avec des unités est propre aux sciences expérimentales et le degré de fiabilité s'affine au fur et à mesure des découvertes et des inventions mais est aussi extrêmement importante pour les sociétés modernes. On remarque, en parallèle de ces mesures, une accélération des décisions qui favorisent la protection de l'environnement. Au regard de ces événements, on peut se demander s'il existe un lien entre les grandeurs physiques et l'environnement. Le point autour duquel s'articule ce lien est celui de la notion d'échelle, qui va être détaillé dans la section suivante.

### **2.4.1 Définition**

La définition choisie du terme « échelle » est celle du rapport entre la dimension de la représentation d'une grandeur ou d'un phénomène et sa dimension réelle.

Les dimensions qui peuvent être concernées par la notion d'échelles sont toutes les grandeurs et toutes les unités, cependant la présente étude traite de deux grandeurs de base du système international MKSA et qui sont intelligibles à l'ensemble de la population : l'échelle de distance et l'échelle de temps.

En effet, les multiples et sous multiples des unités officielles que sont la seconde et le mètre permettent de calculer et de mesurer des grandeurs de toutes les tailles.

Usuellement dans le domaine de la physique, pour les temps, on étudie des phénomènes d'ordre de grandeur allant de  $10^{15}$  s (milliards d'années ou pétaseconde) à  $10^{-44}$  s (temps de Planck, plus petite unité de temps techniquement mesurable en physique) et pour les distances de  $10^{24}$  m (yottamètre, pour mesurer les distances intergalactiques) à  $10^{-18}$  (attomètre, mesure d'un quark ou d'un électron).

Ces échelles sont difficiles à envisager pour un humain, qui ne peut percevoir que, pour les temps, des durées allant de la milliseconde ( $10^{-3}$  s) à la décennie ( $10^8$  s) et pour les distances, des longueurs allant du micromètre ( $10^{-6}$  m) au millier de kilomètre ( $10^6$  m).

Par ailleurs, il existe un écart de perception individuel ou collectif des durées ou des distances en fonction des phénomènes et en fonction de la situation de la personne qui les perçoit.

Dans cette optique, l'analyse présentée ci-après pour les échelles montrera en quoi cette composante commune concerne aussi bien l'histoire environnementale que l'histoire scientifique.

#### **2.4.2 La notion d'échelle comme composante commune de l'histoire des sciences et de l'histoire environnementale**

La composante commune des échelles est présente dans chacune des deux chronologies. A ce titre, les événements s'y rapportant seront développés dans la présente section, conformément à la définition établie dans le paragraphe précédent. Ceux-ci ne sont pas datés et sont classés par sujet.

De manière générale, les connaissances sur l'infiniment petit s'accroissent dans la période considérée. En effet, les scientifiques s'intéressent à la structure microscopique de la matière et notamment au noyau atomique, au cœur de deux grandes découvertes de la période 1850-1950 : la radioactivité et la physique quantique. En médecine aussi, la découverte d'organismes vivants invisibles à l'œil nu les virus et des bactéries qui ont un pouvoir sur l'humain en étant capable de le contaminer, bouleverse les connaissances.

L'observation des phénomènes lointains dans le temps et dans l'espace devient possible grâce aux instruments de mesures de plus en plus développés. Ainsi, les nébuleuses spirales ont pu être découvertes. De la même manière, ce sont 304 188 étoiles qui ont pu être cataloguées en 1879 et ce chiffre est, à partir de cette date, en constante augmentation. Dans le domaine de l'infiniment petit, l'observation est de plus en plus fidèle à la réalité grâce à l'objectif apochromatique du microscope.



La relation entre la distance et le temps, à savoir la vitesse de la lumière peut être mesurée plus précisément dès 1879 grâce à Fizeau et Maxwell. L'adéquation entre ces deux grandeurs est également visible dans des phénomènes à grande échelle comme l'épisode du Dust Bowl : suite à l'agriculture intensive dans un territoire, les conséquences de sécheresses peuvent s'observer sur une zone plus large et durant plusieurs années.

Pour ce qui est de la perception du temps et des durées, deux visions s'opposent : celle du temps court et celle du temps long. Le temps court est celui des événements instantanés, des vitesses proches de celle de la célérité de la lumière, comme une désintégration radioactive. A l'opposé, le temps long est celui de la géologie, des l'évolution des espèces mais aussi la période de demi-vie radioactive. Ainsi, des phénomènes sont à la fois impliqués dans le temps court et dans le temps long.

Certaines théories passent d'une échelle macroscopique à une échelle microscopique. C'est le cas de la dualité ondulatoire et corpusculaire. Cette théorie est mise en évidence pour la lumière, dans des dimensions visibles à l'œil nu, puis est transposée à l'échelle de l'angström et de la particule négative : l'électron. De la même façon, on arrive à déterminer la respiration végétale à l'image de la respiration animale : la photosynthèse, qui a lieu dans les chloroplastes des cellules végétales, des organites qui mesurent en moyenne un micromètre.

Le passage d'une échelle à l'autre est également significatif dans la physique quantique. En effet, beaucoup de quantas discontinus d'énergie à une petite échelle donnent l'illusion de valeurs continues à échelle macroscopique, de la même manière que des tirets très petits et très serrés ressemblent de loin à une ligne continue.

En chimie, la mesure du temps prend toute son importance avec le développement de la cinétique qui mesure les temps de réactions en chimie organique, où les réactions sont lentes, non totales et fortement reliées aux conditions initiales. La distance, elle, est mise en évidence par Bravais et sa cristallographie. Les atomes sont agencés de manière géométrique, symétrique et régulière dans l'espace.

Le darwinisme trouve sa place dans la thématique des échelles par la pérennisation dans le temps d'un caractère génétique d'un individu. En effet, grâce à l'hérédité, certains éléments du patrimoine génétique sont transmis à la descendance.

L'élargissement du cadre d'étude des espèces vivantes, en tenant compte des interactions de celles-ci avec les autres espèces et le milieu environnant, à savoir l'écologie, s'oppose à la vision traditionnelle de la biologie qui étudie les espèces les unes indépendamment des autres et de leur milieu. Suite à cette découverte, non seulement des espèces sont protégées, comme les mammifères marins ou les oiseaux migrateurs mais aussi des habitats entiers comme des parcs naturels ou des mers entières (mer Méditerranée). Certaines frontières géopolitiques sont même abolies pour la protection des espèces, par exemple entre les Etats-Unis et le Mexique pour la protection d'oiseaux migrateurs.

Enfin, par la théorie de la relativité, les notions de temps, de distance et de simultanéité sont remises en cause. En effet, comment mesurer une distance dans un référentiel en mouvement, étant donné que cette distance ne serait pas la même si on prenait un référentiel différent mais pas forcément plus faux ? Cette question de mouvance de l'espace-temps remet alors en question toute la physique qui considère que ces notions sont fixes et s'écoulent de manière uniforme.

Les exemples de raisonnement, de découvertes, de concepts, évoqués ci-dessus illustrent l'importance des phénomènes d'échelles. Qu'il s'agisse d'échelles temporelles ou spatiales, elles sont au cœur de la réflexion scientifique ou environnementale et nécessaires à la compréhension des phénomènes, souvent à l'origine d'avancées conceptuelles considérables.

## **2.5 LE DOUTE**

En sciences, les théories ont l'ambition d'être vérifiables à partir du moment où les conditions initiales sont vérifiées. Néanmoins, il existe parfois, comme dans d'autres domaines, de ne pas arriver à une théorie fixe et certaine à 100 %. Cet exemple parmi tant d'autre permet d'introduire la présente section sur le sujet du doute.

Comme pour les composantes communes précédentes sur l'éthique et sur les échelles, les évènements sont rapportés dans cette section sans mentionner la date et regroupés par thématique commune.

### **2.5.1 Définition**

Selon le dictionnaire Larousse (Larousse, 2010), le doute est le manque de certitudes, le soupçon ou la méfiance sur la véracité d'un fait.

Dans cette étude, la notion de doute est élargie à tous les phénomènes incertains, aléatoires, probables, possibles. En effet, dans la section suivante, on verra que ce sont des notions importantes au sein des chronologies historiques et scientifiques. De plus, la notion de non déterminisme sera aussi au sein de cette section consacrée au doute.

De la même manière que pour les composantes éthique et des échelles, le doute peut être individuel ou collectif, vis-à-vis d'un phénomène, d'une idée ou d'une théorie.

Un nouveau moyen d'appréhender le doute arrive dans les sciences dans les années 1930. Il s'agit du concept de réfutabilité, introduit par Karl Popper. Il consiste à considérer qu'à partir du moment où aucun élément n'est venu contredire une théorie, celle-ci est considérée comme vraie et scientifique et qu'à partir du moment où un contre-exemple est découvert, alors elle est réfutée. Cela s'oppose à la théorie vérificationniste qui considère qu'une théorie ne peut être vraie que si une expérience peut le démontrer, on parle alors aussi d'empirisme logique.

Le doute peut aussi être relié à la notion d'incertitude scientifique qui désigne la marge d'imprécision sur la valeur de la mesure d'une grandeur physique. Le concept est relié à

celui d'erreur, qui est l'écart entre la valeur mesurée et la vraie valeur, en essence inconnue, seulement estimée.

De plus, certaines notions sont sous-jacentes au doute comme par exemple le principe de précaution, comme nous le verrons dans la section suivante.

### **2.5.2 Le doute comme composante commune de l'histoire des sciences et de l'histoire environnementale**

Face à la définition du paragraphe précédent sur le doute, les chronologies ont été passées au crible pour déterminer quels sont les événements qui se rapportent au doute au fil de la période 1850 à 1950.

Initié par Lamé en 1852, un changement de mode d'élaboration des théories a été nécessaire pour arriver à expliquer de manière réaliste les phénomènes physiques. Outre le fait de partir de la théorie mathématique pour parvenir à une théorie physique, il faut aussi prendre en considération les phénomènes et ne pas essayer de fixer ceux-ci sur les modèles existants. On admet aussi que certains phénomènes ne peuvent pas être encore expliqués mais que ce ne sont pas des erreurs de manipulation ou d'observation qui sont la cause de ces manifestations a priori extraordinaires. Ainsi, on admet que l'observation ne permet pas de détecter des mouvements très lents des continents mais qu'en faisant la somme sur des centaines de milliers d'années de ces petits mouvements, on obtient bien ce qui est visible sur Terre, comme la tectonique des plaques et que ces événements ne sont pas dus à des ruptures brusques comme on le pensait auparavant.

En thermodynamique, le doute sur le moteur perpétuel de deuxième espèce, qui devait permettre à un moteur de produire de l'énergie de manière perpétuelle sans apport extérieur d'énergie durant sa phase de fonctionnement, est levé. Carnot explique que ce serait impossible d'en construire un, et que ce n'est pas la technique qui est limitante dans cette entreprise mais le second principe de la thermodynamique. A l'aube de la découverte de la radioactivité, les phénomènes d'émission spontanée de lumière non fluorescente ni phosphorescente se heurtent à la perplexité des observateurs. On se demande comment des éléments physiques a priori inertes émettent des rayonnements pendant un certain temps puis s'arrêtent sans aucune raison apparente. On découvrira

plus tard que tel est le phénomène de radioactivité. Les incertitudes sur la répartition des espèces ainsi que leur évolution commencent à être levées avec la théorie de l'évolution de Darwin. Celle-ci explique aussi bien la disparition de certaines espèces, la manière d'arriver à de nouvelles mais aussi pourquoi chaque continent a évolué différemment alors qu'au départ, un seul continent préexistait : la Pangée.

Certains doutes subsistent. Par exemple, pour lutter contre la saleté de la Ville de Paris, quand le préfet Poubelle décide de collecter les ordures des parisiens, il se heurte à l'hostilité de ces derniers qui y voient un accroissement de la saleté et un frein à leur mode de vie et qui doutent alors de l'efficacité d'une telle mesure. Néanmoins, la collecte des ordures sera petit à petit généralisée à toutes les grandes villes.

Certains degrés de probabilité changent. Par exemple, la question de la mort de l'univers arrive avec la théorie de l'entropie. Ce phénomène passe du possible au probable et cela effraie un peu les scientifiques. De même, la possibilité d'une vie extra-terrestre est envisagée et transmise à la population, même si la probabilité est faible.

La notion de probabilité s'invite ensuite dans la physique par l'approche probabiliste de présence des électrons, qui peuvent être calculées grâce aux équations de Schrödinger. Il est possible de déterminer une probabilité de présence d'un électron à un instant donné à un endroit donné mais cela est toujours d'un degré de certitude inférieur à 100 %. Pour obtenir ce chiffre, il faut aussi introduire des données non exactes, approximatives pour pouvoir résoudre de manière approchée les équations de Schrödinger.

La physique macroscopique des gaz est également expliquée par la notion de probabilité. En effet, en thermodynamique, l'accroissement de la température entraîne une hausse de la pression. C'est la théorie cinétique des gaz. Plus il fait chaud, plus les molécules s'agitent et plus la probabilité de subir des chocs sur les parois et les obstacles qu'elles rencontrent s'accroît : c'est la force de pression.

Une autre intrusion du doute en sciences de la matière concerne la chimie. Face au manque de connaissances sur les éléments de la classification périodique, Mendeleïev a l'idée de laisser des cases vides pour les éléments qui pourraient être découverts dans le

futur et dont les propriétés pourraient concorder. Cette supposition s'avéra a posteriori très astucieuse puisque chaque case vide a désormais été remplie.

## **2.6 LA COMPLEXITE**

Après avoir étudié les notions de l'éthique, des échelles et du doute une notion un peu plus transversale reste à traiter. Il s'agit de la composante commune de la complexité.

### **2.6.1 Définition**

L'adjectif complexe signifie « qui contient plusieurs parties ou éléments combinés d'une manière qui n'est pas immédiatement claire pour l'esprit, compliquée, difficile à comprendre » (Larousse, 2010).

Dans cet essai, la notion de complexité s'élargit quelque peu. En effet, on regroupera à l'intérieur de cette notion la transversalité (qui regroupe plusieurs disciplines ou plusieurs secteurs), le mélange (la réunion de choses ou d'êtres de nature diverse) et l'intégration (le rattachement d'étapes d'un même processus). Enfin, cela peut être regroupé avec la notion de système complexe.

La définition de complexité choisie pour ce rapport peut donc s'appliquer à la fois à des personnes, des démarches, des événements ou pour les relations entre ces différentes entités.

### **2.6.2 La complexité comme composante commune de l'histoire des sciences et de l'histoire environnementale**

L'histoire environnementale et l'histoire scientifique sont, de la même façon, profondément marquées par les trois composantes que sont l'éthique, le doute et la problématique des échelles. Ces trois éclairages sont aussi, ensemble, traversés par la question dialectique de la complexité.

Le premier événement qui marque l'importance de la complexité en physique est le fait que l'accumulation des effets mineurs peut entraîner une forte modification et que si

certains phénomènes ne sont pas perceptibles à une échelle, l'accumulation de ceux-ci peut entraîner une modification visible à une échelle supérieure. La somme des discontinuités des quantas d'énergie à l'échelle atomique est assimilable à un continuum de valeurs à l'échelle macroscopique. C'est donc l'augmentation du nombre et de l'échelle des différents phénomènes observés qui, paradoxalement en réduit la complexité.

A travers les découvertes, la lumière devient un phénomène de plus en plus complexe. En effet, on savait son caractère ondulatoire car soumise aux lois de réfraction et de réflexion mais on démontre qu'elle est aussi corpusculaire et que sa particule élémentaire est le photon, une particule qui n'a pas de masse. De même, la matière a une architecture complexe en couches et sous couche en entité plus grandes (molécules) et très petites (proton, neutron...) et il existe des atomes totalement semblables pour toutes leur propriétés sauf la masse, ils restent un mystère jusqu'à la découverte de l'isotopie. La physique quantique est l'archétype de la complexité des sciences de la matière. A partir de quatre nombres pour chaque électron, sa trajectoire est définie grâce aux équations de Schrödinger, équations insolubles avec exactitude pour lesquelles on utilise habituellement des approximations.

La théorie de la relativité est également complexe dans sa construction. Rien n'y est fixe et tous les événements dépendent de leur environnement et peuvent changer si on modifie son point de vue. Son symbole, la relation  $E=mc^2$  qui lie la masse, la vitesse et l'énergie, valeurs a priori éloignées, a provoqué une vive réaction du monde de la physique lors de sa publication.

La matière, elle, se simplifie et certains phénomènes sont les mêmes pour des entités qui paraissent à première vue totalement différentes. La théorie qui s'impose aux scientifiques explique que la matière est la même pour toutes les entités de l'univers et pas seulement sur Terre. L'universalité concerne aussi, pour certaines propriétés spectrales, tous les corps élevés à la même température. Une unité unique est créée de la même manière pour quantifier toutes les sortes différentes d'énergie : la calorie. Le phénomène de respiration, connu pour les animaux est généralisé aux végétaux, dans le principe de photosynthèse.

Une uniformité du vivant découle de la théorie de Darwin. En effet, chacune des espèces vivantes serait parente à n'importe quelle autre, si on remonte assez loin dans le temps et assez haut dans l'arbre phylogénétique, qui est, en quelque sorte, l'arbre généalogique des espèces. Le vivant est donc un tout et chaque espèce y a sa place. La complexité en matière de génétique vient aussi du fait que le matériel chromosomique, même s'il est le même pour toutes les espèces, permet, grâce à seulement quatre bases nucléotidiques différentes, de créer toutes les espèces, végétales et animales présentes sur Terre.

Néanmoins, les relations entre les espèces sont de nature complexes. En effet, chacune dépend très étroitement des autres par les relations trophiques mais aussi par d'autres relations un peu plus complexes telles que des espèces qui créent des habitats pour d'autres. Le vivant est donc complexe à plusieurs échelles, à l'échelle de l'individu, d'une espèce et d'un écosystème. Ces relations sont synthétisées dans un nouveau volet des sciences de la nature : l'écologie.

Certains phénomènes qui pourraient être observables par leur taille et leur distance mais qui se heurtent aux limites de l'instrumentation de l'époque sont déterminés par le calcul avant d'être plus simplement vérifiés par la simple observation. Ces calculs et hypothèses complexes ont donc remplacé l'observation même au niveau macroscopique.

De plus, certaines conséquences inattendues découlent de certaines observations. Ainsi, à partir des spectres d'émission et d'absorption des objets astraux on peut déduire la composition chimique de l'étoile ainsi que sa température. Il en est de même pour l'entropie que l'on rapproche de l'information, qui est alors susceptible de créer de l'entropie.

Au travers des exemples évoqués ci-dessus, il apparaît que la notion de complexité marque profondément l'histoire scientifique. La découverte ou l'explication des phénomènes nécessitent de la part du scientifique, non seulement de prendre en considération les questions d'éthique, de doute, de la problématique des échelles, mais aussi la nécessité de poser sur l'étude d'un phénomène complexe, un regard premier et critique, en mesure de s'affranchir des explications souvent communément admises.



## **2.7 SYNTHÈSE DES LIENS ENTRE HISTOIRE ENVIRONNEMENTALE ET HISTOIRE SCIENTIFIQUE**

L'analyse des quatre composantes communes doit permettre de mettre en évidence le fait que le choix de ces quatre composantes est justifié et suffit à obtenir une analyse pertinente. De plus, les définitions de chacune d'entre elles ont mis en évidence que ces quatre composantes communes sont des éléments, même si ce ne sont pas les seuls, qui font partie de la thématique du développement durable.

En effet, les quatre composantes communes à l'histoire des sciences et à l'histoire environnementale sont aussi des composantes qui vont dans le sens du développement durable. Néanmoins, il est assez surprenant que si tôt dans l'histoire, bien avant l'apparition du terme de développement durable, on puisse en discerner les prémices.

Tout d'abord, en ce qui concerne l'éthique, on remarque que cette notion s'élargit à la biosphère, que la prise en compte de l'éthique augmente et que les décisions en matière d'environnement vont dans ce sens. La durabilité peut être perçue ici comme une extension de l'éthique. L'éthique est généralement un phénomène instantané et localisé. La durabilité de l'éthique est à l'échelle spatiale, un élargissement à la nature plutôt que cloisonnée à l'environnement et à l'échelle temporelle, une prise en compte des générations actuelle et futures.

Ensuite, les échelles, temporelles mais surtout spatiales, ont été agrandies face à l'œil humain. On observe plus loin, plus petit, plus grand. C'est un peu comme si le champ d'observation s'agrandissait. Par exemple, pour le temps, trois aspects du temps sont pris en compte. Le temps chronos est le tout du temps, il contient le présent qui définit le passé et le futur. Le temps aion est celui de l'action matérielle, la succession et l'action des corps. Enfin, le temps kairos représente le moment opportun. L'association de ces trois temps, si on les prend en compte offre un gage de durabilité puisqu'on agit maintenant, et nos actes ont une empreinte sur le futur ainsi que sur les éléments. La prise en compte des échelles spatiales se fait par la compréhension de mécanismes globaux tels les cycles bio-géo-chimiques qui régissent des phénomènes planétaires.

Concernant le doute, on perçoit entre 1850 et 1950 les premiers doutes sur la nécessité d'avoir un objectif de progrès, dont on ne mesure pas toujours les conséquences. De plus,

ces doutes sont de plus en plus publicisés, communiqués et restent de moins en moins confinés à une certaine élite. A ce titre, le développement durable peut être vu comme une remise en question du progrès automatique et le possible antagonisme entre progrès moral et progrès matériel et aussi comme une conséquence de la prise de conscience du doute scientifique.

Enfin, la quatrième composante commune, la complexité est sans doute celle qui a vu les plus gros bouleversements au regard de la durabilité. En effet, entre 1850 et 1950, le début de la vision systémique et la prise en considération de la complexité des relations entre les éléments de l'environnement. Le développement durable peut être considéré comme résultant de l'évolution systémique de l'humanité, qui tient compte des contraintes environnementales et sociales dans la nécessité de développement économique qui caractérise la société capitaliste d'aujourd'hui.

Au travers de ce bref rapprochement entre les composantes communes, on remarque que chacune des composantes communes est le reflet des débuts du développement durable. Cette notion verra le jour dans la seconde moitié du XXème siècle.

Dans cette même vision, le modèle créé dans cette partie, à savoir l'ensemble des quatre composantes communes, peut être considéré comme un filtre à travers duquel il est intéressant de passer des événements et des champs de recherche actuels. C'est d'ailleurs ce qui sera fait dans la prochaine section.

### **3 LES NANOTECHNOLOGIES, ETUDE PROSPECTIVE**

Suite à l'étude de la période allant de 1850 à 1950, pour les domaines des sciences et de l'environnement, des similitudes, des liens et des parallèles ont été observés. Pour poursuivre, le cas des nanotechnologies du début du XXIème siècle a été choisi pour une étude prospective.

#### **3.1 DESCRIPTION DU CAS D'ETUDES**

Les nanotechnologies sont un champ de recherche nouveau apparu dans la seconde moitié du XXème siècle. Il s'agit de réduire l'échelle d'étude de la matière et des structures à la taille élémentaire, celle de l'atome, qui est de l'ordre de l'angström, soit  $10^{-10}$  m. Les nanosciences sont (Dupuy et al., 2004) « l'ensemble des recherches ayant pour objet la synthèse et l'étude des nanoobjets doués de propriétés (physiques, chimiques ou biologiques) ainsi que la découverte des méthodes d'assemblage permettant d'accéder à des nanomatériaux et celle des méthodes d'organisation qui permettent d'aboutir aux matériaux adaptatifs ».

La recherche sur les nanotechnologies est passée par différents stades. Tout d'abord, la première génération de celles-ci est la conception de nanoparticules passives. (CINUM 2006). Celles-ci ont été observées et décrites pour des objectifs initiaux de recherche fondamentale. Par la suite, est apparue la seconde génération de particules, au sein de la convergence bionanoélectronique. Il s'agit par exemple de concevoir des capteurs biologiques qui pourraient détecter des particules nanoscopiques comme les virus. Enfin, et c'est ce qui constitue la pointe de la recherche actuelle, l'homme est capable de synthétiser lui-même des nanostructures et de produire ainsi des bactéries ou des virus nouveaux, non présents dans la nature.

Les mécanismes de fonctionnement des nanoparticules sont nombreux. En résultent des applications multiples (CINUM, 2006) :

- Le stockage et la production d'énergie : des nanotubes qui stockent l'hydrogène, des cellules photovoltaïques, des nanotubes de carbone utiles pour le revêtement des piles solaires, des membranes biomimétiques hybrides protéines / polymères ;

- L'amélioration de la productivité agricole : des structures favorisant la distribution soit de l'eau ou des engrais pour les plantes ou des médicaments ou nutriments pour le bétail, des nanocapteurs pour la surveillance des paramètres agronomiques, des nanoaimants qui décontaminent le sol ;
- Le traitement et l'assainissement de l'eau : des nanomembranes ou d'autres structures qui permettent d'optimiser le traitement ou le dessalement de l'eau, des nanocapteurs qui effectuent des mesures des polluants ou contaminants dans l'eau ;
- Les applications médicales telles que des puces à libération de substances liquides de l'ordre du nanolitre ou d'autres systèmes de distribution de médicaments, des capteurs de dépistage des virus et des cancers, des nanoparticules permettant une imagerie médicale plus précise ;
- Dans le domaine agroalimentaire : nanofilms à usage de contact alimentaire, nanoémulsions qui permettent de décontaminer le matériel, biocapteurs de sécurité ;
- La lutte contre la pollution de l'air et atmosphérique : dégradation photocatalytique de polluants, nanocatalyseurs pour rendre les pots catalytiques plus efficaces avec une consommation moindre de métaux rares, nanocapteurs pour mesurer et détecter la présence de polluants ;
- La construction : structures nanométriques permettant de rendre les matériaux moins perméables, plus résistants aux ultraviolets, aux rayonnements infrarouges, plus économiques et plus durables, ou pour leur conférer une propriété très particulière telle la faculté de s'autonettoyer ;
- Le repérage des flux de vecteurs d'épidémie et des parasites.

Par leurs usages et possibilité d'utilisation multidisciplinaires, les pays ont du mal à classer la recherche en nanotechnologie. Par ailleurs, nombreux sont les pays qui ont décidé d'orienter leurs recherches dans l'axe où ils étaient déjà reconnus comme performants ou bien où leurs besoins étaient les plus grands. Les pays d'Asie ont mis l'accent sur l'électronique et les matériaux, l'Afrique et l'Amérique Latine sur les applications médicales et environnementales, les pays européens ont choisi, quant à eux, de concevoir plutôt des systèmes complexes et dynamiques de particules nanométriques. Les Etats-Unis, où la recherche bénéficie de budgets colossaux, a lancé son programme

NBIC (Nanotechnologie, biotechnologie information et cognition) en 2002. Celui-ci initie les manipulations atome par atome de la matière et est celui qui a été la source d'exploits scientifiques tels la réalisation d'un disque monocouche d'atome.

Cependant, ce n'est pas parce que ce domaine d'étude est récent que les nanoparticules ne sont pas encore commercialisées. Dans de nombreux produits de consommation courante, on peut signaler la présence de ces éléments. Ainsi, on en trouve par exemple dans le domaine du textile, pour créer des tissus infroissables et non tachables, dans le domaine des cosmétiques, pour créer une crème de soin pour la peau à taux de pénétration élevé, dans le domaine du sport avec des balles et des raquettes de tennis d'une grande efficacité, dans le domaine de la santé par des colles dentaires ou des pansements pour les brûlures... (CINUM, 2006). Par la multitude des applications possibles pour les nanotechnologies, même si les particules sont petites, il est envisageable que chaque être humain y soit exposé dans sa vie personnelle au moins une fois, sans oublier de mentionner tous les champs professionnels qui y sont confrontés de manière récurrente.

Selon Dupuy et al. (2004), le budget prévisionnel des nanotechnologies en 2015 serait de l'ordre de 1 000 milliards de dollars dont 57 % pour l'informatique, 32 % pour les matériaux et 17 % pour les sciences. Cependant, ces chiffres sont à prendre avec prudence car les données ont été publiées non accompagnées de leur méthode d'évaluation par le groupe Nano Business Alliance mais l'ampleur du chiffre présenté prouve quand même l'importance du marché prévisionnel du secteur des nanotechnologies.

Après avoir expliqué ce que sont les nanotechnologies et quelles sont leurs utilisations, l'ampleur de leur déploiement aussi bien d'un point de vue géographique que financier, la prochaine section justifiera de son adéquation avec les composantes communes du chapitre 2 du présent document.

### **3.2 JUSTIFICATION DU CAS D'ETUDES**

Les nanotechnologies sont un domaine nouveau pour la science, qui s'appuie à la fois sur la miniaturisation de techniques plus anciennes et sur la copie de processus naturels. C'est la miniaturisation à une si petite échelle qui est nouvelle, ainsi que les usages trouvés pour ces objets de si petite taille.

Comme les conséquences peuvent s'étendre sur toutes les sphères de l'environnement, par la dispersion ou par l'émission volontaire de nanoobjets qui ont une fonction éphémère et qui persistent dans l'environnement, cette technique nous place au carrefour entre la physique et les sciences de l'environnement.

A ce titre, les nanotechnologies sont un cas d'étude pertinent pour pouvoir transposer les composantes communes entre science et environnement entre 1850 et 1950 à nos jours, en essayant de déterminer si des enseignements du passé ont été retenus ou, à défaut, quelles seront les recommandations qui pourront être faites au regard des événements du passé pour l'usage des nanotechnologies.

### **3.3 L'ETHIQUE**

Parmi les quatre composantes communes identifiées précédemment, l'éthique est certainement, au sujet des nanotechnologies, celle pour laquelle la littérature est la plus abondante.

Dans ce domaine, il faut tout d'abord mentionner que, contrairement à la période 1850-1950, des lois et des principes se posent en toile de fond de la recherche scientifique. Par exemple, il est envisagé à l'échelle européenne un code de conduite pour les nanotechnologies (Bassez, 2008).

La question éthique qui est sans doute la plus préoccupante à l'heure actuelle pour les scientifiques sont les conséquences, souhaitées ou non, que pourraient avoir l'implantation volontaire de nanoobjets à l'intérieur d'un corps humain. En effet, ces objets pourraient modifier l'intérieur du cerveau d'un individu, sa personnalité, mais aussi le rendre capable par exemple de prouesses sportives ou intellectuelles, augmenter le bien être humain ou provoquer au contraire la souffrance. Avec l'implantation de puces sur un

humain il devient possible en tout temps de le géolocaliser, de le surveiller, de connaître son activité et ainsi de restreindre sa liberté individuelle et ainsi que de stocker ses données personnelles. Certains textes (Bassez, 2008) vont jusqu'à parler d'esclavage moderne par la souffrance et l'oppression des individus.

Un autre danger des nanotechnologies concerne le transfert des connaissances industrielles vers des applications militaires et une course aux nanoarmes semblable à la course aux armes nucléaires de la seconde moitié du XXème siècle. En effet, l'usage de nanoarmes pourrait être d'une dimension sans précédent en ce qui concerne l'étendue et l'importance des dégâts durant un conflit géopolitique ou terroriste. Dans le domaine militaire, d'autres applications moins néfastes pourraient également être envisagées, comme des équipements qui augmentent la protection individuelle du combattant.

En 2004, suite à un appel d'offre de la commission européenne, le comité européen d'éthique a placé au cœur de ses débats les nanotechnologies et la modification du concept d'identité de l'être humain. (Dupuy et al, 2004).

### **3.4 LES ECHELLES**

La notion d'échelles constitue la raison d'être des nanotechnologies. En effet, comme cela a été expliqué précédemment, les nanoobjets sont souvent similaires aux microobjets mais sont plus petits. Ils sont même difficilement observables ou détectables avec les instruments de mesure habituels.

L'échelle nanométrique est à la frontière entre la chimie et la physique car les objets sont des atomes et des molécules, mais les mouvements sont régis par les lois de la physique. A cette échelle, la durée se mesure en femtoseconde car les événements sont très rapprochés dans le temps.

Ces constatations sont d'autant plus vraies qu'on parle désormais de l'arrivée des picotechnologies (Lerondel, 2010), le picomètre équivaut à  $10^{-12}$  m et est donc mille fois plus petit que le nanomètre.

La notion de long terme est également présente dans les nanotechnologies. C'est une des problématiques les plus discutées autour de ce sujet. En effet, même si les particules ont une masse très faible, ce qu'on avait considéré au début comme négligeable, leur accumulation et leur rémanence dans l'environnement, pose question. Durant les années futures et l'utilisation constante voire même accrue de nanoparticules, celles-ci peuvent migrer d'un milieu à l'autre dans l'environnement et possiblement constituer des réservoirs où leur concentration augmente d'année en année jusqu'à atteindre un seuil significatif. Si, au contraire, les particules ne migrent pas et restent proches de leur lieu d'émission, sont-elles susceptibles d'impacter tout un écosystème par le phénomène de bioamplification dans la chaîne alimentaire ? Le problème est que les études à ce sujet et à long, voire très long terme sont peu nombreuses, divergentes et surtout qu'elles ne sont pas prises en compte lors de l'émission de nanoparticules dans l'environnement.

Sur ce dernier point comme pour plusieurs problématiques soulevées par les nanotechnologies, les composantes communes du doute et des échelles sont très proches.

### **3.5 LE DOUTE**

Les applications des nanotechnologies sont discutées au plus haut niveau de la recherche scientifique. Ainsi, la National Science Foundation américaine a lancé son programme autour des nanotechnologies « Converging technologies for Improving Human Performances » qui promet « l'unification des sciences et des techniques, le bien être matériel et spirituel universel, la paix mondiale et une interaction pacifique et mutuellement avantageuse entre humains et machines intelligentes ». Cette citation, si elle est porteuse d'un espoir que pourraient incarner les nanotechnologies mais est aussi révélatrice de l'utopie largement diffusée d'un progrès automatique capable de tout, même de répondre aux problèmes actuels dans tous les champs.

Cette utilité accrue des machines pose en réalité proche et probable certains scénarios qui auparavant tenaient du domaine de la science fiction tels que l'autoréplication sauvage et nanorobots, que ce soit par propagation ou par acte de terrorisme. Ainsi, l'homme s'approprie des pouvoirs de la nature comme l'ingénierie et la fabrication de la vie et l'appropriation de méthodes de production de la vie.



Sir Martin Rees, professeur d'astronomie britannique, déclare à propos des nanotechnologies que l'homme n'a pas changé dans ces caractéristiques dans le millénaire qui vient de s'écouler mais que grâce (ou à cause) des médicaments ciblés, des modifications génétiques, des microordinateurs qui pourront être implantés dans les cerveaux humains, le siècle prochain sera encore moins prédictible que le siècle précédent. (Rees, 2003)

La notion d'homme bionique qui a commencé avec la thérapie génique, apporte des résultats mitigés. Tout d'abord, l'avancée peut être considérée comme favorable car on est capable de réparer une fonction déficiente, ou alors défavorable car on bouleverse l'ordre naturel des choses en augmentant artificiellement les performances sensorielles et motrices de l'homme. Cela entraîne des effets sur le rapport à la connaissance. En effet, au lieu d'expérimenter sur la nature, on recrée cette nature et on ne connaît plus ensuite que celle que l'on a créée. (Dupuy et al., 2004)

### **3.6 LA COMPLEXITE**

Les nanoobjets ne sont pas fichés législativement comme des produits physiques ou chimiques ni dans la directive REACH (Union Européenne, 2006) ni dans les tables de correspondance de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) (OCDE, 2010). Il n'existe pas non plus de nomenclature, de terminologie ou de classification commune pour désigner ces objets de manière homogène.

A l'échelle nanométrique, les propriétés physiques, chimiques et biologiques de la matière sont très différentes des celles qui peuvent être observées à l'échelle macroscopique. Les particules sont plus réactives, plus mobiles. Elles peuvent aussi, puisqu'elles sont à la même échelle, interagir avec les processus naturels du vivant. Ainsi, (ETC, 2006) les nanotubes de carbone, l'élément de base pour de nombreuses nanostructures, provoque un effet semblable à celui de l'amiante sur les poumons. Par contre, l'exposition humaine est pour le moment très faible en masse donc ce sujet préoccupe peu l'opinion publique, alors que le nombre de particules auxquelles chacun est exposé ne cesse de croître.

Il ne faut pas non plus sous-estimer la mobilité de ces particules extrêmement petites et donc leur libération dans chacune des sphères de l'environnement. Aujourd'hui, il n'existe aucun système développé et utilisé à large échelle pour détecter et retirer les particules nanométriques. Leur capacité à être biodégradées dans l'environnement est de plus actuellement inconnue. On peut donc craindre, si leur utilisation continue et prend de l'ampleur, une accumulation dans certaines sphères de l'environnement et tout particulièrement dans certaines espèces vivantes. Dans le même sens, certaines études sur des espèces animales montrent une toxicité pour le cerveau des nanoparticules et notamment des fullerènes, des hydrocarbures à structure sphériques. (Oberdörster, 2004)

De même, si on pense pouvoir neutraliser les cellules cancéreuses grâce à des nanoéléments, on ignore le devenir de ces objets dans le corps une fois leur mission accomplie. Si elles sont évacuées, on peut se poser la question de leur libération dans l'environnement ou si au contraire elles restent dans le corps humain, on ne connaît pas leur toxicité à long terme ni la possibilité par exemple pour une femme d'être transmises à la descendance.

### 3.7 RECOMMANDATIONS

Dans la présente section, deux types de recommandations seront présentées. Tout d'abord, une série de recommandations propres au sujet des nanotechnologies puis de manière plus large, aux projets scientifiques qui peuvent avoir des conséquences sur la sphère environnementale.

#### 3.7.1 Pour les nanotechnologies

Au regard de la situation actuelle des nanotechnologies, certaines mesures pourraient être mises en application tout en intégrant le fait que la situation actuelle est telle qu'elle est réellement et qu'elle ne peut pas être modifiée, que ces mesures doivent donc être prises dans le futur. Cette liste de recommandations, présentée dans le tableau 2, n'a pas pour objet d'être exhaustive, mais de proposer des idées pour améliorer la durabilité autour du sujet des nanotechnologies.

TABLEAU 3.1 RECOMMANDATIONS POUR L'USAGE DES NANOTECHNOLOGIES

Composante commune	Objectif	Exemples d'actions
Ethique	Réfléchir sur les modifications de l'humain par les nanotechnologies	<ul style="list-style-type: none"><li>• Créer un comité interdisciplinaire de réflexion sur cette question</li><li>• Communiquer leurs rapports et leur donner un vrai pouvoir incitatif</li></ul>
	Agir de façon internationale	<ul style="list-style-type: none"><li>• Adopter une nomenclature officielle des nanoobjets</li><li>• Créer un organisme qui permet une traçabilité internationale du produit</li></ul>

Echelles	Prendre en compte les effets macroscopiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• S'intéresser aux effets sur des écosystèmes (bioamplification...)</li> <li>• Etudier les mécanismes de dispersion dans l'environnement et la capacité pour un élément de se retrouver loin de la source émettrice</li> </ul>
	Prendre en compte les effets à moyen terme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La période étudiée doit être supérieure à 10 ans car certaines particules semblent persistantes</li> <li>• Etablir un suivi pour ces particules</li> </ul>
	Prendre en compte les effets à long terme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En cas d'incertitude majeure, établir un principe de précaution</li> <li>• Les particules supposées persistantes après un certain nombre d'années doivent être retirées de la production</li> </ul>
Doute	Tenir compte du principe de précaution	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bannir certaines particules ou modes de production</li> <li>• Retarder l'application à large échelle de certaines utilisations</li> </ul>

Doute	Communiquer les doutes, les incertitudes, les craintes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Créer une publication régulière des mesures prises par précaution au sujet des nanotechnologies</li> <li>• Informer l'utilisateur sur la composition du produit avec lequel il est en contact</li> </ul>
Complexité	Prendre en considération les effets croisés	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Créer des protocoles pour évaluer la toxicité de plusieurs facteurs combinés couplés à la présence de nanotechnologies</li> <li>• Octroyer des fonds à ces recherches</li> </ul>
	Partager les connaissances autour des nanoéléments	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organiser des forums de recherche pour le partage de la recherche de façon internationale mais aussi entre les organismes publics et privés</li> <li>• Nommer des personnes ressources sur ces questions dans les gouvernements</li> </ul>

Après avoir listé une série de recommandations propres aux nanotechnologies et destinées à pouvoir être mises en œuvre à partir du contexte actuel dans ce domaine, il a

paru souhaitable de proposer des pistes d'amélioration plus larges qui permettraient d'agir en amont de toute diffusion industrielle.

### 3.7.2 Extension aux projets scientifiques

Certaines recommandations sont propres aux nanotechnologies et à leur situation actuelle mais on peut, au regard de ce cas particulier, généraliser une série de recommandations. C'est ce qui est proposé dans le tableau 3. De la même manière que pour le tableau 2 de la section précédente, pour chacune des composantes communes, deux objectifs ont été définis puis pour chacun deux exemples d'actions envisageables.

TABLEAU 3.2 - RECOMMANDATIONS POUR LES PROJETS TECHNOLOGIQUES ET SCIENTIFIQUES

Composante commune	Objectif	Exemples d'actions
Ethique	Donner une importance accrue aux problématiques éthiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Créer un comité d'éthique pour chaque nouveau domaine de recherche</li> <li>• Former les scientifiques et les industriels sur cette notion</li> </ul>
	Disposer de tous les éléments permettant ou non d'autoriser la diffusion à large échelle de la technique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prévoir un délai de réflexion suffisant permettant au comité éthique de se prononcer</li> <li>• Eviter les conflits d'intérêts des décideurs</li> </ul>

Echelles	Intégrer les aspects du nanoscopique au macroscopique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Découper la technologie en composants élémentaires et les analyser</li> <li>• Envisager les interactions systémiques</li> </ul>
	Prendre en considération la notion de moyen et de long terme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envisager l'analyse de cycle de vie pour les aspects environnementaux</li> <li>• Utiliser une méthode pour les impacts sociaux de la technologie</li> </ul>
Doute	Réfléchir sur le besoin de recourir au principe de précaution	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En cas de doutes majeurs, le principe de précaution est systématiquement déclenché</li> <li>• Par défaut, l'usage est interdit, en l'absence d'autorisation</li> </ul>
	Prendre les mesures pour informer les parties prenantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tenir informés les scientifiques et les industriels</li> <li>• Vulgariser pour la population</li> </ul>

Complexité	Connaitre les liens entre la technologie et l'environnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construire une cartographie exhaustive des liens entre la technologie et l'environnement</li> <li>• Modéliser les impacts relatifs à chacun des liens</li> </ul>
	Augmenter la transversalité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Créer des comités d'experts multidisciplinaires</li> <li>• Favoriser les discussions internationales</li> </ul>

Chacune de ces recommandations a été prévue pour être adaptable à un large panel de technologies, qui se situent soit dans le domaine scientifique soit dans le domaine environnemental.



## CONCLUSION

Ainsi se termine ce voyage dans le temps. Tout d'abord, la période 1850 à 1950 a été visitée, pour ses aspects historiques, scientifiques et environnementaux. Certains évènements dans chacun des domaines ont été détaillés.

Ensuite, à partir de ces chronologies et de ces évènements, quatre composantes communes ont été définies. Il s'agit de l'éthique, des échelles, du doute et de la complexité. Pour chacune d'entre elle, les évènements et concepts s'y rapportant ont été listés. Les exemples décrits dans cet essai ont permis de mettre en évidence la nature des liens existant dans le passé entre les évènements de l'histoire scientifique et ceux de l'histoire environnementale.

Enfin, l'aspect prospectif du cas des nanotechnologies a été développé. A travers le spectre des quatre composantes communes, on a pu voir que de nombreux aspects de la durabilité n'ont pas été totalement pris en compte dans les décisions autour du thème des nanotechnologies. A la suite de constat, deux séries de recommandations ont été faites, l'une pouvant s'appliquer dès aujourd'hui au cas des nanotechnologies et l'autre traitant plus généralement des projets scientifiques et technologiques.

Au regard de cette étude, de nouvelles questions émergent. En effet, on peut se demander à quel point des leçons du passé sont extraites et à quel point l'expérience acquise a servi pour éviter d'éventuels écueils ou pour prendre des décisions de manière plus éclairée. Au contraire, il semble que les leçons retenues soient assez faibles et que la majeure partie qui pourrait être bénéfique à connaître n'a pas été exploitée. A ce titre, on peut se demander quelles sont les leçons que tireront les hommes du futur de nos erreurs présentes en matière d'environnement, par exemple au regard de problématiques telles que les changements climatiques.

De plus, on remarque que les aspects scientifiques et environnementaux d'un projet tel que celui des nanotechnologies sont proches et qu'il est parfois difficile de séparer ce qui relève de la science et ce qui relève de l'environnement. Or, ce n'était pas le cas entre 1850 et 1950, même pour des projets de grande ampleur scientifique comme celui de la radioactivité. On peut donc se demander si il y aura encore longtemps une frontière entre histoire scientifique et environnementale et si cette amenuisement des frontières entre les discipline est le signe d'une augmentation de la durabilité ou si au contraire, le domaine de l'environnement est négligé au dépens des avancées scientifiques, tout en s'affichant, à tort, comme un projet de développement durable.

## REFERENCES

- Ambrière M. et al., Dictionnaire du XIXème siècle européen, 1997, Presses Universitaires de France, Paris, 1375 p.
- Barles S., L'invention des déchets, France 1790-1970, 2005, Champ Vallon, Collection Milieux, Paris, 297 p.
- Bassez M.-P., Contribution à la rédaction d'un code de conduite pour les nanotechnologies et autres technologies, 2008, Université de Strasbourg, 12 p.
- Bourg D., Face aux problèmes d'environnement, des scénarios divergent. 2002. Economie et Humanisme. N°360. pp 23-28
- Boyer J. (2009). Fiche scientifique n°6 : l'éruption du Krakatau en août 1883 [En ligne] [http://www.lave-volcans.com/fiches\\_science\\_6.html](http://www.lave-volcans.com/fiches_science_6.html) (Page consultée le 30 mars 2010).
- Braudel F., l'identité de la France, 2001, Flammarion, Paris, 410 p.
- Bravais A., Etudes cristallographiques, 1851, Gauthier Villars, 290 p.
- Buffetaut E., Cuvier, le découvreur de monde disparus, 2002, Pour la science, Paris, 160 p.
- CINUM. Françoise Roure : « La recherche de la traçabilité est consubstantielle au développement de la mobilité », 2006 [En ligne] <http://www.cinum.org/fr/interview-roure/7-11-65.html> (Page consultée le 16 juillet 2010)
- Cohen M., The history of Sierra Club, 1892-1970, 1988, Sierra Club Books, 550 p.
- D'Este L., La condition animale, 2006, Sang de la Terre, Paris, 206 p.
- Darwin C, De l'origine des espèces, 1859, Flammarion, Paris, 619 p.
- De Rosnay J., Le microscope, vers une vision globale, 1977, Points, Paris, 346 p
- De Tocqueville A., Œuvres, T1, Voyages, écrits politiques et académiques, 1840 Pléiade Bibliothèque, 1744 p.
- Dupuy J.-P., Roure F., Les nanotechnologies : éthique et prospective industrielle, 2004, Conseil général des Mines, section « innovation et entreprises », 73 p.
- ETC. Environmental Technology Center « Un Infiniment Petit Guide D'introduction Aux Technologies À L'échelle Nanométrique... Et À La Théorie Du Petit Bang », 2006, [En ligne] Document PDF [www.etcgroup.org/upload/publication/pdf\\_file/29](http://www.etcgroup.org/upload/publication/pdf_file/29) (Page consultée le 3 août 2010)
- Engels F. ,Marx K., Manifeste du parti communiste, 1848, Flammarion, Paris, 224 p.

- Farcet, Thoreau, l'éveillé du nouveau monde, 1990, Albin Michel, Collection Espaces Libres, Paris, 348 p.
- Ferry L., le nouvel ordre écologique, 1992. Editions Grasset
- Grace F., Hiroshima Mayor Criticizes U. S. , 2004 In CBS [En ligne] <http://www.cbsnews.com/stories/2004/08/06/world/main634348.shtml> (Page consultée le 23 juillet 2010)
- Hugo, V., Un jour viendra, 1849. Discours du congrès de la paix.
- Hardouin-Fugier E., La protection législative de l'animal sous le nazisme, 2002, Tahin Party, Paris, p 129-151.
- Lamé G. , Leçons sur la théorie mathématique de l'élasticité des corps solide, 1852, Jacques Gabay, Paris
- Lamy M., Jules Verne, initié et initiateur, 2005, Payot, Paris, 294 p.
- Larousse Dictionnaire Larousse Français, 2010 [En ligne] <http://www.larousse.fr/dictionnaires> (Page consultée le 17 juillet 2010)
- Lerondel G., Les nanotechnologies. Communication personnelle. Université des technologies de Troyes, 2010. Cours du 11 juin 2010.
- Lizet B., Histoire des parcs nationaux, 2009, Quae, Paris, 240 p.
- Loi sur le développement durable, projet de loi n° 118, 2006, chapitre 3, Québec
- Masutti, C. Le Dust Bowl, la politique de conservation des ressources et les écologues aux Etats-Unis dans les années 1930. 2004. Thèses de doctorat, Université Louis Pasteur
- Mc Neill J.R., Something New Under the Sun, 2000. New York, Norton, 419 p.
- National Park Service Yosemite Park. 2010 [En ligne] <http://www.nps.gov/index.htm> (Page consultée le 12 mars 2010).
- Nations Unies Global Compact les dix principes In The Global Compact, 2010. [En ligne] [http://www.unglobalcompact.org/languages/french/dix\\_principes.html](http://www.unglobalcompact.org/languages/french/dix_principes.html) (Page consultée le 24 juillet 2010)
- Oberdörster, E. Manufactured nanomaterials [fullerenes, C60] induce oxidative stress in brain of juvenile largemouth bass, 2004. Environmental HEALTH Perspectives, vol. 112, n° 10, pp. 1058-1062.
- OCDE Tableaux clés de l'OCDE, 2010 [En ligne] [www.oecd.org/statistiques/tableauxcles](http://www.oecd.org/statistiques/tableauxcles). Page consultée le 3 août 2010.
- Olivier, M.J. Chimie de l'environnement. 4<sup>e</sup> édition, 2002. Québec, Les productions Jacques Bernier, 301 p.

- Portes J., Les Etats Unis, de l'indépendance à la première guerre mondiale, 1991, Armand Colin, Collection Cursus, Paris, 215 p.
- Rees M., Our Final Hour. A Scientist's Warning : How Terror, Error, and Environmental Disaster Threaten Humankind's Future in this Century – on Earth and Beyond, 2003. Basic Books, New York,
- Ricoeur P. l'Idéologie et l'Utopie, 2005. Seuil, Paris. 184 p.
- Rolland P., L'unité politique de l'Europe, histoire d'une idée : les grands textes, 2006, Emile Bruylant, Droit de l'Union Européenne, Bruxelles, 614 p.
- Stansfield L. Les principales dates de l'histoire de la génétique, 2008. [En ligne] [http://gepv.univ-lille1.fr/downloads/enseignements/L2-S3/L2-S3-Dhulst-Chap1-Genetique\\_Formelle.pdf](http://gepv.univ-lille1.fr/downloads/enseignements/L2-S3/L2-S3-Dhulst-Chap1-Genetique_Formelle.pdf) (Page consultée le 7 mai 2010).
- Taton R. La science contemporaine, le XIXème siècle, 1961 Quadrige, Presse Universitaires de France, Paris, 755 p.
- Taton R., La science contemporaine, le XXème siècle, années 1900-1960, 1964. Quadrige, Presses Universitaires de France, Paris, 1072 p.
- Twain M., The gilded age, a tale of today, 1873, Modern library, Londres, 528 p.
- Union Européenne, Règlement (CE) n° 1907/2006 du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), instituant une agence européenne des produits chimiques, modifiant la directive 1999/45/CE et abrogeant le règlement (CEE) n° 793/93 du Conseil et le règlement (CE) n° 1488/94 de la Commission ainsi que la directive 76/769/CEE du Conseil et les directives 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE et 2000/21/CE de la Commission, JOUE du 30 décembre 2006
- Vernadsky V. I. La biosphere 2003, Seuil, Paris, 277 p.
- Ville de Gerardmer, Gerardmer et Xonrupt au fil du temps, 2010 [En ligne] [http://www.gerardmer.net/fr/rubrique\\_histoire.php](http://www.gerardmer.net/fr/rubrique_histoire.php) (Page consultée le 7 mai 2010).
- Zola E., Germinal, 1885, Flammarion, Paris, 610 p.

## BIBLIOGRAPHIE

- Acot P., L'histoire des sciences, 1999, Presses Universitaires de France, Collection Que sais-je, Paris, 127 p.
- AFSSET Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail. Les nanomatériaux : effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement. 2006. 221 p.
- Andre M., Réflexions autour de la « nanoéthique » et de la « nanonormalisation ». Environnement, risques et santé, 2005, vol 4, n°6. pp 411-416.
- Attac, les nanotechnologies, texte présenté à l'université d'été d'Attac, 2006, 23 p.
- Auger L., nanotechnologies et santé : que sait-on des risques ? Bulletin d'information en santé environnementale 2006. Vol 17. 12 p.
- Balibar et al. , Georges Canguilhem, philosophe, historien des sciences, Actes du colloque organisé au Palais de la découverte les 6, 7 et 8 décembre 1990, Bibliothèque du Collège international de philosophie, Albin Michel, Paris, 330p.
- Bordé et al., Les nanotechnologies : enjeux et conditions de réussite d'un projet national de recherche 2002,. Rapport du groupe de travail « nanotechnologies » de l'académie des technologies. 54 p.
- Botterg, Projet impact des nanomatériaux sur l'environnement s.d.,. 25 p.
- Catelin S., le recours à la science fiction dans le débat public sur les nanotechnologies : anticipation et prospective. Quaderni n° 61. pp 13-24.
- Cerveaux A., Helfrich V., Au croisement des enjeux économiques et de la responsabilité sociale : le cas de la normalisation des nanoparticules. Colloque sciences et société au XXIème siècle : autres relations, autres pratiques s.d.,. 11 p.
- Dufourt D., « Développement durable » : Préoccupations scientifiques et compromis politiques. Savoirs Universitaires, sciences et programmes politiques : quelles médiations ? 2008. 21 p.
- Dupuy J. P., Pour une évaluation normative du programme nanotechnologique. 2004, 7 p.
- Einstein A., Pensées Intimes, 2003, Rocher Eds Du, Paris, 230 p.
- Environnement Canada, Santé Canada Proposition de cadre réglementaire pour les nanomatériaux en vertu de la loi canadienne sur la protection de l'environnement, 2007, t. 22 p.
- Fernandez B., De l'atome au noyau, Une approche historique de la physique atomique et de la physique nucléaire, 2006, Ellipses, Paris, 597 p

- Faucheux et al., Le soutien des pouvoirs publics aux nanotechnologies, 2004,. Annales des Mines. 5 p.
- Feingenbaum et al. Les nanotechnologies : leurs bénéfices et risques potentiels, 2004.45 p.
- Gillon P., Résister aux nanotechnologies. Université de Liège, 75 p.
- Greenpeace, 2007, Principes de surveillance des nanotechnologies et nanomatériaux. Pétition. 17 p.
- Grinevald J., La révolution industrielle à l'échelle de l'histoire humaine de la biosphère , 2006. Revue Européenne de sciences sociales. 30 p.
- Guérin L. J., Nanotechnologies, des nains avec un grand avenir, 2004. Revue technique luxembourgeoise. 9p.
- Herve-Bazin B., De la nécessité de faire un point sur les dangers des particules ultra-fines. INRS Hygiène et sécurité du travail. pp 53-61
- Ineris. Les nanomatériaux sous haute surveillance, 2007. Ineris Mag. 9 p.
- Keiper A, The nanotechnology revolution, 2003. The New Atlantis. 18 p.
- Lafontaine C., , Le Québec Nanotech : les discours publics en matière de nanotechnologies, entre promotion et fascination, 2002. Quaderni n°61. pp 39-53.
- Larrère C. développement durable : quelques points litigieux, 2006,. Les ateliers de l'éthique. Vol 1 n°2. 11 p.
- Legifrance, Compte rendu de l'audition publique du 7 novembre 2006 sur les nanotechnologies : risques potentiels, enjeux éthique. Séance à l'Assemblée Nationale du 5 février 2007 et au sénat le 6 février 2007.
- Loi Barnier n° 95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement.
- Mangematin V., Emergence des nanotechnologies : quels modèles ?, 2008, 13 p.
- Marks R. B., The Origins of the modern world, a global and ecological narrative from the fifteenth to the twenty-first century, 2007, Rowman & Littlefield Publishers, Oxford, 221 p.
- Martinez-Alliez J., Conflits de distribution écologique : identité et pouvoir, 2007. Université de Barcelone. 30 p.
- Maynard R., Ethique du nanos, ou nanoéthique, 2007,. Reflets de la physique n°6. pp 27-30

- Meunier G., Changement scientifique et technologique et développement durable : les voies de convergence, 2006. Séminaire d'économie d'énergie de l'AEE et du CFE. 5p
- Ministère de l'écologie et du développement durable. 2006. Nanotechnologies, nanoparticules : quels dangers, quels risques. Paris. 64 p.
- Obadia A, les nanotechnologies, 2006. Avis et rapports du conseil économique et social.
- Ostiguy C. et al., Guide des bonnes pratiques favorisant la gestion des risques liés aux nanoparticules de synthèse, 2008. Etudes et recherches. 73 p.
- Polunin N. et Grinevald J. « Vernadsky and Biospherical Ecology » (1988), Environmental Conservation, no 15(2), 1988, p. 117-122.
- Vivagora, Principes de surveillances des nanotechnologies et nanomatériaux, 2007.. 14 p.
- Wallace A. R., La selection naturelle, 2003, Adamant Media Corporation, 444 p.
- Worster D., Les pionniers de l'écologie, 1977, Cambridge, Cambridge University Press, 412 p.