



HAL
open science

Penser le changement climatique

Jean-Marc Bonnisseau, Antoine Mandel, Yann Toma, François-Guy Trébulle

► **To cite this version:**

Jean-Marc Bonnisseau, Antoine Mandel, Yann Toma, François-Guy Trébulle (Dir.). Penser le changement climatique. 2015. halshs-01496167

HAL Id: halshs-01496167

<https://shs.hal.science/halshs-01496167>

Submitted on 16 Jun 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PENSER
LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Ouvrage publié sous l'égide de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, la COP21 et l'UNRIC



Une ONU
forte pour
un monde
meilleur.

PENSER LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

sous la direction de

**JEAN-MARC BONNISSEAU, ANTOINE MANDEL,
YANN TOMA, FRANÇOIS GUY TRÉBULLE**

Illustration de couverture : Lucy + Jorge Orta, *Antarctic Village - No Borders*, 2007, installation éphémère du Village Antarctique, villages Nord, Sud, Sud-Est et Ouest à travers la péninsule Antarctique de mars à avril 2007, techniques et dimensions variables.

Photo : Thierry Bal - Dirección Nacional del Antártico.

© Publications de la Sorbonne, 2015
212, rue Saint-Jacques, 75005 Paris
www.publications-sorbonne.fr – publisor@univ-paris1.fr

ISBN : 978-2-85944-935-3

Les opinions exprimées dans cet ouvrage n'engagent que leurs auteurs.

« Aux termes du Code de la propriété intellectuelle, toute reproduction ou représentation, intégrale ou partielle de la présente publication, faite par quelque procédé que ce soit (reprographie, microfilmage, scannérisation, numérisation...) sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Il est rappelé également que l'usage abusif et collectif de la photocopie met en danger l'équilibre économique des circuits du livre. »

**PUBLICATIONS DE LA SORBONNE
2015**

SOMMAIRE

PRÉFACE PARIS, 1911-2015. L'EFFET DE SERRE ET LA MOBILISATION DES NATIONS ET DES PEUPLES POUR LE CLIMAT PHILIPPE BOUTRY	7
INTRODUCTION JEAN-MARC BONNISSEAU • ANTOINE MANDEL • YANN TOMA • FRANÇOIS GUY TRÉBULLE	9
DYNAMIQUES SOCIALES ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES	
LES ATMOSPHÈRES DES PLANÈTES SVANTE ARRHÉNIUS	15
ANTHROPOCÈNE : LA PORTÉE D'UNE HYPOTHÈSE. QUELQUES QUESTIONS PHILOSOPHIQUES CATHERINE LARRÈRE	25
ÉQUILIBRES MULTIPLES ET MODÉLISATION MULTI-AGENTS. COMMENT APPRÉHENDER L'INCERTITUDE SUR LES DYNAMIQUES SOCIO- ÉCONOMIQUES DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ANTOINE MANDEL	33
PENSÉES JURIDIQUES SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE FRANÇOIS GUY TRÉBULLE	39
DÉCOURAGER LA POLLUTION SANS AGGRAVER LES INÉGALITÉS MIREILLE CHIROLEU-ASSOULINE • MOUEZ FODHA	53
LE GAZ DE SCHISTE A-T-IL UN RÔLE À JOUER DANS LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ? FANNY HENRIET • KATHELINE SCHUBERT	57
ANALYSE AXIOMATIQUE DES MARCHÉS DE DROIT D'ÉMISSION JEAN-MARC BONNISSEAU	61

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET RISQUES NATURELS : DES POPULATIONS FACE AUX INONDATIONS JOËL BOULIER • EDWIGE DUBOS-PAILLARD • ANTONIN PAVARD	67
LES VILLES, LE CHANGEMENT CLIMATIQUE & L'INTELLIGENCE TERRITORIALE DENISE PUMAIN	79
LES MIGRATIONS INDUITES PAR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE : UNE STRATÉGIE D'ADAPTATION INÉVITABLE ? KATRIN MILLOCK	85
TITRE YANN TOMA	89

LE MÉRIDIDIEN CLIMATIQUE

INTRODUCTION YANN TOMA	99
ART ORIENTÉ OBJET	101
BACSAC	105
OLAFUR ELIASSON	109
WEN FANG	111
INGOLD AIRLINES	115
OLGA KISSELEVA, LABOFACTORY	119
LUCY + JORGE ORTA	121
BARBARA PORTAILLER	125
BENJAMIN SABATIER	127
TOMÁS SARACENO	129
TARYN SIMON	131
JEAN-LUC VILMOUTH	133

PRÉFACE

PARIS, 1911-2015.

L'EFFET DE SERRE

ET LA MOBILISATION DES NATIONS

ET DES PEUPLES POUR LE CLIMAT

PHILIPPE BOUTRY

C'est à Paris, le 8 mars 1911, que le savant suédois Svante Arrénhius (1859-1927), troisième Prix Nobel de chimie dans l'histoire des sciences (1903), vient donner en Sorbonne, à la Société de Chimie-Physique, une retentissante conférence intitulée « Les atmosphères des planètes ». Un recueil d'une centaine de pages, édité par Hermann et Fils, en conserve le souvenir ; sa retranscription ouvre le présent volume.

Arrénhius y expose publiquement devant un parterre de savants, à la suite d'un article pionnier du *Philosophical Magazine and Journal of Science* d'avril 1896 (« On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground »), ce qui deviendra la théorie de l'« effet de serre ». Après avoir rappelé la distinction entre les planètes dépourvues d'atmosphère comme la Lune ou Mercure, il s'attache aux « trois planètes possédant une atmosphère », Vénus, la Terre et Mars, où « l'existence d'une surface solide ou liquide, au-dessous de la masse gazeuse [...] donne au gaz surnageant le nom d'atmosphère » en ce que « la densité subit une brusque discontinuité ». Cette atmosphère, l'eau et les gaz qui la composent sont à ses yeux les conditions de l'émergence de la végétation et de la vie : « Quand la température s'abaissa jusqu'à environ 60°, la vie organique fit son apparition sur la Terre. L'air était alors riche de vapeur d'eau et d'acide carbonique ; les conditions étaient favorables au développement de la végétation et en peu de temps toute la Terre qui n'était pas couverte d'eau, devint le siège d'une vie végétale exubérante. »

Or Arrénhius observe que l'équilibre naturel ainsi créé, par-delà les variations climatiques, tend à se détériorer. « La combustion actuelle de la houille et du pétrole, par l'homme, surpasse d'environ dix fois la formation nouvelle de charbon. [...] L'eau contenue dans l'air est également consommée en partie par l'effritement, pour la formation d'hydrates. [...] Sur la Terre, la disette d'acide carbonique et d'eau s'accroîtra à mesure qu'augmentera l'épaisseur de l'écorce. Le climat s'identifiera de plus en plus à celui des steppes et des déserts. » Le professeur d'Uppsala en déduira une loi, qui demeure, par-delà les corrections et les reformulations dont elle a fait depuis l'objet, l'expression fondamentale de la théorie de l'« effet de serre » : « Si la quantité d'acide

carbonique augmente en progression géométrique, l'augmentation de la température suivra, presque avec une progression arithmétique. »

Il faudra cependant attendre 1992 et le sommet de la Terre de Rio de Janeiro pour que soit universellement reconnue et internationalement sanctionnée la justesse de l'avertissement d'Arrhenius et que soit adoptée en fonction de ses intuitions, le 21 mars 1994, une convention-cadre, ratifiée à ce jour par 196 « parties » prenantes à l'échelle de la planète. La « Charte de la Terre » étend ses prescriptions bien au-delà d'un simple constat sur la nécessité de lutter contre le réchauffement climatique puisqu'elle s'attache à promouvoir le respect et la protection de la communauté de la vie, l'intégrité écologique de la planète, la justice sociale et économique entre les hommes et les nations ainsi que le développement de la démocratie, de la non-violence et de la paix. La prise de conscience de la fragilité des conditions de la vie sur terre débouche ainsi sur une réflexion beaucoup plus ample et globale sur les principes mêmes qui doivent organiser l'avenir de l'humanité au XXI^e siècle.

C'est à Paris, un siècle après qu'Arrhenius est venu alerter en Sorbonne le monde savant sur les périls que la société industrielle faisait peser sur les équilibres de l'atmosphère terrestre, que se tiendra, du 30 novembre au 11 décembre 2015, la 21^e Conférence des parties de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (COP21) qui entend aboutir à un accord international afin de limiter l'effet de serre.

L'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne se devait d'apporter sa contribution à cette initiative majeure à l'échelle de la planète. C'est pourquoi elle organise, dès la fin du mois d'octobre, sa propre « Semaine durable » sous la forme d'une série de conférences interdisciplinaires sur les problématiques du changement climatique et du développement durable. Elle participe également à la prise de conscience collective du public en accueillant dans la cour d'honneur et dans les galeries du site Panthéon-Sorbonne les œuvres d'artistes contemporains dont les travaux interrogent notre rapport à l'environnement.

Les Publications de la Sorbonne ont pris enfin l'initiative de réunir en un seul volume le catalogue des œuvres présentées à l'occasion de cette « Semaine durable » ainsi que les contributions des intervenants aux conférences. Le caractère transversal de l'ouvrage souligne encore, s'il en était besoin, combien les sociétés humaines devront, pour faire face aux enjeux du changement climatique et du développement durable, se transformer selon des dimensions multiples et se coordonner, à une échelle globale, autour de nouveaux systèmes de valeurs et de nouvelles formes d'organisation institutionnelles, spatiales, sociales et économiques. Notre conviction réside dans l'espoir que la rencontre de ces questionnements sociétaux avec l'art et avec la science nous permettra de forger dès à présent l'intelligence de notre futur.

INTRODUCTION

JEAN-MARC BONNISSEAU ■
ANTOINE MANDEL ■ YANN TOMA ■
FRANÇOIS GUY TRÉBULLE

La COP21 ou sommet de Paris, initiée par l'ONU et présidée par la France, pourrait marquer en cette fin d'année 2015 un tournant majeur dans la coopération internationale sur le climat avec la signature d'un accord global. Cependant, indépendamment du résultat des négociations, nos sociétés continueront à faire face à un enjeu dont l'échelle et la complexité dépassent celles que les sociétés humaines ont eues à relever durant leur histoire.

Pour lutter, s'adapter ou se transformer face aux changements climatiques, nos sociétés devront se coordonner, à une échelle globale, sur de nouveaux systèmes de valeur, de nouvelles formes d'organisation institutionnelle, spatiale, économique, culturelle.

Penser et préparer cette transition demande d'adopter une perspective transversale sur l'évolution des sociétés. L'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne est l'un des principaux centres d'élaboration de la pensée contemporaine en sciences humaines et sociales en Europe et donc le lieu idéal pour catalyser l'émergence de ces nouveaux savoirs. Les textes présentés dans la première partie de cet ouvrage, issus de contributions à la conférence « Dynamiques sociales et changement climatique » qui s'est déroulée du 27 au 30 octobre 2015 à Paris 1, donnent un aperçu des rapports que l'université offre à l'analyse des

enjeux socio-économiques du changement climatique.

Rappelant que cette réflexion sur des enjeux contemporains s'ancre, à l'université, dans une perspective de très longue période, l'ouvrage s'ouvre sur la retranscription d'une conférence donnée par Svante Arrhenius, en 1911, lors d'une visite à l'université de Paris, dans laquelle il expose sa théorie de l'effet de serre atmosphérique. La convocation de la pensée d'Arrhenius, qui mettait en avant la cosmogonie des planètes et la fluctuation de leurs atmosphères, évoque la fragilité de nos systèmes mais aussi leur capacité à évoluer.

La complexité que la présence et l'action humaine viennent ajouter aux mécanismes physiques est mise en exergue dans la contribution de Catherine Larrère qui interroge les prérequis pour l'action collective portée par la notion d'anthropocène et dans celle d'Antoine Mandel qui rend compte des incertitudes majeures associées aux dynamiques socio-économiques. Dans ce vaste champ des possibles, l'ouvrage identifie d'abord des possibilités de choix ou d'action collectives. François Guy Trébulle montre la nécessité et la possibilité de disposer d'instruments ayant une dimension juridique assez marquée pour que les acteurs, étatiques ou non, y trouvent la motivation suffisante pour passer à l'action. Mireille

Chiroleu-Assouline et Mouez Fodha dressent le canevas d'une réforme fiscale prenant en compte des objectifs environnementaux, économiques mais aussi de lutte contre les inégalités. L'analyse de la décision d'interdiction de l'exploitation du gaz de schiste par Fanny Henriet et Katheline Schubert montre enfin que l'économie permet d'appréhender des questions de régulation complexe et d'en saisir les conséquences à la fois macro-économiques et environnementales.

Cependant, comme vient nous le préciser l'analyse axiomatique que fait Jean-Marc Bonnisseau des insuffisances du marché des droits d'émission, les institutions humaines ne sont pas nécessairement efficaces. Ce constat nous rappelle l'ampleur des défis technologiques, institutionnels, culturels ou financiers à relever dans l'adaptation au changement climatique que l'ouvrage illustre dans un second moment. La vulnérabilité des sociétés humaines est d'abord illustrée concrètement par la contribution de Joël Boulrier, Edwige Dubos-Paillard et Antonin Pavard sur les risques d'inondation dans le Gard et sur les dispositifs d'adaptation y afférents. À l'échelle globale, la question de l'adaptation se pose principalement dans les villes où vivra en 2050 une très large majorité de la population mondiale. Denise Pumain pose ainsi la question de leur transformation et plus encore celle des systèmes de villes. Cette dimension géographique imprègne aussi très fortement le travail de Katrin Millock qui souligne les enjeux immenses en termes de mouvement de population dont la prise en compte sous le prisme du choix individuel nous renvoie à l'humain que pourrait éclipser le chiffre gigantesque de 200 millions de migrants climatiques. C'est aussi vers l'humain que nous

renvoie la contribution de Yann Toma. Les mutations sociétales et climatiques transforment radicalement le monde des imaginaires, à commencer par celui des artistes. Hier souvent inscrites dans des logiques esthétiques indexées au marché de l'art, les œuvres d'art incarnent aujourd'hui de véritables champs de propositions animées par une vision multidisciplinaire du monde, vision augmentée par le développement des nouvelles technologies. Pour les artistes, l'acte de création devient le moyen de relier le citoyen aux fondamentaux de la nature. Se pose ici la question de l'expérience commune, de se responsabiliser sur nos capacités d'« être en charge » de l'écologie de la planète. Cela implique un prix matériel, technologique, un coût humain, et réside tout simplement dans le fait, désormais inéluctable, que nous sommes en charge mutuellement et mondialement de notre survie commune.

Cette entrée des imaginaires dans le fil de l'ouvrage introduit sa seconde partie rendant compte de l'exposition « Le méridien climatique » qui réunit douze artistes de renommée internationale dans le contexte même de l'université, dans un esprit de liaison active entre l'expérience sensible et les enjeux qui sous-tendent l'organisation du sommet de Paris de décembre 2015. L'exposition, organisée du 20 au 30 octobre 2015 au centre Panthéon, s'est voulue un pont entre la recherche contemporaine et les préoccupations de chacun face aux évolutions sociales et environnementales.

Cette volonté de favoriser les interactions entre sciences et société s'incarne ainsi fortement dans cet ouvrage qui réunit des contributions de scientifiques et d'artistes. Les textes qui forment la première partie de cet ouvrage donnent, grâce aux contributions des enseignants-chercheurs de l'université Paris 1,

un aperçu de la diversité des approches que les sciences humaines et sociales offrent pour penser les enjeux posés par le changement climatique. Les œuvres représentées dans la seconde partie interrogent notre destin individuel et collectif face aux changements globaux. Et les correspondances entre ces questionnements sont multiples. Le bureau de distribution de passeports universels pour l'Antarctique de Lucy + Jorge Orta pousse à son paroxysme l'analyse que Katrin Millock propose des migrations comme stratégies d'adaptation; les pluies de fléchettes mises en scène par Benjamin Sabatier sont comme un écho dramatique de la vulnérabilité aux inondations des populations décrites dans la contribution de Joël Boulrier, Edwige Dubos-Paillard et Antonin Pavard; l'œuvre de Barbara Portailier offre un

art circulaire comme réponse aux impossibilités économiques que l'analyse mathématique met en avant.

Cette liste se refuse à l'exhaustivité car l'ouvrage se veut avant tout une invitation à créer de nouvelles correspondances, de nouvelles passerelles entre différentes modalités de pensée et de création.

Participer à un tel ouvrage est chose difficile et risquée. Nous nous devons donc de remercier chaleureusement les auteurs et les artistes qui ont accepté de nous suivre dans cette aventure périlleuse, ainsi que les publications de la Sorbonne, et plus particulièrement Pierre Singaravélou, Valérie Chénieux et Laurent Tournier, qui en ont permis la réalisation.

DYNAMIQUES SOCIALES
ET CHANGEMENTS
CLIMATIQUES

LES ATMOSPHÈRES DES PLANÈTES^{1*}

SVANTE ARRHÉNIUS

D'après la théorie cosmogonique de Laplace, qui est acceptée par la majorité des astronomes et des physiciens, toutes les planètes étaient formées initialement de masses gazeuses. C'est encore le cas du Soleil dont toute la masse est un mélange de divers gaz, soumis à une pression énorme à l'intérieur de l'astre, de sorte que le poids spécifique du Soleil est environ 1,4. Dans les parties extérieures de cette boule gazeuse, la densité diminue rapidement, et on y voit des nuages denses qui émettent vers le monde extérieur ce que nous appelons la lumière du Soleil.

Les poids spécifiques 1,35 et 0,71 des grandes planètes, Jupiter et Saturne, sont encore plus faibles que celui du Soleil, ce qui fait supposer que ces corps célestes sont aussi composés de gaz. Dans les parties extérieures flottent des nuages, qui, par suite de la rapidité de la rotation, environ 10 heures, se groupent en bandes parallèles à l'équateur.

Les deux planètes plus distantes du Soleil, Uranus et Neptune, possèdent, il est vrai des poids spécifiques plus élevés, 2,21 et 2,42;

mais leur apparence est si semblable à celle des planètes voisines, Saturne et Jupiter, que l'on est conduit à conclure que ces corps célestes sont également formés de masses gazeuses; mais leur volume relativement faible et leur basse température, bien inférieure à celle de Saturne ou de Jupiter, expliquent leur densité relativement grande.

Ces planètes n'ont pas d'atmosphère, du moins dans le sens usuel que nous attribuons à ce terme; pour qu'il y ait une atmosphère, il est nécessaire que la densité subisse une brusque discontinuité. L'existence d'une surface solide ou liquide, au-dessous de la masse gazeuse, est nécessaire pour que l'on donne au gaz surnageant le nom d'atmosphère. Parmi les planètes, il n'y a que Mercure, Vénus, la Terre et Mars, c'est-à-dire les plus proches du Soleil, qui possèdent une croûte, si nous exceptons les petites planètes qui circulent autour du Soleil, entre les orbites de Mars et de Jupiter. Ces dernières planètes sont si petites qu'elles ne pourraient retenir ni gaz, ni fluides susceptibles de se vaporiser. Elles se composent donc probablement de corps solides, et sont, à cause de leurs petites dimensions, refroidies et glacées jusqu'au centre.

En ce qui concerne leur atmosphère, elles sont dans la même situation que notre Lune. Cet astre a sans doute possédé autrefois une atmosphère semblable à celle de la Terre.

* N.D.E. : il s'agit de la retranscription de l'article paru dans *Conférences sur quelques thèmes choisis de la chimie physique pure et appliquée faites à l'Université de Paris du 6 au 13 mars 1911 par Svante Arrhénius*, Paris, Hermann, 1912, p. 73-92.

¹ Conférence faite à la Société de Chimie physique le 8 mars 1911

D'après Sir George Darwin, la Lune a dû primitivement faire partie de la Terre, dont elle formait une excroissance qui finalement se sépara du corps maternel, en s'emparant d'une fraction de ses parties extérieures. La Lune possédait sans doute, en ce temps, une atmosphère notable. On croit encore en voir la manifestation dans de grands espaces clairs qui s'étendent assez loin d'un côté de quelques cratères lunaires. On suppose souvent qu'ils sont couverts de cendres volcaniques transportées par le vent, ce qui exige une atmosphère assez dense. (V p. 92). La température s'élève dans les parties de la Lune par rapport auxquelles le Soleil se trouve au zénith à plus de 150° C. À cette température, la vitesse d'une partie notable des molécules des gaz atmosphériques communs, comme l'azote, l'oxygène, l'eau et l'acide carbonique, est tellement grande que ces molécules sont projetées dans le vide sans qu'elles puissent jamais revenir à la Lune. La plus grande partie de ces gaz s'est ralliée à la Terre. Les gaz plus lourds de l'atmosphère de la Lune, s'il s'en trouvait, ont dû probablement y rester. Dans ce cas, ces gaz devaient posséder un point de congélation assez élevé; ils ont dû distiller vers les parties les plus froides de la Lune, au voisinage des pôles où la température atteint peut-être 100° absolu et ils ont dû se condenser là. C'est pourquoi on ne peut déceler trace d'une atmosphère dans la Lune, quand on observe une étoile qui disparaît en arrière de la marge lunaire. Les astronomes estiment que la quantité d'air sur la Lune correspond à moins d'un dix-millième de l'atmosphère terrestre. On peut considérer cette atmosphère comme inexistante.

Cette absence d'atmosphère se manifeste par la petite quantité de lumière que la Lune réfléchit. La fraction de lumière réfléchie ne

s'élève qu'à 13 pour 100. Cette singularité – le pouvoir réfléchissant des planètes est en moyenne supérieur à 30 pour 100 – est due à l'absence de poussières et de nuages, qui à la surface de la Lune réfléchiraient la lumière à un haut degré. Par exemple, la surface de Vénus ne nous est jamais visible parce qu'elle est couverte de nuages. Le pouvoir réfléchissant de cette planète s'élève à 0,76, nombre qui coïncide à peu près avec celui que donne la neige (0,80 selon Zoellner). Les 13 pour 100 qui caractérisent la Lune sont de l'ordre de grandeur qu'on peut attendre d'une croûte solide et desséchée. Langley compare le pouvoir réfléchissant de la croûte lunaire à celui du grès jaune.

Les petites planètes qui se trouvent entre les orbites de Mars et de Jupiter ont des masses inférieures à celle de la Lune. D'où il faut conclure que leurs atmosphères sont tout au moins aussi négligeables que celle de la Lune.

La même conclusion s'applique à Mercure qui, d'après les observations de Schiaparelli, tourne toujours la même face vers le Soleil. Certes, sa masse est à peu près le double de celle de la Lune, mais, en revanche, sa température absolue est, à cause de sa proximité du Soleil, environ 1,7 fois plus haute, et son diamètre est de 23 % supérieur à celui de la Lune. Au point de vue de l'existence d'une atmosphère, cette planète se trouve donc à peu près dans les mêmes conditions que la Lune. Cette conclusion est confirmée par le faible pouvoir réfléchissant de cette planète qui est, en effet 0,14, celui de la Lune étant 0,13.

Il ne nous reste à considérer que trois planètes possédant une atmosphère, à savoir : Vénus, la Terre et Mars. En ce qui concerne Vénus, un grand nombre d'observateurs sont d'accord pour admettre que cette planète se

comporte comme Mercure, c'est-à-dire tourne toujours la même face vers le Soleil. Si cette manière de voir était exacte, l'atmosphère de cette planète devrait être presque aussi épuisée que celle de la Lune ou de Mercure. Mais, en réalité, on observe que Vénus est entourée d'une atmosphère plus épaisse que celle de la Terre. Dans cette atmosphère flottent des nuages si denses que nous n'observons jamais la surface de la planète. Le pouvoir réfléchissant de cette atmosphère – dont nous n'observons que les parties les plus hautes, situées au-dessus des nuages – est si grand, que les pointes du croissant se trouvent à une distance inférieure à 180 degrés, et peuvent même se confondre, de sorte que la planète prend l'aspect d'un anneau brillant. Tous les observateurs sont également d'accord sur ce point que Vénus possède une atmosphère plutôt plus dense que celle de la Terre. Il faut en conclure que cette planète tourne à peu près aussi vite autour de son axe que ses voisins : la Terre et Mars. La durée du jour sur Vénus a été déterminée à 23,35 heures, par quelques astronomes, et ce nombre semble très probable. Les nombres correspondants pour la Terre et Mars sont 23,94 heures et 24,62 heures (révolution sidérale), de sorte que le jour terrestre est à peu près la moyenne du jour de ses deux planètes voisines².

Le pouvoir réfléchissant (l'albédo) de Vénus est 0,76, c'est-à-dire à peu près le même que pour la neige fraîchement tombée (0,80 d'après Zoellner). Cela tient à la grande transparence des couches atmosphériques au-dessus des

nuages, qui réfléchissent la lumière à peu près comme la neige. Les planètes extérieures ont un pouvoir réfléchissant moindre, 0,52 pour Neptune, 0,60 pour Uranus, 0,62 pour Jupiter et 0,72 pour Saturne. Si leurs atmosphères étaient aussi transparentes que celle de Vénus, ou de la Terre dans ses parties supérieures, elles auraient le même pouvoir réfléchissant que Vénus sans doute, car leurs surfaces sont complètement couvertes de nuages. Mais il n'en est pas ainsi; leurs atmosphères donnent des spectres d'absorption très marqués, spécialement celle d'Uranus et plus encore celle de Neptune. Cela est manifeste d'après les photographies (fig. 2) reproduites d'après un mémoire de Slipher, l'habile observateur de l'observatoire de M. Lowell à Flagstaff Arizona. Nous remarquons en particulier une forte absorption dans le voisinage de la ligne F, qui appartient à l'hydrogène. Nous concluons de là, avec Slipher, que l'hydrogène abonde dans l'atmosphère des planètes les plus éloignées.

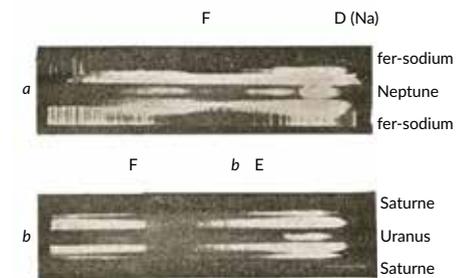


Fig. 2 ■ Spectres de Neptune, d'Uranus et de Saturne, d'après Slipher.

a) Le spectre de Neptune entre deux spectres de comparaison (Fe-Na)

b) Le spectre d'Uranus entre deux spectres de Saturne. Les lignes F d'hydrogène sont très marquées dans les spectres de Neptune et d'Uranus, qui sont du reste caractérisés par une grande absorption.

² Postérieurement à la rédaction de cette conférence, M. Belopolski a déterminé la durée du jour sur Vénus et a trouvé qu'elle était d'environ 29 heures (*Comptes rendus* 153, 15, 3 juillet 1911)

Ce gaz se trouve aussi dans l'atmosphère terrestre, quoique en très petite quantité dans les régions très hautes de l'air qui doivent être les plus riches en hydrogène ; mais cette partie de notre atmosphère est si insignifiante qu'un observateur placé à l'extérieur de la Terre ne pourrait probablement pas l'observer.

L'observation de Slipher est très intéressante. Il résulte de la théorie de Laplace que les gaz qui existent dans les parties extérieures du Soleil devaient aussi se trouver dans la nébuleuse gazeuse d'où les planètes se sont séparées. Les atmosphères primitives des planètes devaient donc se composer des mêmes gaz que nous observons dans les parties qui surplombent les nuages solaires. Parmi ces gaz se trouvent des vapeurs métalliques qui devaient se condenser bientôt, pendant le refroidissement des planètes. De l'hydrogène, de l'hélium, des carbures d'hydrogène, du cyanogène, et en moindre proportion, de l'oxygène libre et peut-être de l'azote libre et des gaz nobles les accompagnent. Parmi ces corps, les carbures d'hydrogène, et le cyanogène sont caractéristiques pour les comètes, qui d'autre part possèdent probablement la composition des météorites, c'est-à-dire contiennent des métaux, parmi lesquels le fer et le nickel, qui sont très apparents dans les gaz du Soleil. On y distingue en outre, des gaz nobles, des silicates, du soufre, du phosphore, etc.

L'atmosphère primitive de notre Terre présentait probablement cette composition. Quand la température s'abaisse, les métaux et les silicates se condensèrent. Il resta dans l'atmosphère, de l'hydrogène, des hydrocarbures et du cyanogène, tous corps très réducteurs, qui formèrent, avec l'oxygène primitif, de l'eau et de l'acide carbonique, quand la température s'abaisse à environ 1500° C. L'eau

et l'acide carbonique furent mêlés à la masse des silicates qui se solidifièrent finalement. La Terre posséda dès lors une atmosphère réelle. Par suite du refroidissement continu et de la solidification progressive de la croûte, l'eau et l'acide carbonique d'abord dissous dans les silicates se dégagèrent dans l'atmosphère, comme cela se passe encore lors des éruptions volcaniques.

L'on sait que ces deux gaz sont décomposés par les plantes en oxygène et matières organiques, qui ont donné naissance entre autres aux houilles fossiles. On peut dire schématiquement que ces deux gaz donnent de l'oxygène, du carbone et d'autres produits intermédiaires que nous négligeons pour le moment. Cette réaction se produit sous l'influence de la lumière grâce à la chlorophylle qui agit comme catalyseur. La théorie affirme que les réactions par catalyse se font aussi sans catalyseurs, quoique alors d'une manière très lente. Nous sommes donc autorisés à conclure que la décomposition de l'acide carbonique en oxygène et carbone s'effectua également sous l'influence de la lumière, en l'absence de plantes chlorophyllifères. Dans les temps des époques géologiques, cette décomposition fut presque complète, de sorte que tout l'acide carbonique apporté à l'air fut transformé. L'oxygène produit se combinait, par exemple sous l'influence d'orages, avec l'hydrogène ou les hydrocarbures et le cyanogène de l'atmosphère qui de cette manière se purifia, pour ainsi dire, de ces gaz réducteurs, en donnant de l'eau (qui se trouve maintenant dans la mer), de l'oxygène libre, et de l'azote résultant de la combustion du cyanogène.

Un professeur, de Bruxelles, Koene, attira l'attention en 1836 sur le fait que la masse de l'oxygène de l'atmosphère est à peu près

chimiquement équivalente à celle du carbone fossile contenu dans la croûte terrestre. Il en conclut qu'initialement il n'y avait pas d'oxygène dans l'atmosphère. Le grand physicien, Lord Kelvin, qui s'intéressait si vivement aux questions de physique cosmique, était un ardent partisan de cette théorie. De nouveaux calculs, dans lesquels on tint encore compte des sulfures, montrèrent que les substances réductrices contenues dans la croûte, surpassent de beaucoup la quantité d'oxygène contenue dans l'air. Il est très probable, d'après cela, que l'atmosphère primitive consistait en gaz réducteurs, comme nous l'avons supposé, et ne contenait pas d'oxygène.

La Terre s'est refroidie assez vite quand la croûte fut formée. Certes, les hydrocarbures et le cyanogène absorbaient un grand nombre des rayons émis : la température des couches atmosphériques était en conséquence très haute et les nuages ne se formaient que dans des régions très élevées. Mais ces nuages possédaient eux-mêmes une haute température et rayonnaient abondamment vers le vide céleste. Quand la température de la croûte fut tombée à 365° (point critique de l'eau), l'océan commença à se former, et une réaction vive prit naissance entre l'eau condensée et les minéraux. La contraction due au refroidissement provoqua des affaissements, et l'eau condensée put ainsi se rassembler dans des bassins. Sur les parties de l'écorce qui dominaient l'eau, circulèrent des fleuves. Et, par son action mécanique et chimique, l'eau, aidée par l'acide carbonique, modela la face du globe.

L'oxygène, qui dans l'air avait pris son développement, était à l'abri des corps réducteurs qui subsistaient dans l'intérieur de la Terre. L'écorce forma une sorte de membrane semi-perméable que franchirent les exhalations

volcaniques contenant spécialement de l'eau et de l'acide carbonique accompagnés des gaz atmosphériques séparés du magma fluide interne. À mesure que le magma se solidifiait à la faveur du refroidissement progressif, il s'en séparait de nouvelles quantités d'eau et d'acide carbonique. L'océan s'accrut. L'acide carbonique consommé par la transformation partielle des rocs silicatés, fut transporté à l'océan sous forme de calcaires, et remplacé dans l'air par de nouvelles quantités qu'exhalèrent les volcans.

Quand la température s'abaisse jusqu'à environ 60°, la vie organique fit son apparition sur la Terre. L'air était alors riche de vapeur d'eau et d'acide carbonique ; les conditions étaient favorables au développement de la végétation et en peu de temps toute la Terre qui n'était pas couverte d'eau, devint le siège d'une vie végétale exubérante. La transformation de l'acide carbonique se fit dès lors beaucoup plus vite qu'auparavant, de sorte que l'atmosphère tendit vers la composition actuelle. Quand le volcanisme eut diminué, la consommation de l'acide carbonique surpassa la production, et la proportion de ce gaz diminua dans l'atmosphère. En conséquence le rayonnement vers le vide céleste s'accrut et la température s'abaisa. Durant d'autres périodes, le volcanisme fut en recrudescence, ce qui augmenta simultanément la teneur en acide carbonique de l'air. Le climat prit un caractère plus insulaire ; la vie végétale s'activa ainsi que la carbonatation des rocs. L'afflux de l'acide carbonique fut compensé de cette manière et fut même peut-être plus tard dépassé. Les variations de l'activité volcanique causèrent ainsi des changements de climat. Pendant les périodes où l'air fut riche de gaz carbonique, une température d'orangerie prévalut, ainsi que cela se passe au

Congo et dans l'Amazone. Quand l'atmosphère s'appauvrisait en acide carbonique, le climat devenait en général plus froid, et la végétation moins active.

L'instabilité des conditions atmosphériques actuelles, en ce qui concerne le gaz carbonique, ressort des données numériques suivantes : On évalue la quantité d'acide carbonique, transportée à l'océan par les rivières sous forme de carbonates, à 1 600 millions de tonnes par an. La quantité d'acide carbonique contenue dans l'air s'élève à 2,3 billions de tonnes. La carbonatation des rocs pourrait donc consommer l'acide carbonique de l'air en 1 400 ans. Les réserves d'acide carbonique qui sont recueillies dans l'océan augmenteraient ce nombre d'environ 7 000 ans. Ce temps, qui nous semble assez long comparé au temps historique, est à peu près insensible par rapport aux périodes géologiques.

La végétation consomme annuellement environ 2 % de l'acide carbonique. Mais, par la décomposition spontanée ou la combustion des restes végétaux, la plus grande partie du carbone que ceux-ci renferment est restituée à l'atmosphère. L'excès du charbon produit, sur celui qui est transformé en acide carbonique, est conservé dans les tourbières. On admet que sa proportion est du même ordre de grandeur que celle du carbone consommé dans la carbonatation des rocs. La combustion actuelle de la houille et du pétrole, par l'homme, surpasse d'environ dix fois la formation nouvelle du charbon. Cette combustion ne semble pas pouvoir durer plus de quelques millénaires. Après ce bref délai, durant lequel il est probable que la végétation et l'effritement subiront une recrudescence, l'état normal reprendra son cours.

L'eau contenue dans l'air est également consommée en partie par l'effritement, pour la formation d'hydrates. Plus la température est basse, plus il entre d'eau dans la composition des hydrates. Mais la proportion actuelle de l'eau suffira pour un temps beaucoup plus long que la proportion de l'acide carbonique. La quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air est à peu près équivalente à la quantité totale d'acide carbonique contenue dans l'air et dans l'océan, mais elle n'est que la cent-millième partie de l'eau océanique. Et actuellement, il semble que l'effritement consomme beaucoup plus d'acide carbonique que d'eau. Le déficit en acide carbonique se fera donc beaucoup plus tôt sentir que la disette en eau, mais celle-ci se fera certainement sentir, bien que ce soit seulement dans des milliards d'années.

On calcule la température moyenne de Vénus, d'après sa distance au Soleil, à environ 60° C. Les nuages épais qui la couvrent diminuent probablement ce nombre, qui doit aussi dépasser sensiblement celui qui est attribuable aux régions polaires de cette planète. Les conditions semblent donc favorables au développement d'une vie végétale abondante dans ses parties les plus froides. Les nuages épais interceptent les rayons solaires et nul rayon ne pénètre jusqu'à la surface de la planète, le tout évolue dans une atmosphère à peu près saturée d'humidité, dont témoigne la présence des nuages. Cette atmosphère renferme probablement de grandes quantités d'acide carbonique. La circulation doit y être rapide. La croissance des organismes, leur déclin et leur décomposition après la mort doivent rapidement se succéder suivant la loi qui caractérise tout développement primitif. De telles conditions correspondent, semble-t-il à une époque où l'influence du gaz carbonique joue un rôle

prépondérant. Le temps aidant, la température s'abaissera quand le Soleil rayonnera moins de chaleur. L'air sera plus pur, l'écorce sera plus épaisse et l'apport de gaz carbonique par les exhalations volcaniques sera moins abondant. Le développement des plantes et des animaux sera moins rapide et plus tranquille; il y aura place pour des organismes moins primitifs; ceux-ci pourront s'élever dans l'échelle des êtres : et Vénus prendra parmi les planètes, la place souveraine que la Terre désormais glacée aura perdu.

Sur la Terre, la disette d'acide carbonique et d'eau s'accroîtra à mesure qu'augmentera l'épaisseur de l'écorce. Le climat s'identifiera de plus en plus à celui des steppes et des déserts. La triste stérilité de ces régions a été décrite, dans ces derniers temps, par nombre de savants voyageurs. La diminution de la teneur en vapeur d'eau dans l'air fait s'accroître le rayonnement direct du Soleil; et les différences de température s'exagèrent entre le jour et la nuit. La surface des roches se couvre de fissures, qui en s'élargissant provoquent la chute des blocs. Ceux-ci sont attaqués par le sable charrié par les vents : et sont finalement transformés en sable ou en poussière. Après un ouragan, ces poussières restent suspendues dans l'air pendant plusieurs jours. La pluie réunit ces poussières en une masse pâteuse, qui s'écoule lentement vers des dépressions ou elle se rassemble pour former des espèces de lac dont la surface se dessèche. Ces lacs sont appelés « khévir » en Perse, « bajir » en Turkestan. Le grand khévir de Perse a une superficie d'environ 55 000 kilomètres carrés; ce lac boueux est donc aussi grand que le lac de Michigan. Hedin a creusé une cavité dans la surface desséchée de ce khévir. À une profondeur de 10 centimètres il a trouvé une

croûte saline de 7 centimètres et au-dessous une couche d'argile à moitié sèche de 15 centimètres. Sous cette couche, l'humidité s'accroît avec la profondeur. Buhse analysa la croûte supérieure de couleur gris jaunâtre et trouva 50 % de sable insoluble, 16,7 % de carbonate de chaux, 6,1 % d'oxyde de fer, 5,3 % de chlorure de sodium et 2,1 % d'oxyde d'aluminium. La grande teneur en sels empêche absolument le développement de toute végétation, de sorte que cette région est encore plus stérile que le désert de sable.

Dans la partie supérieure on voit « la mer australe ». Le plus grand lac est le « lac du Soleil ». À droite et en dessous de celui-ci un grand nombre de canaux, qui aboutissent à des « lacs ».

Sur la planète Mars, les conditions semblent correspondre assez bien aux précédentes. Mars est sans doute un désert absolu de température d'environ 30° au-dessous de zéro. Les lacs sont des formations correspondant au khévir et contiennent de grandes quantités de sels. Si la vapeur d'eau provenant du pôle insolé, passe sur une telle surface, les sels se dissolvent en partie et la solution humecte le sable. Celui-ci perd alors sa couleur rouge clair, due à la présence d'oxyde de fer, et forme une boue de couleur foncée. Les parties qui sont ainsi colorées s'appellent lacs ou canaux (fig. 3). Leur direction sensiblement rectiligne dépend probablement de ce que les dépressions résultent d'effondrements de la croûte martienne le long de lignes de rupture. Il existe des lignes semblables dans la croûte terrestre. On voit d'après la figure 4 qui représente de telles lignes de rupture dans la Calabre, d'après Hobbs, qu'il existe sur terre l'analogue des canaux doubles de Mars.

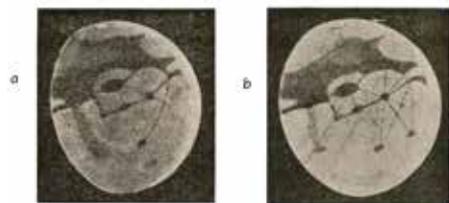


Fig. 3 ■ Les « canaux » et « lacs » de Mars, d'après Lowell.
a) Le 31 août 1894.
b) Dessin donnant tous les détails vus entre 27 août et 2 sept. 1894.

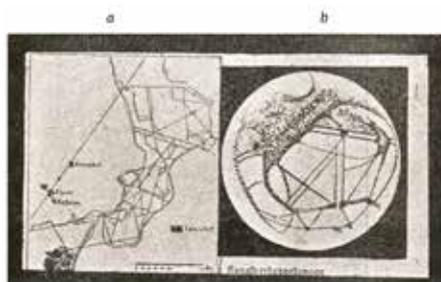


Fig. 4a ■ Les principales lignes géotectoniques de l'Italie du Sud, d'après Hobbs. On observe entre autre un grand nombre de lignes doubles.
Fig. 4b ■ Dédoublément des canaux martiens le 20 juin 1890, d'après Schiaparelli. Un certain nombre de canaux ne sont pas dédoublés.

Cerulli qui observa Mars à l'aide d'un télescope puissant, observa que les canaux ne sont pas continus, mais consistent en de nombreuses taches noires qui sont orientées suivant des lignes à peu près droites. L'œil, qui ne peut pas bien discerner les détails, régularise le phénomène en identifiant les taches sombres avec des lignes droites (canaux). La figure 5 montre quelques taches de ce genre, taches qui, d'après ce qui vient d'être dit, correspondent aux khévir de la Perse. On voit aussi à gauche une formation qui ressemble beaucoup à une fissure, mais qui n'est pas du

tout rectiligne. La grande partie sombre, en forme de poire est le « lac du Soleil », il est réuni aux mers voisines par des « canaux » qui présentent des élargissements.



Fig. 5 ■ Mars le 6 octobre 1909 à 21h, d'après Antoniadi.

On voit aussi sur cette figure quelques canaux doubles et des canaux jusque dans la mer (voir aussi fig. 8b). Ceux-ci dépendent probablement de fissures dans la croûte au-dessous du khévir. Des gaz volcaniques tels que la vapeur d'eau et l'acide carbonique montent dans les fissures jusqu'à la surface qu'ils mouillent et assombrissent. Il est probable que ces gaz sont réducteurs, comme les gaz qui proviennent de l'intérieur de la Terre et qui contiennent, entre autres, de l'acide sulfhydrique. Ces gaz réducteurs colorent les sels de fer contenus dans le khévir en noir verdâtre, qui est la couleur caractéristique des canaux et des mers de Mars. Si la surface des khévirs martiens se congèle, elle se couvre bientôt de poudre rouge empruntée au désert avoisinant, c'est en général en hiver que les canaux sont le siège de ce phénomène. La figure montre une partie blanche dans le « lac du Phénix », qui est seulement en partie dégelé (à droite). Ce lac est très près de l'équateur, et pourtant il est

probablement couvert de neige quand le soleil est au zénith. Cela montre que la température dans les parties les plus chaudes de cette planète ne s'élève pas jusqu'à zéro, même à midi. Il y a deux autres parties blanches sur la figure, à savoir le pôle nord, en bas de la figure, et une île, dans le voisinage du pôle sud, en haut. Là, la glace ne disparaît jamais. Il y a probablement d'après cela, dans ces espaces, formation d'une sorte particulière de glaciers probablement très peu épais.

Le pouvoir réfléchissant de Mars, 0,22 est très petit; il est pourtant de 70 % supérieur au nombre correspondant pour la Lune. Il y a donc une atmosphère sur Mars mais elle est insignifiante. Lowell suppose que sur chaque mètre carré de la surface de Mars se trouve environ 22 % de la masse d'air qui repose sur un mètre carré de la surface terrestre. Cette évaluation est très incertaine, pourtant tous les observateurs admettent, d'un commun accord, que l'atmosphère de Mars est beaucoup moins dense que celle de la Terre. On voit rarement des nuages dans l'atmosphère de Mars. La figure 6 montre un dessin de Molesworth, qui a été regardé comme représentant un nuage. Par contre des brouillards sont très répandus. Aussitôt que le Soleil a dépassé le zénith d'environ 45°, un brouillard léger se forme qui voile les détails. Il en est de même pour les nuages de poussière jaune soulevée par les vents. Un tel cas a été décrit par Antoniadi (voir la figure 7). La présence d'une atmosphère sur Mars est encore prouvée par l'apparition de grandes taches blanches dans les régions polaires durant l'hiver. Ces taches sont évidemment dues à une précipitation de neige ou de gelée blanche.

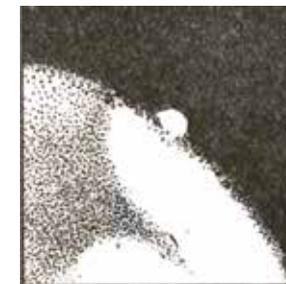


Fig. 6 ■ Nuage au terminateur de Mars observé par Molesworth le 7 mars 1901.

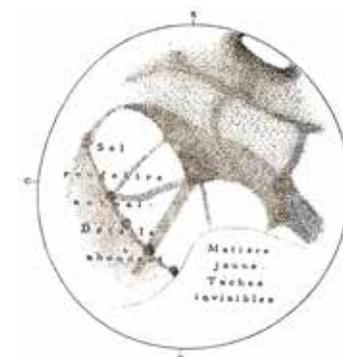


Fig. 7 ■ Antoniadi, Nuages de poussières jaunes, 1909.

On voit comment vers le solstice d'été ces parties blanches disparaissent (fig. 8 et 13*) en donnant naissance à de sombres bordures dans lesquelles on a voulu voir jusqu'ici de l'eau fluide, mais qui sont probablement analogues à des khévirs dont la surface est devenue humide.

On peut aisément se figurer ce que sera l'avenir de cette planète morte, image probable de notre planète à son déclin, ce qui ne pourra guère se produire qu'après des milliards

* N.D.E. : la figure 13 se trouve dans une autre conférence du recueil, p. 102.

d'années. L'oxygène, qui, d'après les observations de Slipher se trouve probablement dans son atmosphère est aussi consommé lentement par l'effritement (oxydation de composés ferreux) et par la combinaison avec l'azote sous l'influence des décharges électriques.

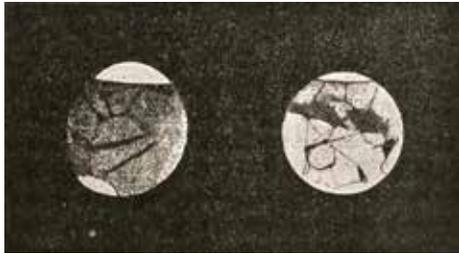


Fig. 8a ■ Mars le 8 avril 1907. Le pôle supérieur est entouré par une zone sombre.

Fig. 8b ■ Mars le 11 juillet 1907. Les parties sombres (les « mers ») sont sillonnées par des lignes noires (« canaux »), d'après Lowell.

Finalement il ne restera que des gaz inertes, qui se condenseront à leur tour quand la chaleur du Soleil aura suffisamment diminué. Les conditions seront à peu près les mêmes que sur la Lune, où pourtant l'atmosphère est encore plus éliminée. Aussi voyons-nous sur cet astre des formations rectilignes, qui traversent des montagnes et des dépressions comme font les fissures de l'écorce terrestre. Ces fissures de la Lune, appelées rayons, divergent souvent à partir d'un cratère et sont remplies de quelque corps blanchâtre, probablement du verre volcanique rempli de bulles. Dans d'autres cas, ces fissures ne sont pas remplies. Elles se sont formées probablement alors que la Lune avait déjà une écorce très massive. Ces fissures sont souvent garnies de petits cratères, qui ont aussi leur analogue sur la Terre, par exemple dans les petits cratères qui se sont formés le long de

la fissure par laquelle la lave s'est écoulée lors de l'éruption Laki en Islande, en 1783.

La croûte est devenue si épaisse que les phénomènes volcaniques ont disparu. Les gaz libérés par la solidification progressive du magma ont une pression trop faible pour traverser des fissures remplies depuis des milliers d'années. Mais antérieurement à cette période de faiblesse, ils exercèrent une action formidable, dont les conséquences sont – à cause de l'absence d'une atmosphère nivellante et de l'échauffement lent pendant la longue période (27,32 jours), d'une révolution – encore visibles sur la face de la Lune. Les effets de ces éruptions furent d'autant plus grands que la pesanteur est sur la Lune six fois plus faible que sur la Terre, de sorte qu'une explosion d'une certaine violence a pu projeter des masses six fois plus grandes sur la Lune qu'elle ne l'aurait pu faire sur la Terre.

ANTHROPOCÈNE : LA PORTÉE D'UNE HYPOTHÈSE QUELQUES QUESTIONS PHILOSOPHIQUES CATHERINE LARRÈRE

En matière de changement climatique, on considère assez souvent que les difficultés ne sont pas du côté de ce que nous savons, mais de ce que nous faisons. Grâce au GIEC, les connaissances sur les processus naturels et sociaux en cours ont été réunies, confrontées, des modèles et des scénarios ont été élaborés, la situation évaluée, des prescriptions formulées. Mais l'action ne suit pas : alors que l'on finit de préparer la 21^e conférence des parties, qui doit se tenir à la fin de l'année 2015 à Paris, et qui devrait aboutir à des accords contraignants, force est de constater que les engagements pris à Kyoto n'ont pas été observés, et que les émissions mondiales de gaz à effet de serre, bien loin de diminuer, ont augmenté de façon exponentielle.

On aurait tort de croire, cependant, que les connaissances scientifiques sont nécessairement suivies d'effets, et qu'il suffit que les politiques en soient informés pour prendre les décisions correspondantes. L'action, et surtout l'action collective, qui n'est pas la simple application d'une décision prise au sommet, mais passe par différents relais et différentes mobilisations, ne requiert pas seulement des connaissances positives, elle fait appel à

l'imaginaire, à la croyance, aux mythes ou aux récits qui lui donnent sens.

C'est dans cette perspective que nous allons aborder la proposition de nommer anthropocène la nouvelle ère dans laquelle nous nous trouverions, et dont le changement climatique serait la principale manifestation. Après avoir rappelé ce qui a pu justifier cette proposition, nous montrerons comment l'anthropocène, envisagé comme un récit, donne lieu à des versions opposées, afin de nous interroger sur la façon dont ces récits peuvent, ou non, encadrer l'action que requiert le changement climatique.

L'ANTHROPOCÈNE : UN NOUVEAU GRAND RÉCIT ?

Les spécialistes du climat s'accordent à considérer que nous vivons à une époque où les humains, par leur utilisation massive de combustibles fossiles, agissent collectivement avec la puissance d'une force géophysique qui détermine le climat dans son ensemble. Aussi certains scientifiques ont-ils suggéré que nous étions entrés dans une ère géologique nouvelle, marquée par l'importance croissante

des impacts des actions humaines à l'échelle planétaire. La proposition a été faite (en 2000 dans la *Newsletter* de l'*International Geosphere-Biosphere Program* [2000], puis, en 2002 dans un article de *Nature*) par Eugene Stoermer (géologue et biologiste américain) et Paul Crutzen (géochimiste néerlandais, Prix Nobel de chimie), de nommer anthropocène cette nouvelle ère géologique¹. L'anthropocène s'ajouterait ainsi aux deux ères jusque-là distinguées au sein du quaternaire, le pléistocène (marqué par des cycles glaciaires) et l'holocène (où le recul des glaciations, s'est accompagné, pour les hommes, du développement de l'agriculture et de l'élevage).

Pour être officiellement adopté, l'anthropocène doit être formellement reconnu par la Sous-Commission sur la stratigraphie quaternaire de l'Union internationale des sciences géologiques, qui tiendra son prochain congrès en 2016. Mais, d'ores et déjà, le terme a été très largement adopté, tant par les spécialistes de sciences sociales, que par le grand public. Nombreux sont les congrès où l'on débat de l'anthropocène, les livres qui le mentionnent dans leur titre.

L'hypothèse que nous ferons ici est que le succès de la notion d'anthropocène ne vient pas de sa capacité à constater ce qui est (la vérité des faits), mais de sa pertinence pour fournir une référence globale à nos actions, qui soit susceptible de leur donner un sens. Dans le titre de l'un des premiers livres français destiné au grand public, l'anthropocène est qualifié comme « cette nouvelle ère dont

nous sommes les héros² ». On sort alors des connaissances factuelles, pour se placer sur le terrain d'une appréhension globale de notre action, par le récit qui la met en forme, et en dessine l'avenir.

On sait comment la modernité a été définie comme l'époque des grands récits d'émancipation (le Peuple, la Nation, le Proletariat) et comment la fin de la modernité a été considérée comme celle des grands récits, marquant l'entrée dans une postmodernité caractérisée par une multiplicité de récits opposés : il n'y aurait plus de sens global, mais un relativisme généralisé, où tout se réduirait à des affrontements dans des rapports de force³. Parler d'anthropocène, comme situation globale de l'humanité, c'est admettre que nous sommes entrés dans une nouvelle époque, caractérisée par un nouveau grand récit. Mais de quel récit s'agit-il exactement ?

UN RÉCIT DIVISÉ

Parler d'anthropocène, cela signifie

- que les changements et les menaces qui caractérisent la situation actuelle ne sont ni temporaires, ni réversibles. Il ne suffit pas de parler de crise écologique ou environnementale, avec ce que cela implique, sinon de retour à une situation antérieure et normale, du moins de possibilité d'une sortie de crise, d'où les menaces auraient disparu : rien ne sera jamais plus comme avant. La situation est irréversible, on peut simplement en

modérer les excès, et s'y adapter du mieux que l'on peut.

- L'anthropocène pose l'humanité, comme force globale. L'humanité n'est pas seulement l'horizon ultime, et normatif, de nos actions ou de nos aspirations, c'est une force réelle, physique, cause du changement climatique, responsable du passage à une nouvelle ère.
- On peut donc considérer le changement climatique comme « la signature emblématique » de l'anthropocène⁴, car il s'agit d'un changement global et irréversible. Même si l'on parvenait à réduire rapidement, et de manière drastique, le gaspillage énergétique et les émissions de gaz à effet de serre, le changement climatique est en cours : il se poursuivra quoi que nous fassions parce qu'il résulte des émissions passées.

Mais, si l'on peut s'accorder sur ce contenu de l'anthropocène, il n'en reste pas moins qu'il fait l'objet de deux récits opposés.

LA GÉO-INGÉNIERIE PLANÉTAIRE

On entend par là la manipulation de l'environnement planétaire à l'échelle globale, afin de contrer les effets du changement climatique. Il s'agit donc d'interventions techniques à grande échelle, soit en vue d'absorber (ou de piéger) de grandes quantités de carbone (comme la « fertilisation » des océans à l'aide de particules de fer) soit afin de bloquer les rayons du soleil, donc d'agir sur le bilan radiatif de l'atmosphère et de contrebalancer l'effet de

serre, notamment par l'injection d'aérosols de soufre dans la stratosphère.

Ce projet de contrôle technique du climat à l'échelle planétaire est porté par la même vision globale que celle qui a conduit à formuler l'hypothèse de l'anthropocène⁵. C'est ainsi que Paul Crutzen, l'un des auteurs de la proposition de nommer la nouvelle ère géologique anthropocène, est aussi un défenseur de la géo-ingénierie planétaire, même s'il la conçoit comme un « plan B » auquel on aurait recours à la suite d'un échec du traitement politique de la question climatique.

LE CATASTROPHISME

Le point de vue opposé considère que l'anthropocène, bien loin d'ouvrir la possibilité d'un contrôle global de la planète, par les technologies appropriées, marque au contraire la fin de cette ambition : la planète échappe à notre contrôle, nous allons vers la catastrophe. Le temps de l'anthropocène, dans une telle perspective, est celui des causalités non linéaires, des boucles de rétroaction, et des « points singuliers » : « Quand apparaissent ces points, une force infinitésimale peut, de par sa nature et sa position dans la constellation des événements, susciter un changement d'une ampleur, comme un simple caillou peut déclencher une avalanche⁶. » L'anthropocène est

¹ Crutzen Paul J., Stoermer Eugene F., « The Anthropocene », *IGBP Newsletter*, 41, 2000. Crutzen Paul J., « Geology of Mankind. The Anthropocene », *Nature*, 415, 3 janvier 2002, p. 23 ; trad. fr. dans *Écologie & politique*, 34, 2007, p. 143-148.

² Lorius Claude et Carpentier Laurent, *Voyage dans l'anthropocène, cette nouvelle ère dont nous sommes les héros*, Arles, Actes Sud, 2010.

³ Jean-François Lyotard, *La condition postmoderne*, Paris, Éditions de Minuit, 1979.

⁴ Stefan C. Aykut, Amy Dahan, *Gouverner le climat ? 20 ans de négociations internationales*, Paris, Presses de Sciences Po, 2014, p. 581.

⁵ Sur le lien entre les ambitions d'un contrôle global de la météorologie aux lendemains de la Deuxième Guerre mondiale, la globalisation des connaissances climatiques et la géo-ingénierie, voir Christophe Bonneuil et Pierre de Jouvancourt, « En finir avec l'épopée. Récit, géopouvoir et sujets de l'anthropocène », dans *De l'univers clos au monde infini*, Hache Émilie (éd.), Paris, Éditions Dehors, 2014, p. 57-106.

⁶ Lewis Mumford, cité par Agnès Sinaï, dans *Penser la Décroissance. Politiques de l'anthropocène*, Paris, Presses de Sciences Po, 2013, p. 45.

donc l'ère des catastrophes (au sens d'un avenir très instable, non linéaire, dont les grandes perturbations – internes et externes – seront la norme), c'est aussi l'ère de l'effondrement, qui peut aussi bien être lent (fin de la croissance) que brutal (risque d'effondrements systémiques globaux)⁷.

Pour expliquer que deux versions aussi opposées puissent coexister, il faut revenir sur la catégorie même d'anthropocène. Adopter l'hypothèse de l'anthropocène conduit en effet à remettre profondément en cause les catégories à l'aide desquelles nous pensons notre histoire comme notre possibilité d'agir.

SORTIR DE LA MODERNITÉ ET DE SES PARTAGES

Michel Serres l'avait déjà noté, dès le *Contrat naturel*, publié en 1992, peu de temps après la mise en place du GIEC (1988). Quand l'homme devient une force naturelle, histoire et nature se rencontrent : « L'histoire globale entre dans la nature ; la nature globale entre dans l'histoire : voilà de l'inédit en philosophie », affirmait-il⁸. L'anthropocène est bien cette ère où les deux histoires, jusque-là distinctes, se confondent, comme le montre la leçon que tire l'historien américain Dipesh Chakrabarty, dans un article (2009) où il développe quatre thèses sur le climat⁹ : « Les origines anthropogéniques du changement global signent la

ruine de la distinction humaniste classique entre histoire naturelle et histoire humaine¹⁰. » Cette séparation entre histoire de la nature et histoire humaine, ou histoire de la société, était caractéristique de la modernité (c'est ce que Bruno Latour désigne comme « le grand partage¹¹ ») et elle n'affectait pas seulement la façon dont nous comprenions le monde dans lequel nous vivions, mais également la façon dont nous concevions d'y agir ou d'y intervenir : c'est le même partage qui se fait entre, d'un côté, la technique, comme mode d'action sur la nature, et de l'autre, la politique, comme façon qu'ont les hommes d'agir collectivement et de gouverner leurs rapports. C'est cette répartition des actions aussi qui est mise en cause par l'hypothèse de l'anthropocène.

Or, il est manifeste que le projet de géo-ingénierie, bien loin de prendre acte de ce bouleversement de catégories, continue à faire comme si nos actions s'inscrivaient toujours dans la modernité et dans ses partages. La géo-ingénierie repose en effet sur deux présupposés :

- a) L'anthropocène (cette « ère dont nous sommes les héros ») est l'âge de la domination humaine sur la terre, une domination qui a atteint un niveau global, et peut désormais s'exercer à ce niveau.
- b) Cette domination globale s'exerce principalement à travers l'innovation technologique.

la géo-ingénierie est donc la poursuite, au niveau planétaire, de l'entreprise moderne de domination par la technique d'une nature prévisible : savoir, c'est pouvoir, parce que la

science est capable de prévoir. Les présupposés de la géo-ingénierie sont ceux de modernité dont elle conserve l'ambition en la portant au niveau planétaire (avant de la poursuivre dans l'espace ?)

Il s'agit donc de continuer le développement technique sans réfléchir sur les limites que ce développement a déjà rencontrées, ou en s'imaginant trouver dans la technique le remède aux maux issus du développement technique. Cette idée que la technique va nous sauver des conséquences de la technique (les effets de l'industrialisation) ignore que les maux dont nous souffrons viennent précisément des limites de la prévision : nous n'avons pas pris en considération les conséquences involontaires des développements techniques.

La géo-ingénierie ne peut donc que porter à un niveau supérieur (planétaire) les inconvénients suscités par la montée en puissance des techniques : la question des conséquences involontaires. Les objections faites à la géo-ingénierie portent précisément sur ces effets collatéraux des remèdes envisagés : effets qui pourraient être pires que les bénéfices attendus.

La géo-ingénierie représente ainsi la version arrogante du nouveau grand récit, celle qui, dans l'anthropocène n'entend qu'*anthropos* (homme), un homme qui s'enfle à la mesure du monde. Une arrogance qui pousse à surestimer les pouvoirs de l'humanité aussi bien positivement (nous serions en mesure de rétablir le climat) que négativement (nous serions en mesure de détruire la planète, qui dépendrait entièrement de nous). Ce vertige de toute puissance (positive ou négative) n'a pas lieu d'être.

Une arrogance qui repose sur une ignorance : celle du monde dans lequel nous nous

trouvons maintenant. Parler d'une nouvelle ère, c'est comprendre que la nature de l'anthropocène n'est pas celle de l'holocène, qu'elle échappe à nos prévisions.

LE DÉFI DE L'ANTHROPOCÈNE : QUELLE RESPONSABILITÉ DANS UN MONDE INCERTAIN ?

La puissance scientifique et technique de la modernité reposait sur la prévisibilité de la nature. C'est ce régime de prévisibilité qui disparaît dans l'anthropocène. De cela, les tenants du catastrophisme sont particulièrement conscients, car ils appréhendent les phénomènes et leur globalité à partir de la théorie des systèmes et des théories de la complexité : causalités non linéaires, boucles de rétroaction, *tipping points*... La nature de l'anthropocène est une nature que l'on ne peut plus prévoir avec assurance, ni même complètement décrire, une nature dont la dynamique est chaotique. À la différence de la version « géo-ingénierie » de l'anthropocène, qui fait comme si nous avions affaire à une nature globalement maîtrisable, le récit catastrophiste tient compte de ce changement du régime de la prévision.

Mais le catastrophisme peut-il servir de base à une théorie de l'action ? On peut fort bien être convaincu que la catastrophe est certaine et même qu'elle est proche, sans que cela rende son imminence plus probable. Qu'elle n'ait pas encore eu lieu ne la rend ni plus proche, ni plus lointaine. Or, cette situation d'imminence constante incite bien plus à ne pas changer de comportement. Un des effets inattendus du catastrophisme pourrait ainsi être de converger avec le *business as*

⁷ Pablo Servigne, Raphaël Stevens, *Comment tout peut s'effondrer. Petit manuel de collapsologie à l'usage des générations présentes*, Paris, Le Seuil, 2015, p. 129.

⁸ Michel Serres, *Le contrat naturel*, Paris, Flammarion, « Champs », 1992, p. 18.

⁹ Dipesh Chakrabarty, « The Climate of History: Four Theses », *Critical Inquiry*, 35 (Winter 2009), p. 197-222 ; trad. fr., « Le climat de l'histoire : quatre thèses », *La revue internationale des livres et des idées*, 15, janvier 2010.

¹⁰ Chakrabarty, 2010, p. 201.

¹¹ Bruno Latour, *Nous n'avons jamais été modernes*, Paris, La Découverte, 1992.

usual – qu'il s'agit pourtant d'éviter si l'on entend limiter le changement climatique tout en s'y adaptant. Passer de l'holocène à l'anthropocène, c'est abandonner la prévision (régime de la modernité) pour celui de la précaution (qui tient compte de ce qu'il y a de l'imprévisible qui peut surgir). Mais, que la catastrophe puisse arriver, ne signifie pas que le pire soit toujours sûr. Cela peut signifier qu'il faut se rendre disponible à la pluralité des éventualités, maintenir l'ouverture des possibles au lieu de céder à la sidération de la catastrophe.

Il nous faut donc apprendre à vivre dans un monde différent de celui dans lequel nous avons grandi et vécu. Ce n'est pas forcément le monde de la certitude du pire et de l'effondrement inéluctable, mais un monde dans lequel la théorie de l'action a besoin d'être repensée. Le chantier est immense. Nous nous contenterons de signaler, pour terminer, deux types de problèmes :

- Les uns tiennent à la façon de caractériser l'action technique dans un monde incertain,
- Les autres sont liés à la question de la responsabilité humaine dans l'anthropocène.

ANTHROPOCÈNE ET NATURE

L'idée moderne de la nature est celle de sa légalité : « Par nature (dans le sens empirique), dit Kant, nous entendons la connexion des phénomènes, quant à leur existence, d'après des règles nécessaires, c'est-à-dire d'après des lois¹². » C'est ce qui permet d'inscrire l'action

technique dans la nature (les actions techniques appliquent les lois générales).

S'il est exclu dans l'anthropocène de maîtriser par l'action technique une nature contrôlée grâce à sa prévisibilité, cela conduit à penser autrement le rapport technique que nous avons à la nature : non plus l'imposition d'une forme à une matière inerte, mais des interactions avec des processus que nous pouvons suivre ou accompagner, et qu'il faut appréhender dans leur singularité si l'on veut en tirer parti : piloter plutôt que fabriquer¹³.

L'anthropocène signifie la fin de l'extériorité de la nature, mais celle-ci ne signifie pas la négation de toute indépendance. Alors que la prévisibilité est la base d'appui d'une science qui vise à dominer la nature, Carolyn Merchant montre que les théories du chaos conduisent à renoncer à tout prévoir, et permettent de laisser place à l'existence indépendante de processus naturels, d'assurer un espace de liberté à la nature. Carolyn Merchant propose ainsi une « éthique du partenariat » avec la nature (*partnership ethics*¹⁴).

Adopter l'hypothèse de l'anthropocène, ce n'est pas confondre les actions techniques et les processus naturels pas plus que les humains et les non-humains dans une même vision chaotique du monde, où il n'y aurait plus que des individus tentant d'assurer leur survie. Mais c'est tenir le plus grand compte du contexte et des processus naturels dans l'action technique. C'est, conjointement, rapprocher entités non humaines et personnes

humaines : leur imprévisibilité fait des non-humains des partenaires et non plus des objets malléables. Inversement, les humains perdent leur privilège d'être entièrement libres, maîtres de leur détermination. C'est ce que montre la question de la responsabilité, mesurée à l'hypothèse de l'anthropocène.

ANTHROPOCÈNE ET RESPONSABILITÉ

Parler d'anthropocène, c'est admettre la responsabilité humaine dans le changement climatique. N'est-ce pas la raison pour laquelle un certain nombre de climato-sceptiques (très liés à l'économie pétrolière) veulent bien reconnaître l'existence d'un certain nombre d'indices du changement climatique, mais se refusent d'en admettre l'origine humaine ? De ce point de vue, la notion d'anthropocène prête néanmoins à confusion ou à illusion.

Elle conduit à attribuer à l'humanité une responsabilité démesurée

C'est une position identique à celle de Hans Jonas qui, dans le *Principe responsabilité* (1979), et dans la présentation qu'il fait des thèses qu'il y développe, affirme la dimension « cosmique » de la responsabilité humaine, ce qui pose une question « métaphysique », celle de l'existence de l'humanité sur une terre menacée dans son intégrité par l'exercice abusif de la puissance technique humaine.

En élargissant la responsabilité humaine à « l'avenir de la vie sur terre¹⁵ », comme le fait Jonas, on ne prétend plus, à la différence de la géo-ingénierie, à une maîtrise globale du monde. Mais l'arrogance, dont est porteuse

la prétention anthropique à baptiser une ère géologique, à faire comme si la Terre entière ne dépendait que de l'humanité, est toujours là. Baird Callicott, spécialiste américain d'éthique environnementale, peut, à juste titre, la dénoncer, en rappelant la dissymétrie qu'il y a entre les humains et la planète. C'est faire preuve d'une extrême arrogance humaine, explique-t-il, que d'imaginer que nous sommes responsables de la planète entière, comme si elle ne pouvait pas parfaitement survivre sans nous¹⁶. Gaïa nous menace et nous avons besoin d'elle, mais elle n'a pas besoin de nous, elle ne s'en soucie pas.

Cette responsabilité infinie se détruit elle-même. À penser l'humanité dans son ensemble responsable de tout, les humains dans leur diversité finissent par n'être responsables de rien.

C'est ce que fait apparaître le débat qui s'est développé autour des positions défendues par Chakrabarty dans ses thèses sur le climat. L'hypothèse de l'anthropocène, selon lui, conduit à remettre en cause les catégories critiques de l'histoire sociale utilisées pour rendre compte de notre histoire passée, et de la mondialisation présente. On en rend généralement compte en termes d'histoire du capitalisme et des inégalités sociales. Or, pour importantes que soient les critiques de la mondialisation capitaliste, elles ne nous donnent pas, selon Chakrabarty, « une prise suffisante sur l'histoire humaine, une fois que nous acceptons que la crise climatique est ici avec nous et continuera à faire partie de notre planète bien longtemps après que le capitalisme

¹³ Catherine et Raphael Larrère, *Penser et agir avec la nature. Une enquête philosophique*, Paris, La Découverte, 2015.

¹⁴ Carolyn Merchant, *Reinventing Eden. The Fate of Nature in Western Culture*, New York, Londres, Routledge, 2004.

¹² Emmanuel Kant, *Critique de la raison pure*, Analytique transcendantale, *Œuvres philosophiques*, t. I, Paris, Gallimard, 1980, p. 946 (AK, III, 185).

¹⁵ Hans Jonas « La technique moderne comme sujet de réflexion éthique », dans *La responsabilité. Questions philosophiques*, Marc Neuberger (éd.), Paris, PUF.

¹⁶ J. Baird Callicott, *Thinking Like a Planet, The Land Ethic, and the Earth Ethic*, New York, Oxford Unity Press, 2013, p. 237.

ait disparu ou ait subi de nombreuses et profondes mutations historiques¹⁷ ». Pour reprendre le contrôle de notre histoire, affirme-t-il, nous devons cesser de ne considérer que l'histoire sociale de l'humanité, nous devons appréhender l'humanité « comme une forme de vie, et considérer l'histoire humaine comme une partie de l'histoire de la vie sur cette planète¹⁸ ». Il faut appréhender l'humanité en tant qu'espèce biologique.

Mais cela ne revient-il pas à naturaliser l'humanité et, en niant les différences sociales, à nier une responsabilité qui ne peut pas être attribuée à l'humanité tout entière, mais uniquement à des fractions actives de celle-ci ?

Tel est le débat qui a été engagé par deux historiens français, Christophe Bonneuil et Jean-Baptiste Fressoz, dans leur livre *L'événement anthropocène*¹⁹. Plutôt que d'anthropocène, argumentent-ils, il vaudrait mieux parler d'anglocène. Ils affirment ainsi, contrairement à Chakrabarty, que l'histoire, socialement divisée, de la mainmise capitaliste sur l'énergie (une histoire dont les acteurs principaux sont Anglais et Américains) est toujours pertinente pour comprendre la situation actuelle (changement climatique) et en affronter les conséquences.

De telles positions correspondent assez bien à celles mises en avant par de nombreux pays du Sud pour affirmer la responsabilité historique des pays du Nord (ou de l'Occident) dans les problèmes climatiques. Mais cette responsabilité est activement niée par les pays du Nord, qui font valoir que ce qui est ainsi établi,

c'est un lien de causalité (entre révolution industrielle, consommation d'énergies fossiles et effet de serre), une responsabilité causale donc mais nullement une responsabilité morale (car ceux qui ont entrepris la révolution industrielle en ignoraient les conséquences climatiques, alors que les acteurs actuels n'ont plus les moyens d'empêcher des actions qui ont eu lieu bien avant qu'ils ne soient nés).

Le changement climatique est sans doute l'un des plus graves problèmes d'action collective jamais affronté par l'humanité, pourtant lorsqu'il s'agit d'assigner des responsabilités, ce qui est la condition même de l'action, cela semble impossible. Comme l'écrit Dale Jamieson, un philosophe américain, spécialiste des questions climatiques et des problèmes éthiques qui y sont liés : *Today we face the possibility that the global environment may be destroyed, yet no one will be responsible. This is a new problem*²⁰.

Il n'est pas certain que l'hypothèse de l'anthropocène aide à résoudre ce problème.

¹⁷ Dipesh Chakrabarty, « The Climate of History... », art. cité, p. 212.

¹⁸ *Ibid.*, p. 213.

¹⁹ Christophe Bonneuil et Jean-Baptiste Fressoz, *L'événement anthropocène*, Paris, Le Seuil, 2013.

²⁰ Dale Jamieson, cité par Stephen Gardiner, « Is No One Responsible for Global Environmental Tragedy? Climate Change as a Challenge to Our Ethical Concepts », p. 1.

ÉQUILIBRES MULTIPLES ET MODÉLISATION MULTI-AGENTS COMMENT APPRÉHENDER L'INCERTITUDE SUR LES DYNAMIQUES SOCIO-ÉCONOMIQUES DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?¹

ANTOINE MANDEL

INCERTITUDE ET MODÉLISATION ÉCONOMIQUE

Confrontée à la difficulté de prévoir l'évolution du système dynamique extrêmement complexe que constitue le climat et se devant de communiquer ces résultats à un large public pour l'informer des enjeux du changement climatique, la communauté scientifique a rapidement reconnu la nécessité de mettre en avant l'incertitude intrinsèque à ces prévisions, qu'elle soit due aux limites des modèles, à la qualité des données ou au caractère aléatoire des processus physico-chimiques en cause. Ainsi, le quatrième rapport du Groupe d'ex-

perts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) s'ouvre sur des considérations liées au traitement de l'incertitude. Il précise que l'incertitude liée aux principes physiques et écologiques du changement climatique a été évaluée principalement en termes de probabilité, celle liée aux impacts du changement climatique en termes de probabilité et de niveaux de confiance, mais que celle associée à l'atténuation du changement climatique, et donc aux processus socio-économiques, n'a été évaluée que de manière qualitative.

Ce traitement différencié souligne que l'incertitude associée aux processus socio-économiques est de loin la plus prégnante. Leur prise en compte est néanmoins nécessaire à l'estimation des émissions futures de gaz à effet de serre et donc de l'évolution du climat. La solution adoptée par le GIEC a été de

¹ Ce texte s'inspire dans une très large mesure de travaux poursuivis ces dernières années avec Carlo Jaeger, que je souhaiterais remercier ici. Je reste néanmoins seul responsable du contenu de ce texte.

développer un ensemble de scénarios décrivant diverses évolutions socio-économiques possibles et d'étudier les conséquences climatiques de chacun de ces scénarios. L'éventail des possibles considérés est extrêmement large allant de la décroissance globale à une croissance économique rapide, de l'usage intensif des énergies fossiles à une transition rapide vers les énergies renouvelables.

La diversité des hypothèses considérées souligne, à nouveau, l'incertitude associée à l'évolution des systèmes socio-économiques. Cette incertitude trouve un large écho dans la théorie économique dont de nombreux résultats mettent en avant le fait que les systèmes économiques ont, sauf dans des cas très particuliers, plusieurs équilibres. En effet, la présence d'interactions implique que la stabilité des choix individuels est généralement relative, locale plutôt que globale. Un exemple extrêmement simplifié des mécanismes à l'œuvre est celui du choix d'un sens conventionnel de circulation : il est plus raisonnable de conduire à droite si on anticipe que les autres conducteurs feront de même, mais la convention opposée est tout aussi stable.

Cette multiplicité des équilibres, des scénarios possibles, semble devoir disqualifier toute perspective déterministe sur la politique économique dans le contexte du changement climatique. Pourtant, l'une des questions centrales dans le débat public, celle de l'évaluation économique des politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre, est abordée principalement sous cet angle déterministe. Les modèles couramment utilisés à cet effet, appelés « modèles d'équilibre général calculable », adoptent une représentation très sommaire des interactions : ils ne considèrent généralement qu'un seul consommateur

(supposé représentatif) et qu'une seule entreprise par secteur. Ce cadre simplifié ne permet de représenter qu'un seul équilibre. Le modèle est calibré de telle sorte que cet équilibre corresponde à un scénario au fil de l'eau, c'est-à-dire une croissance modérée et une utilisation intensive des combustibles fossiles. Les politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre sont ensuite évaluées à l'aune de ce scénario. Cette approche conduit à des hypothèses de coûts relativement importants puisque la lutte contre le changement climatique est supposée se faire contre le « cours naturel » de l'économie.

Un tout autre scénario a récemment été mis en avant par l'OCDE² et le programme des Nations unies pour l'environnement³ qui font de la « croissance verte » un nouveau moteur de développement économique. Ce scénario de croissance verte correspond à un nouvel équilibre bien plus qu'à une perturbation locale de l'équilibre actuel (au fil de l'eau). Sa possibilité ou sa probabilité ne peuvent donc s'appréhender dans un modèle à équilibre unique.

La suite de ce texte expose quelques contributions récentes de la recherche en modélisation économique qui visent à prendre en compte l'existence d'équilibres multiples et les possibilités de transitions entre ces équilibres, par exemple entre la situation présente et un scénario de croissance verte.

² OCDE (2011), *Vers une croissance verte. Études de l'OCDE sur la croissance verte*, Paris, Éditions OCDE.

³ UNEP (United Nations Environment Programme) (2011), *Towards a Green Economy - Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*, Nairobi, consultable sur : www.unep.org/greeneconomy.

EXPLORER L'ENSEMBLE DES POSSIBLES ÉCONOMIQUES

A priori, l'évolution d'un système économique n'est contrainte que par les ressources dont il dispose, qu'elles soient naturelles, humaines, financières ou productives, et par ses capacités technologiques (dont les progrès peuvent être pris en compte de manière endogène via une représentation adéquate des processus d'innovation). L'ensemble des trajectoires possibles est très large : les ressources peuvent être réparties différemment entre consommation et investissement, le progrès technique peut être orienté dans de multiples directions différentes.

La trajectoire qui se matérialise est le produit des multiples interactions entre individus et organisations qui définissent la vie économique : relations de travail ou d'échange, formation d'opinions et d'anticipations, création, investissement, apprentissage. Dans cet ensemble des possibles, la théorie économique s'est jusqu'à aujourd'hui très largement focalisée sur les situations d'équilibre, celles où la compatibilité des choix individuels est assurée par un fonctionnement « efficace » des marchés. Ainsi, la possibilité (l'existence, en termes mathématiques), les propriétés, et les modes de détermination de ces équilibres ont été très largement étudiés⁴. Les résultats obtenus ont permis notamment le développement des modèles d'équilibre général calculables mentionnés plus haut. Par contre, les conditions dans lesquelles une économie peut atteindre un état d'équilibre, son comportement en de-

hors de l'état d'équilibre ou la possibilité de transiter entre différents équilibres restent mal compris. Ainsi, le mathématicien Steven Smale (lauréat de la médaille Fields en 1966 pour ses travaux en géométrie différentielle) cite l'établissement d'une théorie de la dynamique économique comme l'un des problèmes ouverts aux mathématiciens du XXI^e siècle⁵ au côté de l'hypothèse de Riemann, un problème de mathématiques pures intéressant notamment la distribution des nombres premiers, ou du problème « P = NP » qui vise à déterminer quels sont les problèmes résolubles en un temps raisonnable par un ordinateur.

L'inclusion du problème de la dynamique économique dans ce Panthéon des difficultés mathématiques laisse présager de sa difficulté. Néanmoins, la multiplication de la puissance de calcul des ordinateurs rend aujourd'hui possible, à défaut d'une solution analytique, le développement de modèles numériques qui permettent d'explorer l'émergence d'une dynamique macro-économique à partir de la simulation d'interactions micro-économiques entre un très grand nombre d'agents. Cette approche, connue sous le nom de « modélisation multi-agents », s'applique à de nombreuses problématiques issues de la politique climatique.

COMPRENDRE LES ÉCHECS DU MARCHÉ DES DROITS D'ÉMISSION

L'analyse du marché européen des droits d'émission de gaz à effet de serre fournit un

⁴ Notamment par le mathématicien français Gérard Debreu, voir Gérard Debreu (1954), *Théorie de la valeur. Analyse axiomatique de l'équilibre économique*, Paris, Éditions Dunod, 1954.

⁵ Voir Steve Smale (1998), « Mathematical Problems for the Next Century », *The Mathematical Intelligencer*, 20 (2), p. 7-15.

premier exemple simple des possibilités d'analyse offertes par les modèles multi-agents. Le marché des droits d'émission est l'un des piliers de la politique climatique européenne. Il a deux objectifs principaux : d'une part, faire émerger un « prix du carbone » qui serve de signal incitatif aux investissements dans des technologies bas-carbone et, d'autre part, permettre la réduction des émissions au moindre coût en les concentrant sur les acteurs pour lesquels le coût de réduction est le plus faible, ceux-ci pouvant ensuite vendre leurs « réductions » à d'autres acteurs. Si le marché est supposé se trouver à l'équilibre, ces deux objectifs sont automatiquement satisfaits.

En pratique, le marché a fait preuve d'une extrême volatilité et la réduction des émissions a été répartie d'une manière peu efficace puisque de nombreux échanges mutuellement profitables n'ont pas été réalisés. Un modèle multi-agent simple de ce marché consiste à considérer que chaque acteur sur le marché a un certain stock de droits d'émission, peut réduire ses émissions à un certain coût et a une opinion sur la juste valeur de ses droits d'émission. Par contre, il ne connaît *a priori* ni le stock ni les coûts ni les opinions des autres acteurs. Il explore progressivement le marché en entrant en contact avec d'autres acteurs avec lesquels il échange si la transaction s'avère profitable et auprès desquels il collecte une information qui peut influencer son évaluation de la valeur des droits d'émission. Il est possible qu'un prix d'équilibre finisse par s'établir dans ce système (c'est-à-dire toutes les transactions se font au même prix et il n'y a ni offre ni demande excédentaire) mais de nombreuses autres configurations sont également observées dans les simulations : permanence d'une offre et d'une demande excédentaires,

hétérogénéité des opinions sur la valeur des droits d'émission, segmentation du marché. Ces résultats « négatifs » permettent de comprendre les sources de l'inefficacité du marché, en l'occurrence la trop grande dispersion et le caractère essentiellement local du marché, et de proposer des mesures permettant d'y remédier, par exemple l'institutionnalisation de plateformes d'échanges.

ÉQUILIBRES ET DÉSÉQUILIBRES DANS LES SYSTÈMES COMPLEXES

Pour approcher plus précisément la problématique de transition entre équilibres mis en avant ci-dessus, des modèles multi-agents d'une complexité supérieure peuvent être utilisés pour simuler la dynamique d'ensemble d'une économie. Il s'agit alors de représenter l'évolution des prix, des flux, des technologies et des anticipations d'acteurs hétérogènes (entreprises, ménages, banques, gouvernement) interagissant sur un ensemble de marchés interdépendants. La famille de modèles Lagom⁶ explore la dynamique de tels systèmes en supposant que les agents utilisent des règles d'apprentissage de type évolutionnaire (c'est-à-dire copie des stratégies les plus efficaces et mutations aléatoires) pour adapter leurs stratégies économiques à l'évolution de leur environnement.

La principale leçon tirée des simulations numériques effectuées dans ce cadre est celle de la très importante variabilité présente

dans les systèmes économiques. De simples perturbations micro-économiques aléatoires peuvent conduire d'un équilibre à un autre, de l'équilibre au déséquilibre. Le rôle des anticipations des agents est central dans ces transitions ainsi que dans la détermination de la vitesse de croissance (ou de décroissance) de l'économie. En pratique, ces variations sont en partie atténuées par les structures institutionnelles qui ne sont pas représentées dans les modèles. Néanmoins, la crise financière de 2008 ou l'évolution majeure du régime de croissance chinois au tournant des années 1990 montrent que les systèmes économiques sont effectivement soumis à des transitions, peu fréquentes mais rapides.

Dans le contexte du changement climatique, deux transitions majeures semblent devoir retenir notre attention : celle d'un effondrement économique majeur dû aux impacts

du changement climatique et celle d'une accélération massive de l'innovation dans les technologies bas-carbone conduisant à une nouvelle vague de croissance, verte. Bien que radicalement différentes du point de vue macro-économique, les dynamiques à l'œuvre dans les deux cas émergent des mêmes types d'interactions socio-économiques : diffusion de technologies, de chocs, d'opinions... Les modèles multi-agents dont je coordonne le développement au centre d'économie de la Sorbonne permettent d'explorer ces deux alternatives et de contribuer aux importants efforts de recherche européens dans le domaine. Nous participons ainsi à l'analyse des impacts économiques d'un réchauffement climatique supérieur à 2° C dans le cadre du projet IMPRESSIONS⁷ et à l'amélioration des mécanismes de diffusion des technologies bas-carbone dans le cadre du projet GREEN-WIN⁸.

⁶ voir notamment Wolf, S., Fürst, S., Mandel, A., Lass, W., Lincke, D., Pablo-Martí, F. et Jaeger, C. (2013), « A Multi-Agent Model of Several Economic Regions », *Environmental Modelling & Software*, 44, p. 25-43.

⁷ Voir <http://www.impressions-project.eu/>

⁸ Voir <http://www.globalclimateforum.org/>

PENSÉES JURIDIQUES SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

FRANÇOIS GUY TRÉBULLE

Le présent ouvrage et, au-delà, la « semaine durable » organisée à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, s'inscrit évidemment dans la perspective de la « COP21 », conférence des parties de la Convention cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC) de 1992 dont l'objectif affiché est de permettre de parvenir à un « accord universel, ambitieux et contraignant sur le climat » devant « encourager une transition accélérée mondiale vers des sociétés décarbonées et résilientes¹ ». Si la COP21 est l'occasion pour la France de mettre en œuvre l'article 10 de la Charte de l'environnement qui dispose que ladite Charte « inspire l'action européenne et internationale de la France », l'initiative de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne est un moyen de s'inscrire dans les articles 8 et 9 de cette Charte qui disposent respectivement que « l'éducation et la formation à l'environnement doivent contribuer à l'exercice des droits et devoirs définis par la présente Charte » et que « la recherche et l'innovation doivent apporter leur concours à la préservation et à la mise en valeur de l'environnement ».

Conformément à l'article 2 de la CCNUCC, les États doivent stabiliser les concentrations

de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique, tout en préservant à la fois la production alimentaire et la poursuite durable du développement économique². Au-delà des débats qui subsistent, pour certains entretenus par des pratiques dont la justice aura peut-être à connaître un jour³, un consensus existe pour attribuer, avec le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC/IPPC), une part – voire la majorité – de l'origine du réchauffement climatique à l'activité

² On adoptera sa définition des « changements climatiques » entendus comme « des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables ».

³ Voir EEA, *Late Lessons from Early Warnings: Science, Precaution, Innovation. Emerging Lessons from Ecosystems*, chap. 14 « Climate Change: Science and the Precautionary Principle » par H. Grassl et B. Metz, spéc. p. 330 : « The fossil fuel industry, for example, financed the 'Global Climate Coalition' in the US from 1989 to 2002. This group ran multi-million dollar advertising campaigns just before the Kyoto negotiations, which certainly had an impact on public opinion. These efforts have continued in different forms until now, the latest incarnation being a full 'denial industry'. Parallels between the climate change debate and earlier controversies over tobacco smoking, acid rain and the hole in the ozone layer have been identified, showing that spreading doubt and confusion was a basic strategy of those opposing action in each case... »

¹ Conférence environnementale 2014. Document de travail préparatoire à la table ronde « Mobilisation nationale vers la COP21 sur les enjeux du climat et de la biodiversité ».

humaine. S'il n'y a pas de certitude en la matière, la probabilité du lien est désormais établie à plus de 95 % et cela suffit pour que l'agenda international la prenne au sérieux. La raison d'être de la CCNUCC comme de ses différentes COP est précisément de tenter d'infléchir une trajectoire collective dont les conséquences préjudiciables à tous et surtout aux plus démunis sont considérables⁴.

Lors du Conseil des ministres de l'environnement du 18 septembre 2015, un mandat européen a été adopté en vue des négociations de la COP21 et visant à une « transformation mondiale vers une société à faibles émissions de carbone et résiliente au changement climatique » en permettant d'une façon équilibrée et économiquement rationnelle l'atténuation et l'adaptation face au changement climatique, en se souciant du financement, du développement technologique et des transferts en la matière vers les pays moins avancés. Le mandat évoque non seulement l'objectif d'un cantonnement à 2° C du réchauffement climatique mais fixe celui d'une réduction de 50 % des émissions d'ici 2050 et d'une neutralité d'ici à 2100. Il s'agit de promouvoir la vision à long terme d'une neutralité climatique mondiale et durable et d'une résilience climatique pour la

seconde moitié du XXI^e siècle. Le mandat prévoit également que l'accord à obtenir devrait contenir une révision quinquennale pour faire en sorte que les États s'inscrivent dans une dynamique d'augmentation des engagements.

On peut s'interroger sur la place du droit dans la réponse apportée aux défis qu'implique le changement climatique. N'est-ce pas une question avant tout politique et scientifique ? Il est certain que le droit n'est directement ni à l'origine des difficultés, ni la clé de celles-ci ; pourtant il est non moins certain que de Rio à Paris, l'histoire de la prise de conscience des enjeux climatiques est associée au constat qu'il est nécessaire de disposer d'instruments ayant une dimension juridique assez marquée pour que les États y trouvent la motivation suffisante pour passer à l'action. Jusqu'à présent, les instruments internationaux ont été trop limités pour permettre d'envisager d'atteindre le cantonnement recherché du réchauffement climatique.

Que l'on s'en réjouisse ou qu'on le explore, ainsi que l'a dit en 2010 le président de la Cour internationale de justice⁵ « le droit pénètre aujourd'hui tous les aspects des activités de l'ONU... de la lutte contre la pauvreté à la protection de l'environnement de la planète, y compris la question du changement climatique ».

Il est certain qu'il n'y aura de réponse effective au phénomène du changement climatique que dans la mesure où elle empruntera les voies juridiques. Toutefois, avant de s'interroger sur les éléments de réponse que le droit ne manquera pas d'esquisser, il faut observer que le phénomène du changement climatique,

dans sa confrontation aux mondes du droit, commence par le bouleverser.

LES ÉVOLUTIONS DU DROIT INDUITES PAR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

On ne fait pas de lois pour le climat, on ne peut pas contraindre le climat, on ne peut que l'observer et le décrire, on peut essayer de prédire le temps qu'il fera...

Mais si le climat est affecté par l'activité humaine, alors il devient non seulement possible mais nécessaire de légiférer, de mesurer et d'encadrer et, le cas échéant, d'interdire certaines activités. La loi n'est pas sur le changement climatique mais bien sur ses causes et plus particulièrement sur ses causes humaines ; elle doit aussi être sur ses conséquences.

Ayant dit cela, on franchit seulement une infime étape : si l'homme n'a pas d'emprise directe sur les éléments et ne peut guère jouer que sur ce qui les met en mouvement, qui peut prétendre avoir une souveraineté dont l'étendue recouvre la terre entière ? Or le climat se joue des frontières. Il faut donc déplacer les curseurs, innover et penser tout à la fois à la multitude des causes et aux grands équilibres, à ces phénomènes qui les uns et les autres, les uns à cause des autres provoquent le changement que l'on veut enrayer.

L'ampleur des phénomènes vécus a forcément des conséquences considérables sur les règles régissant l'ensemble des relations sociales, qu'elles appartiennent à l'ordre public ou à l'ordre privé. On peut songer, en premier lieu, aux catastrophes et aux effets liés à des phénomènes tels que les sécheresses avec les possibles incendies, l'élévation du niveau des eaux avec ce qu'elle implique de

reconfiguration des États, peut-être de disparition de certains, particulièrement exposés, de vulnérabilité des biens ; à tout le moins le changement climatique est-il désormais, de façon assurée, lié à des évolutions géographiques majeures, au-delà des seuls États insulaires.

Il faut, évidemment, mesurer les conséquences des changements climatiques sur les populations dans leurs approvisionnements les plus fondamentaux tels que l'eau et dans leurs activités, notamment agricoles. On mesure, là aussi, que les règles qui ont permis à des sociétés de fonctionner pendant de longues périodes se trouvent remises en cause par l'effet de mutations très nettement engagées.

Le protocole de Kyoto, issu de la COP 3 de la CCNUCC, en 1997, et entré en vigueur en 2005, a manifesté la possibilité que des États s'engagent effectivement à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre. L'Union européenne est particulièrement engagée dans cette voie et c'est bien parce qu'elle avait une conscience très claire de ce qu'il fallait faire que l'Union européenne s'est dotée d'un « Paquet énergie-climat » en 2008 fixant l'objectif 3 × 20 pour 2020 : 20 % d'énergies renouvelables ; - 20 % d'émissions de GES ; + 20 % d'efficacité énergétique.

Partout dans le monde les enjeux partagés sont connus ; partout dans le monde on sait qu'il faut relever le défi climatique qui est avant tout un défi énergétique. Partout dans le monde on comprend qu'il faut modifier les sources d'énergie pour accroître la part du renouvelable, faire évoluer les règles de construction et globalement l'ensemble des modes productifs pour parvenir à une production à faible intensité carbone ; partout dans le monde on sait que l'enjeu ne sera relevé qu'au

⁴ Parmi les monographies traitant du sujet on mentionnera particulièrement R. Encinas de Munagorri (dir.), *Expertise et gouvernance du changement climatique*, LGDJ, 2009 ; M. Falque et H. Lamotte (dir.), *Changement climatique et pollution de l'air : droits de propriété, économie et environnement*, Bruylant, 2010 ; C. Cournil et C. Colard-Fabregoule (dir.), *Changements climatiques et défis du droit*, Bruylant, 2010 ; A. Michelot (dir.), *Équité et environnement. Quels modèles de justice environnementale ?*, Larcier, 2012 ; C. Cournil et C. Colard-Fabregoule (dir.), *Changements environnementaux globaux et droits de l'homme*, Bruylant, 2012 ; Ch. Cournil et A.-S. Tabau (dir.), *Politiques climatiques de l'Union européenne et droits de l'homme*, Bruylant, 2013.

⁵ Discours de S. EXC. M. Hisashi Owada devant l'AGNU, 28 octobre 2010.

prix d'infrastructures adaptées... dans tous ces registres, les États doivent légiférer.

Le changement climatique ne va pas provoquer l'émergence d'un nouveau droit; il ne va probablement même pas impliquer la création de nouveaux instruments majeurs (même si l'invention des titres environnementaux a été particulièrement stimulante). En revanche, il est plus que probable qu'il va avoir comme effet de conduire à revisiter certaines notions, certains instruments, que le droit connaît. Pour déterminer quelles seront les institutions juridiques qui devront évoluer, il faut essayer d'adopter un point de vue global qui tâche de répondre à celui que les sciences, expérimentales ou humaines et sociales, posent sur ce phénomène. Il faut, par ailleurs, clarifier le jeu des acteurs qui est d'autant plus compliqué qu'il s'agit d'envisager un phénomène mondial imposant la mise en évidence de liens et d'interactions.

Il n'est pas possible, dans une contribution comme celle-ci, de se livrer à un inventaire exhaustif des notions pouvant être appelées à évoluer, mais il est évident que le phénomène ne peut pas être sans conséquences sur les prévisions des parties à un grand nombre de contrats, que la force majeure ne peut plus guère se penser comme hier, que les performances attendues des biens ou des organisations vont se trouver nécessairement affectées par ces phénomènes dont l'ampleur des conséquences est encore en partie ignorée. L'ampleur des conséquences du changement climatique est susceptible d'affecter une infinité de notions et on peut se demander si le verdissement de l'économie et de la croissance, au-delà de l'incantation, n'implique pas de les revisiter à la lumière d'une hypothèque environnementale désormais omniprésente.

Quelle entreprise peut prétendre ignorer l'impact de ses activités? Quel produit peut être dispensé d'un examen de son « empreinte carbone »? Quel marché, public ou privé peut être considéré comme sans lien avec des émissions encore si étroitement liées aux diverses activités? La crise climatique invite à regarder au-delà de ce qui a été si longtemps considéré comme évident et suffisant pour replacer l'ensemble des activités et des biens dans une vision d'ensemble où tout est lien, où ces liens concourent à accélérer ou ralentir une évolution que toutes les nations semblent résolues à combattre.

Certaines notions ne sortiront pas indemnes de l'examen auquel elles devront être soumises, d'autres révèlent d'ores et déjà leurs limites. Ainsi en va-t-il de celle – cruellement illustrée à l'heure où ces lignes sont écrites – de réfugiés. Le statut protecteur des réfugiés peut-il protéger les déplacés environnementaux? Très attendu, un arrêt du 20 juillet 2015⁶ de la Cour suprême de Nouvelle-Zélande a refusé de donner gain de cause à un ressortissant des îles Kiribati qui sollicitait, précisément, le statut de réfugié climatique. À la question posée, de savoir si une personne ayant fui son pays en raison des risques liés au climat pouvait bénéficier du statut de réfugié, la Cour a répondu négativement. Elle n'a cependant pas fermé absolument la porte dans la mesure où a été déterminant le fait que le demandeur ne risquait pas de dommage sérieux en rentrant aux Kiribati, même s'il y a des enjeux climatiques réels; et qu'il n'était pas établi que le gouvernement des îles Kiribati ne mettait pas

⁶ *Ioane Teitiota v the Chief Executive of the Ministry of Business, Innovation and Employment* [2015] Nzsc 107 [20 July 2015]

en œuvre les mesures nécessaires pour préserver ses ressortissants des dégradations environnementales. Au surplus, la Cour suprême néo-zélandaise note bien que son arrêt ne signifie nullement qu'une dégradation environnementale liée au changement climatique ou à une autre catastrophe naturelle ne pourrait jamais justifier l'application du statut de réfugié... Mais on perçoit qu'à nouveau les notions devront évoluer pour accueillir la réalité.

On ne peut échapper, lorsqu'on évoque le changement climatique sous l'angle du droit, à la question de la justice. Justice qui est liée aux relations entre les pays avec le désormais bien connu principe d'une responsabilité commune mais différenciée présent dans la Déclaration de Rio de 1992⁷. Il illustre le fait que dans l'ordre de la responsabilité, les pays développés sont davantage impliqués dans le phénomène que les pays émergents dont la contribution aux émissions de carbone est moins importante. Tous doivent participer à l'effort mais dans des proportions tenant compte de leurs contributions passées.

Mais au-delà des États, la problématique de la justice climatique est surtout celle rencontrée dans le constat selon lequel les personnes les plus exposées aux effets délétères du changement climatique sont les plus faibles, les plus pauvres, ceux qui n'ont pas les moyens

de faire face et de s'adapter. Que l'on pense aux déplacés environnementaux ou, plus largement, à tous ceux dont l'habitat est menacé, aux populations vivant dans des zones déjà très fragiles en raison de sécheresses endémiques ou d'expositions structurelles à des phénomènes climatiques extrêmes... et l'on comprend évidemment que si le phénomène est global, certains sont placés dans des situations beaucoup plus problématiques que d'autres. Par ailleurs, les sacrifices que demande l'objectif d'atténuation du changement climatique ne doivent évidemment pas être imposés seulement à ceux qui sont d'ores et déjà en position de fragilité par rapport à ses effets. C'est encore de justice qu'il est question lorsqu'il s'agit de faire en sorte que les pays les moins développés bénéficient de la transition sans (trop) subir les conséquences négatives qui y sont inéluctablement associées. Les coûts liés à la lutte contre le changement climatique n'ont également rien de communs pour les uns ou pour les autres. S'ils peuvent être relativement marginaux ici, leur importance peut-être considérable et dissuasive là. C'est la raison pour laquelle le « fonds vert » destiné à financer la transition vers une économie bas-carbone est au centre des débats.

La justice climatique peut aider à identifier tant ceux qui sont exposés, et qu'il convient de secourir, que ceux auxquels il est nécessaire de demander des comptes, de supporter des évolutions, les uns et les autres étant parfois les mêmes.

Le changement climatique tel qu'il est désormais perçu et montré par les scientifiques conduit à penser sous un nouveau jour les

⁷ Principe 7 : « Les États doivent coopérer dans un esprit de partenariat mondial en vue de conserver, de protéger et de rétablir la santé et l'intégrité de l'écosystème terrestre. Étant donné la diversité des rôles joués dans la dégradation de l'environnement mondial, les États ont des responsabilités communes mais différenciées. Les pays développés admettent la responsabilité qui leur incombe dans l'effort international en faveur du développement durable, compte tenu des pressions que leurs sociétés exercent sur l'environnement mondial et des techniques et des ressources financières dont ils disposent. »

responsabilités pouvant être mises en cause⁸. Il n'est pas encore question, ici, de voir l'État attiré devant des juridictions pour avoir tardé à agir ou avoir insuffisamment avancé dans la lutte contre ce phénomène; mais on sait que ce type de procédure ne relève plus de la seule fiction.

On connaît les difficultés qui s'opposent à une telle responsabilité, liées au fondement, à la causalité, à l'imputabilité d'un phénomène global à un acteur au champ d'action par hypothèse limité... elles sont bien réelles mais probablement pas insurmontables.

Comment, pourtant, ne pas être sensible à l'argument développé par la Cour internationale de justice dans son arrêt du 20 avril 2010, « Usines de pâte à papier » (§101) selon lequel « le principe de prévention, en tant que règle coutumière, trouve son origine dans la diligence requise ("due diligence") de l'État sur son territoire. Il s'agit de "l'obligation, pour tout État, de ne pas laisser utiliser son territoire aux fins d'actes contraires aux droits d'autres États"⁹. En effet, l'État est tenu de mettre en œuvre tous les moyens à sa disposition pour éviter que les activités qui se déroulent sur son territoire, ou sur tout espace relevant de sa juridiction, ne causent un préjudice sensible à l'environnement d'un autre État. La Cour a établi que cette obligation "fait maintenant partie du corps de règles du droit international de l'environnement"¹⁰¹¹ ». Si le rôle de l'activité

humaine dans le changement climatique est admis, on comprend que les États sont tenus dans les termes de cette décision puisque certaines émissions « causent un préjudice sensible à l'environnement ».

Dans la période récente, certains indices laissent à penser que le rapport du droit aux préoccupations climatiques est en train d'évoluer très fortement. Ainsi, depuis l'arrêt de la Cour suprême des États-Unis *Massachusetts vs Environmental Protection Agency* du 2 avril 2007¹², la Cour admet que les gaz à effet de serre sont des polluants, ce qui a permis de valider le principe d'une possible réglementation de leur émission par l'Agence fédérale de protection de l'environnement au titre du *Clean Air Act*. Le 23 juin 2014, un autre arrêt, *Utility Air Regulatory Group vs Environmental Protection Agency* a admis la possible intervention de l'agence dans la lutte contre le réchauffement climatique. En revanche, le 20 juin 2011, l'arrêt *American Electric Power vs Connecticut* a repoussé l'action engagée contre des industriels émetteurs par huit États et la ville de New York qui invoquaient la contribution des émissions industrielles en cause au changement climatique, la Cour renvoyant à la compétence de l'Agence de protection de l'environnement (EPA).

principes du droit international, les États ont le droit souverain d'exploiter leurs propres ressources selon leur propre politique d'environnement et de développement, et ont le devoir de faire en sorte que les activités exercées dans les limites de leur juridiction ou sous leur contrôle ne causent pas de dommage à l'environnement dans d'autres États ou dans des régions ne relevant d'aucune juridiction nationale ».

¹² M. Torre-Schaub, « Le rôle des incertitudes dans la prise de décision aux États-Unis. Le réchauffement climatique au prétoire », *RIDC*, 3-2007, p. 686.

Le 24 juin 2015, un tribunal de La Haye¹³, aux Pays-Bas, a retenu que l'État devait prendre davantage de mesures pour réduire les émissions de GES nationales et, d'ici 2020, les diminuer de 25 % par rapport à 1990. Bien que frappée d'appel, la décision est assez exemplaire dans la mesure où elle s'attache à développer une approche juridique et non politique de la situation et des obligations de l'État, regardé comme devant se saisir de la situation dans le cadre de ses obligations de prendre soin, protéger et améliorer l'environnement. Le tribunal (faisant référence notamment à la Constitution des Pays-Bas, au droit de l'Union européenne, à la CCNUCC et ses COP, et à la convention EDH) considère que les coûts des mesures nécessaires ne sont pas d'une importance inacceptable et repousse l'argument de la complexité causale pour retenir que dans la mesure où toutes les émissions contribuent au phénomène, les Pays-Bas doivent, en tout état de cause, contribuer aux réductions d'émissions pour prévenir les dangers liés au changement climatique¹⁴.

¹³ The Hague District Court, Chamber for Commercial Affairs, 24 June 2015, *Urgenda foundation vs the State of the Netherlands* : n° C/09/456689 / HA ZA 13-1396; voir E. Canal-Forgues et C. Perruso, « La lutte contre le changement climatique en tant qu'objet juridique identifié? », *Énergie - Environnement - Infrastructures*, 2015, comm. 72.

¹⁴ Voir not. \$4.89 : « The court finds as follows. It is an established fact that climate change is occurring partly due to the Dutch greenhouse gas emissions. It is also an established fact that the negative consequences are currently being experienced in the Netherlands, such as heavy precipitation, and that adaptation measures are already being taken to make the Netherlands "climate-proof". Moreover, it is established that if the global emissions, partly caused by the Netherlands, do not decrease substantially, hazardous climate change will probably occur. In the opinion of the court, the possibility of damages for those whose interests Urgenda represents,

D'autres décisions sont beaucoup plus mesurées; ainsi cet arrêt de la Cour suprême des États-Unis qui, le 28 juin 2015¹⁵, a considéré que l'EPA ne pouvait imposer aux centrales à charbon des normes d'émission vues comme contraires au *Clean Air Act* car la réglementation ne serait ni appropriée ni nécessaire. La Cour considère que l'agence ne pouvait imposer des mesures très contraignantes (et d'ailleurs largement anticipées par les entreprises concernées) représentant un coût trop élevé et souligne que le processus adopté par l'agence doit être logique et rationnel. L'EPA avait considéré la réglementation litigieuse appropriée dans la mesure où il s'agissait de se saisir de risques mal appréhendés par le droit préexistant et que les substances concernées posaient des risques pour la santé publique et l'environnement alors qu'il était possible de les encadrer. Le piège de l'analyse résidait dans le fait que le coût estimé de cette règle l'était aux alentours de 9,6 milliards de dollars par an tandis que le bénéfice présenté était évalué entre 4 et 6 milliards par an. Que penser de l'affirmation selon laquelle il n'est pas raisonnable ni approprié d'imposer des mesures représentant des coûts de plusieurs milliards pour un bénéfice de quelques dollars pour la santé et l'environnement?

L'argument du coût des mesures induites par la réforme projetée a été déterminant, manifestant de façon éclatante les errances d'une analyse économique qui repose sur des

including current and future generations of Dutch nationals, is so great and concrete that given its duty of care, the State must make an adequate contribution, greater than its current contribution, to prevent hazardous climate change. »

¹⁵ *Michigan et al. voir Environmental Protection Agency et al.*, No. 14-46.

⁸ Y. Kerbrat, « Réchauffement climatique : tous responsables! », *Droit de l'environnement*, 2015, 233, p. 122.

⁹ *Détroit de Corfou (Royaume-Uni c. Albanie)*, fond, arrêt, C.I.J. Recueil 1949, p. 22.

¹⁰ Licéité de la menace ou de l'emploi d'armes nucléaires, avis consultatif, C.I.J. Recueil 1996 (I), p. 242, par. 29.

¹¹ Comp. avec le préambule de la CCNUCC de 1992 : « conformément à la Charte des Nations unies et aux

analyses partielles et discutables. L'arrêt a au moins le mérite insigne de manifester qu'il n'est pas possible d'en rester là et de solliciter la crédibilité et la fiabilité des modèles visant à évaluer les coûts, tant induits qu'évités par les mesures environnementales. L'affirmation selon laquelle il faut évaluer le coût des normes avant de les adopter est incontestable, encore faut-il disposer d'instruments indiscutables pour procéder à cette évaluation, et tenir compte de l'ensemble des coûts pris en considération (ce que soulève l'opinion dissidente).

Un groupe de juristes spécialisés dans ces questions a proposé le 1^{er} mars 2015 les « Principes d'Oslo sur les obligations globales pour le changement climatique » présentant l'intérêt de s'adresser à la fois aux États et aux entreprises et cherchant à exprimer leurs obligations de « défendre et de protéger le climat de la Terre et de sa biosphère » et les moyens à mettre en œuvre. Présentés comme les gardiens de la Terre, les être humains y sont vus comme ayant un devoir essentiel « de préserver, protéger et soutenir la biosphère et l'entière diversité de vie dans son intérieur » ; devoir apprécié dans une perspective ancrée dans le principe de précaution. Supplétifs, les principes d'Oslo sont dépourvus de toute force contraignante mais tendent à proposer un standard minimal stimulant ; ils développent une analyse dynamique des obligations des États et des entreprises qui sont vus comme ayant l'obligation de prendre des mesures de nature à limiter le réchauffement en deçà de 2° C. Outre des pistes très pratiques, il y est indiqué que les États et les entreprises devraient s'abstenir de développer de nouvelles activités émettrices de gaz à effet de serre si elles ne sont pas indispensables. Pour ce qui est des États, les principes s'inscrivent dans la logique

des responsabilités communes mais différenciées et les considérations économiques, si elles sont prises en compte, ne sont pas considérées comme autorisant un État à ne pas respecter ses obligations.

Pour les entreprises, l'idée développée est qu'elles doivent évaluer leur vulnérabilité face au changement climatique, les conséquences financières qu'il peut avoir pour elles et les mesures prises pour accroître leur résilience. Les principes d'Oslo suggèrent que les entreprises doivent divulguer publiquement ces informations à leurs Stakeholders, notamment les investisseurs, clients et autorités de régulation financière. Dans la ligne de la finance conséquentialiste¹⁶ ou *impact investing*, les principes recommandent aux entreprises liées à la production d'énergie fossile d'évaluer l'impact des restrictions prévisibles liées à l'emploi de cette énergie sur leur situation financière, et de diffuser cette évaluation. Est également promue la prise en compte des gaz à effet de serre par les entreprises des secteurs bancaire et financier.

LE SAISISSEMENT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE PAR LE DROIT

Le droit doit évidemment être sollicité au soutien du saisissement des enjeux climatiques par les acteurs non étatiques pour leur permettre de s'appropriier avec toute la sécurité requise les thèmes liés notamment aux enjeux énergétiques et, plus largement, environnementaux. Trop souvent encore on peut

¹⁶ Voir « Chronique : entreprise et développement durable » (2^e partie), *Énergie - Environnement - Infrastructures*, 2015, 4.

constater que des solutions néfastes prospèrent sur l'ignorance ou sur l'indifférence, l'une et l'autre n'étant plus admissibles. L'ouverture aux acteurs non étatiques suppose toutefois, notamment, de régler la question de l'intérêt à agir de ces acteurs dans le cadre de contentieux portant sur le changement climatique¹⁷

Dans l'avant-projet de document final du sommet des Nations unies en vue de l'adoption du programme de développement pour l'après-2015, disponible lorsque ces lignes sont écrites, les États affichent leur détermination « à agir face à la menace posée par les changements climatiques et la dégradation de l'environnement ». Le document souligne que « la nature globale du changement climatique nécessite une coopération internationale la plus large possible pour accélérer la réduction des émissions mondiales de gaz à effet de serre ». L'objectif 13, tel qu'il se dégage des travaux préparatoires, devrait viser à « prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions » en renforçant la résilience et les capacités d'adaptation face aux aléas climatiques et aux catastrophes naturelles liées au climat ; en incorporant des mesures relatives aux changements climatiques dans les politiques, les stratégies et la planification nationales ; et en améliorant l'éducation, la sensibilisation et les capacités individuelles et institutionnelles en ce qui concerne l'adaptation aux changements climatiques, l'atténuation de leurs effets et la réduction de leur impact

¹⁷ Voir le rapport 2015 de la Commission environnement du Club des juristes « Renforcer l'efficacité du droit international de l'environnement. Devoirs des États, droits des individus ».

et les systèmes d'alerte rapide. Pour ce faire, les pays développés devraient effectivement « mobiliser ensemble auprès de multiples sources 100 milliards de dollars par an d'ici à 2020 pour répondre aux besoins des pays en développement » (fonds vert) et promouvoir des mécanismes de renforcement des capacités, notamment en matière de planification et de gestion pour faire face aux changements climatiques. On voit que le programme est parfaitement en phase avec les objectifs de la COP21 et les insère dans un cadre plus vaste, celui du développement durable global.

Le changement de paradigmes qu'implique l'effort commun évoqué doit trouver sa traduction dans l'ensemble des champs du droit¹⁸... ainsi une solution qui n'est pas respectueuse de l'environnement, qui est dispendieuse en énergie ou très émissive devrait être nécessairement vue comme posant des difficultés ; ainsi, l'ensemble des activités économiques devraient-elles pouvoir être examinées à la lumière de cette empreinte carbone que l'on sait désormais calculer. Il s'agit rien de moins que de mettre en lumière et de placer au centre des enjeux ce qui a si longtemps été ignoré, caché et méprisé... L'analyse nous dit désormais, et de plus en plus clairement, que l'environnement est partie intégrante de toutes nos activités. Le climat est affecté par tant de choses dans l'examen desquelles on ne s'en soucie pas. L'un des défis évident est de dépasser ce constat et de faire de la dimension environnementale, de la dimension climatique, une caractéristique essentielle de tout bien ou

¹⁸ Voir, après les lois « Grenelle », l'ampleur de la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte.

service, comme, au demeurant, de la dimension sociale qui en est – on le réalise de plus en plus –, indissociable.

S'il ne fait aucun doute que les États, comme les autres sujets de droit, doivent mettre en œuvre les mesures de prévention nécessaires pour éviter l'accroissement du changement climatique, il subsiste bien des marges d'incertitudes. Celles-ci ne sont toutefois pas réhibitoires, et l'on sait que la CCNUCC a explicitement entendu placer la lutte contre le changement climatique sous le signe du principe de précaution en précisant qu'il incombe aux États « de prendre des mesures de précaution pour prévoir prévenir ou atténuer les causes des changements climatiques et en limiter les effets néfastes¹⁹ ».

Incontestablement, le principe de précaution, articulé avec le principe de prévention et dans le cadre plus général du développement durable, impose de se saisir de situations dans lesquelles les risques ne sont pas encore connus avec une certitude absolue, pour peu que l'on dispose d'éléments scientifiques suffisamment circonstanciés permettant de conclure à leur plausibilité. En matière de changement climatique il est difficile de considérer que les débats subsistant sur la causalité du phénomène pourraient permettre de différer l'action alors que ses conséquences sont parmi les plus graves qui se puissent rencontrer.

¹⁹ La CCNUCC précise : « Quand il y a risque de perturbations graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour différer l'adoption de telles mesures, étant entendu que les politiques et mesures qu'appellent les changements climatiques requièrent un bon rapport coût-efficacité, de manière à garantir des avantages globaux au coût le plus bas possible... »

À côté des travaux sur l'atténuation du changement qui se manifestent principalement autour de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la préoccupation de l'adaptation au réchauffement constaté occupe une place croissante. C'est au titre de l'adaptation que la prise en compte des « pertes et dommages » prend un sens tout particulier puisqu'il s'agit, dans la perspective ouverte dès la conférence de Bali en 2007, et souvent réaffirmée, de contribuer à la prise en charge des effets du changement climatique (événements extrêmes ou phénomènes lents : élévation du niveau de la mer, désertification, acidification). Cet aspect de la réponse au changement climatique est particulièrement important pour certains États exposés (notamment insulaires ou côtiers) et est omniprésent dans les préparatifs de la COP21. D'ailleurs les allocations de fonds par le « fonds vert » devraient être réalisées de manière paritaire entre les mesures d'atténuation et celles d'adaptation au changement, pour répondre à cette logique de prise en compte des « pertes et dommages ».

Parmi les enjeux identifiés dans le cadre de la préparation de la COP21, le consensus semble se dégager autour de certains outils économiques tels que la fixation d'un prix du carbone avec le recours à des instruments de marché. Le fait est que la généralisation de la fixation d'un prix pour le carbone permettrait de rendre visible certains coûts environnementaux et climatiques dans le prix des produits et des services dans lesquels il est présent mais dissimulé. Il s'agit bien de donner un prix au carbone pour que tous les acteurs en prennent conscience et mettent en œuvre des stratégies d'économies, notamment en privilégiant des technologies faiblement émettrices.

Le recours aux instruments de marché dans cette perspective n'est pas une innovation considérable et l'on sait que l'Union européenne a mis au point un tel marché dans le cadre de la mise en œuvre du protocole de Kyoto avec le système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne (SEQE-UE)²⁰; de manière plus nouvelle on voit des aires traditionnellement plus réservées, en Chine ou en Amérique du Nord notamment, qui sont désormais disposées à se saisir de cette question pour promouvoir de tels instruments²¹. À nouveau, on relèvera que si ces instruments peuvent en effet être intéressants, c'est à la condition d'être rigoureusement encadrés et que les marchés sur lesquels les négociations auront vocations à intervenir soient, ou soient encadrés comme le sont, les marchés financiers. On sait le mal que certains scandales, que certaines pratiques ont pu faire au marché européen; on sait que le marché européen a beaucoup souffert des excédents de quotas qui ont conduit à une faiblesse structurelle, renforcée par la crise économique. Rien ne serait pire que d'étendre à la planète entière des dysfonctionnements qui

²⁰ Pour une présentation du droit de l'Union européenne, on renverra notamment à P. Thieffry, *Droit de l'environnement de l'Union européenne*, 2^e éd., Bruylant. Voir not. Directive 2009/29/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009 modifiant la directive 2003/87/CE afin d'améliorer et d'étendre le système communautaire d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre; Communication du 16 avril 2013 Stratégie de l'UE relative à l'adaptation au changement climatique COM(2013) 216 final.

²¹ K. Daugirdas et J. Davis Mortensen, « United States and China Make Joint Announcement to Reduce Greenhouse Gas Emissions, Bolstering Multilateral Climate Change Negotiations », *American Journal of International Law*, 2015, p. 195.

feraient perdre toute crédibilité à des marchés déjà suspects à beaucoup parce que verts.

Il y a bien des manières d'envisager le financement des mesures de lutte contre le changement climatique. Si logiquement on insiste sur le « fonds vert » qui devrait être doté de moyens importants, il est néanmoins certain que la part la plus grande des moyens alloués à cette question relèvera non pas tant du secteur public que des acteurs privés. Les objectifs ambitieux ne pourront, en effet, être atteints que s'ils suscitent l'adhésion du plus grand nombre et sont servis par un mouvement très large de réallocation des dépenses et des investissements. L'enjeu est ici de déterminer dans quelle mesure les individus et les entreprises sont disposés à privilégier des produits et services conçus en intégrant cette dynamique climatique ou non; dans quelle mesure les investisseurs sont prêts à privilégier des cibles d'investissement qui se positionnent clairement dans une démarche de diminution des émissions de gaz à effet de serre; dans quelle mesure le droit des marchés publics, notamment, est prêt à consacrer le lien substantiel entre le climat et tout objet ou service relevant de la commande publique. Jusqu'à il y a peu cela pouvait sembler assez illusoire tant l'injonction de la rentabilité semblait seule audible, tant le rapport au coût s'accommodait de la dissimulation de sa composante environnementale.

Il est possible que les choses changent, et le mouvement récent en faveur du désinvestissement des énergies fossiles l'illustre. Il ne s'agit pas d'interdire les activités émettant du carbone mais progressivement de privilégier celles qui adoptent un comportement assumé de maîtrise des émissions ou de réorientation de l'activité vers des pratiques décarbonées.

L'essor des énergies renouvelables en donne une illustration, mais on pourrait en trouver beaucoup d'autres dans des secteurs tels que la construction ou les transports.

L'intérêt de ce constat, et les entreprises le comprennent de mieux en mieux, c'est qu'il s'agit en fait d'une révolution technologique nécessairement créatrice de valeur. Il n'est donc évidemment ni irrationnel, ni contraire à l'intérêt bien compris des investisseurs d'aller dans ce sens et de pousser les sociétés dans lesquelles ils s'engagent à le faire.

L'un des enjeux liés au changement climatique est de parvenir à une économie bas-carbone en diminuant très considérablement les émissions de CO₂ auxquelles le phénomène est assez largement imputé. Ceci va nécessairement avoir des conséquences dans la mesure où il s'agit rien de moins que de modifier en profondeur, et assez radicalement, des secteurs aussi importants que l'énergie, bien sûr, mais aussi les transports, le bâtiment ou encore les infrastructures et l'aménagement du territoire, l'agriculture... De manière moins évidente mais tout aussi importante, il faut souligner qu'il existe une mine considérable d'évolutions autour, notamment, des structures économiques et/ou juridiques qui entraînent des effets que l'on peut considérer comme contraire aux objectifs de réduction du changement climatique; la fiscalité est, à cet égard, exemplaire²².

L'un des objectifs, une fois le consensus dégagé, sera de faire intervenir la norme pour permettre, plus efficacement que par le seul jeu du marché, mais en s'articulant avec les règles du marché, d'orienter les actions des

différents acteurs, publics comme privés, vers des solutions qui se traduisent par une réduction importante des émissions. La problématique de la mise en place d'un marché du carbone efficient participe de cette évolution qui doit accompagner la décline des techniques et comportement à fortes conséquences et l'essor de ceux qui vont dans le sens d'une économie à faible empreinte carbone.

On ne peut dissocier le saisissement du changement climatique par le droit et les droits de l'homme.

Comment, en effet, ne pas être troublé par l'affirmation, par la jurisprudence de la Cour européenne des droits de l'homme, de l'existence d'un droit à un environnement sain qui suppose des obligations positives pesant sur les États. On rappellera particulièrement que l'arrêt *Boudaïeva c. Russie* du 20 mars 2008²³ a souligné – à propos de coulées de boue – que « rien ne justifie le manquement des autorités à mettre en œuvre des politiques d'aménagement du territoire et de secours d'urgence dans la zone à risques [...] au regard du danger prévisible qui pesait sur la vie de ses habitants », et admet le lien de cause à effet entre les graves carences administratives à l'origine de ce défaut de mise en œuvre et le décès de victimes de ces coulées, et conclut à la violation du droit à la vie garanti par l'article 2 de la Convention.

On soulignera plus encore la force de l'arrêt *Tatar c. Roumanie*²⁴ qui, le 27 janvier 2009, a souligné que l'absence de certitude ne doit pas dissuader les États d'agir dès lors qu'existent des « éléments statistiques suffisants et

convaincants » (§105) et que « l'existence d'un risque sérieux et substantiel pour la santé et pour le bien-être... fai[t] peser sur l'État l'obligation positive d'adopter des mesures raisonnables et adéquates capables de protéger les droits des intéressés au respect de leur vie privée et leur domicile et, plus généralement, à la jouissance d'un environnement sain et protégé » (§107 et 112). Comment ne pas être saisi du fait que ces expressions, forgées dans un contentieux lié à une pollution chimique, sont susceptibles de s'appliquer aux enjeux climatiques. Évidemment, la responsabilité en matière de changement climatique est certainement partagée; est-ce une raison pour exclure que l'on puisse aller au-delà du constat, vers la formulation d'une véritable obligation d'agir? Il est permis d'en douter.

De nombreux travaux ont souligné les liens entre les droits de l'homme et l'environnement et, à ce titre, on peut évoquer le projet de déclaration de principes sur les droits de l'homme et l'environnement de 1994²⁵, retenant à la fois le droit de ne pas être soumis à la pollution, à la dégradation de l'environnement ni à des activités ayant des effets nuisibles sur l'environnement et mettant en péril la vie, la santé, le mode de vie, le bien-être ou le développement durable, à l'intérieur, à travers ou à l'extérieur des frontières nationales (§5) et le droit à la protection et à la préservation de l'air, du sol, des eaux, de la banquise, de la flore et de la faune, et aux processus essentiels et aux espaces nécessaires au maintien de la diversité biologique et des écosystèmes (§6), tous deux

très directement menacés au titre des effets du changement climatique.

La résolution « 7/23, Droits de l'homme et changements climatiques » du Conseil des droits de l'homme de l'ONU, en 2008, a considéré que les changements climatiques font peser une menace immédiate et de grande ampleur sur les populations et les communautés de par le monde et ont des répercussions sur la jouissance effective des droits de l'homme. Le rapport du 15 janvier 2009 présenté à l'Assemblée générale de l'ONU sur les liens entre les changements climatiques et les droits de l'homme²⁶ insiste sur le fait que le réchauffement de la planète est susceptible d'avoir des incidences sur l'ensemble des droits fondamentaux et notamment le droit à la vie²⁷, le droit à l'alimentation, le droit à l'eau, le droit à la santé, le droit à un logement convenable, le droit à l'autodétermination... il considère toutefois comme douteux « qu'un particulier puisse tenir un État responsable d'une atteinte à ses droits imputable aux changements climatiques ». Cependant il admet que des tribunaux et des organes quasi judiciaires créés en vertu d'instruments internationaux relatifs aux droits de l'homme pourraient être appelés à examiner des affaires portant sur une atteinte à l'environnement imputée aux changements climatiques. La résolution 10/4 du Conseil des droits de l'homme adopte ces conclusions le 25 mars 2009 dans une analyse confirmée en 2011²⁸.

²⁶ A/HRC/10/61.

²⁷ « Plusieurs effets observés ou attendus des changements climatiques constitueront des menaces directes ou indirectes pour la vie humaine... »

²⁸ A/HRC/18/L.26/Rev.1 28 septembre 2011; voir également C. Devandas Aguilar, J. H. Knox, Ph. Alston,

²² G. Sainteny (dir.), *Les aides publiques dommageables à la biodiversité* (2011) : startegie.gouv.fr.

²³ Requêtes nos 15339/02, 21166/02, 20058/02, 11673/02 et 15343/02, § 158.

²⁴ Requête n° 67021/01.

²⁵ Voir F. Z. Ksentini, « Droits de l'homme et environnement », Rapport à la commission des droits de l'homme, 6 juillet 1994 : E/CN.4/Sub.2/1994/9.

Le 2 juillet 2015, le Conseil des droits de l'homme a adopté une résolution, intitulée « Droits de l'homme et changements climatiques²⁹ », constatant que les changements climatiques contribuent à des phénomènes qui ont des effets néfastes sur la pleine jouissance de tous les droits de l'homme. L'affirmation est importante, car elle va bien dans le sens de l'affirmation de la pertinence du lien entre changement climatique et droits de l'homme : pour le Conseil, il y a une « nécessité pressante de remédier, dans l'optique des obligations relatives aux droits de l'homme qui incombent aux États, aux conséquences défavorables des changements climatiques pour tous... ». C'est très provisoirement la dernière étape d'un processus qui consacre bien le caractère fondamental de cette question³⁰.

S'il ne s'agit évidemment pas de prohiber toute atteinte à l'environnement ou toute activité nocive, il apparaît bien que les États doivent rechercher un juste équilibre entre la promotion de l'économie ou du bien-être et la protection de l'environnement, et doivent mettre en place des cadres juridiques et institutionnels propres à assurer une protection

contre les dommages environnementaux qui entravent l'exercice des droits de l'homme³¹. Certaines prises de positions relatives à cette question semblent apocalyptiques et l'on ne peut se retenir de redouter la grandiloquence de l'évocation de la menace à la survie de l'espèce humaine, des famines, crises et conflits associés au changement climatique. Vues des Philippines, des îles Tuvalu ou Kiribati, d'Afrique, du Bangladesh ou plus récemment de Californie, les manifestations de ce que l'on appellera peut-être un jour l'« horreur climatique » ont bien des aspects exorbitants par leurs coûts économiques. Mais infiniment plus graves sont leurs coûts humains. Il y a là, bien sûr, un argument essentiel de motivation en vue d'un succès de la COP21. Les forces de destruction qui sont liées à ces phénomènes sont telles qu'il serait plus que déraisonnable de ne pas courir la chance de les enrayer. Il y a un lien essentiel entre les droits de l'homme et les changements climatiques et l'on peut y trouver une motivation importante pour se doter d'outils, y compris juridiques, permettant de tendre vers un développement authentiquement durable.

L. Heller et V. Dandan, *The Effects of Climate Change on the Full Enjoyment of Human Rights*, 30 April 2015.

²⁹ A/HRC/29/L.21.

³⁰ Voir également le rapport de synthèse établi par le Haut-Commissariat des Nations unies aux droits de l'homme sur les droits de l'homme et les changements climatiques, A/HRC/29/19, distr. 1^{er} mai 2015.

³¹ V.J. Knox, Rapport sur les obligations relatives aux droits de l'homme se rapportant aux moyens de bénéficier d'un environnement sûr, propre, sain et durable (A/HRC/25/53).

DÉCOURAGER LA POLLUTION SANS AGGRAVER LES INÉGALITÉS

**MIREILLE CHIROLEU-ASSOULINE ■
MOUEZ FODHA**

Quel serait l'instrument économique le plus approprié pour lutter efficacement contre le changement climatique ? Cette question reste d'actualité puisque la mise en œuvre du système communautaire d'échange de quotas d'émissions (SCEQE, dit « marché des permis ») prête le flanc à de nombreuses critiques. La plus grave concerne l'influence qu'exerceraient les grosses entreprises des secteurs soumis aux quotas (production d'énergie, automobile et ciment) sur la quantité des permis distribués. Au cours des premières phases du SCEQE, les permis avaient en effet été alloués en quantité excessive, ce qui avait conduit à un prix de marché du carbone trop faible pour encourager efficacement l'innovation nécessaire à la réalisation des objectifs d'émission visés dans le cadre du protocole de Kyoto. Cette défaillance, induite par la construction même du marché des permis, donne de nouveaux arguments aux partisans des taxes environnementales.

Suivant l'exemple des pays scandinaves, la France a mis en œuvre en 2014 une taxe carbone à un taux appelé à croître au cours du temps (7 € par tonne de CO₂ émise en 2014, 14,50 € en 2015). Mais la discrétion

entretenu autour de son introduction (grâce à la compensation complète la première année et à un effet très faible sur les prix), la vivacité des débats autour de la taxe poids lourds (dite aussi « écotaxe ») – finalement abandonnée malgré les contrats signés et de lourds investissements – sont autant de témoignages de la prudence des gouvernements face à l'hostilité de l'opinion publique et aux difficultés législatives et pratiques.

À l'instar des marchés de permis d'émission négociables, une taxe environnementale permet en théorie, et en l'absence d'incertitude, d'atteindre tout objectif donné de qualité de l'environnement en minimisant les coûts économiques. L'un des avantages de cette taxe est qu'elle procure des recettes publiques qui peuvent être redistribuées. C'est l'une des raisons pour lesquelles la taxe peut être préférée au versement de subventions ou aux quotas d'émission lorsque ceux-ci sont distribués gratuitement. Il a été avancé que, si l'État utilise ces recettes pour diminuer d'autres impôts, une taxe environnementale peut à la fois améliorer la qualité de l'environnement (dividende environnemental) et permettre de réduire les distorsions fiscales existantes (dividende d'efficacité

du système fiscal) : un *double dividende* est alors obtenu. Ceci peut constituer un argument solide en faveur d'un verdissement de la fiscalité. Mais l'un de ses inconvénients est que, comme toute taxe sur la consommation, c'est souvent une taxe régressive, c'est-à-dire une taxe pesant proportionnellement davantage sur les ménages pauvres que sur les riches. Quelles sont les conséquences en termes d'inégalités de la mise en œuvre d'une taxe carbone? Cette question est évidemment cruciale dans la mesure où l'acceptabilité d'une politique fiscale de lutte contre les pollutions serait remise en cause de façon drastique s'il était prouvé qu'elle ne peut qu'aggraver les inégalités.

De façon assez surprenante, même si la littérature a scruté en détail la question du double dividende, elle avait jusqu'ici négligé les aspects concernant la répartition. Or, il est vraisemblable que les coûts et les bénéfices des politiques environnementales sont inégalement distribués entre les agents. D'une part, les riches et les pauvres n'attribuent pas la même priorité à la protection de l'environnement, les plus riches ayant en général un consentement à payer plus fort pour l'amélioration de la qualité de leur environnement. D'autre part, on peut déduire des études existantes sur la régressivité des impôts indirects que toute politique fiscale environnementale serait également régressive. Dans le cas français, une taxe portant sur les achats d'énergie ou de carburants affecte relativement trois fois plus les ménages appartenant au premier décile de revenus que ceux appartenant au dixième décile (Ruiz et Trannoy [2008]¹). De

même, dans le cas du Danemark, Wier et al. [2005]² démontrent les effets régressifs de la taxe sur le dioxyde de carbone (CO₂) qui assure 10 % des recettes fiscales totales.

Des articles récents visent à intégrer ces éléments. Nos travaux³ cherchent à concilier les objectifs de double dividende avec les critères d'équité. Ils permettent d'aller au-delà des résultats usuels de cette littérature où le dividende d'efficacité ne peut être atteint qu'au détriment d'un groupe d'agents qui doit supporter la charge de la taxe. Ces travaux, en prenant en considération les propriétés d'hétérogénéités des agents (en âge et en revenus notamment), introduisent un critère d'acceptabilité à l'unanimité (l'amélioration au sens de Pareto : le bien-être de chaque agent ne doit pas être dégradé, voire devrait s'améliorer pour certains) pour la mise en œuvre de la mesure fiscale. La puissance publique poursuit ainsi trois objectifs : la qualité de l'environnement, l'efficacité économique et la Pareto-amélioration. Cet objectif triple nécessite donc trois instruments : la taxe environnementale, la taxe sur les salaires et l'indice de progressivité fiscale. Nous montrons alors que les propriétés redistributives de la fiscalité sur les revenus sont un outil de correction des distorsions sociales induites par la politique fiscale environnementale. Cette dernière consiste ainsi en

² M. Wier, K. Birr-Pedersen, H.K. Jacobsen et J. Klok, « Are CO₂ Taxes Regressive? Evidence from the Danish Experience », *Ecological Economics*, 52 (2005).

³ M. Chiroleu-Assouline et M. Fodha, « Environmental Tax and the Distribution of Income among Heterogeneous Workers », *Annales d'économie et statistiques*, 103-104 (2011); « Verdissement de la fiscalité : à qui profite le double dividende? », *Revue de l'OFCE*, 116 (2011); « From Regressive Pollution Taxes to Progressive Environmental Tax Reforms », *European Economic Review*, 69 (2014).

la mise en place d'une fiscalité carbone dont les recettes sont recyclées par une baisse non linéaire de l'impôt sur le revenu. Ce mode de redistribution des recettes fiscales repose sur une combinaison fine entre la réduction du taux d'imposition de la première tranche de l'impôt sur le revenu (ce qui bénéficie à tous les agents⁴) et une hausse du taux des tranches supérieures (dont le coût sera supporté par les hauts revenus). Ce dernier mécanisme permet de compenser le caractère régressif de la fiscalité carbone.

Avec la crise économique, et à la lumière des travaux de T. Piketty, le débat sur la taxation et les inégalités intra et intergénérationnelles

s'est élargi à l'ensemble du système fiscal, à la dette publique et au financement des pensions de retraite. Et si l'on considère conjointement les coûts de long terme impliqués par le vieillissement de la population française et les bénéfices potentiels d'une régulation environnementale plus exigeante, il semble particulièrement pertinent de promouvoir une réforme ambitieuse de la fiscalité englobant aussi bien la fiscalité environnementale que l'impôt sur le revenu, les prélèvements sociaux et le financement des retraites.

¹ N. Ruiz et A. Trannoy, « Le caractère régressif des taxes indirectes : les enseignements d'un modèle de microsimulation », *Économie et statistique*, 413 (2008).

⁴ Pour les ménages non assujettis à l'impôt, la baisse du taux de base correspond à une subvention.

LE GAZ DE SCHISTE A-T-IL UN RÔLE À JOUER DANS LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE?

FANNY HENRIET ■ KATHELINE SCHUBERT

En France, la loi Jacob du 13 juillet 2011 interdit la fracturation hydraulique¹. Cette loi a conduit à annuler des permis d'exploration accordés antérieurement, et, suite à la plainte de l'une des entreprises concernées (l'américain Schuepbach), la Cour constitutionnelle a confirmé l'interdiction d'exploration le 8 octobre 2013. Le président François Hollande a par ailleurs affirmé que la France n'autoriserait pas l'exploration du gaz de schiste tant qu'il serait en fonction. Cette position, soutenue par une majorité de la population², peut sembler déroutante à un moment où la France tente de réduire sa dépendance à l'énergie nucléaire tout en contenant l'augmentation du prix de l'électricité. Elle est en opposition complète avec l'enthousiasme qu'a provoqué l'exploitation du gaz de schiste aux États-Unis.

L'interdiction d'exploitation du gaz de schiste repose sur deux types d'arguments environnementaux forts, qu'il convient d'examiner attentivement. Tout d'abord, la technologie

d'extraction employée, la fracturation hydraulique, est susceptible de provoquer de nombreux dommages environnementaux locaux. Elle repose sur l'injection d'eau, de sable et de produits chimiques sous haute pression à grande profondeur pour libérer le gaz piégé dans la roche. L'élimination des fluides de fracturation et la fuite accidentelle de ces fluides dans le sous-sol sont susceptibles de polluer respectivement les eaux de surface et les nappes phréatiques. On soupçonne l'injection d'eau à haute pression de provoquer des vibrations sismiques. Enfin, les paysages sont gravement altérés par les exploitations (puits, transport...). Le deuxième argument repose sur le fait qu'investir dans l'extraction du gaz de schiste va avoir pour effet de retarder la transition vers une énergie propre renouvelable. Il s'agirait d'arrêter d'utiliser les énergies fossiles au plus vite, pas d'en développer de nouvelles! Les partisans du gaz de schiste répondent à cet argument que le gaz naturel est moins polluant, en termes d'émissions de CO₂, que les autres combustibles fossiles (pétrole, charbon), et que sa substitution au charbon et au pétrole devrait donc être encouragée pour lutter contre le réchauffement climatique. Selon le Fonds monétaire international (2014) :

¹ Article L. 110-1 du Code de l'environnement.

² Sondage IFOP, 13 septembre 2012 : 74 % des sondés sont opposés à l'exploitation du gaz de schiste; étude BVA, 2 octobre 2014 : 62 %. Il est intéressant de noter que ceci est supérieur à l'opposition à l'énergie nucléaire de la population française.

« Le gaz naturel est, parmi les combustibles fossiles (pétrole, charbon), la source d'énergie la moins émettrice de CO₂ [...]. L'abondance de gaz naturel pourrait ainsi fournir un pont entre la situation présente en termes de mix énergétique mondial et un avenir plein d'espoir qui impliquerait principalement les sources d'énergie renouvelables. »

Alors quelle stratégie adopter ? L'objectif de nos travaux³ est d'évaluer si les préoccupations climatiques peuvent justifier le développement du gaz de schiste. Le premier constat est que le gaz de schiste peut effectivement permettre de réduire les émissions de CO₂, mais à la condition d'un accord mondial sur le climat. Sans un tel accord, l'utilisation de gaz de schiste pourrait ne faire que déplacer les émissions de CO₂ : le charbon qui n'est pas utilisé en Europe ou aux États-Unis le serait ailleurs, dans des pays qui ne se soucient pas de leurs émissions de CO₂. Extraire le gaz de schiste conduirait alors simplement à accroître la quantité totale d'hydrocarbures disponible, et donc les émissions de CO₂. Dans une telle situation, les émissions de CO₂ diminueraient bien dans les pays qui remplacent le charbon par du gaz de schiste, mais cela ferait baisser le prix du charbon, et donc augmenter son utilisation dans le reste du monde, et finalement augmenter les émissions mondiales de CO₂.

Nous étudions également l'arbitrage potentiel entre le développement du gaz de schiste et la transition vers une énergie propre, en prenant en compte à la fois le dommage environnemental local directement lié

à la technique d'extraction, le dommage climatique global, et les contraintes financières auxquelles sont soumis les gouvernements. Quelle que soit l'ampleur du dommage local causé par l'extraction du gaz de schiste, un resserrement de la politique climatique, via un objectif de réduction drastique des émissions de CO₂, devrait toujours conduire à une transition vers une énergie propre renouvelable plus rapide. En revanche, l'effet d'un objectif de réduction drastique des émissions de CO₂ sur la quantité de gaz de schiste à extraire est ambigu, et dépend des niveaux des dommages associés à l'extraction et au réchauffement climatique. Tant que le dommage local causé par l'extraction reste élevé, on devrait extraire peu, voire pas, de gaz de schiste ; cependant, si la baisse des émissions de CO₂ à réaliser est très importante, il semble nécessaire d'extraire le gaz de schiste afin de remplacer le charbon, en attendant la généralisation des énergies renouvelables. En présence d'une contrainte sur les dépenses énergétiques, c'est-à-dire quand le gouvernement souhaite atteindre son objectif de réduction des émissions sans alourdir la facture énergétique, le dommage environnemental local perd de son importance face aux coûts, ce qui incite à développer davantage de gaz de schiste, conduisant ainsi à un surinvestissement dans le gaz de schiste et reportant le passage à l'énergie renouvelable. Un exercice de calibration du secteur électrique européen montre que, pour un dommage local relativement élevé⁴, seule une petite fraction du gaz de schiste européen devrait être extraite (environ 6 %), et qu'une contrainte financière sur les dépenses publiques énergétiques pourrait

provoquer un surinvestissement massif dans l'extraction du gaz de schiste, conduisant à extraire 20 % des ressources. La mise en place d'un moratoire sur l'extraction du gaz de schiste, comme c'est le cas en France, conduit

à une hausse modeste des dépenses d'électricité (1,8 %). Un investissement pour réduire le dommage lié à l'extraction semble donc nécessaire pour justifier l'utilisation massive du gaz de schiste.

³ F. Henriët et K. Schubert, « Should We Extract the European Shale Gas? », Document de travail du Centre d'économie de la Sorbonne, 2015.50 (2015); J. Daubanes, F. Henriët et K. Schubert : « More Shale Gas to Reduce CO₂ Emissions? », mimeo (2015).

⁴ De l'ordre de 75 % du coût de production de l'électricité à partir de gaz de schiste.

ANALYSE AXIOMATIQUE DES MARCHÉS DE DROIT D'ÉMISSION

JEAN-MARC BONNISSEAU

L'objectif¹ de cette note, dont le titre est un clin d'œil respectueux au travail de Gérard Debreu (voir [6]), est de présenter quelques réflexions issues de travaux en économie mathématique qui peuvent éclairer les débats actuels sur le changement climatique et les mesures économiques mises en place pour s'engager sur un chemin préservant les intérêts des générations futures.

Pour éviter toute confusion ou toute surinterprétation des propos ci-dessous, je souhaite tout d'abord préciser brièvement le champ scientifique de l'économie mathématique. À mon sens, elle relève des mathématiques de la décision. Elle n'a pas pour ambition de faire des prévisions économiques mais de construire des cadres d'analyse fondés sur une modélisation mathématique pour différents phénomènes économiques, et d'éclairer les décisions des agents publics ou privés en complément d'autres approches politiques et sociologiques. La modélisation mathématique permet de formaliser certaines intuitions ou raisonnements et ainsi de déterminer

un domaine de validité, un ensemble d'hypothèses, dans lequel la déduction logique parvient à la même conclusion que l'intuition initiale. Elle permet également de mettre en évidence des effets cachés ou contre intuitifs qui sont la source de nouvelles avancées dans la compréhension des mécanismes des phénomènes économiques.

L'avancée de la théorie ne peut se faire que dans un échange permanent avec l'économie empirique qui, partant des données de plus en plus gigantesques collectées par différents organismes et entreprises, en fait un traitement statistique, économétrique, pour tester la validité d'hypothèses sur le fonctionnement de certains secteurs économiques ou sur l'efficacité de mesures de politique économique. Depuis quelques années, on assiste à l'émergence de simulations numériques pour tester des modèles dont la solution explicite est hors d'atteinte sur des systèmes de grandes dimensions. Parallèlement, des travaux d'économie expérimentale testent en laboratoire le comportement des agents économiques.

¹ Je remercie tout spécialement Antoine Mandel qui m'a incité à écrire cette note et m'a donné des indications précieuses.

LES EXTERNALITÉS GÉNÉRÉES PAR LES GAZ À EFFET DE SERRE

Dans la théorie de l'équilibre général, le changement climatique est généré par les activités économiques de production ou de consommation de biens et, pour faire simple, plus particulièrement par les consommations énergétiques. Dans le modèle standard, l'utilisation d'un bien dans un processus de production ou sa consommation finale par un agent économique n'a pas d'influence sur les autres agents. Après les avoir achetées sur un marché, que je mange une pomme ou une banane n'a pas d'effet sur mon voisin et sur l'ensemble des autres agents.

Par contre, le choix de mon mode de locomotion pour me rendre au travail, voiture ou transport en commun, de part la différence des consommations énergétiques qu'il implique et de l'émission de gaz à effet de serre et de polluant, et donc sur le niveau de ces gaz dans l'atmosphère, et donc sur l'ampleur du changement climatique induit, a un effet sur l'ensemble de l'économie, même à très grande distance. Il modifie la qualité de vie de mon voisin direct à cause de la pollution mais aussi les rendements des terres agricoles à cause de la modification du régime des pluies sur d'autres continents.

Ce phénomène est décrit depuis longtemps en économie, et est appelé « effet externe » ou « externalité » (voir [7, 8]). Il n'est pas limité aux questions de pollution mais se retrouve aussi dans d'autres domaines de l'activité économique (par exemple dans les réseaux de communication, voir [2]). Il s'inscrit dans la longue liste des imperfections de marchés qui comprend également la compétition imparfaite, les rendements d'échelle

croissants dans la production, les biens publics, les incomplétudes de marché. En effet, la théorie des marchés compétitifs, telle qu'elle se présente à la fin des années 1950, conclut à l'efficacité de l'allocation par le marché mais dans un cadre précis d'hypothèses qui exclut les phénomènes ci-dessus. De nombreux et simples exemples montrent que dès que l'on sort de ce cadre, les allocations finales sont sous-optimales et peuvent être améliorées si une autorité intervient pour révéler aux agents économiques une autre répartition unanimement préférée. Essentiellement, le mécanisme de marché n'est plus efficace, car l'information commune transmise par les prix n'est plus suffisante pour permettre aux décisions individuelles de se coordonner autour d'un choix optimal pour la collectivité.

Ces imperfections de marchés sont traditionnellement étudiées dans le cadre de l'économie publique car leurs présences, en rendant inefficace le fonctionnement des marchés, justifient l'intervention d'une autorité publique de régulation pour arriver à une meilleure allocation finale des ressources si ce n'est à une allocation optimale.

La théorie des externalités montre qu'on peut distinguer deux types d'effets externes suivant qu'ils influent ou non sur le choix des autres agents. Pour être plus précis, la pollution engendrée par mon activité peut nuire à mon voisin en diminuant son niveau de bien-être mais ne pas changer son comportement économique et en particulier, ses niveaux de consommation. Par contre, si cette pollution affecte un processus de production, la productivité peut être réduite et donc l'entreprise doit compenser par une plus forte consommation d'un autre facteur de production. Dans le premier cas, les externalités ne perturbent pas

les marchés alors que dans le deuxième, les perturbations peuvent conduire à des modifications complètes de la structure globale des allocations d'équilibre. Dans [5], un exemple montre qu'une externalité trop influente peut déstabiliser le fonctionnement des marchés en conduisant à une complète indétermination des équilibres. L'émission de gaz à effet de serre relève clairement du second type car les effets indirects *via* le réchauffement climatique ont un impact sur les productivités, par exemple dans le domaine agricole, et sur les choix de consommations.

ANALYSE DES RECOMMANDATIONS DE POLITIQUE ÉCONOMIQUE

Je voudrais maintenant discuter les recommandations de politique économique issues de la théorie des externalités en regardant plus particulièrement le cas des émissions de gaz à effet de serre qui est au cœur de la problématique du réchauffement climatique et suggère un changement radical de mode d'organisation économique.

En présence d'effets externes, l'analyse mathématique du comportement compétitif d'un agent individuel sur un marché montre que son choix va prendre en compte uniquement son propre critère car il n'a pas d'indication sur l'effet positif ou négatif qu'il engendre, du fait de sa consommation, sur les autres agents. Réciproquement, il n'a pas non plus de moyen de transmettre la satisfaction ou le désagrément qu'il retire des choix des autres agents. Ainsi, la coordination des décisions individuelles est imparfaite car seule une partie de l'information est utilisée.

Pour remédier à cette absence de partage d'information, lorsqu'on regarde le secteur productif de l'économie, une recommandation simple dans son principe est de fusionner des entreprises ayant des effets externes les unes sur les autres afin qu'une gestion commune les intègre dans son calcul économique et conduise ainsi à une solution optimale. Cette mesure peut conduire en fait à d'autres imperfections après la fusion. En effet, en particulier dans le cas d'externalités négatives où la production d'une entreprise a un effet négatif sur la productivité d'une autre entreprise, l'entité obtenue après fusion présente des rendements d'échelle croissants ou d'autres formes de « non-convexités » ce qui signifie que le mélange de deux productions réalisables n'est plus réalisable (voir un exemple dans [1]). Ces caractéristiques sont une autre forme d'imperfection de marchés qui sont incompatibles avec un fonctionnement compétitif des marchés. Même si de nombreux travaux (voir [3,4]) ont montré que d'autres formes d'organisation des marchés associées à des règles de tarification peuvent être mises en place, la coordination entre les différents producteurs est en général non optimale et le niveau d'optimalité dépend aussi de la répartition globale de la richesse entre les agents. Contrairement à l'objectif initial, on arrive alors à un niveau de complexité supérieur où l'implication de l'ensemble des agents économiques est nécessaire pour remédier à la nouvelle imperfection créée. Incidemment, on peut aussi noter que comme le montre un exemple dans [4], la conjonction de rendements d'échelle croissants et d'effets externes peut provoquer une discontinuité dans les coûts marginaux et donc, dans les niveaux de production en fonction des prix de marché

qui est une cause d'instabilité des mécanismes de marché.

Au-delà de ce problème déjà très important, si on se concentre sur notre problème spécifique de consommation énergétique et d'émission de gaz à effet de serre, on constate que l'ensemble des entreprises est concerné même si c'est à un niveau variable dépendant de l'intensité de la dépendance énergétique des processus de production. Il est donc tout à fait irréaliste d'envisager un processus de fusion permettant un calcul économique intégré.

L'autre approche traditionnelle pour révéler l'information nécessaire à la bonne prise en compte des externalités par les agents économiques est d'ouvrir de nouveaux marchés entre les acteurs économiques pour des biens nouveaux correspondant aux effets externes. Dans le cas qui nous concerne, ce bien est facilement identifiable et quantifiable sous la forme d'équivalent carbone ou de dioxyde de carbone ou d'autres gaz. L'ouverture d'un marché permet en théorie de faire révéler par les agents, au travers des demandes émises et donc des prix, l'intensité de l'effet externe et donc de l'ajuster par rapport aux autres biens grâce à la variation des prix relatifs ce qui devrait rétablir une allocation optimale des ressources.

Concrètement, en application de cette prescription de la théorie, dans différentes régions du monde, des marchés de droits à polluer ou des bourses carbone ont été ouverts sur lequel des permis d'émission sont échangés. Ils sont actuellement restreints à de gros acteurs industriels, les plus importants émetteurs de gaz à effet de serre et sont destinés à révéler le prix de la tonne carbone et à inciter les entreprises à investir dans des technologies moins émettrices.

La critique habituelle sur cette internalisation des externalités par la création de marché est qu'il faudrait créer beaucoup de marchés pour tenir compte des différents effets et donc des marchés sur lesquels interviennent un faible nombre d'agents économiques ne permettant pas d'assurer un fonctionnement compétitif. Dans notre contexte, nous avons un processus global à l'échelle de la planète, tous les acteurs économiques sont *a priori* concernés et on peut raisonnablement penser que le niveau de compétition est suffisant pour assurer qu'il n'y ait pas d'acteur dominant usant de son pouvoir de marché.

L'observation du marché européen montre des dysfonctionnements graves qui peuvent être attribués à des défauts de jeunesse et à des erreurs dans l'établissement des règles et dans la définition des quotas. Néanmoins, je voudrais ici souligner des causes plus structurelles révélées par la modélisation mathématique.

Tout d'abord, l'ouverture d'un nouveau marché correspond à un saut structurel où les acteurs économiques agissent brusquement dans un espace de plus grande dimension. Il est donc tout à fait évident qu'un ajustement majeur est probable dans les choix individuels. Si la théorie est actuellement assez bien équipée pour prendre en compte des modifications locales de l'environnement des agents, elle n'est pas du tout à même de proposer un cadre pertinent pour expliquer l'ajustement des choix et des prix face à un tel saut. Rien ne permet de guider les décisions individuelles pour s'ajuster sur un nouvel équilibre et il n'est donc pas surprenant qu'une grande instabilité apparaisse sur les prix.

Le saut structurel évoqué ci-dessus a un autre effet sur les possibilités de production des entreprises. Le passage de l'émission de

gaz à effet de serre sans contrainte à un marché de droits à polluer est équivalent à la création d'un nouveau facteur de production qui est un bien complémentaire à la consommation d'énergie. Ce qui était hors économie, car ne faisant pas l'objet d'un marché et d'un prix, entre dans la sphère économique et devient un facteur de production essentiel. La consommation d'énergie associée à la production de gaz à effet de serre provoque une indétermination entre le prix de l'énergie et le prix du droit à polluer, les deux biens étant totalement complémentaires et seule la somme des deux prix étant pertinente pour le choix des agents économiques.

Par ailleurs, comme dans le cas de l'intégration de deux entreprises exerçant l'une sur l'autre une externalité, et compte tenu du caractère nuisible de l'émission de gaz à effet de serre, l'introduction du droit à polluer comme facteur de production conduit le plus souvent à des possibilités de production ne vérifiant ni l'hypothèse de convexité ni la libre disposition des excédents. Ceci peut être incompatible avec l'existence d'un équilibre économique, ce qui traduit une défaillance du mécanisme de marché (voir [9] à ce sujet).

CONCLUSION

À ce stade, mon propos peut apparaître très négatif car les modestes contributions tirées des travaux en économie mathématique montrent que les conditions pour un bon fonctionnement des marchés de droits à polluer ou bourses carbone ne sont pas remplies. Néanmoins, je voudrais ici conclure en évoquant une nouvelle piste de recherche à creuser.

L'analyse économique a aussi depuis longtemps décrit une autre forme d'externalité liée à l'effet de mode, d'imitation qui est appelé dans la littérature récente les « préférences concernant les autres ». Les agents économiques sont sensibles aux choix de leurs voisins, de leurs réseaux de connaissance. Une autre approche se fait par la théorie des réseaux et de l'influence dans les réseaux.

Comme suggéré dans le titre de la conférence au cœur de cette semaine durable, « dynamiques sociales et changement climatique », les politiques publiques pourraient ne pas se limiter à une approche purement économique avec une incitation monétaire, mais aussi s'appuyer sur la dynamique des réseaux, sur des modèles emblématiques et l'influence qu'ils exercent sur les choix des agents *via* l'effet externe de mode pour rendre plus désirable un comportement économique sobre en carbone voire décarboné qui deviendrait le comportement de référence. En d'autres termes, une bonne externalité d'imitation permettrait aux agents de faire un choix conduisant globalement à une allocation optimale.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bonnisseau, J.-M., « Caractérisation des *optima* de Pareto dans une économie avec effets externes », *Annales d'économie et de statistique*, 36, p. 97-112 (1994).
- [2] Bonnisseau, J.-M. et N. Chabchoub, « Une approche générale de l'externalité dans un réseau de communication », *Annales d'économie et de statistique*, 46, p. 183-202 (1997).
- [3] Bonnisseau, J.-M., « Existence of Equilibria in Economies with Externalities and Non-Convexities », *Set-Valued Analysis*, 5, p. 209-226 (1997).
- [4] Bonnisseau, J.-M. et J.-P. Médecin, « Existence of Marginal Cost Pricing Equilibria in Economies with Externalities and Non-convexities », *Journal of Mathematical Economics*, 36, p. 271-294 (2001).
- [5] Bonnisseau, J.-M. et E. L. del Mercato, « Externalities, Consumption Constraints and Regular Economies », *Economic Theory*, 44, p. 123-147 (2010).
- [6] Debreu, G., *Théorie de la valeur. Analyse axiomatique de l'équilibre économique*, Paris, Dunod (2001).
- [7] Laffont, J.-J., « Effets externes et théorie économique », *Monographie du séminaire d'économétrie*, Paris, Centre national de la recherche scientifique (1977).
- [8] Laffont, J.-J., *Les fondements de l'économie publique*, Paris, Economica (2000).
- [9] Salchow, H.J., « An Essay on the State of Economic Science », *Journal of Mathematical Economics*, 42, p. 653-660 (2006).

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET RISQUES NATURELS : DES POPULATIONS FACE AUX INONDATIONS

JOËL BOULIER ■ EDWIGE DUBOS-PAILLARD ■ ANTONIN PAVARD

Selon les Nations unies, la population mondiale a atteint 7,3 milliards d'habitants en 2015. La terre compte désormais deux fois plus d'êtres humains qu'au début des années 1970, dont 60 % vivent en Asie. En dépit d'un certain ralentissement désormais acté, la population mondiale devrait tout de même atteindre 11,2 milliards d'habitants en 2100 (scénario moyen de projection démographique des Nations unies). Durant cette même période, selon le rapport 2014 du GIEC, les températures moyennes à l'échelle du globe pourraient s'élever de 0,3 à 1,7° selon le scénario le plus optimiste, et de 2.6 à 4,8° degrés si nous prenons le scénario le plus pessimiste (qui n'est autre que la poursuite des tendances actuelles). Au-delà de la croissance de la population, l'urbanisation rapide de la planète et la concentration de la population dans les grandes villes augmentent la vulnérabilité des biens et des personnes face aux catastrophes naturelles liées aux changements climatiques. Aujourd'hui, les trois quarts de la population urbaine se

situent dans des pays en développement qui connaissent une croissance urbaine rapide, souvent mal maîtrisée en termes de planification urbaine. Si les agglomérations de Paris, Londres, Tokyo ou New York affichent des densités respectives de 3800, 5900, 4400 et 1800 hab./km²¹, certaines atteignent, voire dépassent 15 000 hab./km² à Karachi, Mumbai, Manille, Dhaka, Rio de Janeiro, ou encore Lagos ou Kinshasa.

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET INONDATIONS

Fortes densités, souvent littorales, et urbanisation non maîtrisée constituent des ingrédients à l'origine de la grande vulnérabilité des biens et des personnes face aux catastrophes naturelles. En particulier, la question démographique et urbaine soulève les problèmes cruciaux des catastrophes naturelles dues au

¹ Demographia World Urban Areas, 11th Annual Edition, 2015.

réchauffement climatique. En effet, celles-ci viennent se surimposer aux problèmes liés à la seule croissance de population. Cette question est particulièrement prégnante en milieu urbain où les populations continuent d'affluer.

De manière générale, le réchauffement climatique induit un certain nombre d'incidences directes et une augmentation de la vulnérabilité des systèmes (humains comme naturels) :

- cultures et récoltes directement impactées,
- approvisionnement des villes fragilisé (sécurité alimentaire, prix, etc.),
- multiplication des îlots de chaleur urbains avec fragilisation des populations sensibles,
- perturbation des systèmes hydrologiques et des ressources hydriques (modification des régimes pluviométriques et fonte des neiges et des glaces),
- stress engendré impactant directement les moyens de subsistance (alimentation, habitat, etc.), avec naissance de conflits violents menaçant en partie les possibilités d'adaptation (altération d'infrastructures, corruption, captation de ressources, etc.),
- augmentation sensible des événements climatiques extrêmes : vagues de chaleur, sécheresses, inondations continentales, inondations de zones côtières, érosion des côtes, submersions côtières, cyclones ou encore feux incontrôlés. Certains écosystèmes et systèmes humains sont particulièrement vulnérables aux variations actuelles du climat. Ceci est d'autant plus inquiétant que le degré d'exposition de ces milieux aux risques climatiques augmente parallèlement à l'intensification de l'urbanisation.

Le lien entre réchauffement climatique et catastrophes naturelles est largement admis et sa croissance est nette depuis les années 1970 (fig. 1). Les événements climatiques ne sont pas une vue catastrophiste : ils sont déjà là !

Ainsi, selon la compagnie de réassurance Munich-Re, les catastrophes naturelles ont occasionné plus de 2,3 millions de décès et coûté environ 3,8 milliards de dollars entre 1980 et 2012, majoritairement dus à des événements climatiques extrêmes (inondations, cyclones, tempêtes, vagues de chaleur...). Parmi ceux-ci, les inondations représentent l'essentiel des catastrophes et ne cessent de s'accroître à la surface du globe. On y relève en moyenne 99 millions de sinistrés par an entre 2000 et 2008.

À l'échelle de l'Europe, on a dénombré, entre 1998 et 2002, pas moins d'une centaine d'inondations graves, telles que celles du Danube et de l'Elbe en 2002. Cette série s'est en grande partie répétée en 2006, provoquant à son tour de lourdes pertes humaines et économiques. « Selon l'étude, 363 inondations enregistrées entre 2002 et 2013 dans les 28 États membres de l'Union européenne (UE) ont coûté environ 150 milliards d'euros, soit en moyenne 360 millions d'euros par événement, et ont entraîné l'évacuation de plus de 1,7 million d'Européens » (*Environnement & Technique*, n° 335)

Sans remonter très loin dans le passé, revenons brièvement sur quelques exemples de 2015. Depuis le 1^{er} janvier de cette année, de nombreux cas ravageurs d'inondations ont été rapportés par la presse :

- En Espagne, les inondations du 7 septembre font 2 morts et bloquent de nombreuses personnes dans leurs véhicules.

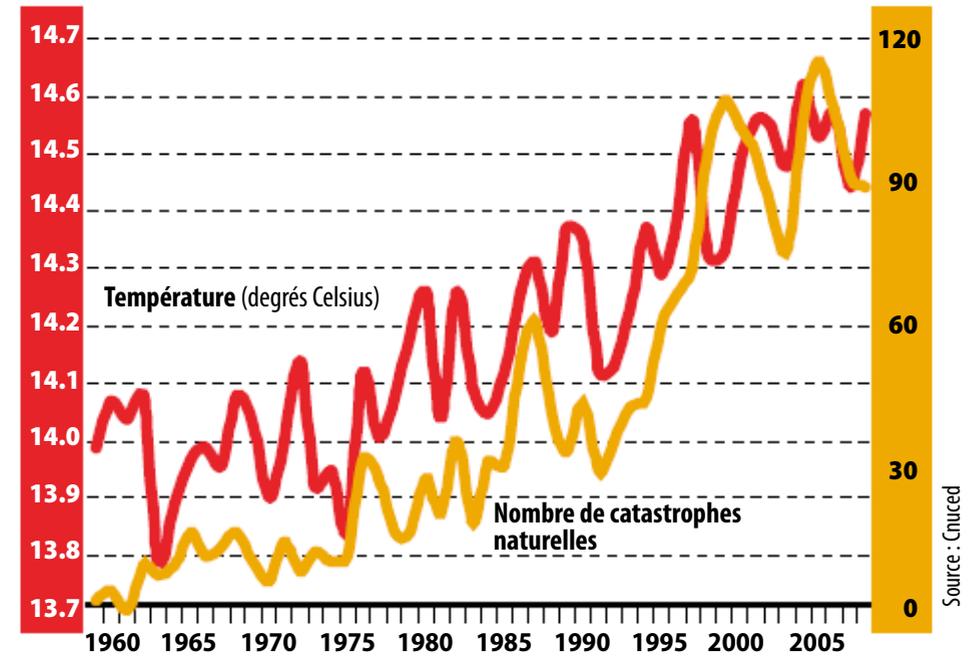


Fig. 1 • Relation entre températures et catastrophes naturelles (d'après *Alternatives Économiques*).

- Le 23 août, de fortes pluies s'abattent en France dans la région de Montpellier faisant 3 morts et conduisant à une interruption totale des transports ferroviaires au départ de Montpellier et de Nîmes.
- En Argentine, la région de Buenos Aires connaît à la mi-août ses pires inondations depuis trois décennies.
- Au Niger, à la mi-août, des inondations ont causé 4 morts, et laissé 20 000 sinistrés désœuvrés.
- Début août, l'Inde, le Pakistan, le Vietnam et la Birmanie subissent depuis plusieurs semaines une mousson exceptionnelle. Résultats : inondations et glissements de terrain catastrophiques : 180 morts, 5 600 villages touchés et près de 1,2 million de personnes déplacées en Inde ; 850 000 sinistrés au Pakistan ; 210 000 personnes déplacées en Birmanie, etc.
- En mars, les inondations au Chili ont entraîné 25 morts et la disparition d'au moins 125 personnes. Le nombre des sinistrés s'étend quant à lui à près de 30 000.
- Dans la nuit du 13 au 14 juin, Tbilissi, capitale géorgienne, est à son tour frappée par une inondation au bilan humain

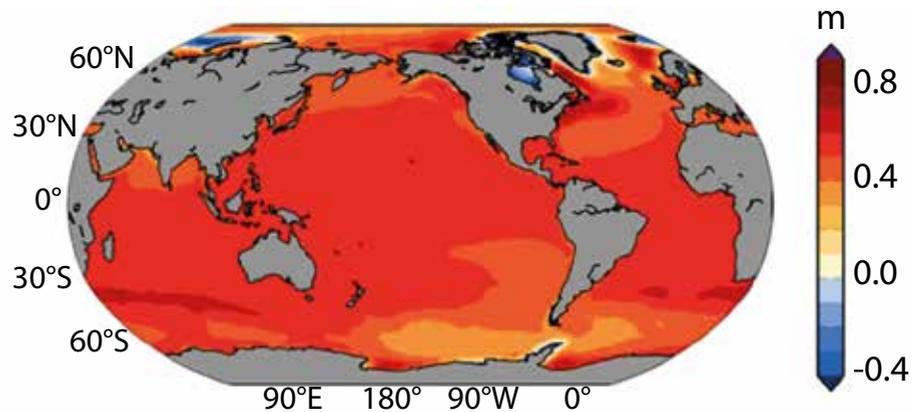


Fig. 2 • Scénario d'élévation totale du niveau de la mer à la fin du ^{xxi}e siècle (IPCC).

lourd (une dizaine de morts, une vingtaine de disparus).

Les inondations, par débordement des cours d'eau ou submersion marine, impactent directement les personnes (noyades, chutes, électrocutions), l'activité économique (dommages aux biens, aux structures), le patrimoine culturel et l'environnement (positivement – recharge des nappes, fertilisation des sols, soutien de la biodiversité des milieux humides – mais aussi négativement – érosion massive, fragilisation des sources de pollution, accidents technologiques).

La répartition des populations sur les côtes et dans les vallées rend l'évolution des inondations très inquiétante. On estime que d'ici 2037, 75 % de la population mondiale vivra dans une bande côtière de moins de 100 km.

Or, selon les estimations du GIEC (IPCC), avec la dilatation thermique de l'eau et les apports d'eau de fonte des glaciers, l'élévation du niveau moyen de la mer pourrait atteindre, d'ici 2100, selon les scénarios, entre 40 et 75 cm; voire 90 cm à 1,10 m en certains

points du globe (fig. 2 et 3). Si ces prévisions peuvent diverger, les scientifiques admettent que les populations vivant à moins de 10 m d'altitude au-dessus du niveau actuel des océans encourent un risque fort (submersion, érosion...); soit près de 640 millions de personnes concernées.

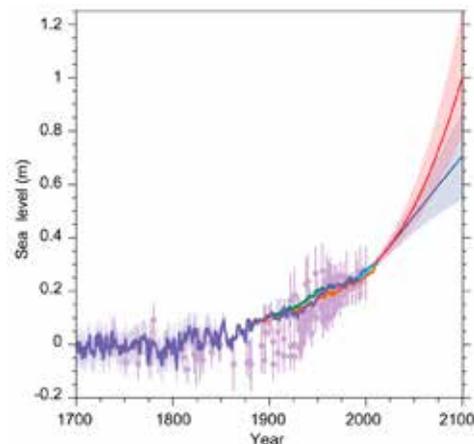


Fig. 3 • Élévation du niveau de la mer depuis le ^{xviii}e siècle (IPCC).

Les côtes subissent une double peine : l'érosion liée à la montée du niveau marin aggrave le risque d'inondation par submersion. Particulièrement dans les régions insulaires : la conjonction entre renforcement des perturbations tropicales et présence de littoraux sableux, d'atolls ou de milieux humides conduirait à la disparition des barrières de corail de protection des atolls, à la propagation des moustiques, à la salinisation des nappes phréatiques et des sols, ou encore à la diminution des réserves halieutiques. Dans l'emblématique Pacifique insulaire, cela concerne quelque 10 millions d'habitants, potentiels réfugiés climatiques. Ce risque de submersion

touche également de plein fouet toutes les régions du monde situées en dessous du niveau de la mer; qu'elles le soient naturellement (Nouackchott en Mauritanie) ou par construction anthropique (poldérisation des « Pays-Bas », fig. 4).

Les systèmes continentaux ne seront pas non plus épargnés. La modification du schéma général de la pluviométrie, associée à l'évolution de l'occupation du sol (imperméabilisation de l'impluvium dans les zones urbanisées particulièrement), perturbe les systèmes hydrologiques, amplifie les nombreux impacts : pluies plus fortes mais mal réparties, moindre qualité des eaux continentales, perturbations des



Fig. 4 • Simulation des inondations marines aux Pays-Bas avec une élévation de la mer d'un mètre (données : NASA; et simulation : <http://flood.firetree.net>).

régimes saisonniers des fleuves, croissance du risque d'inondations éclairs, etc.

Les inondations représentent la principale cause de décès par catastrophe naturelle. Les inondations intenses, telles celles de l'est de l'Europe au printemps 2013 ou du sud-ouest de la France depuis plusieurs années, sont amenées à se multiplier. Par contre, rien dans l'état actuel des connaissances ne permet de faire le lien entre le réchauffement climatique et la durée de ces événements catastrophiques. Cependant, on peut affirmer que l'impact des inondations sur la population est en progression (fig. 5).

Par-dessus tout, le fait le plus marquant est l'augmentation de la fréquence des inondations. Pour l'équipe de Y. Hirabayashi (université de Tokyo), la période de retour des crues centennales des rivières, tomberait entre dix et cinquante ans, particulièrement en Amérique du Sud, Asie et Afrique équatoriale (fig. 6).

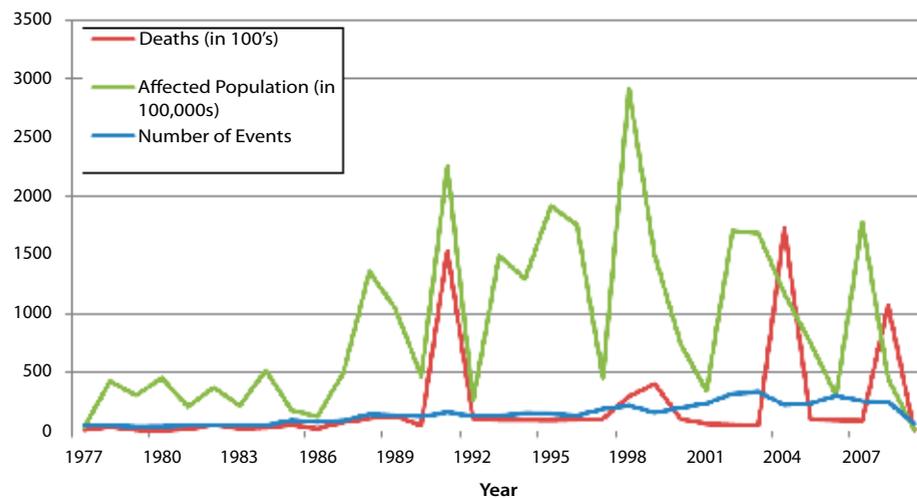


Fig. 5 • Les inondations affectant les populations humaines par année (Doocy S. et al., 2013).

Alors, face à une plus grande fréquence des inondations catastrophiques, quelles stratégies d'adaptation, de gestion des crises et de prévention doit-on mettre en place ?

POLITIQUES MISES EN ŒUVRE

Depuis la nuit des temps, l'Homme a cherché à lutter contre les inondations. Entre adaptation et tentatives de maîtrise du phénomène, il a mis en place différents procédés pour continuer de bénéficier, malgré tout, de la proximité de l'eau. C'est ainsi que la mémoire de cette culture du risque a protégé les populations durant de longues périodes. Mais les relations entre l'Homme et son territoire ont indéniablement changé aujourd'hui.

Au bénéfice de répit, l'homme a reconquis des espaces aux aménités riches : terres arables, topographie modérée, esthétique des paysages, etc. Ces périodes plus ou moins longues l'ont bien souvent conduit à oublier

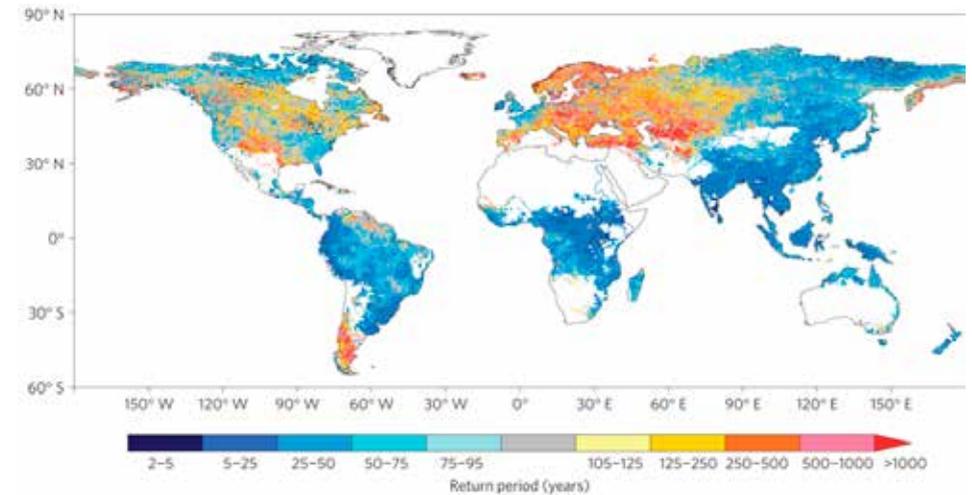


Fig. 6 • « Flood of the future » : ce que pourraient devenir les crues centennales (Yukiko Hirabayashi et al., 2012).

les règles élémentaires de prévention. Alors de nombreux événements naturels catastrophiques le frappent de nouveau et lui rappellent sa fragilité et son incapacité naturelle à se protéger. En témoigne la façon dont ont été développées les politiques de gestion du risque d'inondation à travers le monde.

Prenons pour exemple, l'UE. Suite aux grandes inondations de 2000, le Parlement européen accélère la mise en place de la Directive sur l'évaluation et la gestion des risques d'inondation. En 2007, à travers cette disposition, l'UE cherche à réduire de manière drastique les risques d'inondation. Pour cela, elle prône une évaluation fine des risques dans les bassins hydrographiques et régions côtières ; une cartographie des zones potentiellement inondables selon trois scénarios ainsi que l'élaboration de plans de gestion des risques d'inondation en coopération pour les pays de l'UE partageant un même bassin hydrographique.

Au lancement de la directive « Inondation », la Commission européenne mandate un groupe d'experts français et des Pays-Bas pour la rédaction d'un guide de bonnes pratiques². Si ce guide reste au fond des bibliothèques, cependant, les pays membres de l'UE ont œuvré pour une mise en place juridique de cette directive.

Quid du cadre français ? En France, on estimait en 2011 que plus de 17 millions d'habitants et 9 millions d'employés étaient exposés aux inondations. Face à cela, la France dispose d'un atout : la culture du risque d'inondation est une des plus anciennes de l'UE.

La prise de conscience française a émergé progressivement dans les années 1930. Entre 1935 et 1937, deux décrets mettent en place des « Plans des surfaces submersibles » (PSS). Ils soumettent les travaux à autorisation dès

² Sur les bases d'un rapport publié par les Nations Unies au début des années 2000.

lors qu'ils nuisent à l'écoulement des eaux. Il a fallu attendre cinquante ans et la loi sur les Plans d'exposition aux risques (PER) pour durcir la réglementation :

- interdiction des nouvelles constructions dans les zones les plus exposées,
- établissement de règles spécifiques pour toute nouvelle construction dans les zones moins exposées,
- travaux pour la réduction de la vulnérabilité sur le bâti existant.

En 1995, la loi Barnier vient remplacer les PSS et PER par les Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPRN). Cet outil juridique, encore d'actualité, constitue la base de la politique française en la matière. Il prévoit la mise en œuvre d'études permettant de répertorier les phénomènes anciens, de qualifier l'aléa et de définir les enjeux du territoire.

Il ne s'agit pas d'une œuvre politique franco-française isolée. La politique européenne a bien évidemment eu un impact sur le cadre législatif français. Ainsi, la loi de juillet 2010 (dite « Grenelle II ») en est une conséquence directe. Celle-ci concrétise les objectifs déjà fixés en août 2009 (« Grenelle I ») avec la mise en œuvre de plusieurs chantiers. Plus particulièrement, un de ces axes porte spécifiquement sur la gestion des risques. Un décret de mars 2011 complète le dispositif législatif en termes d'évaluation et de gestion des risques d'inondation.

Son application suit cinq étapes majeures :

- évaluation préliminaire des risques d'inondation (EPRI), permettant une description des aléas et enjeux,
- identification des Territoires à risques importants d'inondation (TRI) fondée sur un diagnostic conduit de l'échelle nationale à l'échelle locale,

- cartographie des zones inondables et des dommages potentiels,
- élaboration de plan de gestion des risques d'inondation visant à réduire le risque par la prévention, la protection et la préparation aux situations de crise.
- mise en place de stratégies locales de gestion des risques d'inondation en lien avec la stratégie développée au niveau national.

Au-delà de cette stratégie qui renforce des actions menées à travers les premiers Plans de prévention des risques d'inondation (PPRi³), les pouvoirs publics insistent sur le rôle de chaque acteur face à de tels risques.

UN CAS D'ÉTUDE FRANÇAIS : ADAPTATION AUX RISQUES D'INONDATION DANS LE GARD

Le Gard est un territoire emblématique du risque d'inondation en France. De très forts et nombreux événements de crues ont parsemé son histoire. Ceux-là pourraient être déroulés comme une liste à la Prévert. Ne retenons que quelques faits exemplaires. La crue d'octobre 1988 a causé 9 morts sur Nîmes. Celle de septembre 2002 a touché 299 communes (soit 84,7 % des communes gardoises), faisant 22 morts, et engendrant plus de 830 M€ de dégâts. En 2003, 37 communes inondées par le Rhône : bilan 300 M€ de dégâts. En septembre 2005, le Vistre inonde 86 communes.

Comment expliquer cette situation ? Le Gard est parcouru par un réseau hydrographique dense, et près de 1/5^e de sa superficie

³ Issus de la loi de juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile et à la prévention des risques majeurs.

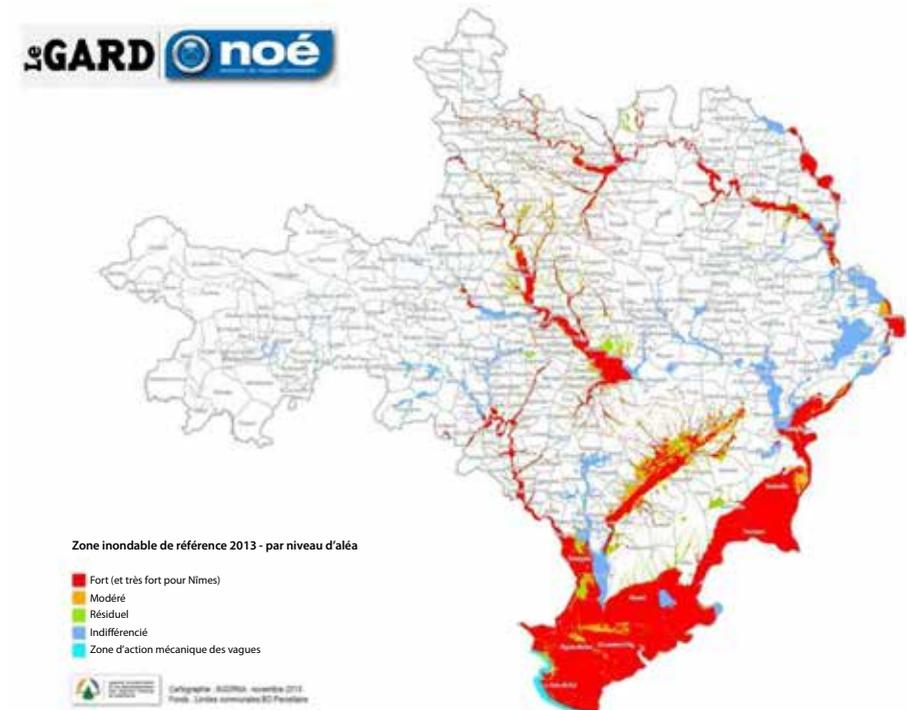


Fig. 7 ■ Zones inondables du Gard (NOÉ/Conseil départemental).

est en zone inondable (fig. 7). Les zones urbanisées, certes peu importantes, sont tout de même pour un tiers localisées en zone inondable. Ainsi, près de 260 000 individus en 2013⁴ seraient exposés au risque d'inondation à leur domicile : c'est plus d'un tiers de la population gardoise. De plus, en 2008, près de 17 800 des 35 900 entreprises sont répertoriées en zone inondable (dont 50 % dans Nîmes) : ce sont des dizaines de milliers d'individus exposés au risque sur leur lieu de

travail⁵. Tableau noir, sans compter les personnes accueillies dans des établissements scolaires, de petite enfance, des EPAHD, ou services de santé.

Cette vulnérabilité des biens et des personnes ne cesse de croître. De 1999 à 2006, le nombre de résidents en zone inondable augmente tous les ans de 1,64 % (tendance

⁵ Étude CCI et NOÉ, 2008, « Entreprises localisées en zone inondable et leurs perceptions et attentes face au risque inondation » (hors Nîmes).

⁴ Source : Agence d'urbanisme de Nîmes.

se poursuivant moins fortement sur la période suivante, avec + 0,72 % de 2007 à 2013).

Cette croissance de population exposée et les événements de 2002 accélèrent la mise en place d'une politique de prévention au sein du département. Ainsi, un Schéma départemental de prévention des inondations (SDPI) est voté au Conseil général dès 2003 et sera mis en œuvre sous la responsabilité conjointe des citoyens et des différents organes de l'État. Il a pour objectif principal la prévention et la prise en compte du risque dans la reconstruction des biens. Il s'organise selon six axes : adaptation de l'occupation des sols en zone inondable, amélioration de l'information et de l'alerte, préparation des communes et des services publics à la gestion de crise, sensibilisation et éducation des populations, valorisation des zones d'expansion de crues et de retenues des eaux, et enfin protection des lieux habités.

Dans ce sens, l'Observatoire du risque d'inondation du Gard (ORIG) est créé en 2006 et met en place une plate-forme internet à destination des acteurs du Gard : acteurs publics, habitants et professionnels. Elle vise l'accessibilité des données clés sur des inondations et l'échange d'information – données et études – *via* un espace mutualisé. En septembre 2012, la plate-forme « NOÉ » la remplace et renforce les questions de prévention et de sensibilisation au risque. Dans le même temps, l'ORIG construit un tableau de bord constitué d'une base de données à deux échelles (communale et bassin-versant). Cette base – et sa panoplie d'outils de visualisation – regroupe une trentaine d'indicateurs clés autour de l'état du risque, l'urbanisation en zone inondable, l'information et l'alerte, la gestion

du risque, l'aménagement pour la prévention et la protection, la sensibilisation des populations, l'historique des crues, et le contexte hydrologique et administratif.

Dans le Gard, l'accent est indéniablement mis sur une sensibilisation et un accompagnement adaptés des publics :

- pour les élus : cycles de formation, journées thématiques, supports d'informations, et aide technique et financière pour l'élaboration des Plans communaux de sauvegarde (PCS),
- expositions temporaires, itinéraires de randonnées à thème, organisation de salons ou encore diffusion dans la presse pour le grand public,
- partenariat avec l'Éducation nationale pour des journées de sensibilisation dans les établissements et sorties de terrain pour les plus jeunes (fig. 8).

CONCLUSION

L'expertise scientifique internationale du GIEC (IPCC) a établi un lien très fort entre l'action anthropique, le changement climatique et les inondations. Ces dernières, selon les scénarios les plus pessimistes, vont connaître une ampleur considérable : les submersions marines vont toucher largement les côtes basses ou mal protégées, et les crues par débordement de cours d'eau – jusque-là – centennales connaîtront des fréquences beaucoup plus élevées. À l'instar des dispositions prises dans le Gard, des mesures de sensibilisation et de prévention face aux risques deviennent incontournables pour amortir les impacts néfastes à venir.

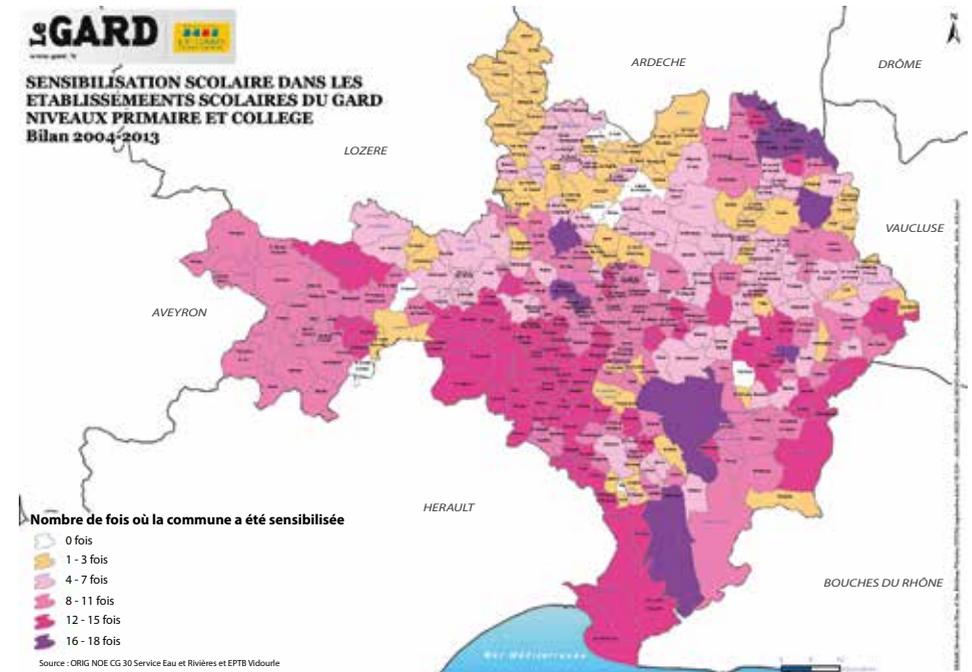


Fig. 8 • Sensibilisation des plus jeunes au risque (NOE/Conseil départemental).

LES VILLES, LE CHANGEMENT CLIMATIQUE & L'INTELLIGENCE TERRITORIALE

DENISE PUMAIN

La part de la population mondiale qui vit dans les villes est en augmentation continue depuis environ deux siècles, elle a dépassé vers l'an 2000 la moitié de la population totale, et avant la fin de ce siècle, ce seront deux humains sur trois ou même trois sur quatre qui résideront en ville. Les questions soulevées par le changement climatique concernent donc en tout premier lieu les habitants des villes. Ce sont principalement les activités exercées dans les villes qui sont responsables du réchauffement, et c'est dans les villes qu'il faudra trouver des solutions pour réaliser les adaptations nécessaires. La connaissance de la répartition géographique des villes est une donnée qu'il faut prendre en compte dans les modèles du climat. Mais les villes sont aussi d'une prodigieuse diversité, il faut bien les connaître dans toutes leurs dimensions et savoir comment elles évoluent pour réussir leur adaptation future.

DANS LE MONDE, UNE RÉPARTITION TRÈS INÉGALE DES PROBLÈMES URBAINS

Les quelque trois milliards et demi de citoyens qui peuplent la terre sont placés dans des

situations contrastées, selon le stade qu'ils ont atteint dans la *transition urbaine*. On désigne ainsi, par analogie avec la transition démographique, le passage relativement rapide, à l'échelle des temps historiques, de formes de peuplement assez homogènes, en petits villages abritant quelques centaines d'habitants chacun, vivant surtout de production agricole et dispersés dans les territoires, vers des formes d'habitat beaucoup plus hétérogènes et concentrées, dans des villes où se sont diversifiées des activités industrielles et des services, et qui ont atteint des tailles beaucoup plus importantes mais extrêmement inégales, allant de quelques milliers à quelques dizaines de millions d'habitants. Ce passage s'est effectué en deux siècles environ dans les pays développés, il a accompagné les grandes révolutions industrielles et des transports et l'avènement de la société de consommation, il est achevé dans ces pays riches où plus de 80 % de la population réside dans des aires urbaines. Là, les défis bien connus posés par la nécessaire « transition écologique » à venir sont ceux de la modération des consommations d'énergie et de ressources, car l'équivalent de trois ou quatre planètes serait nécessaire, dans l'état actuel de nos techniques,

pour permettre le maintien et l'extension de genres de vie aussi dispendieux à toute la population mondiale. Cette réduction drastique des gaspillages semble d'autant plus difficile qu'elle doit s'effectuer dans un contexte de faible croissance économique et démographique, tous ces pays connaissant un vieillissement de leur population qui va parfois jusqu'à engendrer une décroissance de population dans certaines villes, et le rétrécissement de ces *shrinking cities* n'est pas sans évoquer le sort qu'ont connu de très nombreux villages plus ou moins abandonnés en Europe depuis la fin du XIX^e siècle.

Mais deux urbains sur trois habitent dans des pays plus pauvres, qui n'ont pour la plupart commencé leur transition urbaine qu'à partir des années 1950, et qui en sont encore au stade intermédiaire, au cours duquel les villes connaissent une expansion maximale. La croissance urbaine y est d'autant plus forte que les conditions de vie ne sont plus les mêmes que celles qui prévalaient au XIX^e siècle : les conditions sanitaires sont désormais meilleures en ville qu'à la campagne, et les moyens de communication modernes amplifient l'attraction des villes et leurs capacités de concentration. Rien d'étonnant donc à ce que les plus grandes villes, ces « mégapoles » qui regroupent chacune plus de dix millions d'habitants, et qui sont aujourd'hui une cinquantaine dans le monde, se retrouvent en majorité dans les pays dits en développement ou parfois émergents, principalement en Asie (on pense à Delhi, Calcutta, Bombay, Shanghai, Beijing, Manille...) mais aussi en Afrique (Lagos, Le Caire). Là, les problèmes sont tout au tres. Il ne peut être question de prôner la « décroissance » lorsque les besoins d'amélioration des infrastructures et des services, pour des populations jeunes

qui affluent en ville, sont immenses. La gestion des villes et leur développement requièrent de grandes consommations de nouvelles ressources, dans des systèmes de production qui n'optimisent pas nécessairement une économie de moyens, et l'amélioration des conditions de vie des plus pauvres est une nécessité absolue, si l'on ne souhaite pas que l'univers urbain continue à évoluer vers ce « pire des mondes possibles », cette « planète de bidonvilles » qu'évoque Mike Davis (2006).

La recherche de solutions pour l'adaptation au changement climatique semble donc se heurter à des injonctions contradictoires selon les régions du monde et le niveau de développement des territoires. De plus, il faut rappeler à quel point les conceptions de la « ville » sont différentes selon l'histoire des pays, leur culture, leur organisation politique et sociale, et même leur morphologie : quoi de commun entre les « villes de l'automobile » nord-américaines dont les banlieues s'étalent sur des dizaines de kilomètres d'autoroutes en damier, les villes européennes souvent centrées sur un noyau historique, développées en cercles concentriques et à partir de quelques radiales, et des villes chinoises où se dressent des forêts de tours de plusieurs dizaines d'étages plantées en rangs serrés entre de grandes avenues ? Avec des densités moyennes de 2 000 habitants au km² en Amérique, d'environ 5 000 en Europe et plus de 20 000 en Chine, les quelque 500 plus grandes villes du monde, celles de plus d'un million d'habitants, sont difficilement comparables. Mais la diversité urbaine se mesure aussi entre ces grandes villes, qui sont celles dont on parle, et les villes souvent oubliées de la communication, qui sont de loin les plus nombreuses (environ 60 000 dans le monde ont

ainsi plus de 10 000 habitants). Tant du point de vue socio-économique que morphologique, cette diversité des villes appelle une variété de modalités d'adaptation au changement climatique qui rend très difficile la généralisation mondiale de solutions adaptées.

VILLES ET SYSTÈMES DE VILLES COMME ADAPTATEURS DANS L'ESPACE-TEMPS DES SOCIÉTÉS

Les recherches conduites en histoire et en géographie apportent cependant des résultats qui incitent à un optimisme, certes nuancé, quant aux possibilités d'avenir de l'aménagement urbain. Depuis environ dix mille ans que des villes existent, elles ont fait la preuve de l'exceptionnelle résilience de leur organisation dans les territoires (Bairoch, 1985). L'objet « ville » est l'une des rares inventions sociales qui ait conservé le même nom à travers des millénaires de régimes historiques très différents, et cette permanence invite à essayer de comprendre pourquoi. En fait, les villes se révèlent comme une magnifique invention des sociétés humaines, une preuve matérielle et vivante de ce que l'on peut appeler « l'intelligence collective ». Il s'agit en l'occurrence d'une intelligence territoriale, qui s'applique à notre façon d'habiter la terre.

Les villes nous permettent d'habiter le monde à deux niveaux d'organisation de l'espace géographique. En effet, quel que soit le moment du temps ou la région du monde où on les observe, les villes ne sont jamais isolées, elles sont toujours nombreuses, diverses, et connectées en réseau. Chacune est un objet complexe, un système en évolution, qui dépend d'un ensemble de villes avec lesquelles

elle se trouve en relation, lesquelles forment un « système de villes » dans un territoire donné. Les villes sont ainsi « des systèmes dans des systèmes de villes » (Berry, 1964).

En schématisant, on peut considérer que cette forme d'organisation permet de gérer au mieux les besoins de l'interaction sociale à la surface de la terre : le niveau de « la » ville est celui du territoire de la fréquentation quotidienne, qui abrite nos routines les plus fréquentes, nos activités habituelles. En moyenne nous exerçons ces activités (travail, résidence, achats, loisirs...) dans trois ou quatre lieux différents dans la ville. Nous consacrons chaque jour environ une heure aux déplacements nécessaires pour connecter ces lieux dans notre emploi du temps de la journée, dont la durée n'a pas varié depuis que les villes existent. La contrainte des vingt-quatre heures est une de celles qui pèsent sur l'expansion spatiale maximale possible pour ces territoires du quotidien – soit un rayon de 4 ou 5 kilomètres au temps de la marche à pied, de quelques dizaines de kilomètres avec les déplacements motorisés. Au niveau du « système des villes », nous employons des moyens de communication et surtout de déplacement qui sont devenus beaucoup plus rapides pour engager d'autres formes d'interaction, certes moins fréquentes, mais tout aussi décisives pour assurer le maintien et le développement des villes. C'est à ce niveau que se décident désormais les nouveaux investissements pour des emplois, que se négocient les règles régissant les relations sociales, que se propagent les informations quant aux nouveautés technologiques ou culturelles réalisées ailleurs, en somme c'est dans les systèmes de villes que chaque ville peut continuer à valoriser son patrimoine accumulé, ses « avantages comparatifs » et sa

capacité d'innovation, en les confrontant à ceux des autres villes.

En effet, les villes sont depuis l'origine des lieux où la concentration des personnes a permis la multiplication des activités, la division sociale du travail, l'invention et l'adoption de toutes sortes d'innovations et l'accumulation de toutes les formes de valeur, qu'elle soit patrimoniale, monétaire, technologique, symbolique... Contrairement aux villages ou aux exploitations minières qui vivent principalement des ressources de leur environnement immédiat, les villes se sont organisées pour dépasser les contraintes et réduire les incertitudes qui découlent de l'exploitation d'un milieu trop étroit. De multiples échanges, de biens, de personnes et d'information, se sont instaurés entre les villes et ont développé entre elles des interdépendances très fortes, au point qu'on puisse parler de co-évolution. C'est en ce sens qu'elles forment des systèmes de villes.

Comment fonctionnent ces systèmes? Ce sont en grande partie des systèmes auto-organisés, qui se sont développés spontanément, tout en étant soumis à des quantités de vicissitudes au cours de l'histoire, aléas d'ordre naturel, politique ou économique ainsi que technique qui expliquent les importantes fluctuations des croissances urbaines et les inflexions nombreuses observées dans les trajectoires des villes. L'important est que ce sont les échanges entre les villes qui font passer de l'une à l'autre de multiples informations et qui assurent ainsi ce que l'on appelle la « diffusion spatiale des innovations » (Hägerstrand, 1952). Dans cette dynamique, les relations entre les villes sont en partie de complémentarité, mais surtout, principalement, de rivalité. L'émulation entre des villes concurrentes se traduit, dans les territoires bien connectés, par

une progression d'ensemble des populations et des économies urbaines, par des transformations qualitatives qui affectent peu ou prou toutes les villes appartenant à un même système, les villes qui les ont adoptées d'abord – ce sont souvent les plus grandes, celles qui ont déjà réussi nombre d'adaptations dans le passé – étant ensuite imitées par les autres. Cette dynamique explique la grande persistance des hiérarchies urbaines dans un territoire donné (Pumain, 2004) : loin d'être symptôme d'inertie, la solidité de ce qu'on a pu appeler « l'armature urbaine » des territoires tient à une capacité d'adaptation continue de chacune des villes engagée avec d'autres par des interactions fréquentes dans un système de villes.

Les notions de « résilience », ou de « développement durable », semblent ainsi des propriétés intrinsèquement attachées aux villes. Rappelons qu'en Europe, après la Grande Peste qui divisa presque par deux la population de très nombreuses villes ayant connu cette épidémie, la plupart avaient retrouvé un siècle plus tard non seulement le niveau de leur population antérieure, mais aussi leur rang dans la hiérarchie de ce système de villes déjà très fortement connecté, par des relations moins fréquentes et plus lentes qu'aujourd'hui mais déjà très efficaces pour la propagation du changement social. Depuis le ^{xv}^e siècle, les destructions volontaires de villes totalement rasées par le vainqueur et rayées de la carte sont devenues rarissimes, sans doute moins du fait de l'humanisation des mœurs des conquêtes militaires que d'une certaine prise de conscience collective de la valeur qui leur est attachée, et la tendance est à la reconstruction. Pourtant d'aucuns se plaisent à prédire de futures catastrophes urbaines, liées

aux menaces que font peser les relèvements des températures et du niveau des océans. Certains en déduisent une crainte de nouvelles grandes migrations de populations, qui seraient poussées par la sécheresse ou par les inondations. L'actualité récente tendrait plutôt à démontrer que ce sont des conflits armés qui engendrent des foules de migrants en désarroi, tandis que les aléas naturels sont gérés par adaptation progressive dans les zones les plus vulnérables.

UTILISER LE SYSTÈME DES VILLES POUR RÉUSSIR L'ADAPTATION

Quelles préconisations pourrait-on avancer à partir des connaissances scientifiques sur les villes pour faire face aux différents défis posés par le changement climatique? Par-delà toutes les solutions techniques qui sont avancées, pour des modes de transports moins polluants, pour des bâtiments plus économes en matériaux et moins coûteux en énergie, pour des économies plus circulaires et plus sobres, il me semble qu'il faudrait faire davantage entrer dans la conscience collective la richesse potentielle que représente l'organisation des villes en systèmes de villes.

La tendance commune semble en effet de réagir aux possibles menaces et aux nécessités de l'adaptation en considérant « la » ville dans son écosystème local, comme si on se reportait au temps où les difficultés de communication plaçaient toutes les villes sous la grande dépendance de leur environnement immédiat, pour leur approvisionnement alimentaire et pour l'écoulement de leur production. Ce n'est plus le cas aujourd'hui, il faut donc mobiliser toutes les ressources qu'apporte l'organisation

des villes en systèmes. La plus évidente est la mise en réseau des villes à l'échelle mondiale, qui engage un processus *top-down* de nouvelles régulations appuyées sur des observations et des calculs d'échelle macro-géographique. Les conférences sur le climat apportent leur contribution à la diffusion de bonnes pratiques que l'émulation caractéristique de la dynamique des systèmes de villes contribue à faire adopter très largement, dans les représentations communes tout comme dans les faits matériels. Mais il faut aussi compter avec l'invention de solutions locales, mieux adaptées à tel ou tel type d'environnement urbain, qui peuvent se propager, selon un processus *bottom-up*, dans bien d'autres villes, en utilisant les réseaux développés dans ces mêmes systèmes, généralement sous forme de « clubs » ou d'associations plus ou moins spontanées de villes partageant des conditions similaires.

Plus encore, c'est la complémentarité des villes de différentes tailles et de différents profils socio-économiques qu'il faudrait respecter et utiliser davantage. En effet, il n'existe pas de « taille optimale » de ville dans les systèmes de villes, qui sont nécessairement différenciés hiérarchiquement du fait de la dynamique des interactions qui fondent leur existence. Bien souvent, des villes qui au cours de l'histoire avaient été délaissées pendant plusieurs décennies ont été redécouvertes par des investisseurs porteurs d'innovations qui ont su valoriser leur potentiel dans le contexte d'un nouveau cycle d'innovations (Paulus, 2004). Certains calculs, qui sont encore à perfectionner, sous forme de « lois d'échelle » urbaines, tendraient à démontrer que les grandes villes sont plus économes en ressources et plus productives que les petites en termes quantitatifs (le nombre et la longueur des infrastructures

nécessaires par habitant sont moins élevés dans les grandes villes que dans les petites, alors que la production par habitant y est plus importante). Mais il ne faut pas oublier que la qualité de vie est souvent l'argument le plus fort employé par ceux qui ont choisi d'habiter dans des villes petites ou moyennes, et que cette notion socialement très importante est encore trop imparfaitement mesurée. De même que la biodiversité est pensée comme

un facteur de résilience pour les systèmes naturels, la géodiversité urbaine (cf. ERC GeoDiverCity) participe de la résilience des systèmes sociaux. Perfectionner la recherche sur ces systèmes, que ce soit en améliorant les mesures et les comparaisons (Pumain *et al.* 2015), ou en réalisant des modèles de simulation mieux validés (Schmitt *et al.*, 2014) est aussi une forme de contribution collective pour favoriser l'adaptation au changement climatique.

RÉFÉRENCES

Bairoch P. 1985, *De Jéricho à Mexico*, Paris, Gallimard.

Berry B.J.L. 1964, « Cities as Systems Within Systems of Cities », *Papers of the Regional Science Association*, 13, p. 147-163.

Davis M. 2006, *Le pire des mondes possibles*. Paris, La Découverte.

ERC GeoDiverCity : <http://geodivercity.paris-geo.cnrs.fr/blog/>

Hägerstrand T. 1952, *Innovation Diffusion as a Spatial Process*, Lund Studies in Geography.

Paulus F. 2004, *Coévolution dans les systèmes de villes : croissance et spécialisation des aires urbaines françaises de 1950 à 2000*, université Paris 1, thèse de doctorat [<https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/47583/filename/tel-00008053.pdf>].

Pumain D. (éd.) 2006, *Hierarchy in Natural and Social Sciences*, Dordrecht, Springer.

Pumain D., Swerts E., Cottineau C., Vacchiani-Marcuzzo C., Ignazzi A., Bretagnolle A., Delisle F., Cura R., Lizzi L, Baffi S. 2015, « Multi-Level Comparison of Large Urban Systems », *Cybergeo*, 706 [DOI : 10.4000/cybergeo.26730].

Schmitt C., Rey-Coyrehourcq S., Reuillon R., Pumain D. 2014, « Half a Billion Simulations », *Environment and Planning B*, 42, 2, p. 300-315.

LES MIGRATIONS INDUITES PAR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE : UNE STRATÉGIE D'ADAPTATION INÉVITABLE ?

KATRIN MILLOCK

Plusieurs rapports sur le changement climatique font état de pronostics alarmants pour le futur en identifiant des populations vulnérables qui pourraient migrer suite à des changements climatiques défavorables. Le rapport Stern¹, notamment, identifiait 200 millions de personnes à l'horizon 2050 comme étant potentiellement sujettes à des événements climatiques qui pourraient induire des migrations. Cependant, il faut bien distinguer le type de migration : entre des déplacements forcés et des migrations choisies, de la migration circulaire ou temporaire à la migration permanente de tout un ménage, les causes – ainsi que les conséquences – sont très différentes. Les cas très médiatisés de demande d'asile en Nouvelle-Zélande d'un habitant de Kiribati (rejetée) et d'une autre famille de Tovału (acceptée), des îles menacées par la montée des mers et dont les habitants n'ont pas d'autre choix suite à une destruction du lieu de leur résidence habituelle, sont très éloignés des

cas des migrants des pays pauvres poussés par l'absence d'opportunités de travail dans le secteur traditionnel agricole, des cas dans lesquels le facteur environnemental entre comme un facteur parmi d'autres dans le choix de migrer ou non. Ces aspects multiples de la migration environnementale se reflètent dans les débats et négociations actuelles autour de la création d'un statut juridique d'un migrant environnemental. Par ailleurs, les déplacements internes semblent suivre une autre logique que la migration internationale, plus coûteuse en soi. Si les populations les plus vulnérables au changement climatique sont les plus pauvres, ces ménages risquent d'être parmi ceux subissant les conséquences au lieu d'avoir la possibilité de migrer, un fait observé aussi bien dans des pays riches, comme après l'ouragan Katrina qui avait frappé La Nouvelle-Orléans en août 2005. La migration peut donc être analysée dans l'optique du choix rationnel, et *in fine* une décision économique, et aussi dans l'optique de déplacement forcé subi sans autre choix, tout en tenant en compte qu'une partie de la population ne migrera pas et qu'elle serait peut-être la plus vulnérable.

¹ Stern N. (2007), *The Stern Review on the Economics of Climate Change*, Cambridge (UK), Cambridge University Press.

Les études économiques sur la migration et le changement climatique ne sont pas unanimes dans leurs conclusions. D'un côté, une étude récente sur les migrations internationales, qui inclut celles dans l'hémisphère Sud, concluait qu'il n'y avait aucun effet avéré sur les migrations internationales ni des anomalies de température ou de précipitations, ni des désastres naturels². D'un autre côté, cette même étude démontre un effet des désastres naturels sur l'urbanisation à l'intérieur des pays touchés. Ceci est cohérent avec un grand nombre d'études sur les flux de migration interne suite à des changements environnementaux³, qui trouvent plutôt des effets sur les migrations internes – et notamment des zones rurales à des zones urbaines – qu'un impact sur la migration internationale, plus coûteuse. Une autre étude récente démontre cependant un effet statistiquement significatif de la variabilité des pluies sur les migrations internationales⁴. Donc, en premier lieu, les résultats diffèrent selon l'indicateur de changement climatique. Différents types d'événements climatiques – graduels ou subits – induiraient différentes réponses migratoires. Par exemple, dans certains pays sujets à des sécheresses récurrentes, les populations se sont adaptées et ont développé des systèmes de migrations circulaires⁵. L'effet

des changements graduels de la température et de la pluie est différent de celui des désastres naturels, telles les inondations ou des tempêtes⁶. Dans les recherches existantes on note plutôt une tendance vers des déplacements temporaires à court terme à la suite des événements non anticipés. Suite à des changements graduels, la réponse serait plutôt de migrer à plus longue distance, si une décision de migration est prise. En effet, toute la difficulté des études actuelles réside dans cette décision conditionnelle : pourquoi certains individus migrent et pourquoi d'autres ne le font pas ? Cette hétérogénéité dans les réponses migratoires est bien comprise dans la nouvelle économie de la migration et les études plus récentes sur les migrations environnementales utilisent ce cadre pour mieux comprendre la vulnérabilité et les réponses migratoires des ménages⁷.

Au final, même si nous comprenons mieux les interactions entre caractéristiques des ménages et le type de changement environnemental qui font que certains ménages migrent et d'autres ne le font pas mais s'adaptent sans changer leur lieu de résidence, nous n'avons aucune certitude quant aux nombres de migrants futurs. Le 5^e rapport d'évaluation du groupe de travail II du GIEC, qui traite des incidences et de l'adaptation au changement climatique, rappelle qu'il y a une forte probabilité d'accroissement des flux migratoires suite

aux changements climatiques mais qu'il reste beaucoup d'incertitude quant à la grandeur de ces flux. Actuellement, il est difficile de quantifier les flux potentiels induits par le changement climatique avec exactitude, mais nous savons qu'ils seront plus probables dans le futur même si un accord ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre était conclu à Paris en décembre 2015. Ces flux viendront renforcer ceux déjà existants dans les couloirs de migration connus, et ceci du fait que les barrières de la migration – notamment *via* la langue, la culture et les coûts de déplacement – sont toujours difficiles à franchir.

La migration commence donc, petit à petit, à être considérée comme une stratégie d'adaptation parmi les autres. Comment intégrer ceci dans les politiques de lutte contre le changement climatique ? D'abord, en facilitant la migration pour ceux qui l'ont choisie et surtout pour ceux qui ne l'ont pas choisie mais pour qui c'est un déplacement forcé. Malheureusement la plupart de ces déplacements auraient lieu à l'intérieur des pays en voie de développement, plus vulnérables à des changements climatiques vu leur localisation et leurs capacités moins grandes d'adaptation. Cette migration se fera surtout des zones rurales vers des

zones urbaines et aggraverait des problèmes environnementaux ou sociaux déjà existants. Une politique de soutien efficace pour ne pas aggraver une urbanisation mal contrôlée serait de renforcer la résilience du secteur agricole dans les pays les plus sujets au changement climatique. Ceci implique un soutien à la conversion du secteur agricole vers des variétés résistantes aux sécheresses, par exemple, et toute autre forme de soutien qui aide le secteur agricole à mieux s'adapter aux changements climatiques.

Cependant, la migration n'a pas seulement un impact dans les pays de destination ; elle rapporte aussi des ressources aux non-migrants dans les pays d'origine par les transferts des fonds des migrants, qui dépassent largement l'aide officielle au développement donnée par les pays les plus riches. L'utilisation de ces fonds et leur rôle dans l'adaptation au changement climatique est une question très importante qui commence à être étudiée. La facilitation des transferts des fonds des migrants est donc une autre politique non-sectorielle qui pourrait avoir des retentissements pour l'adaptation au changement climatique dans les pays en voie de développement.

² Beine M., Parsons C. (2015), « Climatic Factors as Determinants of International Migration », *Scandinavian Journal of Economics*, 117 (2), p. 723-767.

³ Voir, entre autres, Gray C. (2009), « Environment, Land, and Rural Out-Migration in the Southern Ecuadorian Andes », *World Development*, 37 (2), p. 457-468.

⁴ Coniglio N., Pesce G. (2015), « Climate Variability and International Migration: An Empirical Analysis », *Environment and Development Economics*, 20 (4), p. 434-468.

⁵ Findley S. (1994), « Does Drought Increase Migration? A Study of Migration from Rural Mali during the 1983-1985 Drought », *International Migration Review*, 28 (3), p. 539-553.

⁶ Bohra-Mishra P., Oppenheimer M., Hsiang S.M. (2014), « Nonlinear Permanent Migration Response to Climatic Variations But Minimal Response to Disasters », *Proceedings of the National Academy of Science*, 111 (27), p. 9780-9785.

⁷ Voir la revue exhaustive de la littérature dans Millock (2015), « Migration and Environment », *Annual Review of Resource Economics*, vol. 7 (à paraître en octobre).

TITRE
YANN TOMA

LE MÉRIDIEN CLIMATIQUE

INTRODUCTION

YANN TOMA

De plus en plus d'artistes réagissent et entendent travailler durablement contre l'intensification du dérèglement climatique. Investis par un engagement profond pour la préservation de la nature, ils tentent de convoquer les forces invisibles qui nous environnent afin que notre perception se modifie. Le « méridien climatique » est un demi-cercle imaginaire tracé sur le globe terrestre et reliant les pôles géographiques. Toujours en mouvement, il symbolise autant le réchauffement climatique que la limite intangible de nos capacités à inverser la tendance des changements à l'œuvre, du fait de l'activité humaine.

S'interrogeant directement sur ce que l'activité humaine porte en elle de conséquences catastrophiques pour la planète, les pratiques artistiques entendent aujourd'hui incarner une certaine idée du changement par une pratique artistique du lien. Il est désormais question d'inviter l'individu à accompagner les mutations sociales et solidaires au sein de pratiques résolument tournées vers notre environnement immédiat. L'œuvre d'art, au contact des enjeux climatiques, questionne et investit l'individu dans une accélération des solutions à donner.

Franchissant continuellement les méridiens par sa pratique critique de l'espace de création, l'artiste nous invite à prendre conscience de nos facultés autant qu'à réveiller la communauté mondiale sur les enjeux sociaux liés aux mutations climatiques en cours.

Artistes et chercheurs, ils investissent aujourd'hui le centre Panthéon Sorbonne et entendent questionner les grands enjeux environnementaux contemporains, participer à l'émergence de nouveaux comportements collectifs envers la nature au sein même de nos villes, envisager l'art comme vecteur de lien social dans un moment où une activité revendiquée comme disruptive semble prendre forme aux quatre coins du globe.

ART ORIENTÉ OBJET

Marion Laval-Jeantet, artiste, et Benoît Mangin, metteur-en-œuvre, placent l'écologie, comprise comme la science interrogeant nos conditions d'existence, au cœur de leur démarche artistique. Depuis 1991, ils travaillent l'installation, la performance, la vidéo et la photographie *autour du thème du Vivant*. Ce qui les conduit à aborder aussi bien la biologie, que les sciences du comportement (psychologie et éthologie, d'où la forte présence animale dans leur travail), l'écologie ou l'ethnologie dans des créations poétiques, autant politiques que visionnaires. Leur souci écologique les porte à produire des œuvres où le caractère artisanal est revendiqué et le recyclage habituel, leur octroyant un caractère de bricolage de *haute volée*. Pour eux, la notion de recyclage va jusqu'au recyclage des idées éprouvées, qu'ils ont définies comme *ready-thought* dès le début de leur collaboration.

Art Orienté Objet a mené le projet *Unrooted Trees* dans une forêt primaire africaine en pleine déforestation. Marion Laval-Jeantet et Benoît Mangin ont suivi, filmé et photographié la coupe de grands arbres par des compagnies forestières, et les conséquences environnementales de cette exploitation, tout en écoutant les autochtones, les Pygmées Baka, qui témoignaient de la destruction vertigineuse de leur environnement. Les zones forestières africaines sont devenues

des zones de non-droit dangereuses où le cataclysme écologique conduit au drame humain. L'ensemble de ce projet, qui témoigne des étapes de transformation de la forêt native en forêt de palmiers à huile, joue sur une esthétique à la fois pathétique et grandiose. Il a été exposé dans de grandes villes côtières africaines pour donner à voir un phénomène dont elles n'ont généralement pas pris conscience.



Art Orienté Objet, *Résilience*, 2009, 124 × 160 cm (série du projet *Unrooted Tree*).

Art Orienté Objet, *La chute*, 2009, 124 × 160 cm (série du projet *Unrooted Tree*).





BACSAC

BACSAC

BACSAC est né en 2009 d'une rencontre entre un designer passionné de nature, Godefroy de Virieu, et deux paysagistes impliqués dans le retour de la nature en ville, Virgile Desurmont et Louis de Fleurieu. Ensemble, ils inventent un nouveau type de contenants souples en géotextile. BACSAC est une entreprise artiste qui allie esthétique et intelligence de l'usage à travers un projet qui permet aux citoyens de cultiver la terre, participant à la réintroduction de la nature dans la ville. BACSAC fait retrouver ou découvrir le plaisir d'avoir la nature à portée de main. Dans un but écologique et social, BACSAC équipe actuellement trois cents écoles de la ville de Paris en potagers vivriers où les enfants prennent conscience de la réalité de ce qu'ils mangent.

« La ligne végétale ou comment la terre dégage du bonheur » participe de cet esprit de relation à l'autre. Dans la cour d'honneur du centre Panthéon, BACSAC implante un potager participatif que tous les membres de l'université alimentent au fil de la semaine durable. Incarnée par l'implantation et l'animation de ce potager au cœur de l'activité d'un centre universitaire, la « ligne végétale » symbolise la possibilité de créer et d'entre-

tenir des jardins et des potagers à l'infini, ensemble. Elle présente un nouveau type de jardin, un lieu de sensation, un lieu de parfums combinant jardins à la française, labyrinthe, jardin en permaculture, jardin Mandala. Cette œuvre illustre aussi le lien entre art, environnement, économie et politique.

BACSAC, *La ligne végétale ou comment la terre dégage du bonheur*, vue d'ensemble, potager participatif, dispositif BACSAC, terre, plantes, 2015.



OLAFUR ELIASSON



Olafur Eliasson, *Little Sun*, 2012
Photo: Merklit Mersha © 2012 Little Sun

Olafur Eliasson (né en 1967, a grandi en Islande et au Danemark, vit et travaille à Copenhague et Berlin) combine l'art et la science pour explorer notre relation à l'espace, au temps et à la perception. Pour lui, l'art joue un rôle crucial dans nos façons de penser le monde en action. Son travail illustre la puissance des efforts de collaboration, et son art est aussi à l'aise dans les musées, dans l'espace public, que dans la vie quotidienne. Sa pratique de l'art ne se limite pas aux musées et aux galeries, elle touche une sphère beaucoup plus vaste à travers des projets architecturaux et des interventions dans l'espace public. Le Studio Olafur Eliasson regroupe aujourd'hui plus de quatre-vingts artisans, chercheurs, architectes, historiens de l'art et cuisiniers.

Little Sun, né de la collaboration de l'artiste avec l'ingénieur Frederik Ottesen, prend position dans l'université et devient accessible aux étudiants, enseignants et personnels administratifs qui ont ainsi l'occasion de participer à une entreprise sociale et un projet global. *Little Sun* offre une lumière propre, fiable et abordable pour 1,2 milliard de personnes hors réseau électrique et touchées par le changement climatique et la désertification. *Little Sun* apporte une solution alternative aux éclairages traditionnels telles les lampes à pétrole, au combustible onéreux et toxique, ou bien au feu de bois qui accroît la

désertification. Le projet a officiellement vu le jour en juillet 2012 à la Tate Modern de Londres. Près de 300 000 *Little Sun* ont déjà été vendus à travers le monde, la moitié à destination de régions dépourvues d'électricité, l'autre moitié dans les pays du Nord, où l'achat soutient la vente de *Little Sun* à prix plus abordable au Sud. Au printemps 2016 sera lancé *Little Sun Charge*, qui permettra la recharge d'un téléphone portable, lien social et économique désormais vital dans les pays du Sud.

Un projet Artists 4 Paris Climate 2015

WEN FANG

Depuis douze ans, le travail de l'artiste chinoise Wen Fang (née en 1976 à Pékin, Chine) apporte une profonde réflexion sur les grands enjeux sociaux et environnementaux. Artiste de renommée internationale, elle est régulièrement exposée en Chine, en France mais aussi en Corée ou en Italie, dans les galeries et fondations les plus prestigieuses. Diplômée de l'université d'Arts de Pékin et de l'ENS Louis-Lumière en France, elle place l'humain et la nature au cœur de ses créations. Elle part du principe que « la personne que nous pouvons vraiment sauver est nous-même ». Forte de ce constat, elle propose d'être actrice du changement. Elle agit sur les thèmes du droit des femmes, de la maladie, des enfants orphelins, et met également l'accent sur l'environnement.

Wen Fang est à l'origine du projet Maskbook lors du Conclave des 21 à la Gaieté Lyrique fin novembre 2014. Elle fait partie des 21 (un collectif d'artistes, entrepreneurs sociaux et jeunes leaders du climat et de l'environnement de douze pays différents) de l'association Art of Change 21 créée par Alice Audouin en 2014.

Wen Fang est engagée sur le projet Maskbook de Paris à Pékin. Elle lancera le projet Maskbook en Chine début octobre grâce à une page WeChat dédiée et les premiers ateliers à Pékin lors de la Beijing Design Week. Elle y animera les ateliers Maskbook. Un événement de lancement aura lieu à Pékin le 6 octobre, avec le soutien de l'ambassade de France. Wen Fang sera également à Paris pendant la COP21 dans un espace au Grand Palais lors de Solutions COP21.

Un projet Art of Change 21



Wen Fang, *Green Mouse*, porté et créé par Alma Molsted Andersen, photographié par Joel Ramello, Danemark, 26 août 2015, tissus et plantes.

Wen Fang, *Noodle*, porté et créé par Jolly Jumper, photographié par Joel Ramello, La Réunion, 26 août 2015, plantes, tissus, bouchons, plumes.



INGOLD AIRLINES



Ingold Airlines, Observatoire et biotope pour des oiseaux et papillons, 12 colonies d'abeilles, installation en aluminium, illumination, annonces acoustiques, signaux pour la sécurité aérienne, école de pilotage pour les jeunes oiseaux, dimensions variables.

Ingold Airlines est une entreprise artiste créée en 1982 par Res Ingold. Ce n'est pas seulement un transporteur aérien ou une entreprise d'affaires banale, c'est une attitude intellectuelle et une conviction intime. Pour Ingold Airlines, le vol représente plus que le simple processus corporel réel, il implique aussi des idées, c'est-à-dire un composant immatériel. Ingold Airlines s'engage entre autres pour le développement d'un réseau mondial d'observation du trafic aérien illimité des oiseaux. Les oiseaux migrateurs ont des mœurs qu'ils transmettent d'une génération à l'autre. Les changements environnementaux influencent les habitudes et les comportements des oiseaux ainsi que leurs plans de vol. De nombreuses espèces préfèrent les couloirs urbains où ils trouvent des sources de nourriture et des gîtes largement plus confortables que dans la nature sauvage.

Le réseau des *Ornithoports* tient compte de cette réalité et coopère avec des partenaires engagés dans le monde entier pour soutenir les besoins des espèces volantes à une époque où le climat est bouleversé. Les *Ornithoports* consistent en des zones de contrôle avec des pools de service pour le soutien de l'atterrissage, le décollage et la fourniture générale des oiseaux et d'autres espèces volantes. La conception des systèmes s'appuie sur les dernières connaissances de l'ornithologie et sur la protection de la nature. Les *Ornithoports* appliquent les

directives internationales et les accords pour la sécurité aérienne.

Les *Ornithoports* sont dirigés par des opérateurs locaux, qui possèdent une concession Ingold Airlines valide et qui acquièrent une licence de gestion indépendante pour aéroport d'oiseaux. Les montants de la concession dépendent de la classification et l'approbation de la compagnie.

www.ingolduniversal.com

Ingold Airlines, Internationaler Vogelflughafen auf dem Dach der Bundeskunsthalle
Aéroport international d'oiseaux sur le toit de la galerie d'art et expositions
de la République fédérale allemande, Kunst- und Ausstellungshalle der BRD,
Bonn, été 2011-hiver 2013.
Kuratiert von Stephan Andreae.

ingold airlines



international ornithoport



OLGA KISSELEVA, LABOFACTORY

Dans le cadre de l'exposition *Le Méridien climatique*, Olga Kisseleva invite Labofactory pour la création in situ 2080.

Olga Kisseleva est artiste-chercheur. Elle enseigne l'art contemporain et dirige l'équipe Art&Sciences à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. Labofactory est un groupe artistique expérimental, créé en 2005 par Jean Marc Chomaz, artiste-chercheur et professeur à l'École Polytechnique, Laurent Karst, architecte-designer, professeur à l'ENSA de Dijon.

L'installation et la performance 2080, créées initialement à Amsterdam par Labofactory, où l'oxygène de l'air devient tangible, nous donne à ressentir la fugacité de l'atmosphère. L'homme a compris la non-pérennité de l'air depuis l'invention du vide et de la pression atmosphérique par Blaise Pascal. L'idée de non-pérennité de la part d'oxygène qui compose l'air n'est pas encore entrée dans la conscience collective, car paradoxalement l'oxygène n'est pas encore perçu comme une ressource non durable et aucun pays n'a encore proposé d'en taxer la consommation.

Seules les multinationales comme Air Liquide qui commercialisent ce bien commun, comprimé ou liquéfié, se posent la question de son économie durable ainsi que de l'épuisement de sa capacité de régénération que pourrait induire le développement de nouveaux procédés de production d'énergie ou l'affaiblissement de la vie dans les océans. 2080 part de la constatation que si l'ensemble de l'atmosphère était liquéfié alors la planète serait recouverte d'une couche de 2080 mm d'oxygène liquide, à peine plus que la taille d'un humain.



2080, installation et performance par Labofactory sur l'invitation de Olga Kisseleva.

LUCY + JORGE ORTA

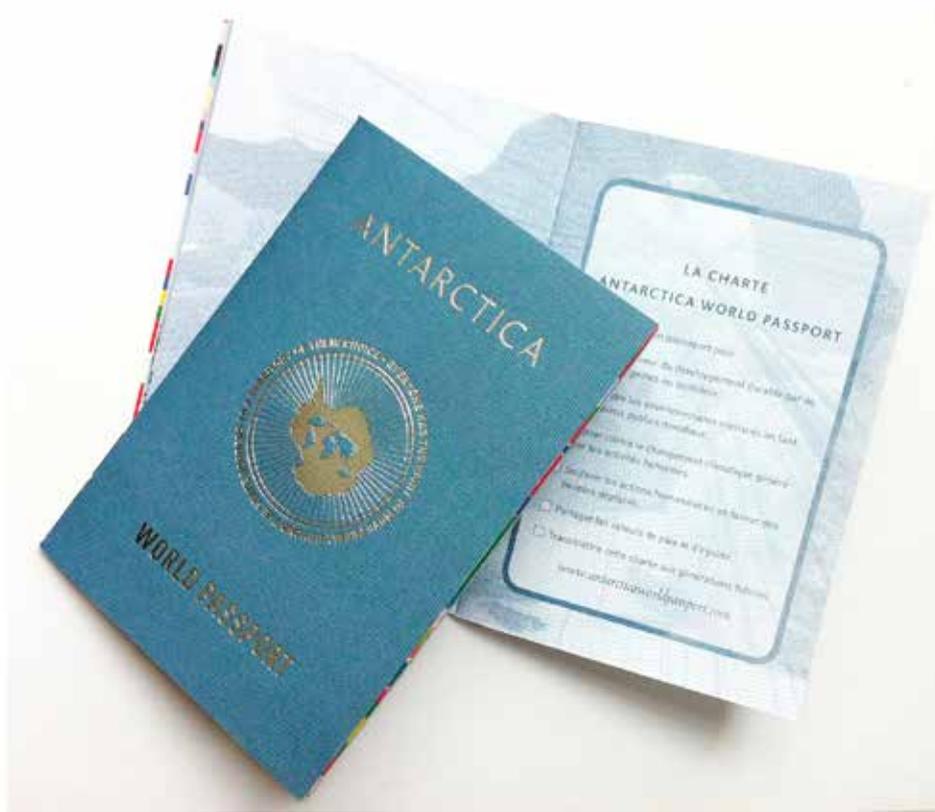
Lucy Orta (née en 1966 à Sutton Coldfield, Royaume-Uni) & Jorge Orta (né en 1953 à Rosario, Argentine) fondent le Studio Orta en 1991.

Le projet « Antarctica » concerne les problèmes relatifs à l'environnement, la politique, l'autonomie, l'habitat, la mobilité et les relations humaines. L'Antarctique connaît les conditions climatiques des plus hostiles : c'est l'endroit le plus froid sur terre, avec des températures allant jusqu'à - 80°. Le continent, qui n'a aucune habitation permanente ni population originelle, contient le désert de glace le plus vaste au monde. Mais c'est une magnifique réserve naturelle dont les glaciers représentent 80 % de l'eau pure de la planète. C'est la seule région neutre du monde.

Pour Lucy + Jorge Orta, l'Antarctique incarne l'utopie : un continent dont le climat extrême nécessite entraide et solidarité, indépendance de la recherche, partage et collaboration pour le bien de la planète. Lieu de

blancheur immaculée, il concentre tous les souhaits de l'humanité pour diffuser un message d'espoir aux générations futures.

La sculpture *Village de délivrance du Passeport Universel Antarctique* invite les visiteurs à enregistrer leur demande pour le *Passeport Universel Antarctique* et à devenir membres de la Communauté Antarctique Mondiale, en croissance permanente [www.antarcticaworldpassport.com]. Avec plus de 40000 exemplaires aujourd'hui en circulation, le *Passeport Universel Antarctique* incarne parfaitement la notion d'« Esthétique en fonctionnement ». L'objectif de cette œuvre est en effet de mobiliser les citoyens de la planète pour protéger l'Antarctique, agir contre le réchauffement climatique et lutter pour la paix.

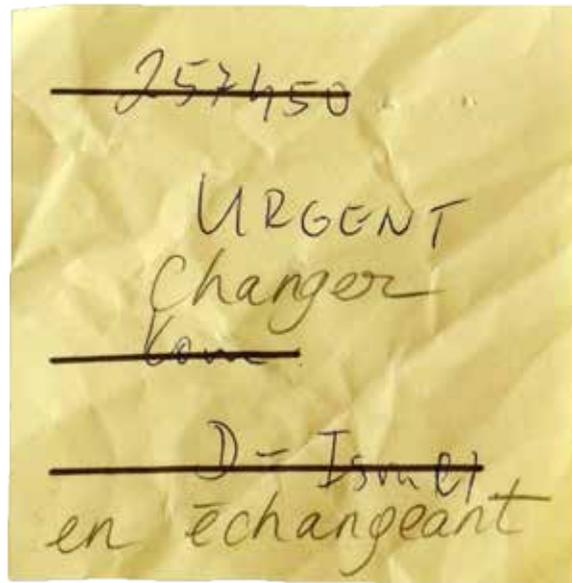


Lucy + Jorge Orta, *Antarctica World Passport (Passeport International Antarctique)*, 2008-2015.
Édition 40000 exemplaires. Inscription en ligne : www.antarcticaworldpassport.com

Lucy + Jorge Orta, *Antarctica World Passport - Mobile Delivery Bureau*, 2008, Diptyque fenêtre sur le monde, photographie laminé lambda, échantillons en bouteilles. Bureau et chaise. Assemblage d'étagères en bois avec : bouteilles en plasma, fragments de vêtements, flacons, trousse de premiers secours, couvertures en laine, valise des passeports, flotteurs, ustensiles divers en aluminium et pots, murs de timbres en pochoirs, 180 h × 180 × 80 cm.

BARBARA PORTAILLER

Barbara Portailier développe depuis plusieurs années le concept d'« art circulaire » pour reconfigurer notre rapport au monde, de manière durable, sans pour autant faire table rase. Il s'agit d'un reconditionnement des valeurs nominatives, éthiques et sociales en écho aux défis environnementaux et sociétaux. Dans sa pratique artistique, il s'agit tant de conceptualiser que de mettre en forme des réseaux de valeurs circulaires (recyclage vertueux des ressources au sens large, économique, social, environnementale et éthique) dans l'espace public-privé, œuvrant comme partie prenante de la société, via une pratique artistique participative. Barbara Portailier est intégrée à l'équipe de recherche Art & Flux (UMR ACTE/CNRS). Elle est résidente permanente au centre d'art le 6B à Saint-Denis.



Composte envahit le hall Saint-Jacques telle une excroissance de pensées « court-termistes » sur une ancienne porte intérieure de l'université. Elle ouvre une brèche sur l'horizon d'un renouvellement durable de la pensée. Composée de *post-it* usagés récupérés auprès d'Andrea, Clément, Giulia, Jonathan, Laurent, Nora, Robert, Stan, salariés d'une entreprise, les aide-mémoire quotidiens de ces derniers sont remplacés par l'artiste avec des axiomes d'art circulaire.

Inspiré par les principes de l'économie circulaire et la philosophie du *Do It Yourself*, l'art circulaire valorise les déchets des uns, en matières premières des autres. Il s'agit d'œuvrer collectivement au partage du sens. Nos déchets quotidiens sont chargés de réminiscences collectives. De ce qui est précieux à ce qui fait sens, de ce qui permet l'échange à ce que permet l'échange, notre relation à l'altérité dit beaucoup de notre relation au monde. L'autre se fait environnement.

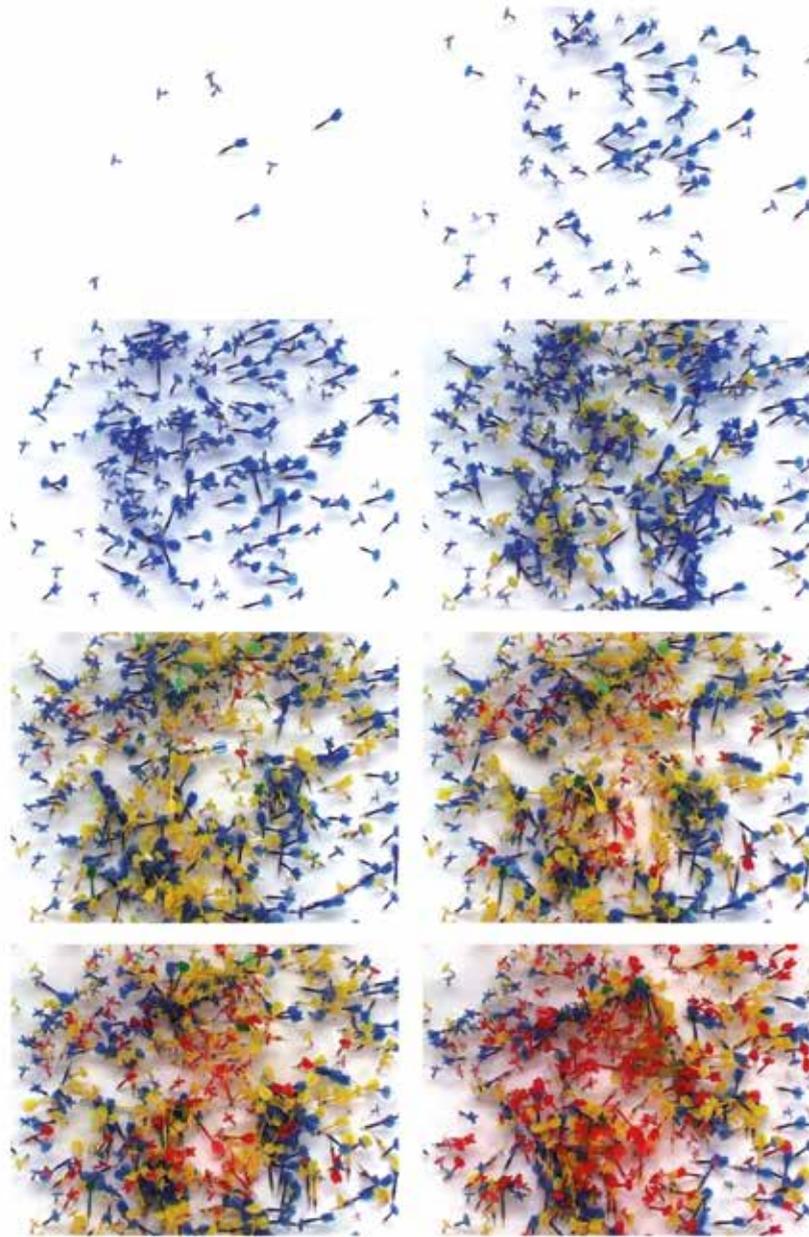
Barbara Portailier, *Composte*, 2015, œuvre circulaire *in situ*, post-it neufs et usagés, encre, crayon bois, dimensions variables.

BENJAMIN SABATIER

Benjamin Sabatier (né en 1977 au Mans, France) est représenté par la galerie Catherine Issert (Saint Paul) et Snap Projects (Lyon). Qu'il taille des crayons pendant trente-cinq heures, crée la structure de production d'œuvres en kit IBK, s'empare de l'histoire ouvrière et militante de Besançon ou déploie une œuvre sculpturale marquée par une esthétique du chantier, Benjamin Sabatier interroge de manière récurrente le concept de travail, qui fonctionne comme étalon dans une démarche cherchant avant tout à inscrire l'art dans un contexte socio-économique plus large. Son vocabulaire artistique se compose de matériaux bruts et facilement accessibles, brique, béton, ustensiles de bricolage, carton, scotch, etc. qu'il manipule dans le cadre de processus de fabrication extrêmement simples et lisibles, évacuant toute référence au geste héroïque du sculpteur au profit d'une certaine littéralité où se révèle au premier regard le fonctionnement de l'œuvre. Cette « fulgurance », qui n'en demeure pas moins polysémique, rend ainsi facile et possible sa reproduction par tout un chacun.

Combinant divertissement et destruction massive, la vidéo *Hard Rain* engage le spectateur dans un espace ambivalent et dans un processus de suspens. Le bombardement continu de plus de trois mille jeux de fléchettes nous rappelle peu à peu la vue d'un champ de fleurs, mais à mesure que les formes et couleurs vives s'accumulent, impactant la surface de manière répétée et

agressive, l'image poétique se transforme en un commentaire écologique. Tel un bouquet funéraire déposé sur le champ de bataille, l'accumulation devient le symbole esthétique de la dévastation de la nature. La vidéo *Hard Rain* de Benjamin Sabatier fut tournée en 2008, il a reçu le soutien du MAK à Vienne et de la galerie Jérôme de Noirmont (Paris).



Benjamin Sabatier, *Hard Rain*, 2008, vidéo 9'20.
Courtesy de l'artiste et du MAK, Vienne.



Tomás Saraceno, *Critical phase transitions / Air-Port-Cities-Cloud-City*, Atelier Calder, Saché, France, 2010
© Studio Tomás Saraceno.

TOMÁS SARACENO

Après avoir obtenu son diplôme d'architecture à l'Universidad Nacional de Buenos Aires en Argentine, Tomás Saraceno (né en 1973 à Tucuman, Argentine, vit et travaille à Berlin, Allemagne) a poursuivi un troisième cycle en art et architecture à la Escuela Superior de Bellas Artes de la Nación Ernesto de la Carcova, Buenos Aires (2000) puis à la Staatliche Hochschule für Bildende Künste – Städelschule – Francfort am Main (2003).

L'œuvre de Tomás Saraceno pourrait être considérée comme une recherche en cours, nourrie par les mondes de l'art, de l'architecture, des sciences naturelles et de l'ingénierie; ses sculptures flottantes et installations interactives proposent et explorent de nouvelles façons, durables, de se mouvoir, d'habiter et de percevoir notre environnement, vers un *devenir aerosolaire*.

Le nouveau projet *Aerocene* de Tomás Saraceno nous invite à penser à de nouvelles façons de détecter la circulation de l'énergie et des ressources, vers un nouvel imaginaire thermodynamique, recadrant activement les éthiques matérielles et politiques de nos modes contemporains de déplacement, logement, et d'être-ensemble, ici sur Terre. Il poursuit la vision de *Cloud Cities*, engage-

ment antérieur de Tomás Saraceno. Pour COP21 Paris, l'artiste présentera *Aerocene* au travers d'une installation sculpturale spectaculaire sous la nef centrale du Grand Palais. Au palais de Tokyo, un colloque sera organisé, et une série d'actions et de performances collectives, sur la base de principes de collaboration « open-source », aura lieu dans divers lieux.

Un projet Artists 4 Paris Climate 2015



Taryn Simon, *Illuminated Wind Turbine*, projet (vue d'artiste).

© Taryn Simon Studio, Galerie Almine Rech, Paris / Bruxelles & Artists 4 Paris Climate 2015.

TARYN SIMON

L'œuvre de Taryn Simon (née en 1975 à New York City, où elle vit et travaille) est le résultat d'un processus de recherche et d'investigation rigoureux, centré sur la structure et le poids du secret, ainsi que sur la précarité des mécanismes de survie. Mêlant photographie, texte sculpture, performance et graphisme, sa pratique multidisciplinaire traite de la production et de la circulation de la pensée comme des politiques de représentation.

Illuminated Wind Turbine s'inscrit dans la perspective du Grand Paris pour y incarner le symbole même de la « troisième révolution industrielle » : l'éolienne. Illuminée par des centaines de lampes LED dans la « Ville Lumière », cet objet technique s'impose par lui-même, en écho au symbole d'une autre révolution industrielle : la tour Eiffel. Le futur et le passé entreront en collision dans ce décor urbain, invoquant l'histoire, la préservation et le passage du temps.

Illuminated Wind Turbine prend place dans notre vie quotidienne et engage le dialogue

avec les énergies renouvelables, au cœur même du Grand Paris. Le basculement artistique s'opère autant par l'illumination que par le simple mouvement de l'objet au cœur de la cité. L'éolienne, illuminée, questionne notre comportement, tant local que global, par sa présence architecturale et sa situation géographique. Cet acte de rupture visuelle apparaît stratégique, nous invitant à considérer nos moyens d'actions pour changer nos comportements et créer des possibilités pour le futur.

Un projet Artists 4 Paris Climate 2015



Jean-Luc Vilmouth, *Honey Tower*, 2009/2011, Kashiwa-no-ha, bois, feuilles d'or, verre, abeilles, miel (hauteur 3,5 m). © Jean-Luc Vilmouth.

JEAN-LUC VILMOUTH

Si l'art minimaliste et conceptuel de la scène anglaise influence les débuts de Jean-Luc Vilmouth (né en 1952 à Creutzwald, France, vit et travaille à Paris), son travail porte aujourd'hui l'accent sur le lien : entre l'habitat et ses occupants, entre la nature et l'architecture, entre les hommes eux-mêmes. Investissant les lieux publics, cafés, musées ou paysages naturels, il augmente, ajoute, décale, déplace les objets et retisse grâce à eux un lien perdu ou distendu.

À deux pas d'une forêt historique et en pleine cité, une communauté d'abeilles s'installe dans sa *Tour de Miel* spécifiquement conçue pour elle. Dans ce lieu singulier, un « ascenseur » permet aux abeilles de se rendre dans leurs appartements. Créée par Jean-Luc Vilmouth, la *Tour de Miel* attire notre attention sur la nécessité de se retrouver autour de fondamentaux : une communauté humaine se constitue autour du miel que les abeilles

produisent. Les abeilles se retrouvent ainsi au cœur d'un jardin partagé qu'elles se réapproprient autant que les habitants du quartier. Un *Café Miel*, en forme d'étamine de fleur, ouvert à tous, est créé, puis donné en gestion à une association. On y propose de venir y déguster la production des abeilles autour d'un café ou d'une part de gâteau au miel... et de vivre ainsi la communauté autrement.

Un projet Artists 4 Paris Climate 2015

L'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne tient à remercier l'ensemble des partenaires qui ont apporté leur concours à l'organisation de la conférence « Dynamiques sociales et changement climatique » et de l'exposition « Le méridien climatique » :

- Art of Change 21, première initiative au monde alliant l'art, l'entrepreneuriat social et les jeunes dans la perspective de la Conférence des Nations unies sur les changements climatiques (COP21).
- Artists 4 Paris Climate 2015, avec le soutien des conventions Climat et Désertification de l'ONU, labellisée COP21, Paris 2015 et parrainée par Madame la ministre de la Culture.



- la chaire Globalisation et Mondes émergents FIESP-Sorbonne
- la Commission européenne via le projet Simpol
- le conseil régional d'Île-de-France/DIM systèmes complexes
- le Labex Ouvrir la science économique
- le programme Alliance
- l'Academic Impact des Nations unies (UNAI)
- l'équipe Art & Flux, institut ACTE/CNRS



La conférence a été organisée par un comité scientifique composé d'enseignants-chercheurs de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne et de chercheurs du CNRS :

- Jean-Marc Bonnisseau, professeur de mathématiques appliquées et vice-président de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne en charge des relations internationales (Centre d'économie de la Sorbonne et École d'économie de Paris)
- Mireille Chiroleu-Assouline, professeur d'économie à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (Centre d'économie de la Sorbonne et École d'économie de Paris)
- Edwige Dubos-Paillard, maître de conférences de géographie à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (Géographie-Cités)
- Mouez Fodha, professeur d'économie à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (École d'économie de Paris)
- Emmanuelle Gautier Costard, professeur de géographie à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (Laboratoire de géographie physique)
- Catherine Larrère, professeur de philosophie à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (Centre de philosophie contemporaine de la Sorbonne)
- Antoine Mandel, maître de conférences de mathématiques appliquées à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (Centre d'économie de la Sorbonne et École d'économie de Paris)
- Katrin Millock, chargée de recherches au CNRS (École d'économie de Paris)
- Denise Pumain, professeur de géographie à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (Géographie-Cités)
- Katheline Schubert, professeur d'économie à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (École d'économie de Paris)
- Angelo Secchi, professeur d'économie à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (chaire Globalisation et Mondes émergents FIESP-Sorbonne et École d'économie de Paris)
- Yann Toma, professeur d'arts plastiques et sciences de l'art à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (équipe Art & Flux, institut ACTE/CNRS)
- François Guy Trébulle, professeur de droit et directeur du Collège des écoles doctorales de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (École de droit de la Sorbonne et Institut de recherche juridique de la Sorbonne)
- Bertrand Wigniolle, professeur d'économie à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne (École d'économie de Paris)
- Stéphane Zuber, chargé de recherches au CNRS (Centre d'économie de la Sorbonne et École d'économie de Paris)

Le commissariat de l'exposition « Le méridien climatique » a été assuré par Yann Toma avec l'assistance de Clara Daquin et le soutien des conseillers et partenaires Alice Audouin (Art of Change 21) et Didier Saulnier (Artists 4 Paris Climate 2015).

Ont été exposées, les œuvres des artistes :

- Art Orienté Objet
- BACSAC
- Olafur Eliason
- Wen Feng
- Olga Kisseleva/Labofactory
- Ingold Airlines
- Lucy + Jorge Orta
- Barbara Portaitler
- Benjamin Sabatier
- Taryn Simon
- Jean-Luc Vilmouth