

JEAN-BAPTISTE VAUJOUR (DIR.)
ÉLISE RETAILLEAU
LUCAS GIGLI
ALEXANDRE DENIS
LUC-OLIVIER BRIAND

ENTREPRISE : OBJECTIF ZÉRO CARBONE

Les clés d'une décarbonation efficace
et créatrice de valeur

DUNOD

Éditorial : Guillaume Clapeau et Margaux Lidon

Correctrice : Danielle Roque

Fabrication : Anne Pachiaudi

Couverture : Pierre-André Gualino

Mise en pages : Lumina Datamatics

NOUS NOUS ENGAGEONS EN FAVEUR DE L'ENVIRONNEMENT :



Nos livres sont imprimés sur des papiers certifiés pour réduire notre impact sur l'environnement.



Le format de nos ouvrages est pensé afin d'optimiser l'utilisation du papier.



Depuis plus de 30 ans, nous imprimons 70 % de nos livres en France et 25 % en Europe et nous mettons tout en œuvre pour augmenter cet engagement auprès des imprimeurs français.



Nous limitons l'utilisation du plastique sur nos ouvrages (film sur les couvertures et les livres).

Pour mes filles, pour leur avenir
J-B.V.

Pour la petite Marie-Ayline et son village, Zodzi
A.D.

Pour des montagnes et une étoile
L.G.

Au Vougot
E.R.

Pour ma filleule, mes neveux et mes nièces
L-O.B.

Remerciements

Les auteurs remercient tout particulièrement Anaïs Gaston pour la rédaction du chapitre « Le coût de l'adaptation » (2.2.).

Les auteurs tiennent à remercier Mathilde Adjedj, Lou Adler, Emma Alapetite, François Amieux, Ray Asmar, Xavier Blot, Désiré Bourdic-Girard, Jean-Baptiste Charles, Michel Colombier, Emmanuel Deneuveille, Dramane Djikine, Thimothée Duverger, Maxime Efoui-Hess, Émeline Fasolato, Reuben Fischer, Nicolas Gourdain, Loïc Guilbot, Julien Hamelin, Valentine Japiot, Jérémie Joubert, Florian Julien Saint Amand, Soufiane Lamalam, Océane Lannoy, Quentin Laurens, Éric Legale, Victor Martin, Rodolphe Meyer, Agathe Mouvielle, Kertin Mumme, Alexandre Pasquier-Desvignes, Ruben Persicot, Diane Petit de Bantel, Luc Petitpain, Bastien Sbraire, Paul Thomas, Jacques Treinier, Patrice Vuidel, Alessa Wochner et Lucia Xu.

Les propos tenus dans cet ouvrage n'engagent que les auteurs, toute erreur ou omission serait de leur seul fait. Leurs employeurs respectifs ne sauraient être tenus ou engagés.

Les auteurs tiennent à remercier leur famille et leurs proches pour leur patience, soutien et écoute durant l'écriture de cet ouvrage.

Finalement, un livre ne serait rien sans son éditeur et nous voulions remercier Guillaume Clapeau et Margaux Lidon pour leur confiance, leur patience (mise à rude épreuve) et leur énergie, ainsi que toute l'équipe de Dunod.

Table des matières

Remerciements	IV
Introduction	1
Partie I	
Économie du changement climatique	5
Chapitre 1 Le défi environnemental et les limites planétaires	7
1. Les enjeux du changement climatique	7
1.1 L'état actuel : des effets qui se font déjà ressentir	7
1.2 Quelles conséquences futures ?	14
1.3 La place et le rôle des entreprises	17
2. La notion de limites planétaires	18
2.1 Les ressources non renouvelables	18
2.2 Les neuf limites planétaires	22
2.3 Réactions face à ces constats	31
Chapitre 2 Les effets macro-économiques de la destruction des ressources	36
1. Une catastrophe économique annoncée	36
1.1 Les conséquences du changement climatique	36
1.2 Agir face à l'incertitude	42
2. Le coût de l'adaptation	46
2.1 La production	47
2.2 Les canaux redistributifs	52
2.3 Reconstitutions sectorielles et commerce international	53
2.4 Les facteurs de production	55
2.5 La productivité globale des facteurs	58

3.	Entre transition ordonnée et réalité internationale	61
3.1	Une valeur du carbone pour une transition ordonnée	61
3.2	Du chaos international vers un ordre multi-échelles ?	68
Chapitre 3	L'entreprise, le marché et les enjeux environnementaux	75
1.	L'approche microéconomique	75
1.1	L'impératif de rentabilité	76
1.2	La possibilité du profit	78
1.3	La nécessité de s'adapter	79
2.	L'entreprise, le marché, l'État	82
2.1	Les défaillances de marché et leurs conséquences	82
2.2	Marchés d'émissions et taxes carbone	87
3.	Stratégies d'entreprise face aux défis environnementaux	92
3.1	Comprendre l'écosystème de l'entreprise pour décider	93
3.2	Caractériser les choix possibles	94
3.3	Définir une stratégie	98

Partie II

L'entreprise dans son environnement

103

Chapitre 4	L'écosystème de l'entreprise	105
1.	Identifier et associer les parties prenantes	105
1.1	Le concept de responsabilité sociale de l'entreprise	106
1.2	La prise en compte effective des parties prenantes	109
2.	Développer l'engagement pour créer de la valeur partagée	114
2.1	S'aligner autour d'objectifs communs	114
2.2	La notion de valeur partagée	119
2.3	Créer de la valeur partagée en pratique	123

3.	Entreprises et dynamiques territoriales	129
3.1	Synergies entre entreprises	129
3.2	Synergies public/privé pour repenser le territoire	135
3.3	Synergies entre l'entreprise et son écosystème	143
Chapitre 5	Le cycle de vie des produits	147
1.	Réduire l'empreinte carbone	147
1.1	L'empreinte carbone	147
1.2	Les « scopes »	150
1.3	Le bilan carbone	154
2.	L'analyse du cycle de vie et ses conséquences industrielles	160
2.1	L'analyse du cycle de vie	160
2.2	L'éco-conception	167
2.3	Autres conséquences de l'ACV	172
3.	Valoriser la fin de vie des produits	174
3.1	Faire revenir les produits	174
3.2	Les méthodes de valorisation	179
3.3	Des limites surmontables	185
Chapitre 6	La question de la rentabilité	188
1.	Le point de vue de l'actionnaire	188
1.1	La rentabilité attendue et ses limites	189
1.2	L'arbitrage inter-temporel	194
1.3	L'activisme actionnarial	196
2.	Le point de vue des créanciers	198
2.1	La rémunération des créanciers	198
2.2	Évaluer et innover : les enjeux pour le climat	200
3.	La finance contre le changement climatique	206
3.1	L'indispensable émergence d'un langage commun	206
3.2	Vers une comptabilité extra-financière ?	211
3.3	Les outils de la finance	217

Partie III

Réinventer l'entreprise 221

Chapitre 7 La production 223

1. Produire de manière décarbonée 223
 - 1.1 Mettre en place une stratégie de décarbonation 223
 - 1.2 Les mesures à implémenter 226
 - 1.3 Les enjeux spécifiques de l'industrie lourde 233
 - 1.4 Les difficultés de mise en pratique 236
 - 1.5 Le rôle des pouvoirs publics 237
2. Produire efficacement 240
 - 2.1 La chasse au gaspillage 240
 - 2.2 L'ESG dans la gestion de la *supply chain* 245
 - 2.3 Exploration de modèles efficaces et responsables 251
3. Des services pour allonger la durée de vie des produits 254
 - 3.1 Allonger la durée de vie des produits 254
 - 3.2 Développer l'économie de la fonctionnalité 259

Chapitre 8 Les chaînes logistiques 267

1. Produire au plus près 267
 - 1.1 Les indispensables chaînes logistiques 267
 - 1.2 Les facteurs d'allongement des chaînes logistiques 273
 - 1.3 Les leviers d'action de l'entreprise 277
2. Acheter de manière responsable 281
 - 2.1 L'importance stratégique des achats 281
 - 2.2 L'ESG dans la gestion des achats 285
 - 2.3 L'implémentation au sein de l'organisation 290

Chapitre 9 Les fonctions supports 293

1. Le marketing et la communication 293
 - 1.1 Le *greenwashing* ou l'écoblanchiment 293
 - 1.2 L'injonction à la responsabilité dans la communication 298
 - 1.3 Les bonnes pratiques 302

2. Les ressources humaines à l'épreuve du changement climatique	305
2.1 Des conséquences négatives à mitiger	306
2.2 La gestion des RH, levier de la transition	309
3. La révolution verte du numérique	311
3.1 Les bénéfices écologiques permis par le numérique	311
3.2 L'empreinte écologique du numérique	316
3.3 Rendre le numérique durable	320

Chapitre 10 Conduire la transition vers la neutralité carbone

1. Mobiliser l'entreprise	326
1.1 La crise de l'engagement au travail	326
1.2 Créer l'engagement au sein de l'entreprise	329
2. Former les parties prenantes	335
2.1 La formation continue du personnel	335
2.2 Former l'écosystème	345
3. Accompagner les perdants	347
3.1 Qui sont les perdants ?	347
3.2 La place centrale du dialogue	350
3.3 Accompagner en pratique	356

Conclusion 364

Index 366

Sur le même thème 371

Cet ouvrage s'appuie sur plus de 1 800 références que vous pouvez retrouver en flashant ce QR code :



Introduction

*« Nous sommes en route vers un désastre climatique »
António Guterres, Secrétaire général des Nations unies
4 avril 2022, cérémonie de publication du rapport du GIEC.*

Nous ne sommes plus dans une période où le changement climatique, l'effondrement de la biodiversité et l'épuisement des ressources naturelles feraient débat. Nous sommes, collectivement, au pied du mur. Face à ce constat d'échec, il est de notre devoir de trouver les solutions permettant de préserver les équilibres planétaires pour espérer offrir une vie digne aux générations futures.

Le problème environnemental est protéiforme et ne saurait être résumé à l'une de ses dimensions. Politique, il interroge nos modes de vie et nos modèles de développement. Économique, il remet en question nos modes de production et de consommation. Social, il interpelle sur les inégalités actuelles et futures. Éthique, il remet la question de la place de l'être humain dans la nature au cœur des débats et nous force à considérer nos responsabilités vis-à-vis du vivant.

Il est caractérisé par une incertitude radicale qui obscurcit nos horizons. Si la réalité de la catastrophe environnementale est désormais tangible dans nos quotidiens, l'état des connaissances scientifiques actuelles ne nous permet pas de nous construire une représentation fine de ce à quoi l'avenir ressemblera. Il nous faut pourtant décider et agir.

Cette action doit impérativement se faire au niveau des entreprises. En effet, l'essentiel des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale relève de l'activité économique des entreprises, pour la production et consommation d'énergie dans l'industrie, les transports, l'agriculture... Pour tenir les objectifs de l'Accord de Paris de limiter la hausse des températures à +1,5 °C à la fin du siècle et les engagements corollaires de l'Union européenne de réduire nos émissions de 55 % d'ici 2030 et d'atteindre la neutralité carbone (ici comprise comme une situation où les émissions nettes de gaz à effet de serre sont nulles à l'échelle planétaire) à horizon 2050, il est donc nécessaire de réinventer l'intégralité du système productif.

Celui-ci est traversé par une série de paradoxes existentiels. Confronté à l'épuisement de ses ressources, il pousse à augmenter la consommation. Victime des effets du changement climatique et des destructions associées, il continue à valoriser les activités les plus polluantes.

L'objectif du présent ouvrage n'est pas de rentrer dans le débat politique et démocratique qui s'imposerait pour résoudre ces paradoxes. Il se focalise sur la nécessité d'une action résolue et immédiate de la part des entreprises. Nous souhaitons apporter des éléments concrets pour identifier des solutions qui contribuent à mettre notre économie sur un chemin plus soutenable. Cette soutenabilité s'entend sous les angles

environnementaux, économiques et sociaux. Comme nous le démontrerons tout au long de l'ouvrage, ces trois dimensions sont en effet étroitement liées et ne peuvent progresser que de concert.

Face à l'ampleur des enjeux et à la complexité du problème, notre approche est résolument pragmatique. Après deux ans de travail, nous nous appuyons sur plus de 1 800 sources différentes et des dizaines d'entretiens avec des professionnels de tous horizons pour caractériser les problèmes auxquels les entreprises sont confrontées, les analyser à l'aune d'un cadre théorique robuste et examiner les meilleures pratiques existantes en termes de solutions. Nous identifions les grands axes de travail, les défis à relever et les domaines où concentrer les efforts. Si le changement climatique et ses conséquences dominent le propos, nous n'ignorons pas pour autant les autres formes de pollution et l'effondrement de la biodiversité.

*

Pour cela, l'ouvrage se divise en trois grandes parties. Dans un premier temps (I), nous examinons l'économie du changement climatique avec un premier développement (1.) consacré aux rappels sur la nature du défi environnemental et sur la notion de limites planétaires. Une vision claire de la complexité des perturbations du système environnemental est indispensable à la suite du propos. Partant de ces constats et des conclusions scientifiques, nous examinons ensuite (2.) leur traduction macro-économique, c'est-à-dire les conséquences pour l'environnement des affaires. Celles-ci s'articulent autour du diptyque risque climatique – risque de transition et nous nous efforçons de caractériser tant le premier que le second et d'examiner les grands enjeux de la gouvernance de la transition environnementale. Nous descendons ensuite l'analyse d'un niveau (3.) pour développer les conséquences micro-économiques sur les entreprises, les rôles respectifs des marchés et de l'État face à l'enjeu de la gestion d'un bien public global et, partant de ce qui a été développé précédemment, les stratégies potentielles des entreprises pour faire face au changement climatique et faire de la transition une opportunité.

*

Dans un second temps (II), nous examinons l'entreprise dans son environnement afin de rompre avec l'approche monolithique qui a longtemps prévalu et de concevoir l'activité dans un cadre écosystémique. Nous commençons donc par caractériser ce dernier (4.) autour des notions de parties prenantes et de valeur partagée pour ensuite développer le concept d'approche territoriale de l'entreprise. Dans un deuxième moment (5.), nous présentons l'approche en cycle de vie des produits, qui nous permet de détailler les notions d'empreinte carbone, d'économie circulaire, d'éco-conception et de fin de vie des produits. Nous consacrons ensuite (6.) tout un développement à la question de la rentabilité de l'entreprise, du point de vue de l'actionnaire et des créanciers et au rôle que la finance doit jouer pour rendre la transition possible.

*

Dans un dernier temps (III), nous nous appuyons sur les enseignements des deux parties précédentes pour rentrer dans le périmètre de l'entreprise même. Cette partie

n'a pas vocation à être un mode d'emploi pour la réinvention de l'entreprise, chaque situation étant unique. Elle se focalise donc sur l'identification des problèmes et d'outils pour y répondre. Elle examine le processus de production (7.) dans ses dimensions de soutenabilité, d'efficacité et de qualité afin de contribuer à la réduction des émissions associées. Elle développe ensuite (8.) de nombreux éléments sur les chaînes logistiques qui sous-tendent les organisations industrielles mondialisées, examinant par exemple les arbitrages autour de la production locale, de la digitalisation du commerce et le rôle prépondérant des fonctions achats. Un examen du rôle, souvent critique, des différentes fonctions support de l'entreprise est ensuite fait (9.), à commencer par le marketing et la communication, les ressources humaines et le numérique. Finalement, nous terminons notre propos par des considérations, essentielles, sur la conduite du changement (10.). La mobilisation de l'entreprise, la formation du personnel et l'accompagnement des perdants sont en effet des dimensions indispensables au succès de la transition environnementale de l'entreprise.

Partie I

Économie du changement climatique

Le défi environnemental et les limites planétaires

L'objet de ce chapitre est de présenter le contexte climatique et environnemental dans lequel s'inscrit toute activité économique et dont les entreprises ne peuvent plus faire abstraction. Ce contexte sera précisé en deux temps :

- Dans un premier temps, les fondements scientifiques du changement climatique ainsi que ses conséquences sur les sociétés humaines et les écosystèmes seront présentés, avec une attention particulière portée à la France et l'Europe.
- Dans un second temps, la notion de limites planétaires sera introduite. Il s'agira de couvrir les enjeux d'épuisement des ressources, ainsi que les interactions entre les activités humaines et les limites du système planétaire.

1 Les enjeux du changement climatique

1.1 L'état actuel : des effets qui se font déjà ressentir

Où en sommes-nous ?

Les indicateurs clés

Le dernier rapport du **GIEC** est sans appel : les activités humaines ont considérablement affecté l'écosystème terrestre, provoquant des changements sans précédent. Les émissions anthropiques de **gaz à effet de serre (GES)** depuis 1750 ont provoqué une augmentation de leur concentration dans l'atmosphère jusqu'à des niveaux jamais atteints depuis au moins deux millions d'années pour le dioxyde de carbone (CO_2) et depuis au moins huit cent mille ans pour le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O). Cette première modification du système Terre en a entraîné d'autres. L'augmentation de la température au cours des cinquante dernières années a notamment été plus rapide qu'au cours de n'importe quelle autre période de cinquante ans depuis au moins deux mille ans. Au global, la température de la surface terrestre (moyenne de la température de l'air à la surface proche de la terre et de la banquise, et de l'eau à la surface des océans) en 2010-2019 est déjà supérieure de $1,07\text{ °C}$ à la température en 1850-1900.

GIEC, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Créé en 1988 au sein des Nations unies et composé de 195 pays membres, le GIEC réunit des centaines de scientifiques du monde entier afin de réaliser régulièrement un bilan des connaissances sur les changements climatiques, leurs causes et conséquences. Il a aussi pour but de fournir des évaluations des stratégies d'adaptation et de mitigation de ces changements. Six rapports ont été rédigés, le dernier ayant été publié en 2021-2022. Chaque rapport est divisé en trois parties, chacune supervisée par un groupe de travail. La première traite des bases scientifiques physiques du changement climatique, la deuxième de ses conséquences sur les sociétés humaines et les écosystèmes, leurs vulnérabilités et les possibilités d'adaptation. La troisième partie expose les solutions afin de lutter contre le changement climatique.

GES et changement climatique

Définition de l'effet de serre

L'effet de serre est un des phénomènes naturels permettant de réguler la température sur Terre. Sans lui, la température atmosphérique moyenne serait de -18°C . Lorsque la surface terrestre reçoit le rayonnement solaire, elle l'absorbe et s'échauffe avant de le réémettre sous forme de rayonnement infrarouge vers l'atmosphère. Si une partie s'échappe vers l'espace, une autre est captée dans l'atmosphère par les gaz à effet de serre. Celle-ci va alors se réchauffer et émettre à son tour ces rayonnements vers la surface, entraînant son réchauffement.

Forçage radiatif et réchauffement climatique

L'augmentation des émissions de GES d'origine anthropique provoque une augmentation de l'effet de serre, et donc un forçage radiatif positif. Un forçage radiatif est une perturbation de l'équilibre énergétique terrestre. Il est positif lorsque le déséquilibre provoque une augmentation de l'énergie au sein du système terre-atmosphère. Cet excès de chaleur est absorbé par différents composants du système : la terre, l'atmosphère et les glaces (fonte des glaces continentales et de la banquise) représentent respectivement 5 %, 1 % et 3 % du réchauffement du système. L'océan en représente 91 %. Un des effets directs est la hausse de leur température, liée quasiment linéairement à l'augmentation des GES : chaque 1 000 GtCO₂ (gigatonne de CO₂) d'émissions cumulées provoquent une augmentation de la température globale de surface de $0,45^{\circ}\text{C}$. Le réchauffement climatique n'est pas le seul effet direct de l'augmentation de l'effet de serre. Deux autres effets directs sont le réchauffement de l'océan et la fonte des glaces continentales. Ces derniers sont, eux, les principales causes de la montée des eaux : elle est due à 50 % au premier, à travers l'expansion thermique de l'eau, à 42 % au second.

Origine des émissions

Les GES anthropiques proviennent de différentes sources. Le CO₂ est surtout émis lors de la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz). Le CH₄, lui, provient plutôt des activités agricoles (cultures, élevages) et de l'industrie fossile. Enfin, les émissions de N₂O sont liées aux engrais azotés ou procédés chimiques.

En termes d'émissions par secteur, celui de l'énergie est le plus émetteur, 34 % du total des émissions nettes de GES lui étant attribué en 2019 à l'échelle mondiale. Il est suivi du secteur de l'industrie, avec 24 % des émissions, puis de l'agriculture, sylviculture et autres utilisations des sols (22 %), du transport (15 %) et enfin du bâtiment (6 %).

Émissions cumulées

Les émissions cumulées représentent la quantité totale d'émissions sur une certaine période. En effet, les gaz à effet de serre ont une certaine durée de vie dans l'atmosphère, et réchauffent le climat tant qu'ils y sont présents. Le dioxyde de carbone (CO₂), représentant la majorité des émissions de GES depuis la période préindustrielle, a une durée de vie particulièrement longue : 15 % à 40 % du CO₂ émis restera dans l'atmosphère plus de mille ans. Ainsi, les émissions datant du début de l'ère préindustrielle font toujours effet aujourd'hui.

Comparaison du pouvoir réchauffant des différents GES : CO₂ équivalent (CO₂-eq)

Tous les GES n'ont pas la même capacité de réchauffement de l'atmosphère. Pour les comparer, différentes métriques peuvent être utilisées. Le plus souvent le **pouvoir de réchauffement global (PRG)** des autres gaz est rapporté à celui du CO₂ (GES avec le plus petit pouvoir réchauffant mais ayant le plus contribué au réchauffement climatique de par les quantités émises). On parle alors d'émissions CO₂-eq, donnant la quantité de CO₂ à émettre pour un effet équivalent sur le réchauffement global. Cette quantité dépend notamment de l'horizon temporel considéré (tous les GES n'ont pas la même durée de vie). Généralement, le PRG est établi sur une durée de 100 ans et les valeurs associées sont régulièrement réévaluées par le GIEC.

Tableau 1.1 – Tableau présentant le pouvoir réchauffant global des principaux GES à 100 ans

GES	PRG à 100 ans
CO ₂	1
CH ₄	16 - 41
N ₂ O	143 - 403

Les objectifs internationaux

Des négociations internationales ont lieu depuis 1992 pour lutter contre le changement climatique, mais sans réussir à instaurer d'importantes réductions des émissions. La CCNUCC (Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques), signée en 1992, est le premier traité international sur le sujet. Depuis, les pays signataires se réunissent tous les ans lors de COP (Conférences des Parties). En 2015, lors de la COP21, 191 Parties (190 États et l'Union européenne) ont ratifié l'Accord de Paris et se sont engagées à lutter contre le changement climatique :

« En contenant l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et en poursuivant l'action

menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels. »

(Article 2.a.).

Pour atteindre les objectifs de limitation du réchauffement climatique, chaque Partie doit se fixer des objectifs nationaux de réduction des émissions (**NDCs, Nationally Determined Contributions**), en fonction de ses capacités, qui doivent être revus à la hausse tous les cinq ans. Cependant, les NDCs tels qu'annoncés en amont de la COP26 en 2020 ne permettront pas d'atteindre l'objectif des 1,5 °C : les émissions associées à ces NDCs jusqu'en 2030 rendront déjà inévitable l'atteinte de ce seuil au cours du XXI^e siècle. Il faudra alors compter sur une accélération importante des efforts après 2030 pour limiter le réchauffement à 2 °C. En outre, l'atteinte des NDCs n'est pas garantie. Fin 2020, les politiques de réduction des émissions adoptées par les Parties n'étaient pas à leur hauteur : en l'absence de mesures proactives, les émissions de GES associées devraient continuer à augmenter au-delà de 2025, menant à un réchauffement moyen de 3,2 °C d'ici 2100.

Quelle marge de manœuvre ?

Alors que les NDCs et les politiques de réduction des émissions associées devront être revues à la hausse pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris, la fenêtre pour agir se resserre. En effet, ces objectifs sont liés à la notion de **budget carbone** : le budget carbone restant à partir de 2020 a été estimé à 500 GtCO₂ pour limiter le réchauffement à 1,5 °C avec une probabilité de 50 % et à 1 150 GtCO₂ pour le limiter à 2 °C avec une probabilité de 67 %. À titre de comparaison, les **émissions nettes** cumulées sur la période 2010-2019 ont représenté environ 410 GtCO₂. Or, plus les émissions tardent à être réduites, plus le budget carbone restant est consommé rapidement, réduisant la marge de manœuvre et donc la probabilité d'atteindre les objectifs climatiques. Par exemple, l'augmentation des émissions de GES depuis 2017 a, en moyenne, réduit la probabilité de limiter le réchauffement climatique. C'est ce que montrent les différentes **trajectoires** modélisées dans le dernier rapport du GIEC par comparaison à son rapport spécial sur les conséquences d'un réchauffement climatique publié en 2018. La limitation du réchauffement à 1,5 °C ou même 2 °C exige donc une « *action immédiate* ».

⋮ Budget carbone et émissions nettes

⋮ Budget carbone

⋮ Le budget carbone renvoie à deux notions distinctes :

- ⋮ – Le budget carbone total est défini comme étant la quantité maximum d'émissions de CO₂ anthropiques nettes cumulées depuis le début de l'ère préindustrielle permettant de rester en dessous d'un certain niveau de réchauffement climatique pour une certaine probabilité. Le budget carbone restant est lui exprimé non pas à partir de l'ère préindustrielle mais à partir d'une date récente définie.

- Le budget carbone global fait référence au cycle naturel du carbone entre les sources d'émissions de CO₂, les puits naturels les absorbant en partie (océans, sols), et le changement de concentration en CO₂ de l'atmosphère. Les émissions anthropiques de CO₂ perturbent ce budget en augmentant les sources de CO₂. Comprendre les réponses des puits à ces perturbations est nécessaire pour définir un budget carbone restant correspondant à une certaine température cible. En effet, toutes nos émissions ne vont pas directement dans l'atmosphère : 55 % sont actuellement absorbées par le sol et les océans. Cependant, il est possible que ces puits captent une proportion moindre des émissions si elles continuent à augmenter. La proportion exacte doit être définie pour obtenir la quantité de CO₂ dans l'atmosphère et donc l'augmentation de température liée. Il doit être souligné que l'absorption de carbone par les océans n'est pas sans conséquence, car cela entraîne leur acidification.

Émissions nettes

Les émissions de GES anthropiques nettes représentent les émissions effectivement absorbées par l'atmosphère, c'est-à-dire l'ensemble des émissions dues aux activités humaines diminuées des GES retirés de l'atmosphère car absorbés par des puits de carbone, naturels mais aussi éventuellement artificiels.

Trajectoire (ou profil d'évolution)

Une trajectoire représente l'évolution dans le temps de systèmes humains et/ou naturels et est basée sur un ensemble de scénarios, c'est-à-dire de descriptions plausibles du futur, selon un ensemble d'hypothèses. Un scénario n'est pas une prédiction ou une prévision, mais est utile pour représenter les effets de différentes actions.

Des effets déjà présents

À l'échelle mondiale

L'augmentation de la température de surface n'est qu'un des effets visibles et mesurables liés aux émissions anthropiques de GES. D'autres dérèglements, pour certains déjà irréversibles à notre échelle, ont été entraînés en cascade par l'influence humaine. En voici une liste non exhaustive :

- Le niveau moyen des mers a monté d'environ 20 cm au cours du siècle, un rythme d'augmentation jamais atteint depuis au moins 3 000 ans. Son élévation continuera pendant des siècles.
- Au-delà de sa surface, l'océan se réchauffe depuis les années 1970 à une vitesse sans précédent depuis onze mille ans. Cette augmentation de température est irréversible pour des siècles ou des millénaires.
- Le retrait des glaciers à l'échelle mondiale est sans équivalent depuis plus deux mille ans. Leur fonte continuera pour des décennies voire des siècles.

- La fréquence et l'intensité des événements climatiques extrêmes (pics de chaleur, de précipitations, inondations, sécheresses ou incendies) ont augmenté :
 - un épisode de forte chaleur décennal en 1850-1900 arrive en moyenne 2,8 fois plus souvent actuellement et est 1,2 °C plus chaud,
 - un épisode de précipitations importantes décennal en 1850-1900 arrive en moyenne 1,3 fois plus souvent, pour une intensité augmentée de 6,7 %.
- Le cycle de l'eau a été modifié, entraînant non seulement une augmentation des sécheresses ou précipitations mais un renforcement des contrastes entre saisons et régions sèches et humides.

Ces effets montrent l'ampleur du dérèglement provoqué par les activités humaines qui touche l'ensemble des « composants majeurs du système climatique ».

Des conséquences importantes mais inégales

Sur la quasi-totalité du globe, les écosystèmes sont touchés par des changements majeurs au sein même de leur structure, qu'ils soient terrestres, maritimes ou d'eau douce, tandis que les changements de biodiversité à travers les migrations d'espèces montrent que les zones climatiques se sont déplacées vers les pôles, suivant le réchauffement du climat.

Toutes les régions du monde ne font cependant pas face aux mêmes défis, du fait non seulement de leur situation géographique, mais aussi de « facteurs non climatiques » conditionnant la vulnérabilité des populations et écosystèmes. Leurs capacités à faire face aux conséquences du changement climatique sont influencées par des facteurs aussi divers que le développement socio-économique, l'utilisation des océans et des sols ou encore les schémas d'urbanisme. Par exemple, les villes sont particulièrement vulnérables aux fortes chaleurs, tandis que les problèmes de pollution de l'air y sont aggravés. Une grande part des millions de personnes exposées à une insécurité alimentaire et hydrique due à des événements climatiques extrêmes vit dans des régions où la vulnérabilité des populations est particulièrement élevée, telles que l'Afrique, l'Asie, l'Amérique centrale et du Sud, ou encore les petits États insulaires. De plus, lors de la dernière décennie, les inondations, sécheresses et tempêtes ont provoqué une mortalité quinze fois supérieure dans ces régions par rapport aux régions moins vulnérables.

Cette vulnérabilité est d'autant plus forte pour les populations marginalisées, pour les femmes, les personnes à faible revenu ou les populations autochtones. La vulnérabilité des écosystèmes est, elle, fortement liée aux répercussions des activités humaines – hors émissions de gaz à effet de serre –, telles que la pollution ou la surexploitation des ressources. Ainsi, les conséquences du changement climatique sont variables en fonction de la situation locale.

À l'échelle européenne et française

En Europe

L'Europe n'est pas épargnée par le réchauffement climatique. Ainsi, malgré des fluctuations dues à la **variabilité naturelle**, l'Europe se réchauffe plus vite que la

moyenne mondiale : depuis 1850-1900, la température de l'air y a augmenté de 2,2 °C contre 1,2 °C sur l'ensemble du globe. Si toute l'Europe est atteinte, les conséquences diffèrent en fonction des régions. Par exemple, la région boréale voit les précipitations et débits fluviaux augmenter, tandis que la région méditerranéenne s'assèche. En outre, la succession d'événements climatiques extrêmes de ces dernières années – gel, sécheresse, incendies, inondations – montre la diversité des situations auxquelles l'Europe va devoir s'adapter.

Variabilité naturelle

Ce terme désigne les fluctuations du climat non liées aux activités humaines. Cette variabilité peut être due à des éruptions volcaniques, des variations de l'activité solaire ou à la circulation océanique, par exemple lors d'épisodes El Niño (phénomène océanique du Pacifique d'un impact planétaire apparaissant tous les 2 à 7 ans et influençant les vents, la température de l'eau et les précipitations). La variabilité naturelle peut ainsi diminuer ou amplifier, sur le court terme, les changements de long terme provoqués par l'influence humaine.

En France

Plus localement, la France est aussi affectée par le changement climatique, parfois différemment selon ses régions. D'abord, si l'ensemble du pays se réchauffe, en France métropolitaine l'augmentation de température est moins importante près de la côte, grâce à l'influence maritime. À l'échelle du pays, la multiplication des vagues de chaleur est, elle, sans appel : entre 2010 et 2022, il y a eu 22 épisodes de canicule, soit plus qu'entre 1947 et 2000. Ensuite, les régions montagneuses subissent le recul des glaciers, symbolisé par la régression du glacier d'Ossoue, le plus grand des Pyrénées, qui a reculé de 125 m entre 2001 et 2019. Parallèlement, dans le sud de la France, le danger météorologique moyen associé aux feux de forêt, mesuré par l'« Indice Forêt Météo » (IFM), a augmenté de 18 % entre 1961-1980 et 1989-2008. Enfin, la France est témoin des diverses perturbations de la biodiversité liées au dérèglement climatique : les quantités de pollen, notamment de bouleau, ont fortement augmenté depuis trente ans, les vendanges sont faites en moyenne quinze jours plus tôt qu'en 1980, le moustique tigre s'est installé dans 45 départements métropolitains, les oiseaux migrateurs transsahariens retournent en France en moyenne une semaine plus tôt, tandis que dans les Outre-mers le changement climatique et l'acidification des océans pèsent sur des récifs coralliens en recul et déjà menacés par des facteurs non climatiques tels que la pêche et la pollution. Globalement, c'est 62 % de la population française qui doit faire face de manière importante ou très importante à des risques climatiques.

1.2 Quelles conséquences futures ?

Les risques au long terme

Les risques évalués en fonction des différents scénarios

Une chose est certaine : la plupart des dérèglements provoqués par le réchauffement climatique, et donc les conséquences associées, s'aggravent avec ce dernier. Ainsi, les 127 « risques clés » identifiés par le GIEC vont devenir jusqu'à plusieurs fois plus élevés qu'actuellement à moyen et long terme, le niveau de hausse dépendant fortement des mesures de mitigation et d'**adaptation** prises au court terme. Par exemple, en Europe, quatre risques clés ont été identifiés :

- risques sur la santé et les écosystèmes dus à la chaleur : le nombre de personnes exposées aux vagues de chaleur et le nombre de morts associé seront deux à trois fois supérieurs pour un réchauffement de 3 °C par rapport à 1,5 °C, touchant les limites des capacités d'adaptation des sociétés tandis que la chaleur entraînera un changement irréversible dans la composition des écosystèmes,
- risques sur les récoltes agricoles dus à la chaleur et aux sécheresses : l'Europe devra faire face à des pertes agricoles importantes. Si l'irrigation peut être une solution, plus le réchauffement augmentera plus elle sera limitée par le manque d'eau,
- risques de pénuries d'eau : particulièrement dans le sud de l'Europe où plus d'un tiers de la population risque de manquer d'eau pour un réchauffement de 2 °C, et ce risque doublera pour 3 °C,
- risques d'inondations et de montée des eaux : les dégâts provoqués par les inondations côtières seront au moins dix fois plus importants à la fin du siècle, tandis que le nombre de personnes touchées par les inondations liées aux précipitations et débordement de rivières risque de doubler, tout comme les coûts des dégâts.

Comme le montre le lien entre pénurie d'eau, irrigation et pertes agricoles, les **risques** liés au changement climatique interagissent, créant un risque global composé se répétant en cascade sur différents secteurs et régions. Ces risques deviendront de plus en plus complexes et difficiles à gérer alors que le réchauffement augmente.

• Risque climatique et adaptation

• Risques et vulnérabilités

• Tel que défini par le GIEC, un risque désigne le potentiel de conséquences négatives, non seulement sur les sociétés humaines mais aussi sur les écosystèmes, dans toutes leurs dimensions. Un risque est le fruit des interactions entre la vulnérabilité de ces systèmes et un danger climatique. Un danger climatique qualifie la réalisation potentielle d'un événement – naturel ou provoqué par l'activité humaine – pouvant entraîner des dégâts sur les infrastructures, les bâtiments, sur la santé humaine ou encore les systèmes naturels.

Adaptation et limites

L'adaptation caractérise le processus par lequel les sociétés humaines s'ajustent aux effets présents et anticipés du changement climatique, pour diminuer ses dégâts et profiter de ses éventuelles opportunités. Les écosystèmes sont aussi capables de s'adapter au changement climatique. Cependant, les capacités d'adaptation des systèmes humains et naturels sont limitées. Quand ces limites sont atteintes, des « risques intolérables » ne sont plus évitables (limites dures) ou les actions pour les éviter ne sont pas encore disponibles (limites souples). Certaines communautés humaines ont déjà atteint des limites souples (par exemple les populations côtières des petits États insulaires) alors que des écosystèmes touchent des limites dures, comme les récifs coralliens d'eau chaude. Ces limites concernent des capacités d'adaptation des sociétés et écosystèmes et doivent donc être distinguées des limites planétaires (cf. 1.2).

Des incertitudes qui demeurent

Au-delà des incertitudes socio-économiques modélisées par différentes trajectoires d'émissions de GES, des incertitudes scientifiques persistent : si les risques globaux sont identifiés, la complexité des systèmes naturels rend la prédiction et l'évaluation de certaines évolutions et conséquences du changement climatique difficiles, augmentant les incertitudes quant aux risques futurs. D'abord, les indicateurs utilisés pour évaluer les quantités de GES émises sont eux-mêmes entachés d'incertitudes car ils simplifient la physique régissant le système climatique et ses réponses aux émissions. Par exemple, les incertitudes liées aux estimations des budgets carbone ne peuvent pas être évaluées précisément.

Ensuite, la prédiction précise des évolutions climatiques, comme les changements de précipitations à court terme, est compliquée par les incertitudes liées aux modèles climatiques. Enfin, la probabilité d'occurrence d'événements à fortes répercussions est elle aussi difficile à évaluer. C'est le cas des dépassements des **points de bascule** auxquels les incertitudes empêchent d'associer à leur occurrence des niveaux précis de réchauffement. Il est du moins certain que leur probabilité d'occurrence augmente avec l'augmentation de température. Ces incertitudes liées aux phénomènes physiques doivent être prises en compte pour répondre au mieux aux enjeux du changement climatique, et peuvent justifier en elles-mêmes une politique de réduction importante des émissions, pour limiter le risque de conséquences dramatiques.

Points de bascule (tipping points)

Les points de bascule font référence à des seuils critiques au-delà desquels un système est modifié de manière irréversible et/ou abrupte. Le dépérissement des forêts amazonienne et boréale, la fonte accélérée de la calotte glaciaire en Antarctique ou encore des changements brusques de circulation des courants océaniques en sont des exemples.