

Responsabilité & Environnement

ISSN 1268-4783

Série trimestrielle - n°98 - avril 2020

Rédaction

Conseil général de l'Économie (CGEJET),
Ministère de l'Économie et des Finances
120, rue de Bercy - Télédock 797 - 75572 Paris Cedex 12
Tél : 01 53 18 52 68
<http://www.annales.org>

François Valérian

Rédacteur en chef

Gérard Comby

Secrétaire général

Delphine Mantienne

Secrétaire générale adjointe

Liliane Crapanzano

Correctrice

Myriam Michaux

Webmestre / Maquettiste

Membres du Comité de Rédaction

Pierre Couveinhes

Président du Comité de rédaction
Ingénieur général des Mines honoraire

Paul-Henri Bourrelier

Ingénieur général des Mines honoraire,
Association française pour la prévention des catastrophes
naturelles

Mireille Campana

Ingénieur général des Mines,
Conseil général de l'Économie

Dominique Dron

Ingénieur général des Mines,
Conseil général de l'Économie

Pascal Dupuis

Chef du service du climat et de l'efficacité énergétique,
Direction générale de l'énergie et du climat, MTES

Jérôme Goellner

Chef du service des risques technologiques,
Direction générale de la prévention des risques, MTES

Jean-Luc Laurent

Ingénieur général des Mines honoraire

Richard Lavergne

Conseil général de l'Économie
Ministère de l'Économie et des Finances

Didier Pillet

Ingénieur général des Mines

Philippe Saint Raymond

Ingénieur général des Mines honoraire

Bruno Sauvalle

Ingénieur en chef des Mines, MINES ParisTech

Jacques Serris

Ingénieur général des Mines,
Conseil général de l'Économie

Claire Tutenuit

Déléguée générale d'Entreprises pour l'Environnement
(EPE)

François Valérian

Rédacteur en chef des Annales des Mines

Photo de couverture

Combat contre l'incendie du Meroo National Park,
Australie, 5 janvier 2020
© Matthew Abbott/The New York Times-REDUX-REA

Iconographie

Christine de Coninck

Abonnements et ventes

COM & COM
Bâtiment Copernic - 20, avenue Édouard Herriot
92350 LE PLESSIS-ROBINSON
Alain Bruel
Tél. : 01 40 94 22 22 - Fax : 01 40 94 22 32
a.bruel@cometcom.fr

Mise en page : Nadine Namer

Impression : Printcorp

Éditeur Délégué :

FFE - 15, rue des Sablons - 75116 PARIS - www.ffe.fr
Fabrication : Aïda Pereira - 01 53 36 20 46
aïda.pereira@belvederecom.fr

Régie publicitaire : Belvédère Com

Directeur de la publicité : Bruno Slama - 01 40 09 66 17
bruno.slama@belvederecom.fr

La mention au regard de certaines illustrations du sigle « D. R. »
correspond à des documents ou photographies pour lesquels
nos recherches d'ayants droit ou d'héritiers se sont avérées
infructueuses.

Actualité de la catastrophe

04

Avant-propos

Paul-Henri BOURRELIÉ

06

Introduction

Maud DEVÈS

La catastrophe : un concept protéiforme

09

Apprendre du passé pour mieux faire face aux catastrophes

Emmanuel GARNIER

14

Tectonique et religions

Thierry GAUDIN

18

Les paradoxes de la prophétie de malheur

Critique de la collapsologie

Jean-Pierre DUPUY

22

Prospective, catastrophe et collapsologie

Jacques THEYS

Actualités de la catastrophe

29

Les incendies de forêt catastrophiques

Éric RIGOLOT, Jean-Luc DUPUY,

François PIMONT et Julien RUFFAULT

36

Les défis soulevés par la reconstruction post-Irma

Jérémy DESARTHE, Nicolas BAUDUCEAU

et Antoine QUANTIN

41

Un retour d'expérience graphique sur la crise cyclonique de 2017 aux Antilles

Élie CHEVILLOT-MIOT, Ingrid CANOVAS,

Cheila DUARTE-COLARDELLE, Christian IASIO,

Thierry WINTER et Valérie NOVEMBER

48

La recherche française sur les risques et catastrophes naturels : bilan d'une décennie de financements de l'Agence nationale de la recherche (ANR) et perspectives d'avenir

Anne LIEUTAUD, Maud DEVÈS, Nicolas ECKERT,

Gilles GRANDJEAN, Mélanie PATEAU

et Céline BILLIÈRE

53

WannaCry, une frayeur à l'échelle planétaire

Jean-Luc AMINOT

57

Financial catastrophes are sometimes more endogenous *Nuclear Swans* than exogenous *Black Swans*

Alexis BONNET and Marko LEHTIMAKI

60

Fukushima : décider en situation extrême

Franck GUARNIERI et Sébastien TRAVADEL

Agir ensemble face à la catastrophe

63

La doctrine en matière de sûreté nucléaire : une amélioration continue intégrant mieux la gestion d'un accident nucléaire

Jean-Luc LACHAUME et Sylvie CADET-MERCIER

68

Catastrophe et pilotage :

la sortie de tous nos « domaines de vol »

Patrick LAGADEC

72

La résilience : opportunité ou fausse piste ?

Magali REGHEZZA

77

Catastrophes et sécurité sanitaire : aspects conceptuels et politiques

Pr. William DAB

81

Recherche, expertise et décision face à la catastrophe : vers de nouveaux défis

Maud DEVÈS

86

Catastrophes : qu'ont à dire les humanitaires ?

François GRÜNEWALD

Hors dossier

92

Les leviers d'action pour un mix énergétique propre et sûr au service de la transition énergétique dans les territoires

Florence CARRÉ, Karine ADAM,
Raymond COINTE, Olivier GENTILHOMME,
Mathieu BRUGIDOU, Olivier GUILLAUME, Pauline
GABILLET, Corinne GENDRON,
Magali JAKUBOWICZ, Jean-Yves LEBER,
Stéphane MOCANU, Isabelle MORETTI,
Éric VIDALENC et Jacques VILLENEUVE

96

Le changement climatique :
quels enjeux pour les entreprises ?
Godefroy GALAS et Angel PRIETO

99

Bilan énergétique de la France en 2018
Données définitives

Ministère de la Transition écologique et solidaire,
Commissariat général au Développement durable,
Sous-direction des Statistiques de l'énergie (SDES)

 103

Traductions des résumés

107

Biographies

Le dossier a été coordonné par Maud DEVÈS et Paul-Henri BOURRELIER

Actualité de la catastrophe

Avant-propos

Par Paul-Henri BOURRELIÉ

Ingénieur général des Mines honoraire, ancien directeur général du BRGM

Il ne se passe guère de semaines sans que soient annoncées des catastrophes plus dramatiques, plus irrémédiables et plus inattendues que celles que nous avons en mémoire.

Ce sont pour beaucoup des feux : forêts tropicales, brousse, dépôts de produits industriels, tours d'habitation, sans oublier la voûte de la cathédrale de Paris. Ce sont également des inondations, des tempêtes alternant avec des sécheresses calamiteuses ; des glissements de terrains, des séismes, des éruptions volcaniques ; la disparition d'espèces vivantes, des effondrements de la biodiversité ; une épidémie de virus obligeant à des mesures d'isolement à une échelle jamais encore pratiquée ; des contaminations massives de milieux...

Des atteintes de nature morale grossissent de plus en plus souvent les évaluations matérielles des désastres.

Comment expliquer et apprécier ce flot d'annonces ?

Il faut d'abord faire la part de l'explosion sidérante de l'information, de l'élargissement du champ d'observation et des calculs statistiques, de la détection de faibles signaux prémonitoires qui auraient autrefois échappé à toute vigilance, d'occurrences chaotiques infimes en probabilité et néanmoins considérables en potentiel destructif.

La liste des causes auxquelles on peut imputer des catastrophes, souvent identifiées ou soupçonnées depuis longtemps, s'est précisée et complétée : ce sont les dynamiques des milieux naturels, les limites des ressources exploitées jusqu'à épuisement par les sociétés humaines, le recours à des technologies mal encore maîtrisées, les faiblesses anthropologiques de la coopération entre individus ou entre collectivités, les déséquilibres croissants induits par la mondialisation notamment sur le plan de la régulation démographique de l'occupation terrestre, le systématisme inconsidéré de la croissance fondée sur l'expansion des marchés, ainsi que la gestion laxiste des risques par insuffisance de précaution, défaillance de la vigilance préventive ou ratés de la gestion de crises aux caractéristiques nouvelles ou tout simplement oubliées. Les explications ne manquent donc pas, mais si l'attribution de chacune des catastrophes observées à un enchaînement de causes a réalisé depuis quelques décennies des progrès remarquables dans les limites assignées par l'incertitude scientifique, l'imbrication est telle qu'il est impossible d'établir globalement la tendance, la répartition des causes et la part des responsabilités humaines.

Quoi qu'il en soit, il se produit une mutation de l'image générique de la catastrophe, avec son identité et la représentation dont elle est l'objet.

Il est temps de s'interroger : le catastrophisme qui s'est répandu, particulièrement en France, est-il l'amorce d'une prise de responsabilité assumée ou incite-t-il au fatalisme déresponsabilisant ?

Traditionnellement, les prophètes annonçaient les catastrophes ou plutôt en menaçaient les peuples pour les remettre dans le droit chemin tout en délivrant en contrepartie la promesse d'une autre vie. Le dispositif de conditionnement par la répulsion/attraction du désastre suspendu et de l'avenir désirable a paradoxalement basculé : les prouesses de plus en plus vertigineuses – par exemple, aller sur Mars, prolonger indéfiniment la vie par des procédés qualifiés de transhumanistes, ou encore domestiquer l'énergie nucléaire de fusion, pratiquer une géo-ingénierie du climat –, n'étant plus crédibles à court ou moyen terme et n'étant pas accessibles à la grande majorité, ont perdu de leur attrait, alors même que le spectre de la catastrophe, amplifié par la fabrication de soupçons et les flux de *fake news* difficiles à conjurer, n'a jamais paru aussi rapproché.

La déclaration de l'urgence, fondée sur un compte à rebours glissant, se révèle inopérante pour déclencher un sursaut dans un monde où l'incertitude scientifique peut dérouter le bon sens et brouiller les cartes, invalidant un instrument de navigation comme l'est le concept de développement durable sans pour autant lui substituer une autre base de régulation – stabilisation ou décroissance ordonnée – propre à concilier les impatiences portées par la vague populiste mondiale et à construire pour les générations futures une perspective gérable, désirable.

Les derniers numéros de *Responsabilité & Environnement* consacrés à ces menaces traitaient des vulnérabilités (juillet 2006) et de la résilience (octobre 2013) dans un esprit défensif. Le présent numéro sur « L'actualité de la catastrophe » a pour ambition de fournir des repères pour appréhender celle-ci plus globalement et y répondre par des démarches constructives, balisées par les progrès des connaissances et des moyens d'action. Sa parution suit celle du remarquable numéro de février de la série *Réalités industrielles* consacré à « L'Assurance aujourd'hui »⁽¹⁾. Cette convergence indicatrice d'une souhaitable complémentarité de vision et d'action est très encourageante.

(1) Je signale parmi les articles publiés dans ce numéro de *Réalités industrielles*, ceux de Patrick Thourot, Didier Folus *et al.*, Deni Kessler, Sylvestre Frezal et Gabriel Bernardino.

Introduction

Par Maud DEVÈS

Université de Paris, Institut de physique du globe de Paris (IPGP) et Institut Humanités, sciences et sociétés (IHSS)

Le projet de ce numéro est parti d'un constat simple : la catastrophe ne cesse d'être d'actualité. Vingt ans après un changement de siècle dont on aurait pu espérer qu'il emporte avec lui le spectre des guerres mondiales et des grandes catastrophes, force est de constater que l'accroissement de l'exposition et des vulnérabilités humaines conduit à redouter toujours davantage l'ampleur du prochain désastre. C'est que la catastrophe emprunte aujourd'hui de multiples visages (feux de forêt catastrophiques, ouragans d'intensité exceptionnelle, pandémies, accidents nucléaires, attaques cybernétiques, érosion rapide de la biodiversité, etc.), qui, presque tous, nous renvoient à la question de notre responsabilité. La médiatisation dont ces événements sont l'objet accroît encore le sentiment d'une omniprésence de la catastrophe, jusqu'à nous laisser parfois entrevoir la possibilité d'une catastrophe totale, d'un effondrement possible de notre civilisation.

En imaginant la structure de ce numéro, notre ambition n'était pas d'établir un état des lieux exhaustif de l'actualité de la catastrophe. Nous avons choisi d'éviter le cadrage par la mesure des dommages et des risques afin de laisser s'exprimer la diversité des approches et des conceptions. Les articles qui composent la première partie de ce numéro laissent de fait clairement apparaître le caractère protéiforme des réalités recouvertes par cette notion polysémique qu'est celle de catastrophe. La deuxième partie de ce numéro fournit quelques exemples de catastrophes récentes et des défis qu'elles posent. Elle est également l'occasion de faire le point sur l'actualité de la recherche en matière de catastrophes naturelles. La troisième et dernière partie s'intéresse aux reconfigurations de ce que d'aucuns nomment la « gouvernance » ou, pour le dire plus simplement, aux nouvelles modalités de l'agir collectif qui permettent d'aller vers davantage d'efficacité et de transversalité. En effet, le constat de diversité n'exclut pas la nécessité de partager une vision des futurs possibles qui permette aux différents personnes, groupes et institutions d'agir ensemble afin de mieux anticiper et prévenir la catastrophe, et d'imaginer des stratégies permettant d'atténuer ses conséquences lorsqu'il est impossible d'empêcher celle-ci d'advenir.

La catastrophe : un concept protéiforme

La notion de catastrophe, telle que nous la comprenons aujourd'hui, a émergé à l'aube du siècle dernier avec la mise à distance des choses de l'homme (et de sa spiritualité) et des choses de la nature, objets privilégiés de l'étude scientifique (Walter, 2009⁽¹⁾). Autrefois nommée fléau, désastre, calamité, souvent vécue comme le résultat de la colère divine, la catastrophe n'en a pas moins marqué les sociétés du passé. Dans un premier article, Emmanuel Garnier nous rappelle combien il est important d'extraire, de conserver et de transmettre la mémoire des catastrophes passées afin d'améliorer la résilience de nos sociétés contemporaines. Il illustre son propos à partir de trois exemples tirés de travaux réalisés en France, au Royaume-Uni et au Japon montrant bien de quelle manière l'étude de la « signature sociale » des catastrophes passées peut être mobilisée pour prévenir les dégâts des catastrophes de demain. Thierry Gaudin s'interroge, quant à lui, sur la persistance du lien spirituel que les humains entretiennent avec les soubresauts de la lithosphère terrestre. Le cheminement qu'il emprunte au travers de différents documents historiques et scientifiques nous rappelle que les événements naturels d'intensité exceptionnelle sont susceptibles de changer le cours de la petite comme de la grande histoire humaine. C'est d'ailleurs sur une hypothèse semblable que, s'inquiétant du manque de réaction de nos sociétés face aux défis environnementaux actuels, les collapsologues se fondent pour annoncer l'effondrement prochain de notre civilisation.

Une telle annonce appelle réaction... Celle de Jean-Pierre Dupuy consiste à mettre en lumière le caractère paradoxal des prophéties de malheur. S'il est nécessaire de garder à l'esprit la possibilité de la catastrophe pour que celle-ci puisse être évitée de manière proactive, il redoute que la perspective d'une apocalypse ne conduise à paralyser l'action. Lui préfère explorer les stratégies discursives faisant coexister la vigilance et l'espoir, dont une juste combinaison semble à même de faciliter l'action. Faisant écho à l'argumentaire développé par Jean-Pierre Dupuy, Jacques Theys s'interroge sur le rôle de la prospective dans le débat (ré)ouvert par la collapsologie. Celle-ci devrait permettre de dépasser la « panne de futurs » que nous traversons en imaginant les scénarios possibles de la Grande Transition qui nous attend.

(1) WALTER F. (2009), *Catastrophes. Une histoire culturelle (XVI^e-XXI^e siècles)*, Le Seuil.

La catastrophe dans l'actualité

La seconde partie de ce numéro est l'occasion de revenir sur quelques-unes des catastrophes ayant marqué l'actualité récente.

Sur le volet des catastrophes socio-naturelles, Rigolot et collaborateurs nous éclairent sur les facteurs responsables de l'accroissement du nombre des grands feux catastrophiques au cours des dernières décennies (changement climatique, changement des pratiques d'exploitation des sols, urbanisation galopante) et rappellent que ces « méga-feux » entraînent des risques en cascade (phénomènes gravitaires, régression biologique et érosion de la biodiversité, effet d'emballage du réchauffement climatique, etc.). Ils plaident entre autres pour un changement de doctrine dans l'évaluation des politiques de gestion des feux tenant compte des dommages socio-écologiques évités plutôt que des gains réalisés en termes de superficie brûlée. Jérémie Desarthe, Nicolas Bauduceau et Antoine Quantin font le bilan des dommages occasionnés par le passage de l'ouragan Irma sur les îles de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy dans les Antilles françaises en septembre 2017. Avec 95 % du bâti touché, l'événement a constitué un véritable défi pour le système français d'indemnisation des catastrophes naturelles. Ils constatent que deux ans plus tard, malgré les moyens très importants déployés pour la remise en état de ces territoires, la reconstruction était encore loin d'être achevée. Cela pose la question de la capacité des territoires ultra-marins à faire face à l'accroissement redouté de la fréquence des événements cycloniques majeurs sous l'effet du changement climatique. Élie Chevillot et collaborateurs s'intéressent à la manière dont les crises liées au passage rapproché des ouragans Irma, puis José, et enfin Maria, ont été gérées par les autorités publiques. Ils nous expliquent les difficultés rencontrées pour tirer profit des nombreux, et très hétérogènes, retours d'expérience réalisés après la crise et présentent un outil graphique (développé dans le cadre d'un projet de recherche financé par l'Agence nationale de la recherche) destiné à faciliter la compilation et l'analyse de ces retours d'expérience. Adoptant une optique plus englobante, Anne Lieutaud et collaborateurs proposent un état des lieux de la recherche financée par l'Agence nationale de la recherche sur la thématique des risques et catastrophes naturels dans la dernière décennie et présentent les pistes de réflexion ouvertes dans le cadre d'une journée d'échange, organisée en collaboration avec les alliances nationales pour la recherche et réunissant la communauté scientifique et certains acteurs-clés de la prévention.

Sur le volet des catastrophes directement causées par les actions humaines, Jean-Luc Aminot nous rappelle la vulnérabilité des réseaux numériques par lesquels transitent chaque jour des milliards de données. L'auteur appelle au développement d'une véritable stratégie de prévention du risque cybernétique permettant non seulement de mieux se protéger des attaques, mais aussi d'améliorer la résilience des systèmes à la catastrophe, toutes les attaques ne pouvant être évitées. Alexis Bonnet et Marko Lehtimaki s'intéressent aux catastrophes financières et montrent que les effondrements catastrophiques des marchés résultent souvent d'une dépendance excessive à l'égard des modèles, dans un contexte où les investissements se font par le biais de produits financiers dérivés. Enfin, Franck Guarnieri et Sébastien Travadel adoptent une approche quasi anthropologique pour décrire les actions sans précédent du directeur et des employés de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi lors de l'accident qui a eu lieu en 2011. Ce faisant, ils donnent à voir l'existence d'un décalage entre le vécu individuel et le vécu collectif de la catastrophe et nous rappellent que la catastrophe expose la personne humaine à faire l'expérience de la plus extrême des solitudes.

Agir ensemble face à la catastrophe

Le dernier volet de ce numéro s'intéresse à l'évolution des pratiques en matière de gestion et de prévention des catastrophes.

Exprimant leur point de vue de membres de l'Autorité de sûreté nucléaire, Jean-Luc Lachaume et Sylvie Cadet-Mercier dressent le panorama des évolutions de la doctrine de sûreté nucléaire au cours des dernières décennies en France. Ils rappellent les leçons tirées des accidents passés, lesquelles ont en particulier permis une meilleure prise en compte de la possibilité de cumul d'événements conduisant à des incidents, voire des accidents, en cascade. Au-delà de l'amélioration des dispositions matérielles et organisationnelles propres aux installations, ils pointent l'importance du travail réalisé en matière de gestion de crise pour prendre en compte les conséquences sanitaires, sociales et environnementales d'un accident à court comme à long terme.

Pour Patrick Lagadec, le caractère multidimensionnel des crises contemporaines résulte notamment de la multiplication des terrains de crise et de la complexité grandissante des systèmes impactés. Il estime que l'approche actuelle de gestion de crise ne permet pas de faire face à ces nouveaux enjeux et propose une liste de pistes à explorer pour définir une nouvelle conception de la navigation collective en « territoires inconnus ».

Rebondissant sur le même constat, Magali Reghezza explore les incidences théoriques et opérationnelles de la notion de résilience. Elle soutient que, malgré sa plasticité, cette notion offre des perspectives à saisir pour renouveler non seulement la gestion de crise, mais plus largement les politiques de réduction des risques de catastrophe.

William Dab en vient à son tour aux grands concepts organisateurs de la gestion des risques, et plus particulièrement des risques sanitaires. Constatant que l'ampleur d'une crise correspond rarement au niveau de risque effectif, il insiste sur la perception sociale des risques. Face à l'accumulation des « catastrophes » sanitaires, il invite à développer une véritable

politique du risque sanitaire, c'est-à-dire une politique capable de s'extraire des enjeux purement institutionnels et de proposer des outils facilitant le travail intersectoriel et la construction de représentations partagées.

Rappelant l'importance de l'expertise scientifique en matière de gestion des risques, Maud Devès décrit les enjeux et les difficultés de l'articulation entre science et décision. Elle constate que si l'évolution récente des rapports entre science et société va dans le sens d'une plus grande transversalité, cette transversalité – indispensable à la définition d'une véritable politique de réduction des risques de catastrophe – n'est pas toujours mise en pratique.

Prêtant sa voix aux acteurs non institutionnels de la réduction des risques, François Grünewald s'appuie sur sa longue expérience de l'aide humanitaire pour faire le point sur la prise en compte des risques de catastrophe dans le monde et analyser les pratiques des acteurs de l'aide en la matière.

Il appartient désormais au lecteur de se forger sa propre opinion.

Apprendre du passé pour mieux faire face aux catastrophes

Par Emmanuel GARNIER
CNRS

Fondée sur l'exploitation des matériaux historiques que sont les archives écrites, les témoignages iconographiques ou architecturaux, cette contribution montre combien il importe d'extraire, de conserver et de transmettre la mémoire des catastrophes du passé pour en tirer des retours d'expérience à même de renforcer la résilience de nos sociétés contemporaines confrontées à une vulnérabilité croissante. En premier lieu, l'histoire autorise une reconstruction des trajectoires de vulnérabilité dans la « longue durée » et, ainsi, révèle les basculements en termes d'inadaptation et d'exposition aux risques pour mieux combattre le dogme du « jamais vu », moteur de l'exposition aux risques. Dans un second temps, une approche comparative est proposée à partir d'exemples français pour les inondations de la Seine, britannique pour l'aspect reconstruction post-catastrophique et, enfin, japonais comme modèle de promotion de la mémoire du risque.

La présente contribution procède d'une étude effectuée pour le United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) et intégrée dans son *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction* présenté à Genève en juillet 2019⁽¹⁾. Bien conscient que la caution de l'ingénieur et du modélisateur conforte souvent les aménageurs et les décideurs politiques dans leurs politiques d'urbanisation dans les zones exposées, l'organisme s'intéresse désormais à des stratégies plus durables et résilientes en recourant à des approches interdisciplinaires fondées notamment sur les retours d'expérience du passé. D'emblée, rappelons que la catastrophe implique nécessairement une « signature sociale » matérialisée par des victimes et des dommages. Ainsi, un aléa naturel, s'il se produisait dans une région totalement dépeuplée ne serait pas une catastrophe. Car, étymologiquement, la « catastrophe » vient du mot grec « Katastrophê », littéralement un bouleversement positif ou négatif pour l'être humain, et ce préalable étymologique rappelle bien la dimension humaine de l'événement. Ce phénomène brutal et rapide marque donc une rupture et conduit en fait à une modification du système concerné, à un nouveau système qui peut paradoxalement donner naissance à un modèle plus pertinent et durable en termes de réduction de la vulnérabilité (Garnier, 2019).

Paradoxalement, c'est en examinant en profondeur, à travers la documentation historique, les impacts de ces désastres sur les sociétés (risques et vulnérabilité) et leurs mécanismes que l'historien découvre indirectement les

réponses imaginées par nos prédécesseurs. Contre toute attente, les sociétés anciennes ne percevaient pas les calamités qui les affligeaient comme des manifestations de l'*Ira Dei* et elles tentaient souvent de s'en prémunir ou d'en réduire les effets par des actions très pragmatiques. Le disciple de Clio s'intéresse ainsi aux formes que prenaient ces mesures pour réduire la vulnérabilité des écosystèmes et des communautés. Si l'adaptation aux aléas naturels actuels se limite souvent à ses aspects strictement économiques, technologiques et physiques, la perspective historique privilégie d'autres manifestations plus facilement accessibles à nos contemporains, à savoir les aspects culturels (lieux de mémoire, perception des risques, relations avec les communautés), sociaux (inégalités, structures, etc.), géographiques et politico-institutionnels (gouvernance, normes et réglementations, etc.).

Une meilleure connaissance des trajectoires de vulnérabilité

L'étude des trajectoires de vulnérabilité suppose de considérer la dimension historique des sociétés, c'est-à-dire les valeurs fondamentales sur lesquelles elles se sont construites et leur évolution jusqu'à nos jours. Cette dimension temporelle est cependant le plus souvent négligée, faute de savoir comment l'intégrer pleinement. Cette rupture mémorielle qui conduit à qualifier chaque nouveau drame de « jamais vu » est un facteur aggravant de la vulnérabilité contemporaine. *A contrario*, une vision holistique et dynamique de la vulnérabilité aux risques naturels peut aider à mieux comprendre la vulnérabilité aux changements actuels. Les mesures de vulnérabilité d'aujourd'hui sont donc doublement biaisées : d'une part,

(1) <https://www.preventionweb.net/publications/view/66025>

parce qu'elles ne prennent en compte que les aspects économiques, d'autre part, parce qu'elles ne conçoivent la vulnérabilité qu'à un instant T, alors qu'en réalité la plupart des vulnérabilités sont un héritage en évolution permanente (Magnan *et al.*, 2012).

L'hypothèse que nous formulons ici est donc que la vulnérabilité des territoires aux aléas est le résultat d'une évolution de la société ainsi que du contexte naturel. Conformément aux travaux de Blaikie *et al.* (1994), nous remontons ainsi aux « racines » de la vulnérabilité à l'échelle des dernières décennies, voire des siècles précédents. En montrant le caractère historique du risque et en expliquant comment les populations ont tenté de faire face (ou non) aux événements extrêmes, l'expérience historique répond davantage aux attentes sociales du débat sur le changement global et l'impact de l'anthropocène.

« Fluctuat nec mergitur » : Paris et le risque d'inondation

En juin 2016, la Seine a inondé Paris à une époque de l'année considérée par les spécialistes comme totalement insolite. Au lendemain de la catastrophe, les climatologues européens ont affirmé qu'un tel événement ne s'était produit que deux fois dans la vallée de la Seine sur une période de 500 ans (Van Oldenborgh *et al.*, 2016). Son impact a été très grave sur l'activité de la ville, puisqu'elle accueillait le Championnat d'Europe de football ainsi que de nombreux touristes. Plus d'un an après, en janvier 2018 cette fois, la Seine a de nouveau provoqué une inondation très coûteuse à Paris et en région parisienne. Conscient de ce risque majeur pour le pays, le gouvernement français tente depuis des décennies de se préparer à une telle catastrophe. Ces deux événements ont révélé un sentiment de surprise et d'impréparation imputable à un « modèle » de crise monolithique. *De facto*, le système de défense de Paris et de la région Île-de-France repose sur une connaissance très limitée des catastrophes historiques du fait du choix des ingénieurs de l'État d'utiliser la crue de janvier 1910 comme référence. Ainsi, les crues parisiennes référencées par le ministère de l'Écologie (DRIEE) sur ses sites publics couvrent 79 % des crues de 1910, mais seulement 13 % des autres crues observées au XIX^e siècle et seulement 3 % pour la période antérieure à 1800. Compte tenu de cette réalité, on comprend mieux la « surprise » provoquée par l'inondation de juin 2016, d'autant plus qu'un seul extrême de ce type s'était produit depuis 1900. Cette rupture de la mémoire pourrait donc avoir de graves conséquences, notamment en raison de l'incertitude résultant de la méconnaissance du danger lui-même. En effet, en 1910, la plupart des infrastructures de transport (stations de métro, gares) étaient inutilisables et quelques émeutes éclatèrent avant d'être réprimées par la troupe. Autre faiblesse, on sait peu de choses sur l'étendue des inondations causées par la montée de la nappe phréatique et la saturation des réseaux d'eau de pluie et d'eaux usées, bien qu'elles soient très bien documentées dans les archives. En conséquence, la stratégie de protection de Paris souffre d'un manque évident de connaissances historiques. Ainsi, les recherches récentes

menées pour l'UNDRR ont permis de construire une nouvelle série d'inondations parisiennes (Garnier, 2019) qui recense 81 inondations intervenues entre 1500 et 2018, contre 32 inondations pour la base de données du ministère de l'Écologie (<https://bdhi.developpement-durable.gouv.fr/welcome>), soit 49 de plus !

La recherche dans les archives montre aussi que plus de 40 % des inondations survenues dans la capitale depuis le XVI^e siècle se sont produites entre avril et septembre. Là encore, la base de données historiques du ministère de l'Écologie ne recense que 6 événements de ce type (juin 1613, juin 1697, mai 1836, mai-juin 1856, septembre 1866 et juillet 2000), alors que l'étude approfondie des archives primaires en répertorie 33. Ces données récentes revêtent donc une importance stratégique, tant en termes d'estimation des périodes de retour et de saisonnalité des inondations que de culture du risque dans une région où la spéculation immobilière est très forte. La fréquence historique des inondations de printemps et d'été pourraient aussi être prise en compte dans la perspective des futurs Jeux Olympiques qui se tiendront à Paris à l'été 2024. Elle doit également interpeller le décideur politique lorsque, malgré les récentes inondations de juin 2016 et janvier 2018, des élus promeuvent un « retour à la rivière » pour installer de nouvelles zones récréatives, commerciales et artisanales, voire même des marinas fluviales.



Figure 1 : Repère du niveau de la crue du 16 décembre 1696 sur un pilier d'un pont de Paris

Après la catastrophe, réinventer le territoire (Boscastle, Royaume-Uni)

En août 2004, deux millions de tonnes d'eau ont traversé le très touristique bourg gallois de Boscastle, provoquant des inondations désastreuses. Les crues soudaines, causées par cinq heures de pluie torrentielle, ont touché 100 maisons et commerces, emporté 115 véhicules et gravement endommagé les routes, ponts, égouts et autres infrastructures du lieu (Rowe, 2004). Heureusement, l'action rapide des populations locales, parfaitement conscientes du risque de survenue de ce type d'extrêmes météorologiques, et des services d'urgence ont évité des pertes humaines. Des hélicoptères de la Royal Air Force

ont notamment secouru une centaine de personnes réfugiées sur des toits, des voitures et dans les arbres. Après cette catastrophe, le défi consistait à remodeler et à améliorer la protection contre les inondations en créant un environnement inspiré des paysages anciens et à même de maintenir le sentiment d'appartenance et d'identité de la communauté, tout en diffusant une culture du risque durable. L'accès au parking principal a été amélioré et la zone de stationnement a été éloignée du bord de la rivière en incorporant la conception d'itinéraires de débordement et de voies d'évacuation des véhicules, ce qui a réduit le risque d'inondation et amélioré l'environnement proche. Le potentiel de biodiversité a également été accru grâce à l'utilisation de plantations indigènes, à la restauration des prairies et au remplacement des haies, les nouvelles étant installées sur des talus renforcés longeant de nouveaux sentiers pédestres ouverts au bord de la rivière. Le projet a pris en compte l'état et la valeur des éléments physiques qui sont demeurés après l'inondation afin de comprendre les dommages causés et les raisons de la préservation de l'intégrité de l'habitat historique après la crue. Dans cette perspective, les gestionnaires se sont appuyés sur des études historiques, des cartes et des photographies anciennes, ainsi que sur des enquêtes réalisées auprès d'habitants détenteurs de la mémoire locale. Une telle approche a montré, par exemple, que le chenal fluvial était plus large au XIX^e siècle et, qu'au fil du temps, il avait été comblé en raison d'aménagements à vocation portuaire et urbaine. En lien avec les travaux d'ingénierie, les aménageurs et la communauté des habitants, étroitement asso-

ciés au projet post-catastrophique, ont pris soin d'intégrer la mémoire de la catastrophe dans une double perspective. La première, immédiatement perceptible pour le visiteur à son arrivée à Boscastle, est l'inscription paysagère de l'événement extrême dans le tissu urbain. Plusieurs plaques commémorant l'événement ont été posées et des repères indiquant le niveau d'eau atteint le 16 août 2004 ont été apposés sur les bâtiments reconstruits. Tous sont situés à des endroits « stratégiques » du bourg en termes de fréquentation touristique. On les trouve, par exemple, à la billetterie du parking, à l'entrée du très populaire « musée de la sorcellerie », de la principale boutique de souvenirs ou encore de celle du National Trust.

Le second objectif de la reconstruction concernait la mémoire qu'il fallait absolument conserver et transmettre, tant aux habitants qu'aux visiteurs. C'est ainsi que la communauté a construit un centre d'accueil, où l'on peut découvrir la catastrophe de 2004 et la réalité historique des crues soudaines à Boscastle et dans sa région. De très nombreux témoignages d'archives racontent et décrivent des crues éclairs identiques pour les années 1827, 1847, 1938, 1952, 1957 et 1958. L'objectif pédagogique de ces affiches est évident. Il s'agit de montrer que la crue de 2004 n'est pas un événement nouveau dans l'histoire et que ce ne sera probablement pas la dernière. Enfin, la communauté commémore chaque année l'anniversaire de la catastrophe en présence des élus, des élèves des différentes écoles et des habitants. Le village de Boscastle illustre donc parfaitement la signification étymologique du

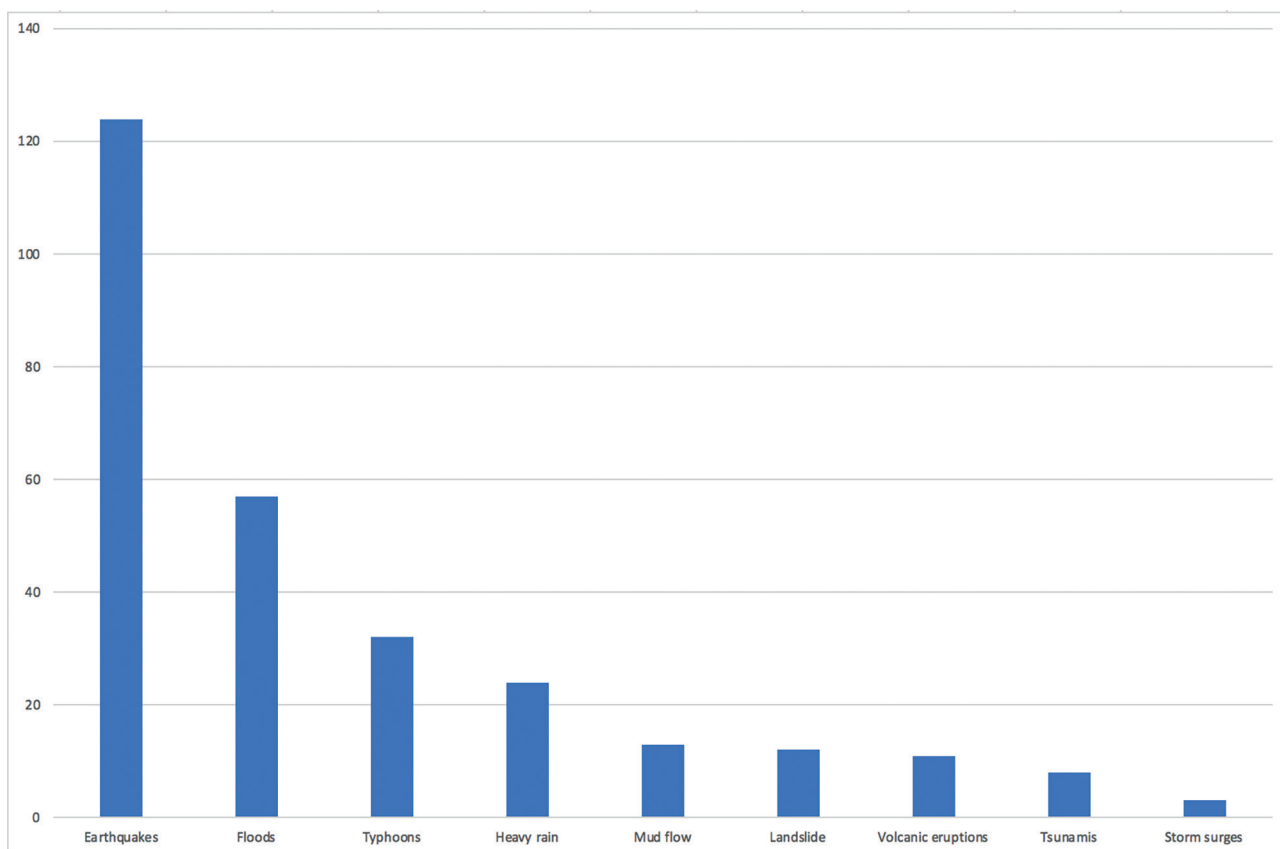


Figure 2.



Figure 3 : Stèle commémorative dans un parc japonais.

mot « catastrophe ». Ici, la catastrophe a été surmontée, car perçue comme une opportunité de relancer la vie de la communauté selon un modèle dual associant de nouvelles composantes (travaux d'ingénierie écologique) à un cadre paysager et culturel familial hérité du passé.

La mémoire dans les paysages : le projet japonais « Natural Disaster Monuments »

Ce projet débuté en mars 2019 associe le Geospatial Information Authority of Japan (GIS) – équivalent de notre Institut géographique national – aux Universités de Tsukuba, de Kyoto et au CNRS dans le cadre du projet CNRS PICS SECURES (coordinateur : Emmanuel Garnier)⁽²⁾. L'objectif de ce projet pluriannuel, financé, en termes de postes et de recherche, par le gouvernement japonais, est de porter à la connaissance de la population japonaise l'existence des milliers de monuments érigés depuis le Moyen Âge par les communautés et les autorités pour transmettre la mémoire des fréquentes catastrophes aux générations suivantes. À ce jour, plus de 400 monuments de ce type ont été répertoriés en sollicitant les municipalités et les habitants de l'archipel ayant connaissance de leur existence. Disséminés sur l'ensemble du territoire, ces « monuments » correspondant à des pierres érigées ou à des colonnes sur lesquelles sont gravées différentes informations indiquant la nature de la catastrophe, sa date précise et ses conséquences sur les plans humain et matériel. Dans le cas des inondations, la hauteur atteinte par

les eaux est également systématiquement gravée dans la pierre sous la forme d'une ligne. Ces repères de catastrophes sont ensuite géoréférencés et enrichis d'une notice historique établie par des chercheurs et des témoins locaux et d'une photographie, le tout étant enregistré dans une base de données ouverte au public et dont l'existence fait l'objet d'une intense publicité de la part du gouvernement. L'étude en cours montre ainsi que la majorité des monuments ont été érigés pour rappeler les dommages causés par les séismes (40 %), les inondations (20 %), les typhons (11 %) et les pluies abondantes (8 %), le reste concernant, par ordre d'importance, les coulées de boue, les glissements de terrain, les éruptions volcaniques, les tsunamis et, enfin, les submersions d'origines météorologiques.

Sur le terrain, ces retours d'expérience historiques inscrits dans les paysages sont intégrés dans les plans de prévention en cartographiant les territoires historiquement exposés aux risques et font l'objet de campagnes de sensibilisation conduites conjointement par les comités d'habitants et les scientifiques. Plus concrètement, il s'agit de faire comprendre aux populations exposées la réalité de désastres s'étant déjà produits à l'échelle locale et ainsi de renforcer leur perception des risques actuels et à venir. Les groupes scolaires sont particulièrement visés par la démarche sous la forme de commémorations, de jeux (*serious games*) et d'apprentissages disciplinaires (en histoire-géographie et sciences naturelles, notamment).

Une telle approche pourrait faire l'objet d'une démarche similaire en France, où existent des milliers de monuments commémoratifs comme les *ex-voto*, les échelles de crues et autres repères en tout genre. Elle nécessiterait cepen-

(2) https://www.researchgate.net/publication/337100042_PICS_SECURES_project_Newsletter

dant un soutien financier pérenne sur 3 à 5 ans de la part de l'État au profit de l'unité de recherche qui serait en charge de la réalisation d'une telle base de données.

Les différentes formes de transmission des catastrophes du passé évoquées dans cette contribution soulignent à l'envie une mémoire de la conservation fondée sur la capacité d'un groupe à acquérir et à développer, à travers l'histoire, le souvenir de son propre héritage en matière de survie. Dans cette perspective, l'éclairage historique légitime la sauvegarde et la transmission d'une culture de la « conservation » devant être considérée comme autant de retours d'expérience à même de mieux préparer nos concitoyens à affronter les catastrophes d'aujourd'hui et de demain.

Bibliographie

GARNIER E. (2019), "Lessons learned from the past for a better resilience to contemporary risks", *Disaster Prevention and Management*, vol. 28, n°6, pp. 778-795.

MAGNAN A., DUVAT V. & GARNIER E. (2012), « Reconstituer les trajectoires de vulnérabilité pour penser différemment l'adaptation au changement climatique », *Natures Sciences Sociétés*, vol. 20, n°1, pp. 82-91.

ROWE D. (2004), *Boscastle 16 August 2004 – The day of the flood*, St-Agnes, Truran.

VAN OLDENBORG G. J., PHILIP S., AALBERS E., VAUTARD R., OTTO F., HAUSTEIN K., HABETS F., SINGH R. & CULLEN H. (2016), "Rapid attribution of the May/June 2016 flood-inducing precipitation in France and Germany to climate change", *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*, doi : 10.5194/hess-2016-308.

Tectonique et religions

Par Thierry GAUDIN ⁽¹⁾

Président de l'association Prospective 2100

L'analyse des carottes de glace – technique inventée par Claude Lorius – n'a pas seulement permis de comprendre l'évolution du climat, elle a aussi permis de repérer les explosions volcaniques passées, leurs dates, leurs caractéristiques et leurs conséquences. Au-delà de celle du Vésuve qui détruisit, en l'an 79, Herculanium et Pompéi, voici quelques exemples récemment analysés, moins connus mais tout aussi dévastateurs, dans lesquels les pouvoirs et même les religions ont été bouleversés par des éruptions inattendues.

En l'an 2000, le gouvernement de l'Islande organisa une journée de conférences sur le thème des religions. Il s'agissait de fêter le millénaire de la christianisation romaine islandaise, bien distincte de celle du Danemark d'obédience protestante. Y étaient conviés des universitaires et des représentants de quelques-unes des grandes communautés. Sachant que j'avais publié sur la prospective des religions, ils m'avaient invité à prendre la parole.

En descendant de l'avion, je suis accueilli par un des organisateurs qui me dit : « Vous avez vu, nous avons eu un tremblement de terre » ; je réponds : « Oui, de force 6 », et il enchaîne, d'un air épanoui : « 6,6 ! » J'étais perplexe : un tremblement de terre, c'est – potentiellement – une catastrophe, comment se fait-il que celui-là le mette en joie ?

Le lendemain matin, avant le début de la conférence, même échange avec le principal organisateur de la journée : « 6,6 ! », avec l'intonation d'un supporter d'une manifestation sportive. J'étais vraiment surpris. Quand vient mon tour de parler, je commence à dérouler mon discours sur l'histoire et l'évolution des religions et, tout en parlant, je sens monter le désir de dire autre chose que ce que j'avais préparé.

N'y tenant plus, je me lance : « Vous avez entendu parler certainement de la grande déesse Gaïa, la Terre-Mère, présente dès la plus haute Antiquité... Eh bien ici, en Islande, vous êtes sur la dorsale médio-océanique, là où les plaques se séparent. Pour le dire autrement, vous êtes sur le sexe de Gaïa. J'ai visionné, il y a quelques années, la vidéo de la naissance de l'île de Surtsey en 1963, et j'ai vu la joie que vous a procurée le tremblement de terre survenu cette année : « Elle nous a fait signe... »

Je m'attendais à des protestations. Pas du tout ; je n'avais pas plutôt terminé, que Vigdis Finnbogadóttir, la très populaire et récente présidente de l'Islande, monte sur la scène et dit : « En plus, c'était le jour de la fête nationale. »

Peu après, Pall Skulasson, le recteur de l'Université organisatrice, me dit : « Vous savez, la Révolution française, c'est à cause d'un de nos volcans, le Laki. » « Comment cela ? », lui dis-je, incrédule. « Eh bien, en 1787, le Laki a connu une grande éruption qui a projeté des tonnes de cendres dans la stratosphère, diminuant le rayonnement solaire sur toute l'Europe, d'où deux années de mauvaises récoltes. Le peuple a attribué les pénuries et l'augmentation des prix qui en résulta à la classe dirigeante, supposée incompétente et prédatrice, alors qu'en réalité, c'était notre volcan, le coupable. »

À l'époque, les enseignements d'histoire passaient sous silence les événements telluriques. On avait plus ou moins entendu parler du tremblement de terre de Lisbonne, commenté par Voltaire (et Jean-Pierre Dupuy), et de l'éruption du Vésuve qui avait englouti sous la cendre, en 79 après J.-C., Herculanium et Pompéi, désastre resté d'ailleurs ignoré jusqu'au Siècle des Lumières. De nos jours, Pompéi est devenu une référence pour les vulcanologues, et le Vésuve, toujours aussi menaçant, est étroitement surveillé ; un plan d'évacuation de Naples⁽²⁾ a été défini pour le cas où apparaîtraient des signes précurseurs d'une nouvelle éruption.

Or, le Vésuve n'est pas un des plus grands volcans de la planète, et des événements bien plus importants que l'éruption de 79 ont été récemment mis en évidence :

- Le « petit âge glaciaire » : l'historien Emmanuel Le Roy Ladurie a observé une baisse des températures en Europe pendant la seconde moitié du XIII^e siècle et au XIV^e. Or, il y eut à Londres, en 1257, un entassement de cadavres dans des fosses communes. On évalua que, sur une population londonienne d'environ 50 000 habitants, il y eut soudain quelque 15 000 décès. Les récits de l'époque laissent supposer qu'il s'agissait d'une éruption, mais laquelle ?

(1) Avec le concours de Maud Devès.

(2) Un tel plan montre qu'il y a une prise de conscience du danger ; il n'assure pas pour autant qu'en cas d'éruption, tous les dommages seraient circonscrits.



Figure 1 : Le « petit âge glaciaire » représenté dans un des tableaux de Jérôme Bosch.

Récemment, l'observation du passé a bénéficié d'un progrès considérable dû aux travaux de Claude Lorius : l'analyse des carottes de glace. Constatant que les carottes prélevées au Groenland et en Antarctique donnaient à peu près les mêmes résultats, les scientifiques (de l'Institut de physique du globe de Paris) conclurent que l'éruption devait provenir d'une zone tropicale. Des volcans au Mexique et en Équateur furent soupçonnés, mais leurs éruptions n'étaient pas assez puissantes. Finalement, c'est sur l'île de

Lombok, en Indonésie⁽³⁾, que l'on trouva un cratère d'une quarantaine de kilomètres de diamètre correspondant à un énorme volcan, connu sous le nom de Samalas dans les écrits traditionnels de la région. Aujourd'hui, on estime que c'est l'éruption la plus importante enregistrée au cours des dix mille dernières années.

En remontant le temps, l'année 536 a été qualifiée de pire année de toute l'histoire de l'humanité. À Constantinople, l'empereur Justinien, continuateur de l'empire romain, avait bon espoir d'unifier la Chrétienté, mais, à partir de 541, des famines et des pestes se répandent en Europe comme en Orient. La température baisse, le ciel s'assombrit, une profonde crise démographique remet en question le rêve impérial. Là encore, l'analyse des glaces et l'exploration des volcans ont permis d'en détecter la cause. Elle était de l'autre côté de la planète, en Amérique centrale, au Salvador : il s'agissait d'un volcan appelé Ilopango (source : « Lac Ilopango », Wikipédia), qui aurait éjecté soixante millions de tonnes de cendres dans la stratosphère, occultant partiellement le rayonnement solaire, d'où un refroidissement engendrant des famines et des épidémies de peste anéantissant près de la moitié de

(3) Cette île fait partie de la grande chaîne volcanique de Sumatra. Le gouvernement indonésien aurait décidé récemment de déménager sa capitale vers l'île de Bornéo, laquelle est moins menacée.

(4) Source : <http://indonvolcano.blogspot.com/2015/04/the-eruption-samalas-8-times-larger.html>



Figure 2 : Le cratère du Samalas sur l'île de Lombok, en Indonésie⁽⁴⁾.

la population de l'Empire romain d'Orient et ruinant tous les espoirs temporels et religieux de l'empereur.

Au XIX^e siècle, un autre empereur, français celui-là, connu lui aussi la dure loi des volcans. Le 5 avril 1815, puis le 10 et jusqu'au 17 avril en Indonésie, un volcan nommé Tambora émit un panache de fumée de 33 kilomètres de haut pendant 33 heures. La puissance de cette éruption, qui fit en Indonésie environ 90 000 victimes, plus 200 000 dans le reste du monde du fait de la famine qui s'en suivit, représente 8 fois celle du Vésuve et plus de 10 000 fois celle des explosions nucléaires d'Hiroshima et de Nagasaki. C'est, après celle du Samalás, la plus importante connue des temps historiques. La cendre envoyée dans la stratosphère se répandit sur toutes les latitudes, jusqu'en Amérique. Elle donna lieu à de magnifiques couchers de soleil rougeoyants qui inspirèrent le peintre anglais William Turner.

Face à de tels événements, les humains se racontent des histoires. Il leur faut des explications. Ils en trouvent soit dans les affaires humaines, les guerres ou la politique, soit dans l'intervention de puissances surnaturelles.

Dès le plus ancien récit connu, l'épopée de Gilgamesh⁽⁵⁾, on voit se dessiner ce talent à habiller les faits de légendes. Après la mort de son compagnon Enkidu, comme le narre ce récit épique, Gilgamesh va trouver le « vieux sage » Utanapisti et lui demande comment obtenir la « vie sans fin, l'immortalité ». Utanapisti répond : « Construis une arche, emmène un couple de tous les animaux à bord, ainsi tu pourras résister au déluge. » Il donne la dimension de l'Arche (3 000 m²) et la quantité de bitume qu'il faut pour la rendre étanche. L'examen des sédiments autour des ruines de la ville d'Uruk, dont Gilgamesh était le roi, laisse penser qu'il y eut, en effet, un « déluge » dans la région. La mythologie mésopotamienne lui trouve une explication : le dieu suprême, Enlil, exaspéré par le tapage des humains, n'arrivait plus à dormir. Pour les calmer, il leur envoya le déluge.

Cette épopée aurait été écrite vers - 2400. C'est l'époque de la pleine activité de la ville d'Uruk et aussi de la construction de la grande pyramide de Khéops en Égypte, réalisations démontrant les exceptionnelles performances techniques des peuples de l'époque.

Cette aptitude à se raconter des histoires s'illustre aussi dans la naissance de nos religions monothéistes. Freud avait supposé que Moïse était égyptien, ce qui paraît assez vraisemblable en raison de son nom : en égyptien, Moshè signifie « serviteur » certes, mais serviteur d'un seul dieu : Toutmosis est le serviteur du dieu Thôt ; Ramsès – Râ-mosis – est le serviteur du dieu Râ, le soleil. Peut-être vaudrait-il mieux dire « servant » que « serviteur ». Le nom Moïse évoque une fonction sacerdotale, voire royale.

Par ailleurs, la Bible détaille la confrontation entre Moïse et Pharaon. Moïse demande : « Laisse-moi partir, avec mon peuple. ». Pharaon refuse. À chaque refus se déclenche une catastrophe, une des « dix plaies » d'Égypte. C'est là

(5) Source : Wikipédia.



Figure 3 : Plan de la ville d'Uruk construite vers - 3000. D'une superficie de 500 ha, elle était entourée d'un mur d'enceinte de plus de 9 km de long (d'après le livre *Mésopotamie, de Gilgamesh à Artaban*, éd. Belin, 2017).

que nous retrouvons le volcanisme. La description de ces « plaies » (des nuées ardentes, des invasions d'insectes volants, la pollution des fleuves...) correspond précisément aux conséquences usuelles d'une éruption.

Et il ne peut s'agir que de l'éruption du volcan de Santorin (la seule que l'on connaisse dans la région), qui dévasta, par le tsunami qu'elle provoqua, tout le nord de la Crète accélérant la disparition de la civilisation minoenne. Son panache, poussé par le vent du nord (le meltem), aurait atteint l'Égypte (le tsunami sans doute aussi, après avoir longé la côte de la Crète), d'où des nuées ardentes, des eaux polluées, des insectes, etc.

S'il s'agit bien de Santorin, on connaît aujourd'hui la date de son éruption : - 1610 (à + ou - 10 ans). Et qui était le Pharaon à cette époque ? Il s'appelait Sobekemsaf, un des derniers pharaons de la XVII^e dynastie. La capitale égyptienne était alors Thèbes, et le problème qui se posait aux Égyptiens était la reconquête de leur territoire jusqu'au delta du Nil en chassant les occupants Hyksos, un peuple de commerçants, « venu d'Asie » qui avait établi



Figure 4 : Le cratère actuel de Santorin (image satellite).

sa capitale à Avaris, dans l'est du delta, là où Ramsès II, plus tard, réaffirmant sa puissance, établit sa nouvelle capitale, qu'il appela Pi-Ramsès.

Ainsi, la connaissance contemporaine de la tectonique et des manifestations qui lui sont associées, dont le volcanisme, mène peut-être à écrire l'histoire autrement...

Sans doute, on aurait pu espérer que cette connaissance inciterait aussi à plus d'anticipation dans la réalisation de certains investissements. Par exemple, elle aurait pu éviter l'imprudence qu'a été la construction tout près de la mer d'une centrale nucléaire à Fukushima, dans une zone connue pour ses risques importants de séismes et de tsunamis. Certes, le Vésuve est surveillé, mais qu'en est-il des volcans plus importants ? Bien que l'on sache les immenses destructions que produirait, en Californie, l'éruption de Yellowstone, un des plus grands volcans de la planète, les implantations humaines vulnérables se sont multipliées dans le voisinage de celui-ci, comme si les humains se rapprochaient instinctivement du danger, au lieu de le fuir. Si les humains s'installent volontiers dans ces zones sismiques, c'est souvent parce qu'elles présentent des avantages en matière d'accès à l'eau et de richesse des écosystèmes (un sujet déjà traité dans des numéros précédents de *Responsabilité & Environnement*).

Si la grande divinité primordiale, la Terre-Mère, est encore présente dans les esprits, comme le montre l'histoire surprenante qui m'est arrivée en Islande, contée au début de ce texte, il n'empêche que la présence de la Terre-Mère a été occultée par d'autres formes religieuses, inspirées par des problématiques intrinsèques à l'espèce humaine. Il en est résulté l'oubli du respect de la nature, lequel est générateur des plus grands dangers. Il n'est donc pas impossible que se produise prochainement un retour de divinités féminines et telluriques, qui sont actuellement en sommeil.

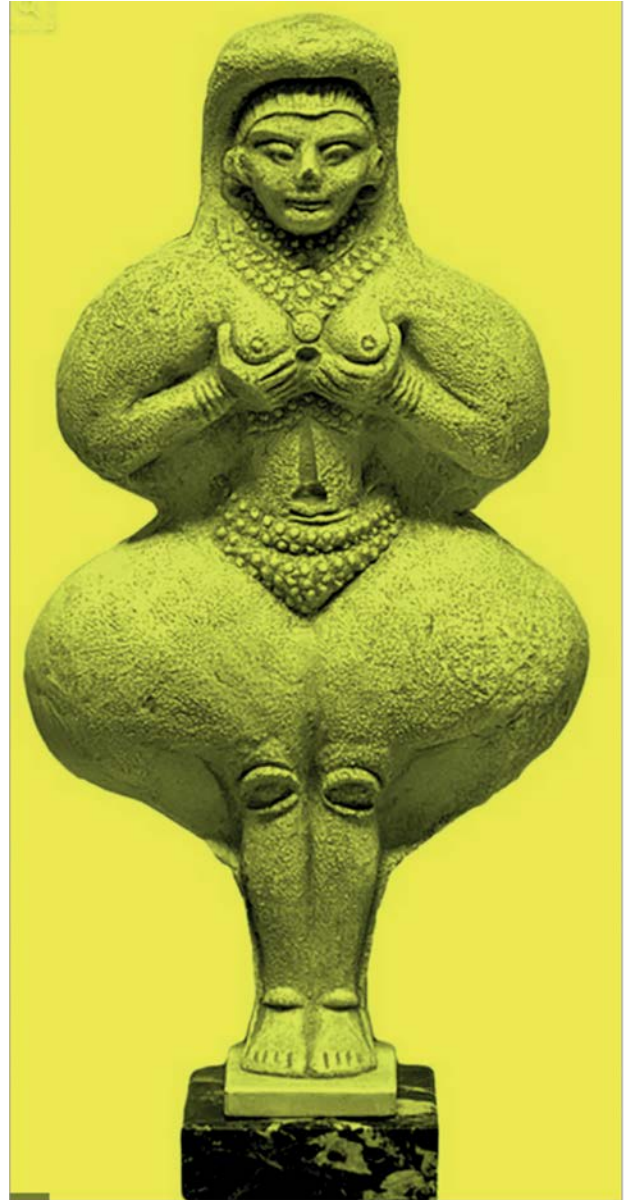


Figure 5 : Inanna, déesse vénérée durant cinq millénaires.

Il faut se rappeler que la ville d'Uruk⁽⁶⁾, d'où nous sont parvenus les premiers textes évoquant une grande catastrophe (le déluge) et l'épopée de Gilgamesh, était dédiée à une grande déesse, Ishtar (devenue Astarté chez les Grecs), qui s'appelait également Inanna, dont est issu le prénom Anne, celui de la grand-mère du Christ (la mère de Marie) dans le récit chrétien. Il est aussi possible que Ishtar se soit transformé en Ashéra (la compagne de Iahvé) dans le récit hébraïque, car les peuples de cette époque se déplaçaient beaucoup, pour faire du commerce, et s'échangeaient sans doute leurs mythes, ce qui se produira de nouveau par le canal d'Internet.

Comme le prévoit James Lovelock, on peut donc anticiper un retour des divinités féminines, et notamment de la Terre-Mère (Pachamama pour les Amérindiens), au cours du XXI^e siècle.

(6) Qui aurait donné son nom à l'Irak.

Les paradoxes de la prophétie de malheur

Critique de la collapsologie

Par Jean-Pierre DUPUY
Stanford University

Depuis quelques années, en France, l'écologie catastrophiste a, sous le nom de collapsologie, un impact notable sur l'opinion publique. La cause pour laquelle ses adeptes se battent est juste – personne ne peut écarter l'éventualité d'un « effondrement » de la civilisation industrielle, voire de la fin du monde –, mais leur message est gravement déficient au plan conceptuel. S'il est entendu, il risque de contribuer à la panique que l'anticipation des catastrophes à venir ne peut manquer de déclencher. Nous nous attacherons dans cet article à démontrer un sophisme qu'ils commettent au sujet de la temporalité qui nous sépare d'une catastrophe annoncée mais de date inconnue. Les disciplines en cause sont toutes des branches de la philosophie : la métaphysique, la logique, l'éthique et la politique.

Premier point – Même s'ils la citent incomplètement, les collapsologues ⁽¹⁾ acceptent la formule du philosophe allemand Hans Jonas : « La prophétie de malheur est faite pour éviter qu'elle ne se réalise ; et se gausser ultérieurement d'éventuels sonneurs d'alarme en leur rappelant que le pire ne s'est pas réalisé serait le comble de l'injustice : il se peut que leur impair soit leur mérite ⁽²⁾. »

Les collapsologues occupent dans la Cité la fonction de prophètes de malheur : certes dégagée de toute référence religieuse, au moins en apparence, cette fonction est essentielle étant donné l'état du monde. Or, Jonas nous dit que le malheur du prophète de malheur est que, s'il veut être efficace, et faire par sa parole que le malheur ne se produise pas, il doit être un faux prophète, au sens qu'il doit annoncer publiquement un avenir dont il sait qu'il ne se réalisera pas, du fait même de sa parole.

On peut dire de ce type de prophétie qu'elle est auto-invalidante, de la même manière que l'on parle de prophétie auto-réalisatrice.

Notons qu'en soi, annoncer un avenir possible et désastreux de façon à modifier les comportements des gens et faire que cet avenir ne se réalise pas ne soulève aucun problème logique ou métaphysique particulier, comme le montre l'exemple de Bison futé. Cette institution annonce non pas ce que sera l'avenir, mais ce qu'il *serait* si les automobilistes ne changeaient pas leurs plans (jour et heure

de départ, itinéraire, etc.). Elle n'a aucune vocation à jouer les prophètes.

Qu'est-ce qui fait donc qu'un prophète est un prophète ? C'est qu'il se présente comme annonçant le seul avenir qui sera, avenir que l'on peut appeler « actuel » aux sens latin et anglais du terme : « notre » avenir. La prophétie auto-invalidante pose alors un problème apparemment insurmontable.

Second point – Le prophète traditionnel – par exemple, le prophète biblique –, quelle que soit la nature de sa prophétie, est un homme public, en vue, doté d'un grand prestige, et donc tous prêtent grande attention à sa parole, qu'ils tiennent pour vraie. C'est tout le contraire du Troyen Laocoon ou de sa sœur Cassandre, que le dieu avait condamnés à ne pas être entendus. S'il veut être un vrai prophète, le prophète, en annonçant l'avenir, doit donc tenir compte de l'effet de sa parole sur le comportement des gens. Il doit annoncer un avenir qui soit tel que les réactions de ses auditeurs coproduisent l'avenir en question, ou, en tout cas, ne l'empêchent pas de se réaliser. C'est ce qu'en mathématiques, logique et métaphysique, on appelle la recherche d'un point fixe. Ce type de point fixe n'est pas donné de l'extérieur, il est une émergence produite par le système des relations entre le prophète et le peuple auquel il s'adresse. J'ai proposé l'expression « point fixe endogène » pour désigner ce type de point fixe ⁽³⁾.

(1) SERVIGNE P. & STEVENS R. (2015), *Comment tout peut s'effondrer*, Seuil, p. 253.

(2) JONAS H. (1995), *Le Principe Responsabilité. Une éthique pour la civilisation technologique*, Paris, Flammarion, Collection « Champs », p. 233.

(3) Voir DUPUY J.-P. (1982), *Introduction aux sciences sociales. Logique des phénomènes collectifs*, Ellipses, collection « Cours de l'École polytechnique ».

En d'autres termes, le prophète, bien loin de recevoir un message directement de l'avenir, joue de la ruse en ce qu'il prétend lire un tel message (par exemple, issu de la parole de Dieu). Il annonce un futur fixe, c'est-à-dire indépendant des actions des agents, un avenir destinal en somme, mais il a en réalité tenu compte des réactions de son auditoire pour se caler sur un avenir tel qu'une fois celui-ci annoncé, les réactions des agents l'engendreront. Ce procédé fonctionne d'autant mieux que les agents ignorent qu'ils participent à un tel schème. Ils tiennent pour acquis que la parole du prophète dit ce que sera l'avenir. Si le prophète s'est calé sur un point fixe, l'avenir devenu présent ne les démentira pas. Si, de plus, cet avenir est celui que le prophète voulait faire arriver, soit parce qu'il est bon, soit parce qu'il évite un désastre, dès lors qui songera à soupçonner le prophète ? Il aura eu recours à un détour métaphysique pour aller dans le bon sens.

En d'autres termes, le prophète s'appuie sur la logique de la prophétie auto-réalisatrice. Le défi que doit relever le prophète de malheur apparaît dès lors dans sa singularité : il doit résoudre en termes de prophétie auto-réalisatrice un problème dont la nature est celle d'une prophétie auto-invalidante.

Ce défi, les collapsologues ne sont pas près de le relever, parce qu'ils n'ont pas compris ce qui précède. Ils annoncent certes un avenir destinal, en précisant bien que cet avenir est indépendant des actions des agents. Ainsi, Yves Cochet, dans *Devant l'effondrement. Essai de collapsologie*, aux Éditions Les liens qui libèrent (2019), s'exprime dans ces termes : « L'effondrement de la société mondialisée est... certain vers 2030, à quelques années près (*sic*) » (p. 40) ; et « ... les humains, quelle que soit leur situation de pouvoir, ne peuvent plus modifier que marginalement la trajectoire fatale qui conduit [à l'effondrement] » (p. 116).

Cependant, soit qu'ils croient eux-mêmes en ce qu'ils disent, soit plus vraisemblablement qu'ils ne sont pas conscients de leur pouvoir d'agir sur l'opinion publique pour échapper à la catastrophe – cette logique jonasienne qui veut que la prophétie de malheur soit faite *pour éviter qu'elle ne se réalise* –, ils s'arrêtent là, figés dans leur impuissance. Car ce pouvoir d'agir sur l'opinion publique, ils l'ont, on le voit tous les jours. Mais non pensé, non maîtrisé, il contribue à la panique que l'anticipation de la catastrophe engendre déjà.

Troisième point – Jusqu'ici, nous avons considéré le cas du prophète isolé, extérieur au groupe dont il dit le destin, tout en étant suffisamment proche de lui pour tout savoir à son sujet, y compris son avenir. Il existe une version beaucoup plus démocratique de cette configuration, dans laquelle c'est le groupe lui-même – ou, en tout cas, ses représentants – qui prend par rapport à lui-même la position de prophète. Dans ce cas, prédire l'avenir (comme s'il était inscrit dans les astres : fatalisme) ou se le fixer comme objectif (volontarisme) coïncident, tout en restant contradictoires. Puisque, une fois décidé, tous prennent cet avenir pour point de repère fixe, intangible, c'est-à-dire indépendant des actions présentes, alors même que tous savent que l'avenir en dépend causalement, on peut dire que tous

tiennent l'avenir pour nécessaire⁽⁴⁾, sans pour autant faire de cet avenir un destin : c'est une convention que tous acceptent, parce qu'ils se la donnent à eux-mêmes⁽⁵⁾.

Il devrait être évident que, comme dans le cas de la prophétie d'un individu isolé, cette convention ne peut pas être n'importe quoi. Elle ne peut « tenir », c'est-à-dire résister à l'observation, que si « ça boucle » : les réactions à l'avenir annoncé ne doivent pas empêcher la réalisation causale de cet avenir. En d'autres termes, elle doit être un point fixe endogène. Dans le cas positif, j'ai pris l'exemple du Plan quinquennal français⁽⁶⁾, dont le mot d'ordre était : obtenir par la concertation et l'étude une image de l'avenir suffisamment attirante pour qu'on désire la voir se réaliser et suffisamment crédible pour que l'on ait des raisons de penser que l'on peut y arriver. La condition de bouclage est indispensable, sinon n'importe quelle utopie ferait l'affaire.

C'est sur cette configuration que je repose la question de la logique paradoxale de la prophétie de malheur. Existe-t-il une manière de prophétiser la catastrophe par l'annonce d'un avenir nécessaire qui l'évite et qui soit tel que cette annonce induise des comportements qui favorisent cet évitement ? En d'autres termes, peut-on rabattre la prophétie auto-invalidante sur la prophétie auto-réalisatrice ?

Deux types opposés de rapports prophétiques à l'avenir conduisent à renforcer la probabilité d'une catastrophe majeure. Celui des optimistes béats qui voient les choses s'arranger de toute façon, *quoi que fassent les agents*, par la grâce du principe qui veut que l'humanité se soit toujours sortie des pires situations. Et celui des catastrophistes mortifères que sont les collapsologues, qui annoncent comme *certain*⁽⁷⁾ ce qu'ils appellent l'effondrement. Dans l'un et l'autre cas, on contribue à en renforcer le caractère probable en démobilisant les agents. Mais dans le second cas, cela va dans le sens de la prophétie, et en sens opposé, dans le premier.

Nul mieux que le philosophe allemand Karl Jaspers n'a formulé cette double impasse : « Quiconque tient une guerre imminente pour *certaine* contribue à son arrivée, précisément par la certitude qu'il en a. Quiconque tient la paix pour *certaine* se conduit avec insouciance et nous mène sans le vouloir à la guerre. Seul celui qui voit le péril et ne l'oublie pas un seul instant se montre capable de se comporter rationnellement et de faire tout [son] possible pour l'exorciser.⁽⁸⁾ »

(4) Dire que l'avenir est nécessaire, c'est dire que tous les événements futurs s'y produisent nécessairement : il est impossible qu'ils ne s'y produisent pas. Si l'avenir est nécessaire, tout événement qui ne se produira jamais est impossible.

(5) Dans mon livre *L'Avenir de l'économie* (Flammarion, 2012), j'ai nommé « coordination par l'avenir » cette modalité de la régulation sociale.

(6) Voir DUPUY J.-P. (2002/2004), *Pour un catastrophisme éclairé*, Seuil, p. 197.

(7) Je ne reprends pas ici la critique que j'ai faite ailleurs de ces collapsologues qui confondent les catégories et assimilent le certain et le nécessaire (l'inéluctable), tout en m'imputant la paternité de la formule : c'est en tenant la catastrophe pour certaine que l'on se donne le maximum de chances de l'éviter, ce qui est une absurdité.

(8) JASPERS K. (1949), *Von Ursprung und Ziel der Geschichte* (De l'origine et du but de l'histoire), Munich/Zürich, R. Piper & Co. Verlag (ma traduction).



Photo © AKG-IMAGES / ALBUM 20TH CENTURY FOX/ILM

Image extraite du film *Minority Report*.

« La nouvelle de Philippe K. Dick, *Minority Report*, développe une idée contenue dans le *Zadig* de Voltaire et illustre tous les paradoxes examinés ici. La police du futur y est représentée comme ce que l'on appelle aujourd'hui, alors qu'elle est mise en place dans diverses villes du monde, une police prédictive, qui prévoit tous les crimes qui vont être commis dans une zone donnée. »

Prophétiser que la catastrophe est sur le point de se produire, c'est contribuer à la faire advenir. La passer sous silence ou en minimiser l'importance, à la façon des optimistes béats, conduit au même résultat. Ce qu'il faudrait, c'est combiner les deux démarches : annoncer un avenir nécessaire qui *superposerait* l'occurrence de la catastrophe, pour qu'elle puisse faire office de dissuasion, et sa non-occurrence, pour préserver l'espoir. En mécanique quantique, une superposition de ce type est la marque d'une *indétermination* (*Unbestimmtheit*, en allemand). Sans vouloir chercher ici une analogie qui poserait trop de problèmes, j'ai proposé de retenir ce terme pour désigner le type d'incertitude radicale qui caractérise un tel avenir. Elle n'est pas probabilisable, car les probabilités présupposent des disjonctions, alors qu'un avenir nécessaire ne connaît que des conjonctions. Le « poids » accordé à la catastrophe doit par ailleurs être aussi petit que possible, évanescant ou infinitésimal dans le cas d'une catastrophe majeure, telle qu'une guerre nucléaire mondiale. La prophétie de malheur aura alors accompli son programme, à cet infinitésimal près⁽⁹⁾.

Quatrième et dernier point – Comment penser un avenir à la fois nécessaire et indéterminé ?⁽¹⁰⁾

Il existe diverses manières de concevoir la superposition des états qui réalise l'indétermination.

(9) Trois livres marquent les étapes de ma réflexion : *Pour un catastrophisme éclairé*, 2002, *op. cit.* ; *L'Avenir de l'économie*, 2012, *op. cit.* ; et *La Guerre qui ne peut pas avoir lieu*, Desclée de Brouwer, 2019.

(10) La nécessité, à l'instar de la possibilité chez Bergson, ne peut être que rétrospective. Un événement qui se produit devient nécessaire, non seulement parce qu'il entre dans le passé, mais également parce qu'il devient vrai qu'il aura toujours été nécessaire.

a) Le concept de *near miss*, familier aux stratégies nucléaires. Plusieurs dizaines de fois au cours de la Guerre froide, mais aussi plus tard, on est passé « à un cheveu » du déclenchement d'une guerre nucléaire. Est-ce à mettre au crédit ou au passif de la dissuasion ? Les deux réponses sont simultanément bonnes. Celui qui fut le secrétaire à la Défense des Présidents Kennedy et Johnson, Robert McNamara, conclut à l'inefficacité de la dissuasion. "We lucked out" (« Nous avons eu du bol »), dit-il à ce sujet. Cette conclusion n'est-elle pas trop hâtive ? Ne pourrait-on pas dire au contraire que c'est ce flirt répété avec le tigre nucléaire, cette série d'*apocalypses qui n'ont pas eu lieu*, qui nous a protégés du danger que représentent l'accoutumance, le contentement de soi, l'indifférence, le cynisme, la bêtise, la croyance béate que le pire nous sera épargné ? Ni trop près, ni trop loin du trou noir, ou bien être à la fois proche et distant de l'abîme, telle semble être la leçon à tirer de la Guerre froide.

Le point fixe endogène est ici une apocalypse qui n'a pas eu lieu, mais il s'en est fallu de peu. Je suis encore tout secoué que ma fille brésilienne se soit trouvée à bord du vol Air France AF 443, qui relie quotidiennement Rio de Janeiro à Paris, le 31 mai 2011, soit la veille du jour où le même vol a disparu en mer. Mais si elle avait été sur ce vol une semaine, un mois, une année avant le crash, mon sentiment de peur rétroactive aurait-il été le même ? La catastrophe n'a pas eu lieu, cela arrive tous les jours, sinon c'en serait fini de l'industrie aérienne. Le *near miss*, c'est autre chose. Il y a, sous-jacente à l'absence de la catastrophe, l'image de la catastrophe elle-même, l'ensemble constituant ce que l'on peut appeler une présence-absence.

b) La nouvelle de Philippe K. Dick, *Minority Report*, développe une idée contenue dans le *Zadig* de Voltaire et

illustre tous les paradoxes examinés ici. La police du futur y est représentée comme ce que l'on appelle aujourd'hui, alors qu'elle est mise en place dans diverses villes du monde, une police prédictive⁽¹¹⁾, qui prévoit tous les crimes qui vont être commis dans une zone donnée. Elle intervient parfois au tout dernier moment pour empêcher le criminel d'accomplir son forfait, ce qui fait dire à ce dernier : « Mais, je n'ai rien fait ! », à quoi la police répond : « Mais, vous alliez le faire ! » L'un des policiers, plus tourné vers la métaphysique que les autres, a ce mot : « Ce n'est pas l'avenir, si on l'empêche de se produire ! » Mais c'est sur le titre de la nouvelle que je veux insister ici. L'« avis minoritaire » se réfère à cette pratique à laquelle ont recours nombre d'institutions importantes dans le monde, par exemple la Cour suprême des États-Unis ou le Conseil d'État français, qui consiste, lorsqu'elles rendent un avis qui ne fait pas l'unanimité, à inclure, à côté de l'avis majo-

ritaire qui devient de ce fait l'avis de la Cour ou du Conseil précités, l'avis de la minorité. Dans la nouvelle de Dick, la prophétie est faite par un trio de Parques nommées Precogs (pour Pre-cognition). Trois est un nombre très intéressant, car, ou bien les trois Parques sont d'accord, ou bien c'est deux contre une. La minorité, s'il y en a une, ne contient qu'un élément. L'avis de celui-ci apparaît en supplément de l'avis rendu, qu'il contredit tout en en faisant partie.

Voilà à quoi devrait ressembler la prophétie du malheur : le malheur ne devrait y figurer qu'en filigrane d'une annonce de bonheur, ce bonheur consistant en l'évitement du malheur. On pourrait dire que le bonheur *contient* le malheur tout en étant son contraire, en prenant le verbe « contenir » dans son double sens d'« avoir en soi » et de « faire barrage à ».

(11) Voir DUPUY J.-P. (2019), « Le paradoxe de *Zadig*. *Big Data* et sécurité », *Esprit*, 460, décembre.

Prospective, catastrophe et collapsologie

Par Jacques THEYS

Ancien enseignant à l'EHESS, vice-président de la Société française de prospective

La prise de conscience brutale de l'extrême gravité du changement climatique et du déclin de la biodiversité a donné un écho considérable à l'hypothèse d'un effondrement prochain des systèmes socio-écologiques et à la collapsologie. Celle-ci a des aspects multiples : à la fois choc émotionnel, vision idéologique du monde futur, nouvelle science et prévision sur l'avenir. Seules les deux dernières dimensions sont abordées dans cet article, car il s'agit essentiellement de resituer la place de la prospective dans le débat sur l'effondrement, et de voir en quoi celle-ci se différencie de la collapsologie à la fois sur le plan épistémologique et de ses hypothèses sur le futur. Si l'interrogation sur les risques d'effondrements – au moins partiels – est légitime, ni les raccourcis qu'emprunte la collapsologie pour annoncer leur réalisation prochaine ni l'attitude de mise en retrait qu'elle préconise pour y faire face ne se justifient. Moins fataliste et catégorique, la prospective, art pratique orienté vers l'action, préfère se situer entre deux extrêmes qu'elle refuse : le déni de l'hypothèse catastrophiste et la certitude de sa venue.

L'effet de sidération lié à la prise de conscience brutale de l'extrême gravité du changement climatique et du déclin rapide de la biodiversité a donné un écho considérable à l'hypothèse d'un effondrement prochain des systèmes socio-écologiques dans lesquels nous vivons, et aux thèses développées à ce sujet par les « collapsologues ». Six Français sur dix se disent ainsi aujourd'hui convaincus qu'« un effondrement de la civilisation est possible », en raison d'abord de l'effet de serre, mais aussi de la démographie, de l'accroissement des inégalités ou du nucléaire⁽¹⁾. Depuis deux ans, il n'est pas un seul média qui n'ait consacré à cette hypothèse au moins un article ou une émission – sans oublier les séries télévisées –, ce qui permet de dire que c'est désormais un véritable phénomène de société s'étendant bien au-delà du cercle des experts et des écologistes.

C'est essentiellement en France que les débats se sont ouverts sur ce sujet, mais la question est abordée dans beaucoup d'autres pays – et dans une perspective qui va au-delà des préoccupations pour le climat ou l'environnement. C'est ainsi qu'en septembre dernier, l'OCDE a organisé une importante conférence ayant pour thème « *Averting systemic collapse* », avec pour objet d'évaluer l'éventualité de nouvelles crises financières, écologiques, géopolitiques ou sociales et de discuter de l'hypothèse d'un effondrement lié à leur conjonction ou à des effets

en chaîne (*cascading effects*⁽²⁾). Cette préoccupation est également de plus en plus présente dans la plupart des instances internationales qui travaillent sur les risques à l'échelle globale avec des groupes de travail ou des études qui sont partout lancés sur les risques systémiques, les catastrophes en chaîne ou la résilience aux chocs extrêmes⁽³⁾.

L'objet de cet article n'est pas de discuter sur le fond des idées portées par les collapsologues, ni même de faire une critique approfondie des arguments qu'ils utilisent pour annoncer qu'un effondrement est prévisible à un horizon proche. Il est, de manière beaucoup plus modeste, de resituer la place de la prospective dans ce débat – comme une des formes parmi d'autres d'appréhension du futur, puisque c'est du futur dont il s'agit. Le paradoxe est en effet que cette prospective a joué – à travers le rapport du Club de Rome – un rôle important dans la structuration de ce que les collapsologues considèrent comme une « science de l'effondrement », alors qu'elle ne s'est jusqu'à présent pas avancée sur cette perspective, sur laquelle d'ailleurs elle n'a jamais été sollicitée. Entre les collapsologues, les spécialistes du risque ou des systèmes complexes, ceux de l'économie, de la géopolitique ou de l'environnement – mais aussi la philosophie morale

(1) Sondage *Huffington Post*, 2 décembre 2019. Ces thèmes sont les quatre principaux cités par les personnes consultées.

(2) Conférence organisée en septembre 2019, qui a donné lieu à la publication de plusieurs rapports, dont LINKOV I., TRUMP B. & HYNNES W., « Face aux menaces systémiques, des stratégies et des approches fondées sur la résilience ».

(3) Notamment l'International Risk Governance Centre, le groupe AXA-Eurasia et le World Economic Forum.

de Hans Jonas ou Jean-Pierre Dupuy – quel peut être son apport spécifique éventuel ? C'est la question posée ici.

L'hypothèse d'un effondrement : une question légitime

Se poser la question d'un possible effondrement n'est pas seulement une façon d'exprimer une angoisse ou un sentiment d'impuissance face à la succession des informations plus ou moins catastrophiques que diffusent à flux continu les médias. C'est une interrogation légitime – corroborée de plus en plus par les scientifiques ou les analystes de risques. Pour la biodiversité et l'évolution du vivant, ce sont les biologistes eux-mêmes qui parlent d'un effondrement *déjà réalisé* et qui va s'accélérer – avec, par exemple, une population de vertébrés qui a déjà baissé de 60 % depuis 1970 ; une baisse de plus du tiers en moins de vingt ans du nombre d'espèces communes d'oiseaux dans les campagnes françaises, et une réduction du même ordre en Allemagne pour les insectes, ou encore la perspective d'extinction de plus d'un million d'espèces dans le monde... En matière de climat, chaque année qui passe conduit à réajuster à la hausse les estimations des impacts possibles liés à l'accélération constatée du changement climatique depuis quelques années. Plusieurs articles publiés en 2018-2019 par l'Académie des sciences américaine et le Stockholm Resilience Center montrent à la fois que le seuil à partir duquel le climat pourrait basculer vers un « attracteur » de très hautes températures – avec des effets incalculables – s'est considérablement abaissé (autour de deux degrés) et que plusieurs des « points de basculement locaux » sont déjà dépassés (par exemple, pour ce qui concerne la fonte de la calotte Arctique), avec des effets d'accélération sur les autres (El Niño, Gulf Stream...⁽⁴⁾). En conséquence de ces deux crises – celle du climat et celle du vivant –, c'est toutes les ressources communes de la planète qui sont menacées, et avec elles, la grande majorité des activités humaines. Des craintes s'expriment également à plus court terme en matière économique. Même si elle est très controversée, l'hypothèse d'une nouvelle crise économique – liée à un niveau d'endettement public et privé très supérieur à celui qui existait en 2008 – a pris également une certaine ampleur en 2019. Du côté social et géopolitique, le constat d'une instabilité croissante s'est trouvé, lui aussi, fortement confirmé dans les années récentes – avec le sentiment d'une incapacité des institutions à maîtriser les tensions qui se développent. Selon l'OCDE, 1,8 milliard de personnes (un quart de la population mondiale) vivent déjà dans des États considérés comme « fragiles » (autrefois « faillis »), et ce nombre devrait passer à 2,3 en 2030 et à 3,3 en 2050⁽⁵⁾ – tandis qu'à l'intérieur d'autres pays, certains territoires s'affaiblissent. Enfin, à plus long terme,

(4) Sources : STEFFEN W., ROCKSTRÖM J. *et al.* (2018), "Trajectories of the earth system in the Anthropocene", *PNAS*, vol. 115 ; LENTON T. M., ROCKSTRÖM J. *et al.* (2019), "Climate tipping points, too risky to bet against", *Nature*, vol. 575.

(5) Source : "States of fragility in 2018", OCDE, 2019. 3,3 milliards en 2050, cela correspondra à 35 % de la population mondiale. Voir aussi la Stratégie de l'AFD 2017-2021 sur la vulnérabilité aux crises et la résilience internationale.

la question de l'épuisement des ressources non renouvelables, notamment de l'énergie, pourrait à nouveau se poser de manière globale et majeure – avec, entre-temps, de fortes instabilités locales et l'impact de pénuries partielles. À cela s'ajoute une vulnérabilité croissante aux événements – catastrophes majeures, pandémies... – liée au renforcement et au croisement des interdépendances au niveau mondial. Naturellement, toutes ces menaces sont de natures diverses. Elles restent aussi marquées par de fortes incertitudes. Mais leur multiplication rend l'hypothèse d'effondrements (au pluriel et à un terme non défini) non impossible, d'autant que de nombreuses connexions existent entre elles, comme on a pu, par exemple, le constater en Syrie. La cartographie des risques globaux établie par le World Economic Forum montre bien, en effet, comment tous ces risques sont liés et à quel point ceux concernant l'environnement occupent désormais une place centrale dans ce système⁽⁶⁾. Il est significatif, par exemple, que le FMI recommande désormais d'intégrer les risques climatiques dans les *stress tests* évaluant la stabilité des banques aux chocs externes. Outre les fluctuations du prix du pétrole, qui restent toujours une source majeure de crise, ces risques écologiques devraient donc être appelés à jouer un rôle de plus en plus déterminant dans l'équilibre économique ou social de la planète, ce qui est un élément supplémentaire d'instabilité, compte tenu de notre faible capacité à maîtriser la nature⁽⁷⁾.

Les raccourcis de la collapsologie

On peut mettre au crédit des « collapsologues⁽⁸⁾ » d'avoir réussi à faire entrer dans le débat public cette perspective de risque majeur – et c'est, en soi, un apport positif. Affirmer cependant que la science (en l'occurrence, la collapsologie) permet aujourd'hui de prédire qu'un effondrement de la civilisation thermo-industrielle aura lieu dans un avenir très proche repose sur des raccourcis qui sont contestables. Si le concept a permis de créer de toutes pièces un domaine d'études scientifiques qui a un sens, le rassemblement de matériaux très divers ne permet pas à lui seul de parler de science nouvelle – ou, en tout cas, cette science n'est pas encore constituée. Les causes mises en évidence pour expliquer l'effondrement des sociétés passées (depuis l'Empire romain jusqu'à la civilisation maya⁽⁹⁾) – telles que les bouleversements provoqués ou non de l'environnement ou l'incapacité politique à faire face à la complexité croissante des systèmes sociaux –

(6) Voir les "Global Risks Reports" publiés chaque année de 2015 à 2020 par le World Economic Forum en partenariat avec Zurich Insurance Group et Marshall McLennan.

(7) Voir THEYS J. (1994), « Prospective de l'environnement : la nature est-elle gouvernable ? », *Revue Espaces et Sociétés*, n°74-75.

(8) On regroupera sous ce terme l'ensemble des personnes, des groupes ou des institutions (comme l'Institut Momentum) qui défendent publiquement qu'un effondrement prochain est très probable ou certain. Dans cet article, on se référera essentiellement à l'ouvrage de Pablo Servigne et Raphaël Stevens, *Comment tout peut s'effondrer ? Petit manuel de collapsologie à l'usage des générations présentes*, Le Seuil, 2015.

(9) Sources : DIAMOND J. (2005), *Effondrement*, Gallimard ; BUTZER K. W., *Collapse, environment and society*, *PNAS*, vol. 09, n°10-2012 ; TAINTER J. (1988), *The collapse of complex societies*, Cambridge University Press.

restent très diverses et générales, et la situation actuelle est si inédite qu'elle rend en partie illusoires les comparaisons historiques. Rien ne dit donc qu'elles puissent suffire à expliquer la situation actuelle et à prévoir le futur. D'autant que l'on ne sait pas précisément de quel système il s'agit et de quel effondrement il est question : effondrement des écosystèmes ? de certains pays ou territoires ? des modes de vie et de production actuels ? de l'économie capitaliste ? de l'ensemble des systèmes politiques et sociaux ? de l'habitabilité de la planète pour l'homme ? On peut aussi reprocher aux « collapsologues », outre un biais de sélection en faveur des hypothèses les plus catastrophistes, d'avoir souvent fait des raccourcis scientifiques critiquables et de n'avoir pas toujours rendus transparentes – mais ils n'en sont pas nécessairement les seuls responsables – les controverses qui ont accompagné les travaux scientifiques qu'ils mettent en avant. L'anticipation d'un effondrement possible dès 2025-2030 doit beaucoup à l'article publié en 2008 – au moment du troisième choc pétrolier – par Graham Turner qui montrait qu'à cette date, la réalité confirmait les prévisions faites presque quarante ans plus tôt par le rapport du Club de Rome et que, sauf réaction rapide, le scénario d'une inversion brutale à partir de 2030 des courbes de croissance de l'économie, puis de la population, était le plus probable ⁽¹⁰⁾. Même si la qualité des anticipations faites dans ce rapport est remarquable et s'il a eu l'énorme mérite de mettre en avant la notion de limite, il aurait été conforme à une approche « scientifique » de faire aussi état des controverses qu'il a suscitées ⁽¹¹⁾ (même si certaines critiques se sont révélées non justifiées) – et surtout du fait que l'effondrement prévu pour 2030 est en partie lié à des hypothèses sur les effets de seuil qui mériteraient au moins d'être débattues ⁽¹²⁾. Beaucoup de confusion est aussi entretenue sur les temporalités. On oublie de dire que les effondrements précédents ont été lents et progressifs. La conjonction entre crise climatique et pic pétrolier qui était encore envisageable à moyen terme en 2008 s'est trouvée infirmée par l'émergence simultanée des hydrocarbures non conventionnels, d'une atténuation de la tendance à la hausse du coût d'extraction des hydrocarbures grâce à l'accès à de l'argent bon marché et de la nécessité de ne pas exploiter plus de 30 % des réserves prouvées exploitables pour respecter les contraintes climatiques ⁽¹³⁾. Cela ne diminue pas l'importance structurelle de la relation entre croissance et accès à une énergie fiable et bon marché, mais lie plutôt celle-ci davantage à l'échec ou à la réussite de la transition en cours qu'à des problèmes immédiats de raréfaction. La même remarque s'applique à la question de l'instabilité des systèmes

complexes. Certes, le monde dans lequel nous vivons – avec ses ramifications multiples, ses interconnexions, l'hyper-concentration des activités, l'irréductibilité des incertitudes liées, notamment, à la nature... – est vulnérable ⁽¹⁴⁾. Mais Jean-Pierre Dupuy a raison de noter que la complexification accroît autant nos robustesses que nos fragilités – et que des crises locales ne peuvent conduire à des effondrements que si elles touchent des « nœuds majeurs » dans les réseaux de relations et d'interdépendances qui structurent nos sociétés, ce qui n'est pas le plus probable ⁽¹⁵⁾. Des catastrophes locales ou même des effondrements partiels pourront se produire, mais si les capacités de résilience et d'adaptation sont suffisamment développées, alors rien ne permet d'affirmer qu'elles conduiront nécessairement à un effondrement général.

Reste que le principal mérite de la collapsologie est de nous mettre en alerte – au-delà des messages adressés par les scientifiques – sur la gravité des risques qui sont devant nous. Mais en annonçant comme certain l'effondrement prochain, la collapsologie délégitime en même temps toutes les raisons qui justifient – au contraire – que l'on fasse tous les efforts pour l'éviter. Laissant aux individus et aux communautés – à l'ombre du catastrophisme resurgi des années 1960 ⁽¹⁶⁾ – le soin de s'adapter à une possible apocalypse, elle peut aussi paradoxalement s'interpréter comme le choix idéologique du renoncement, d'une « mise en retrait » – comme s'il était plus facile d'accepter « la fin du monde » que de s'engager dans la mise en œuvre des mesures radicales qu'impose la transition écologique et sociale. C'est sans doute la critique majeure que l'on puisse lui faire.

Les prudences de la prospective

Anticiper l'effondrement ou en analyser les risques ne sont pas des choses nouvelles. Depuis l'Antiquité, cette perspective a resurgi périodiquement comme une des figures possibles ou nécessaires du futur, et des chercheurs s'y sont investis bien avant l'émergence de la collapsologie ⁽¹⁷⁾. Ce qui a changé, c'est à la fois le contexte et les formes dans lesquels ce futur a été historiquement appréhendé, et donc ce message diffusé. Bernard Cazès, à travers son *Histoire des futurs*, et, beaucoup plus récemment, Francis Chateaufort, en ont bien montré l'évolution et la grande diversité, allant de la divination à la science-fiction, en passant par l'anticipation, la prévision, la prospective, la prophétie, l'urgence, la futurologie, la philosophie morale... (voir le Tableau 1 de la page suivante) ⁽¹⁸⁾. Il n'est pas

(10) TURNER G. (2018), "A comparison of the Limits to growth with 30 years of reality". *Global Environmental Change*.

(11) Voir, en particulier, l'ouvrage publié par l'Université du Sussex (COLE H., FREEMAN C., JAHODA M. & PAVITT K.), *L'Anti-Malthus, une critique de « Halte à la croissance »*, Le Seuil, 1974.

(12) Le modèle est, par exemple, très sensible à un seuil d'exploitation de 50 % des ressources non renouvelables, au-delà duquel la part du capital consacrée à l'extraction de ces ressources augmente très rapidement, entraînant une baisse de ce qui est disponible pour le capital industriel, et donc de la croissance.

(13) C'est la condition fixée à la fois par le GIEC et l'Agence internationale de l'énergie pour respecter les 2°C.

(14) Voir FABIANI J.-L. & THEYS J. (dir.) (1987), *La Société vulnérable*, Presses de l'École normale supérieure.

(15) DUPUY Jean-Pierre, *Simplismes de l'écologie catastrophiste*, AOC, octobre 2010.

(16) Référence au livre de SEMAL L. (2019), *Face à l'effondrement, militer à l'ombre des catastrophes*, PUF.

(17) Voir, en particulier, l'ouvrage de TIMMERMAN P. (publié en 1981), *Vulnerability. Resilience and the collapse of society*, monographie n°1, Institute for Environmental Studies, Toronto University.

(18) CAZES B. (1986), *Histoire des futurs, les figures de l'avenir de Saint Augustin au XXI^e siècle*, Seghers ; CHATEAUFORT F., « Regards analytiques sur l'activité visionnaire (les prises sur le futur) », in BOURG D., JOLY P. B. & KAUFMANN A. (2013), *Du risque à la menace, penser la catastrophe*, PUF.

	Modalisation	Exemples	Formes de critique
Urgence	Le temps manque. Il est réduit par la force de l'événement.	Déclenchement d'un plan de secours.	On ne peut pas tout traiter en urgence. Réactions émotionnelles.
Attente	Temps suspendu. Adaptation aux incertitudes du temps.	Panne : attente du retour à la normale. Systèmes d'alarme.	Perte de temps, attentisme et immobilisme.
Préparation, planification	Temps investi.	Plans, stratégies de résilience.	Problème de moyens, d'acceptabilité. Horizons trop courts.
Anticipation	Accélération du temps, être en avance sur le processus.	Alerte climatique, ou différents usages du principe de précaution.	Manque de vigilance, surinterprétation de signaux faibles.
Prévision	Temps calculé et linéarisé avec projection des états du monde.	Modèles de croissance, évolution d'indicateurs, fin du pétrole.	Imprévisibilité, projection naïve du passé, cadrage et réductionnisme.
Prospective	Temps déplié, non linéaire, ouvert sur une multiplicité de possibles, en partie construit.	Scénarios énergétiques ou de modes de vie, ruptures dans les cycles d'innovation.	Prolifération de scénarios indécidables et accroissement des incertitudes, risque de relativisme.
Promesse	Génération de délais et de reports vers le futur.	Homme augmenté, zéro carbone en 2050.	Les promesses n'engagent que ceux qui y croient.
Prophétie	Temps eschatologique créant un pont entre l'instant et l'éternité. Nouveau temps annoncé.	Destruction de la planète, post-humanité, fin du monde <i>versus</i> nouveau monde.	Catastrophisme <i>versus</i> prophétie du bonheur, irrationalité, vision religieuse du monde.
Futurologie, philosophies de l'histoire (prophétie rationalisée)	Temps déterminé. Récit rationalisé du futur qui en propose une vision univoque.	Comte, Marx Hegel, Fukuyama, Homo Sapiens...	Fermeture et univocité du futur, valeurs sous couvert de rationalité.
Science-fiction	Temps fictionnel. Ouverture des possibles par l'imagination.	<i>1984, Le Meilleur des mondes ; Tous à Zanzibar ; La Route ; Les furtifs.</i>	Brouillage des frontières entre le possible et l'impossible.

Tableau 1 : Les différentes formes de prise sur le futur (source : F. Chateaufort, tableau réduit et légèrement modifié).

facile de situer la collapsologie dans cette multiplicité, car elle emprunte un peu à tous ces registres. Si elle a redonné une « seconde vie » publique au rapport du Club de Rome, ce n'est pas le résultat d'un exercice de prospective, mais plutôt un récit sur l'avenir mêlant l'anticipation scientifique, la prévision, la prophétie et la fiction avec une forte dimension eschatologique.

Ce qui est sûr, c'est qu'il existe beaucoup de différences entre collapsologie et prospective. Pour celle-ci, il ne peut pas y avoir de « science du futur », mais seulement une « approche raisonnée » de celui-ci. Comme le disait en 1960, Bertrand de Jouvenel, l'un de ses fondateurs, « la prospective est un art de composition : on part de toutes les relations causales jugées pertinentes, mais leur assemblage repose sur un modèle hypothétique qui ne peut être validé scientifiquement. Ce qui importe, c'est que cette conjecture soit raisonnée, les informations de base vérifiées, c'est que le bâti soit énoncé, transparent, livré à la critique ». La prospective s'est aussi construite

sur une critique du déterminisme et de la prévision, avec l'idée que le futur n'est pas un simple prolongement du passé, qu'il est multiple et en large partie domaine de liberté et de volonté. Enfin, son but n'est pas seulement de proposer des récits crédibles du futur, mais aussi d'aider à construire des actions acceptables dans le présent. Par rapport à la perspective « catastrophiste », ces spécificités sont à la fois des atouts et des handicaps. Les atouts, ce sont l'ancrage dans l'Histoire, le souci de vérifier les hypothèses, l'approche systémique, l'ouverture à la controverse et l'orientation vers l'action. Les handicaps – mis en évidence par Francis Chateaufort (voir le Tableau 1 ci-dessus), mais aussi par Jean-Pierre Dupuy⁽¹⁹⁾, ce sont le risque de relativisme et de surestimation de l'ouverture du futur, « la prolifération de scénarios indécidables lais-

(19) DUPUY J.-P., « Le futur bifurque-t-il ? Vers une nouvelle science du futur », in GROSSETTI M., BESSIN M. & BIDARD C. (2013), *Les Sciences sociales face aux ruptures et à l'événement*, La Découverte, Recherche.

sant une trop grande place à l'incertitude et à la volonté humaine ou politique ». Cette critique n'est pas fautive. Si depuis les années 1960 – et les travaux précurseurs de Kenneth Boulding ⁽²⁰⁾ – la prospective a accordé une très large place au thème de l'environnement et si beaucoup d'exercices qui ont été produits comportaient une éventualité « catastrophiste », il est vrai que cette partie de leur message est restée le plus souvent inaudible, car elle s'accompagnait presque systématiquement d'alternatives positives qui en euphémisaient les effets. La seule exception visible fut le rapport du Club de Rome qui, lui aussi, proposait plusieurs scénarios, mais en concluant finalement que tous aboutissaient au même effondrement – à des dates différentes. Cette fois, le message fut entendu, tout en étant immédiatement rejeté, car il ne proposait aucune alternative réalisable : c'est tout le dilemme de la prospective souvent écartelée entre sa fonction d'alerte et la nécessité de proposer des solutions qui soient acceptables.

Bien que justifiée, cette critique ne rend cependant pas compte de la diversité des formes de prospective – au point d'ailleurs, qu'il est difficile aujourd'hui d'en parler au singulier. Au lieu d'une approche uniformément centrée sur l'ouverture des possibles, celle-ci se caractérise plutôt par une mise en tension permanente entre continuités et discontinuités, recherche de certitudes et mise en évidence des incertitudes (ou des « cygnes noirs »), déterminisme et indéterminisme, poids du réel et volontarisme, importance de la prédiction (du présent vers le futur), mais aussi de la rétro-diction à partir de la construction de futurs désirables ou inacceptables (du futur vers le présent), souci de justice, enfin, entre générations actuelles et futures. C'est ce qui explique qu'il en existe aujourd'hui plusieurs approches très différentes – comme le résume le Tableau 2 ci-après.

Relation au futur Rapport à l'incertitude	Prospective exploratoire (du présent vers le futur)	Prospective normative (du futur au présent)
Recherche de certitudes	Prospective prévisionnelle LE PROBABLE LE RÉFÉRENTIEL	Visions du futur LES SOUHAITABLES OU LES INACCEPTABLES
Importance et mise en évidence des incertitudes	Prospective des discontinuités LES POSSIBLES OU NON IMPOSSIBLES	Prospective stratégique LES RÉALISABLES OU LES ÉVITABLES EN CONTEXTE INCERTAIN

Tableau 2 : Quatre formes de prospective.

En combinant ces différentes approches, il est en principe possible de garder les avantages que procure la pluralité des scénarios tout en sortant de la confusion qui en résulte. On part du cône ouvert des possibles (*forecasting*), pour ensuite progressivement le refermer – d'abord en se fixant un objectif, puis en comparant les trajectoires propres à chaque scénario avec celles nécessaires pour atteindre ce dernier (*backcasting*). La démarche est finale-

ment assez proche du « bouclage » entre présent et futur que propose Jean-Pierre Dupuy dans son ouvrage sur le « catastrophisme éclairé ⁽²¹⁾ ».

Malheureusement, cela suppose beaucoup de conditions et de temps d'analyse, et ce bouclage est rarement fait pour des problèmes complexes. Il y a cependant, en dehors du rapport du Club de Rome, une exception remarquable qui est le programme qui a été mené par le Global Scenario Group et le Tellus Institute à la fin des années 1990 – sans doute l'exercice de prospective le plus ambitieux jamais mené à l'échelle mondiale et l'éclairage le plus utile que puisse offrir actuellement celle-ci sur le thème de l'effondrement ⁽²²⁾. Ce qui en fait le caractère exceptionnel, c'est qu'il est à la fois global et multi-échelle ; qu'il prend en compte toutes les dimensions possibles (démographique, économique, sociale, technologique, politique et écologique), et ceci de manière réellement systémique ; qu'il est à la fois qualitatif et quantitatif ; qu'il dessine plusieurs visions conflictuelles de l'avenir ; mais aussi et surtout, qu'il s'intéresse aux dynamiques, aux trajectoires, aux bifurcations prévisibles sur toute la période allant de 1990 à 2100. Il ne s'agit pas tant de dessiner ce que sera le monde demain, que de mettre en évidence les points de bifurcation, de basculement pouvant conduire à telle ou telle trajectoire – des points liés à celles de « forces motrices » ou d'« attracteurs ». Les projections quantitatives se doublent ainsi d'une analyse en termes de sociologie des acteurs ou de géopolitique qui mettent l'accent sur les rapports de pouvoir, les régulations, les conflits d'intérêt et de valeurs, les questions d'équité ou encore la perception des risques. Six trajectoires d'évolutions possibles sont anticipées (voir le Tableau 3 de la page suivante), dont une menant en effet à un effondrement. Elle résulte de l'incapacité à réguler les tensions liées à la fois à l'accroissement des inégalités, à l'accélération des crises écologiques et des conflits sur les ressources, aux désordres ou défaillances économiques et financiers, et à la délégitimation croissante des institutions politiques. Elle est surtout la conséquence de l'échec des autres scénarios : lenteur et insuffisance du scénario réformiste (celui de l'Accord de Paris) – comparé à la tentative de « monter un escalateur à l'envers », impossibilité de faire accepter des ruptures dans les modèles de développement (« le nouveau paradigme écologique »), mais aussi impasse du repli protectionniste des pays ou groupes les plus riches dans des enclaves protégées (« Le monde forteresse »). Pour y faire face, les auteurs mettent en avant la nécessité d'une « Grande Transition », dont ils vont à la fois préciser et évaluer le contenu et les trajectoires dans

(20) Kenneth Boulding, à travers la publication, en 1964, de *The Meaning of the 20th Century, the Great Transition*, précurseur du rapport Meadows, a inspiré ce que B. Cazes appelle la « prospective du tournant », inquiète sur l'avenir de la planète. Voir THEYS J., « Aux sources de la notion de Grande Transition », in AFRIAT C. & THEYS J. (2018), *La Grande Transition de l'humanité*, Éditions FYP et l'ouvrage de B. Cazes.

(21) Comme dans cet ouvrage, le passé et le futur se déterminent mutuellement dans une boucle ayant un point fixe dans le futur. Pour J.-P. Dupuy, qui se situe dans le temps du projet, la trace du futur sur le présent est double : c'est à la fois l'inéluctabilité de la catastrophe et son indétermination ou indécidabilité. Pour la prospective stratégique, on est à la fois dans le temps du projet et de l'histoire, avec un objectif futur et des trajectoires qui se resserrent.

(22) GALLOPIN G., HAMMOND A.I., RASKIN P. & STEWART R. (1997), *Global Scenario Group, 'Branch points, global scenarios and human choices'*, Stockholm Environment Institute.

Familles de scénarios	Variante 1	Variante 2
<p>Mondes conventionnels</p> <p>Les valeurs, les modes de production et de consommation, la démographie, les rapports de puissance sont dans le prolongement des tendances passées et la mondialisation s'accélère.</p>	<p>Scénario de référence</p> <p>Le développement est déterminé par les logiques de marché, qui s'étendent. Les valeurs dominantes sont celles du consumérisme, de l'individualisme et du profit à court terme. Internet et le numérique réduisent la diversité culturelle.</p>	<p>Réformisme politique</p> <p>Face aux risques liés au scénario précédent, la communauté internationale envisage une réponse politique collective. Cette réponse porte, notamment, sur l'environnement et la pauvreté, combattus par des moyens technologiques.</p>
<p>Barbarisation</p> <p>Les forces de rappel qui devraient permettre aux mondes conventionnels de perdurer ne fonctionnent pas ou sont insuffisantes. Les contradictions sont exacerbées, conduisant à une dérégulation du système mondial et à des évolutions chaotiques.</p>	<p>L'effondrement</p> <p>Les inégalités et les crises écologiques deviennent telles qu'elles conduisent à des effondrements économiques et sociaux. Les gouvernements sont impuissants à contrer ces tendances. Les conflits entre États et les guerres civiles se multiplient.</p>	<p>Le monde Forteresse</p> <p>Pour échapper au risque d'effondrement du scénario précédent et aux crises qui lui sont liées, certaines grandes puissances ou groupes sociaux instaurent des « ordres locaux » fondés sur la domination militaire et policière. La ségrégation devient la règle.</p>
<p>Grandes Transitions</p> <p>Ces scénarios veulent être des « utopies réalistes » indispensables pour envisager le passage à une planète durable. Ils supposent une prise de conscience des limites et des risques liés aux scénarios précédents et une transformation en profondeur des systèmes de valeur et de décision.</p>	<p>L'Éco-communautarisme</p> <p>Les insatisfactions par rapport au fonctionnement démocratique et la montée des valeurs immatérielles conduisent à l'émergence de sociétés et de communautés autonomes isolées qui s'organisent pour faire face aux enjeux existants. Les pratiques collaboratives et de partage se développent.</p>	<p>Le nouveau paradigme de durabilité</p> <p>L'évolution des valeurs et la prise de conscience des risques conduisent à privilégier la prise en compte des biens communs et la sécurité des plus vulnérables aux dépens de la consommation et de la course à la taille. Des transitions concrétisent un nouveau paradigme de développement coordonné au niveau mondial.</p>

Tableau 3 : Six perspectives mondiales d'ici à 2050 (scénarios du Global Scenario Group).

leurs travaux suivants⁽²³⁾. Celle-ci s'est en effet amorcée depuis la publication du rapport, mais les changements climatiques et les transformations du monde se sont en même temps considérablement accélérés. Vingt-cinq ans après, les marges de manœuvre se sont réduites. Nous savons qu'il n'y a plus d'autre alternative durable et que le chemin à suivre sera difficile. Mais il reste ouvert.

Deux risques majeurs de la Grande Transition actuelle : croire l'apocalypse certaine, et ignorer l'hypothèse de la catastrophe

Au vu des travaux du CSG (Global Scenario Group), il serait irresponsable d'ignorer totalement la possibilité qu'une conjonction d'effets en chaîne conduise à des effondrements partiels au cours du siècle actuel. Les travaux récemment publiés par la Société française de prospective sur la « Grande Transition » – commencée au milieu du siècle dernier – ont également montré que nous sommes entrés dans une nouvelle phase de celle-ci,

qui sera marquée par des bouleversements majeurs, une incertitude radicale et la récurrence possible de catastrophes locales, sans que soit déjà déterminé ce que sera le monde d'ici à trente ou quatre-vingts ans⁽²⁴⁾. Face à ces perspectives, il va être vital de développer partout où cela est possible les capacités d'adaptation et de résilience ou de gestion de crise et les politiques de réduction des vulnérabilités majeures ou de protection des territoires, activités ou populations les plus fragiles⁽²⁵⁾. Mais cela ne suffira pas. Ni ces comportements de prudence ni même l'expérience répétée de catastrophes locales – comme celle qui s'est produite récemment en Australie – ne permettront à eux seuls de nous prémunir de ruptures plus systémiques. Et ils peuvent même en accroître l'occurrence. Il faudra aussi, dans le prolongement des travaux de l'OCDE ou du CSG, évaluer de manière beaucoup plus

(24) Voir « La Grande Transition de l'humanité », *opus* cité en note 19 et notamment l'article de Fabienne Goux Baudiment qui fait référence au monde VUCA (Volatilité, Incertitude, Complexité, Ambiguïté) et utilise la métaphore du choc violent entre deux plaques tectoniques pour caractériser les décennies à venir.

(25) Voir le rapport de l'OCDE sur la résilience cité en note 2, ainsi que le N°9 de *Acta Europeana Systemica, De la résistance à la résilience, la pensée systémique des transitions* (2019).

(26) C'était déjà la conclusion de l'ouvrage « La Société vulnérable », publié en 1987.

(23) Le Global Scenario Group a continué ses travaux à l'intérieur du Tellus Institute et de la Great Transition Initiative – qui publia de nombreux rapports, dont, en 2016, *Journey to Earthland* de Paul Raskin.

détaillée les effets en cascade, les trajectoires et scénarios qui pourraient éventuellement conduire à des effondrements partiels ou plus larges – en accordant une attention particulière à l'inégalité des situations, aux vulnérabilités les plus graves et aux questions de justice. Mais surtout s'engager beaucoup plus qu'aujourd'hui dans deux révolutions culturelles majeures. D'abord, construire la culture adulte du risque que nous n'avons toujours pas⁽²⁶⁾. Et ensuite, *transformer en profondeur notre vision du temps* pour faire de l'irréversibilité, du délai, de l'entropie, de la limite et même de l'éventualité d'une possible catastrophe – c'est-à-dire de *l'hypothèse d'un temps fermé et non ouvert* – la source d'un débat démocratique renouvelé sur des actions alternatives comme le proposent, à la suite de Gunther Anders et Jean-Pierre Dupuy, de nombreux chercheurs parmi lesquels Luc Semal, Bruno Villalba, Bernard Stiegler, Dominique Bourg ou encore Bertrand Guillaume⁽²⁷⁾.

Mais le risque essentiel aujourd'hui est moins celui d'un effondrement que celui d'une paralysie ou d'une panique entretenue par la collapsologie, qui ralentiraient encore

plus les dynamiques engagées dans le sens de la transition écologique. Là aussi, dans ce domaine, chaque jour compte ; et le catastrophisme proposé comme unique perspective – tout en ouvrant le faux espoir de solutions individuelles – ne pourra que renforcer à terme la fragilité non seulement du système « thermo-industriel » qui doit être transformé, mais aussi des écosystèmes naturels, de l'ensemble des systèmes sociaux et politiques, et des populations les plus pauvres de la planète – qui seront les premières à être affectées. Entre la conscience du risque, la volonté d'y faire face ou de tirer les expériences des catastrophes, et le fatalisme de l'apocalypse, il y a un gouffre – et dans cette différence se logent à la fois les réalités de demain et notre capacité à trouver des solutions de rupture à la crise climatique⁽²⁸⁾, comme à surmonter la « panne de futurs » que nous traversons. C'est à ces deux dernières tâches que nous devons consacrer toute notre énergie – et la prospective devrait prioritairement s'y investir – comme le débat démocratique à toutes les échelles...

(27) Source : GUILLAUME B. & PETIT V., « Fermeture des futurs, ouverture de la démocratie », in ZARKA Y. C. (2017), *La Démocratie face aux enjeux environnementaux*, Éditions Mimésis ; ANDERS G. (1960, 2007), *Le Temps de la fin*, Éditions de l'Herne ; et SEMAL L. & VILLALBA B. (2013), *L'Obsolescence de la durée*.

(28) Symétriquement aux « points de basculement » susceptibles d'entraîner des catastrophes, une vingtaine de chercheurs viennent de publier en janvier 2020 dans les *proceedings* de l'Académie des sciences américaine un article sur les solutions qui pourraient jouer un rôle décisif dans la stabilisation du climat. Source : OTTO I. *et al.* (2020), "Social tipping dynamics for stabilizing Earth's climate by 2050", PNAS, Jan.

Les incendies de forêt catastrophiques

Par **Éric RIGOLOT**, **Jean-Luc DUPUY**, **François PIMONT** et **Julien RUFFAULT**
INRAE

Une recrudescence des incendies extrêmes est observée sur tous les continents. Trois principaux facteurs aggravants sont discutés. La croissance démographique et l'étalement urbain augmentent l'exposition des biens et des personnes, et multiplient les mises à feu accidentelles. Les changements d'usage des sols favorisent le développement de la biomasse combustible. Enfin, le changement climatique et les sécheresses associées accroissent la combustibilité des végétaux et, de fait, la propagation des feux. Les interactions entre le risque d'incendie et d'autres risques d'origines biotique et abiotique sont ensuite illustrées, notamment l'effet retour des incendies extrêmes sur le climat par la libération massive de gaz à effet de serre. Nous concluons sur des recommandations pour la France en matière de gestion massive du combustible, de planification territoriale et de responsabilisation des citoyens. L'efficacité de ces mesures sera jugée à l'aune des dommages socio-écologiques évités plutôt que des gains en termes de superficie brûlée.

Depuis quelques années, les grands feux catastrophiques se succèdent sur chaque continent autour de la planète, battant successivement de tristes records de surface, de dommages et de victimes. En particulier, les douze derniers mois ont vu ces incendies exceptionnels occuper constamment l'actualité en commençant par les feux des forêts boréales (Alaska, Sibérie) d'avril à août 2019, ceux d'Amazonie d'août à septembre, puis de Californie en octobre et, finalement, ceux d'Australie du Sud-Est de décembre 2019 et janvier 2020. S'achemine-t-on vers une actualité monopolisée par les grands feux toute l'année ? S'agit-il d'un nouveau phénomène ? Quels en sont les déterminants et les facteurs aggravants ? Quels sont les liens avec le changement climatique et en quoi y contribue-t-il ? La France est-elle à l'abri des méga-feux et peut-elle s'en prémunir ?

Les incendies de forêt catastrophiques sont-ils un phénomène nouveau ?

Les grands incendies de forêt catastrophiques réunissent dans leur dénomination à la fois les notions de magnitude et de dégâts hors normes. Sans que la terminologie ne soit stabilisée, le terme de « méga-feu », introduit assez récemment (voir, par exemple, Williams, 2013) et largement repris dans les médias, coexiste aujourd'hui dans la littérature scientifique avec l'expression d' « événement extrême d'incendie » (*extreme fire event*) (Moreira *et al.*, 2020). Cette catégorie d'incendies répond aux critères suivants : une très grande dimension liée à une dynamique (puissance, vitesse) exceptionnelle, conduisant ra-

pidement à un dépassement des capacités des moyens de secours mobilisés, y compris les plus développés, et des dommages humains, environnementaux et économiques très importants (Diakakis *et al.*, 2016 ; Bowman *et al.*, 2017).

Toutefois, les incendies extrêmes ne se limitent pas aux dernières années : ces événements sont en effet durablement inscrits dans les mémoires des communautés qui les ont subis. On ne rappellera que trois exemples emblématiques pour chacun des continents concernés. Les incendies de juillet et août 1910, au cœur des montagnes Rocheuses, à la frontière entre l'Idaho et le Montana, qui, lors de la conflagration de la dernière décade d'août, rasèrent plusieurs villages, emportant 78 vies humaines (Chevrou, 2001). Le Black Friday du 13 janvier 1939, dans l'État de Victoria en Australie, au cours duquel entre 1,5 et 2 millions d'hectares ont été parcourus par le feu, faisant 71 victimes humaines : de vastes zones du Nord-Est, du Gippsland, des chaînes Otway et des chaînes Grampian ont été touchées et la ville de Narbethong a été détruite ; plus de six cent cinquante maisons et soixante-neuf scieries ont été brûlées (Adams et Attiwil, 2011). L'incendie du 20 août 1949, à Cestas dans les Landes de Gascogne, en France, au cours duquel un événement météorologique extrême (encore mal compris) a déclenché une tempête de feu sur plusieurs dizaines d'hectares qui encercla mortellement, en quelques minutes seulement, 82 sauveteurs (Deville, 2009).

Si ces incendies de forêt catastrophiques jalonnent dramatiquement l'histoire des feux dans le monde, ce phénomène semble monter en puissance ces dernières dé-



Photo © Aspress/ZUMA/REA

Feux de forêt à Madère (archipel du Portugal), 9 août 2016.

« En deux saisons (2003 et 2005), une série de grands incendies a brûlé 23 % de la surface forestière du Portugal. »

cennies. La Californie a connu au moins neuf incendies extrêmes depuis 2003, dont six en 2017 et 2018 (Moraireira *et al.*, 2020). En particulier, l'incendie de Camp Fire en novembre 2018 a rasé la ville de Paradise, faisant 85 victimes civiles par le fait d'un seul feu. Depuis le Black Friday de 1939, les journées « noires » ou « de cendre » australiennes se sont succédé pour culminer, le 7 février 2009, de nouveau dans l'État de Victoria, où les feux parcoururent 430 000 hectares, tuant 173 personnes, dont 120 dans le même sinistre. L'indice de danger d'incendies a atteint des niveaux inédits, et la Commission d'enquête qui s'ensuivit (Teague *et al.*, 2010) fut à l'origine d'une révision des politiques de lutte contre les feux de brousse et des pratiques de gestion. De ces nombreux événements, l'Australie retire une réelle expérience de gestion de crise qui explique certainement le nombre relativement limité des victimes de la dernière séquence (décembre 2019 et janvier 2020), dont l'ampleur a dépassé pourtant toutes les références (Nolan *et al.*, 2020). Les incendies de forêt catastrophiques se sont aussi répétés en Europe depuis les années 2000. En deux saisons (2003 et 2005), une série de grands incendies a brûlé 23 % de la surface forestière du Portugal. Douze ans plus tard – période qui a connu plusieurs saisons estivales d'incendies de forêt très difficiles à gérer –, l'année 2017 a marqué un point historique avec une série d'incendies de forêt catastrophiques, qui déstabilisa durablement ce petit pays européen à peine sorti de la crise financière (Binggeli, 2019).

Ces très grands feux qui ont totalisé 540 000 hectares et fait 112 victimes se sont essentiellement déroulés sur deux journées, très tôt (17 juin 2017) et très tard (15 octobre 2017), par rapport à la saison habituelle des feux de forêt au Portugal. Ce déphasage est caractéristique d'un allongement prédit et observé par ailleurs de la période à haut risque lié aux incendies (par exemple, Bedia *et al.*, 2014). En 2007, les incendies en Grèce ont fait 80 victimes (Diakakis *et al.*, 2016), dont 30 durant la seule journée du 24 juin lors du feu de Makistos-Artemida (Péloponnèse). Le pire restait à venir avec le feu de Mati du 23 juillet 2018 qui constitue le plus triste record d'Europe avec 99 victimes pour un même feu (Lagouvardos *et al.*, 2019).

On note donc une recrudescence des incendies de forêt catastrophiques dans des régions qui avaient déjà connu ce type d'événements extrêmes par le passé, même si leur fréquence était moins élevée. Leur apparition dans des pays pour lesquels ces phénomènes n'étaient pas connus, comme la dramatique saison d'incendies au Chili en 2017 (de La Barrera *et al.*, 2018), est une observation à confirmer.

Facteurs aggravants

Pour mieux comprendre les causes et les conséquences des incendies de forêt catastrophiques en Europe et sur les autres continents, il convient de s'interroger sur les facteurs et tendances qui les favorisent. Cette analyse

est nécessaire pour refonder les politiques de gestion des feux en prenant en compte cette nouvelle donne. De manière plus ou moins marquée selon les régions du monde, les principaux facteurs en sont la croissance démographique et l'étalement urbain, le changement d'usage et de gestion des terres (y compris l'industrialisation de la gestion forestière) et le changement climatique (Moreira *et al.*, 2020).

Croissance démographique et étalement urbain

Les activités humaines dans les zones d'interface habitat-forêt sont responsables de mises à feu le plus souvent accidentelles. Les habitations se situant à cette interface constituent autant d'enjeux à protéger par les pompiers lors d'un incendie. L'importance des moyens de lutte contre les incendies mobilisés pour protéger ces zones et leurs résidents désorganise les opérations de secours en les dispersant et en les détournant des positions de lutte stratégiques en forêt. Syphard *et al.* (2019) ont montré que les modalités d'organisation de l'habitat et des infrastructures environnantes expliquent davantage leur destruction par l'incendie que les conditions climatiques, la topographie ou la végétation combustible locales. Les résidents, en transit sur les routes ou lors des phases d'évacuation des zones menacées par le feu, sont particulièrement vulnérables et comptent souvent parmi les victimes des incendies catastrophiques (Molina-Terrén *et al.*, 2019). Or, une étude réalisée par l'ONF en 2008 sur la région méditerranéenne française inventoriait 500 000 constructions situées dans les interfaces habitat-forêt à forte susceptibilité aux incendies. Ces enjeux sont amenés à s'accroître, car l'INSEE prévoit une augmentation de la population entre 2007 et 2040 de 14,9 % en région Provence-Alpes-Côte d'Azur et de 28,5 % dans les départements de l'ancienne région Languedoc-Roussillon.

L'extension de l'interface habitat-forêt comme facteur prépondérant d'augmentation du risque lié aux incendies est partagé par toutes les régions du monde caractérisées par un climat de type méditerranéen (Moreira *et al.*, 2020).

Changement d'usage et de gestion des sols

La déprise agricole et l'exode rural conduisent à l'augmentation de la surface forestière par accrus spontanés (Debussche *et al.*, 1999). La forêt française, qui compte aujourd'hui près de 17 millions d'hectares, a ainsi gagné 5 millions d'hectares en cinquante ans par colonisation naturelle (source : IGN). Ce phénomène est partagé par les pays du Sud de l'Europe, dont l'agriculture méditerranéenne est en crise (Moreira *et al.*, 2011). Par ailleurs, la forêt de ces pays est moins exploitée. Les prélèvements ne représentent en moyenne que 60 % de l'accroissement biologique des forêts en Europe. En France, le stock de bois sur pied a doublé en cinquante ans, malgré les tempêtes de 1999 et 2009. Ce double phénomène augmente la continuité des surfaces éventuellement combustibles sur le territoire, ainsi que les quantités de biomasse conduisant potentiellement à des incendies de plus grande dimension et plus puissants (par exemple, Moreira *et al.*, 2011 ; Pausas et Fernández-Muñoz, 2012).

Si l'augmentation du danger d'incendie du fait d'un changement d'usage du sol par déprise agricole est propre aux pays d'Europe du Sud, des changements de gestion des sols peuvent avoir le même effet.

En Amérique du Nord, la politique d'extinction systématique des incendies mise en place par les colons européens et poursuivie jusqu'au milieu du XX^e siècle, s'ajoutant à la disparition de l'usage traditionnel du brûlage par les Amérindiens décimés par la conquête de l'Ouest, a constitué un changement radical du régime des feux (Pyne, 2001). La végétation forestière en a été profondément bouleversée avec une forte augmentation de la continuité verticale du combustible par le développement d'espèces secondaires d'arbres en sous-bois et de sa continuité horizontale par densification des couverts forestiers, deux changements de structure que les brûlages ou les incendies de faible intensité empêchaient. Le combustible progressivement accumulé finit quand même par brûler sous forme d'incendies non maîtrisables lorsque les conditions météorologiques sont extrêmes. C'est un piège en matière d'extinction des feux dénoncé par Moreira *et al.* (2020). Dans des contextes différents, de tels changements du régime traditionnel des feux ont abouti aux mêmes effets en Afrique du Sud et en Australie.

L'introduction ou l'expansion naturelle d'espèces exotiques favorables au feu sont une autre expression du changement de gestion des sols impactant le régime des feux. L'invasion d'espèces végétales exotiques peut favoriser l'activité des incendies (Syphard *et al.*, 2017). En particulier, de nombreux travaux de recherche analysent le cycle « plantes invasives-feux » (par exemple, Chambers *et al.*, 2019) et montrent comment il peut s'auto-entretenir en constituant des complexes de combustibles plus favorables au feu et en développant parfois des caractéristiques d'adaptation au feu.

Les plantations intensives d'espèces d'arbres inflammables dans le cadre d'une gestion forestière industrielle, comme les plantations de pins et d'eucalyptus au Chili et au Portugal, peuvent favoriser des incendies de grande intensité (Gómez-González *et al.*, 2018 ; Barrera *et al.*, 2018).

Influence du changement climatique sur le régime des feux

La troisième grande tendance aggravant l'activité des incendies est le changement climatique. Il se traduit par des sécheresses accrues sous l'effet combiné de la hausse des températures et de la diminution des précipitations. Cela induit une baisse de la teneur en eau du combustible et favorise la propagation des feux (Pimont *et al.*, 2019). Plusieurs études ont montré que le danger d'incendie avait déjà augmenté sur les décennies passées en France (Fréjaville et Curt, 2017) et en Europe (Venäläinen *et al.*, 2014). Une étude en cours de publication montre qu'une large part de la hausse du danger météorologique peut être attribuée au changement climatique en France et que des événements comme ceux de l'année 2003 présentent une fréquence de retour cinq cents fois plus élevée qu'en l'absence de changement climatique anthropique (Barbero *et al.*, 2020).

Cette augmentation du danger d'incendie ne s'est pas forcément traduite par un accroissement de l'activité des incendies, notamment en France, où l'on note même une tendance à la baisse (Fox *et al.*, 2015). Ce bon résultat s'explique par les succès des politiques conjuguées de prévention et de lutte contre les incendies et les nouvelles stratégies mises en place dans les années 1990 concernant, par exemple, la gestion du combustible et l'attaque massive sur feux naissants (Ruffault *et al.*, 2015). Mais en regardant dans le détail, on ne note pas de baisse significative du nombre des grands feux, contrairement à ceux de plus petite taille (Evin *et al.*, 2018). En effet, les stratégies de prévention et de lutte semblent déjà montrer des limites lors de conditions météorologiques exceptionnelles, comme durant la vague de chaleur de 2003 ou les sécheresses de 2016 et 2017 (Ruffault *et al.*, 2018). De ce point de vue, le grand feu de Rognac, du 10 août 2016, qui n'a pas fait de victime, avait toutes les caractéristiques d'un incendie de forêt catastrophique (Tissot, 2019 ; Dereix *et al.*, 2019).

Dans d'autres régions du monde, on assiste également à une tendance à la baisse des surfaces brûlées mondiales, à rebours des perceptions individuelles dans un climat changeant (Doerr et Santín, 2016). Cependant, l'augmentation locale de l'activité des feux a déjà été observée et attribuée aux effets du changement climatique (Abatzoglou et Williams, 2016), notamment avec un accroissement du nombre des grands feux (Dennison *et al.*, 2014). Ces résultats variables montrent la complexité des interactions entre les facteurs climatiques et anthropiques sur l'activité des incendies. Mais, de manière générale, les événements d'incendies extrêmes dans les régions du monde de climat méditerranéen restent principalement pilotés par les conditions climatiques (Moreira *et al.*, 2020).

Des exercices de modélisation montrent que le danger d'incendie devrait encore s'accroître et les saisons d'incendie s'allonger en Europe sous l'effet du changement climatique (Bedia *et al.*, 2014). Pour ce qui concerne la France, les projections indiquent une augmentation plutôt certaine des conditions favorables aux feux dans le Sud-Est, avec une augmentation de l'indice de risque estival de près de 50 % à l'horizon 2100, et une extension plus incertaine de la zone à risque vers le Nord et l'Ouest (Fargeon *et al.*, 2020). En région méditerranéenne française, les surfaces brûlées pourraient tripler à l'horizon 2100 pour le scénario climatique le plus sévère, selon une étude basée sur la projection d'un modèle probabiliste d'activité de feux (Fargeon, 2019). Dupuy *et al.* (2020) ont analysé vingt-deux études prospectives à l'échelle de l'Europe : ils montrent que le danger d'incendie moyen pourrait augmenter de 2 à 4 % par décennie, et ainsi induire une hausse des surfaces brûlées de 15 à 25 % par décennie. Des travaux récents montrent que l'augmentation du danger d'incendie se traduira par davantage de grands feux et précisent les conditions météorologiques qui y présideront. Ainsi, on attend en France, comme dans le reste du pourtour de la Méditerranée, davantage de feux associés à des vagues de chaleur et des sécheresses extrêmes pour la fin du siècle (Ruffault *et al.*, 2020).

Méga-feux et risques en cascade

Les dommages immédiats des incendies extrêmes sont potentiellement considérables et les écosystèmes en sont durablement affectés dans leur dynamique, leur fonctionnement et les services qu'ils rendent (Williams, 2013).

Par exemple, les sols dénudés sont exposés aux pluies torrentielles qui succèdent à la saison des incendies dans les régions à climat méditerranéen. Ces précipitations sont fréquemment responsables de transfert de fertilité des sols vers l'aval, voire de coulées de boue et de glissements de terrain. Ces phénomènes gravitaires sont à l'origine de dommages et de victimes surpassant parfois les conséquences des incendies eux-mêmes. Ainsi, en Californie, dans les comtés de Ventura et de Santa Barbara, des coulées de boue se sont produites lors des pluies intenses du 8 janvier 2018 tombées sur les sols incendiés par le Thomas Fire (114 100 hectares) d'octobre 2017. Ces coulées de boue se sont répandues en piémont des collines, allant beaucoup plus loin que ce que le service de prévision n'avait calculé, et ce en raison de ruptures additionnelles de canalisations. Ces coulées ont causé la mort de 20 personnes, alors que les incendies avaient déjà fait 10 victimes. L'interface habitat-forêt reste une zone d'enjeux majeurs exposée aux cascades de risques (Barrera *et al.*, 2018).

Plus généralement, les interactions immédiates entre l'aléa d'incendie et d'autres aléas constituent de nouveaux fronts de sciences : la communauté internationale est très active sur l'étude des liens entre sécheresse et feux (par exemple, Ruffault *et al.*, 2018), mais moins sur d'autres interactions comme le lien avec les risques biologiques (Sieg *et al.*, 2017).

Au-delà des effets d'un incendie particulier, aussi sévère soit-il, c'est l'altération du régime de feux (intensité, fréquence, surface, saison) qui peut affecter la résilience des écosystèmes (Syphard *et al.*, 2006 ; Whitman *et al.*, 2019). En effet, le feu est une force évolutive pour la végétation, et les caractères d'adaptation au feu sont potentiellement le résultat de différentes voies d'évolution (Keeley *et al.*, 2011). Lorsque les capacités adaptatives des espèces mises en place au cours des temps évolutifs sont dépassées par un changement de régime de feux, il y a un risque de régression biologique et d'érosion de la biodiversité (Adams, 2013). Par exemple, lorsque des seuils sont franchis, comme une fréquence de feu trop élevée pour permettre aux arbres d'atteindre la maturité sexuelle et se régénérer après un feu, le stade forestier peut basculer durablement vers des formations ligneuses basses, phénomène connu sous le terme de matorralisation (Blondel *et al.*, 2010).

Parmi les cascades de risques à long terme, l'un des sujets cruciaux est aujourd'hui l'effet d'emballement du réchauffement climatique dû à l'activité accrue des incendies et le rôle de la recrudescence des très grands incendies dans cet effet retour (Van Der Werf *et al.*, 2017). Ces événements extrêmes libèrent ponctuellement des quantités gigantesques de gaz à effet de serre, d'un ordre

de grandeur équivalent aux émissions annuelles des pays où ils se déroulent. Ainsi, d'après le programme Copernicus ⁽¹⁾, les méga-feux australiens ont émis en 4 mois et demi 400 mégatonnes de dioxyde de carbone, ce qui représente la quantité moyenne annuelle émise par ce pays, toutes sources confondues. Les effets des incendies sur le climat sont aggravés par les effets des cendres et des suies en suspension dans l'atmosphère, qui en se déposant sur les surfaces continentales en changeant l'albedo (Adams, 2013 ; Ansmann *et al.*, 2018). Ce dernier point est particulièrement critique en ce qui concerne les glaciers et les pôles, dont la fonte des glaces est accélérée (Magalhães *et al.*, 2019).

Leçons pour la France et conclusions

Aucun investissement, aussi important soit-il, dans la lutte contre les incendies, ne permettra d'empêcher les incendies extrêmes (Moreira *et al.*, 2020). Le « succès » d'une politique de gestion des feux, s'il est mesuré par la réduction de la superficie incendiée au cours d'une période donnée, signifiera un échec à long terme, car les méga-feux ne seront que reportés dans le temps. Par conséquent, l'efficacité des politiques de gestion des feux ne devrait pas être principalement mesurée à l'aune de la superficie brûlée, mais plutôt en fonction des dommages socio-écologiques évités. Cette nouvelle approche prévaut pour toutes les régions soumises aux méga-feux, y compris la France. Elle nécessitera d'investir dans des méthodes et outils d'évaluation de la vulnérabilité des socio-écosystèmes, et de quantification des dommages à court et moyen terme des incendies.

Malgré des statistiques feux de forêt actuellement favorables, et de sérieux acquis en matière de prévention et de lutte contre les incendies de forêt (Ladier, 2018), une augmentation significative de l'activité des incendies en France est prévue d'ici à la fin du siècle (Fargeon, 2019). Les nouvelles régions françaises concernées devront anticiper ce risque émergent en l'intégrant dans leurs documents normatifs et en y sensibilisant les citoyens, les élus et les professionnels concernés. Le risque d'incendie se renforçant particulièrement dans le sud-est de la France, la question est : quand et où les incendies de forêt catastrophiques se produiront-ils ? En effet, il est probable que les services de prévention et de lutte ne pourront pas maintenir leur efficacité dans un contexte où ils seront beaucoup plus largement sollicités et devront faire face à des incendies plus puissants et rapides. Dereix *et al.* (2019) anticipent le risque de méga-feux et proposent des pistes à approfondir :

- Un changement de braquet en matière de gestion du combustible. L'État d'Australie-Occidentale est la seule région du monde à avoir réussi à supprimer les méga-feux depuis plus de cinquante ans par un recours massif au brûlage dirigé à grande échelle (Sneeuwjagt, 2008 ; Boer *et al.*, 2009). Jusqu'à quel point ce levier, combiné aux autres techniques alternatives de débroussaillage

comme le pâturage contrôlé, est-il applicable au niveau requis en Europe (Fernandes *et al.*, 2013) ? Une valorisation des espaces forestiers par une gestion durable peut fournir les moyens et ressources nécessaires pour les protéger (Arano *et al.*, 2018).

- Une vision intégrée d'une planification territoriale revisitée qui combine harmonieusement espaces urbains, terres agricoles et massifs forestiers dans une logique de protection mutuelle. La gestion intégrée du feu dans toutes ses dimensions – multisectorielle et multi-risques – est le cadre formel dans lequel la politique française et européenne de gestion des feux doit s'inscrire (Favre *et al.*, 2018).
- Une réduction de la vulnérabilité des biens et des personnes pour atténuer les dommages potentiels. Concernant le bâti, l'application effective de l'obligation légale de débroussaillage pour contribuer à l'autoprotection des installations soumises au risque lié aux incendies (Pimont *et al.*, 2019b). La législation sur les interfaces habitat-forêt et sur la régulation de l'urbanisme peut être un outil efficace pour limiter le risque lié aux incendies (Fox *et al.*, 2018). Et, finalement, minimiser le coût humain de ces méga-feux doit rester la priorité absolue. Le développement d'une culture du risque doit permettre à tous d'adopter les comportements de sauvegarde et de responsabilité indispensables pour pouvoir faire face à de tels sinistres.

Bibliographie

- ABATZOGLOU J. T. & WILLIAMS A. P. (2016), "Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113(42), pp. 11770-11775.
- ADAMS M. A. (2013), "Mega-fires, tipping points and ecosystem services: Managing forests and woodlands in an uncertain future", *Forest Ecology and Management*, n°294, pp. 250-261.
- ADAMS M. A. & ATTIWIL P. (2011), "Burning Issues – Sustainability and Management of Australia's Southern Forests", in ADAMS M. A. & ATTIWIL P. (Eds.), *Pacific Conservation Biology*, Collingwood VIC 3066: CSIRO PUBLISHING.
- ANSMANN A., BAARS H., CHUDNOVSKY A., MATTIS I., VESELOVSKII I., HAARIG M. & WANDINGER U. (2018), "Extreme levels of Canadian wildfire smoke in the stratosphere over central Europe on 21-22 August 2017", *Atmospheric Chemistry and Physics* 18(16), pp. 11831-11845.
- ARANO I. M. DE, MUYS B., TOPI C., PETTENELLA D., FELICIANO D. & RIGOLOT É. (2018), *A forest-based circular bioeconomy for southern Europe: visions, opportunities and challenges. Reflections on the bioeconomy*, [https://www.efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/Reflections on the bioeconomy - Synthesis Report 2018 \(web\)_0.pdf](https://www.efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/Reflections%20on%20the%20bioeconomy%20-%20Synthesis%20Report%202018%20(web)_0.pdf)
- BARBERO R., ABATZOGLOU J. T., PIMONT F., RUFFAULT J. & CURT T. (2020), "Attributing increases in fire weather to anthropogenic climate change over France", article soumis à *Frontiers*.
- BEDIA J., HERRERA S., CAMIA A., MORENO J. M. & GUTIERREZ J. M. (2014), "Forest fire danger projections in the Mediterranean using ENSEMBLES regional climate change scenarios", *Climatic Change* 122(1-2), pp. 185-199.
- BINGELLI F. (2019), « La métamorphose d'un Portugal ébranlé par les incendies tragiques de 2017. De convulsions en refondation », *Forêt méditerranéenne*, XL(2), pp. 173-184.

(1) Copernicus Atmosphere Monitoring Service : <https://www.copernicus.eu/fr/node/8460> (consulté le 29 janvier 2020).

- BLONDEL J., ARONSON J., BODIQUO J.-Y., & BOEUF G. (2010), "The Mediterranean Region Biological Diversity through Time and Space", Oxford University Press.
- BOER M. M., SADLER R. J., WITTKUHN R. S., MCCAW L. & GRIERSON P. F. (2009), "Long-term impacts of prescribed burning on regional extent and incidence of wildfires-Evidence from 50 years of active fire management in SW Australian forests", *Forest Ecology and Management* 259(1), pp. 132-142.
- BOWMAN D. M., WILLIAMSON G. J., ABATZOGLOU J. T., KOLDEN C. A., COCHRANE M. A. & SMITH A. M. S. (2017), "Human exposure and sensitivity to globally extreme wildfire events", *Nature Ecology and Evolution* 1(3), 58.
- CHAMBERS J. C., BROOKS M. L., GERMINO M. J., MAESTAS J. D., BOARD D. I., JONES M. O. & ALLRED B. W. (2019), "Operationalizing resilience and resistance concepts to address invasive grass-fire cycles", *Frontiers in Ecology and Evolution* 7, pp. 1-25.
- CHEVROU R. B. (2001), « Les incendies de 1910 et 2000 dans les montagnes Rocheuses du Nord-Ouest des États-Unis », *Forêt méditerranéenne*, XXII(2), pp. 189-193.
- DE LA BARRERA F., BARRAZA F., FAVIER P., RUIZ V. & QUENSE J. (2018), "Megafires in Chile 2017: Monitoring multiscale environmental impacts of burned ecosystems", *Science of the Total Environment* 637-638, pp. 1526-1536.
- DEBUSSCHE M., LEPART J. & DERVIEUX A. (1999), "Mediterranean landscape changes: Evidence from old postcards", *Global Ecology and Biogeography* 8(1), pp. 3-15.
- DENNISON P. E., BREWER S. C., ARNOLD J. D. & MORITZ M. A. (2014), "Large wildfire trends in the western United States, 1984-2011", *Geophysical Research Letters* 41, pp. 6413-6419.
- DEREIX C., DUHEN L.-M. & RIGOLOT É. (2019), « Changer notre regard sur les incendies de forêt... Et agir sans délais », *Forêt méditerranéenne*, XL(2), pp. 159-172.
- DEVILLE J. (2009), « L'incendie meurtrier dans la forêt des Landes en août 1949 », Paris, les Éditions des Pompiers de France.
- DIAKAKIS M., XANTHOPOULOS G. & GREGOS L. (2016), "Analysis of forest fire fatalities in Greece: 1977-2013", *International Journal of Wildland Fire* 25, pp. 797-809.
- DOERR S. H. & SANTIN C. (2016), "Global trends in wildfire and its impacts: Perceptions versus realities in a changing world", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 371(1696), 20150345.
- DUPUY J.-L., FARGEON H., MARTIN-STPAUL N., PIMONT F., RUFFAULT J., GUIJARRO M., HERNANDO C., MADRIGAL J. & FERNANDES P. (2020), "Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: a review" (article accepté pour publication dans *Annals of Forest Science*).
- EVIN G., CURT T. & ECKERT N. (2018), "Has fire policy decreased the return period of the largest wildfire events in France? A Bayesian assessment based on extreme value theory", *Natural Hazards and Earth System Sciences* 18(10), pp. 2641-2651.
- FAIVRE N., REGO F., MORENO RODRIGUEZ J. M., VALLEJO CALZADA V. R. & XANTHOPOULOS G. (2018), "Forest Fires – Sparking firesmart policies in the EU", Directorate-General for Research and Innovation (European Commission).
- FARGEON H. (2019), « Effet du changement climatique sur l'évolution de l'aléa incendie de forêt en France métropolitaine au XXI^e siècle », thèse de doctorat, Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (AgroParisTech), INRA, UR 629 – Écologie des forêts méditerranéennes.
- FARGEON H., PIMONT F., MARTIN-STPAUL N. K., DE CACERES M., RUFFAULT J., BARBERO R. & DUPUY J.-L. (2020), "Projection of fire danger under climate change over France: where do the greatest uncertainties lie?", *Climatic Change*.
- FERNANDES P. M., DAVIES G. M., ASCOLI D., FERNANDEZ C., MOREIRA F., RIGOLOT É. & MOLINA D. (2013), "Prescribed burning in southern Europe: Developing fire management in a dynamic landscape", *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(SUPPL. 1).
- FOX D. M., CARREGA P., REN Y., CAILLOUET P., BOUILLON C. & ROBERT S. (2018), "How wildfire risk is related to urban planning and Fire Weather Index in SE France (1990-2013)", *Science of the Total Environment* 621, pp. 120-129.
- FOX D. M., MARTIN N., CARREGA P., ANDRIEU J., ADNES C., EMSELLEM K. & FOX E. A. (2015), "Increases in fire risk due to warmer summer temperatures and wildland urban interface changes do not necessarily lead to more fires", *Applied Geography* 56, pp. 1-12.
- FREJAVILLE T. & CURT T. (2017), "Seasonal changes in the human alteration of fire regimes beyond the climate forcing", *Environmental Research Letters* 12(3).
- GOMEZ-GONZALES S., OJEDA F. & FERNANDES P. M. (2018), "Portugal and Chile: Longing for sustainable forestry while rising from the ashes", *Environmental Science and Policy* 81, pp. 104-107.
- KEELEY J. E., PAUSAS J. G., RUNDEL P. W., BOND W. J. & BRADSTOCK R. A. (2011), "Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits", *Trends in Plant Science* 16, pp. 406-411.
- LADIER J. (2018), « Regards croisés sur les incendies de forêt et sur l'évolution de la DFCI en région méditerranéenne française », *Forêt méditerranéenne*, XXXIX(4), pp. 341-364.
- LAGOUVARDOS K., KOTRONI V., GIANNAROS T. M. & DAFIS S. (2019), "Meteorological conditions conducive to the rapid spread of the deadly wildfire in eastern Attica, Greece", *Bulletin of the American Meteorological Society* 100(11), pp. 2137-2145.
- MAGALHÃES N., EVANGELISTA H., CONDOM T., RABATEL A. & GINOT P. (2019), "Amazonian Biomass Burning Enhances Tropical Andean Glaciers Melting", *Scientific Reports* 9(1), 16914.
- MOLINA-TERREN D. M., XANTHOPOULOS G., DIAKAKIS M., RIBEIRO L., CABALLERO D., DELOGU G. M. & CARDIL A. (2019), "Analysis of forest fire fatalities in Southern Europe: Spain, Portugal, Greece and Sardinia (Italy)", *International Journal of Wildland Fire* 28(2), pp. 85-98.
- MOREIRA F., ASCOLI D., SAFFORD H., ADAMS M. A., MORENO J. M., PEREIRA J. M. C. & KOUTSIAS N. (2020), "Wildfire management in Mediterranean-type regions: paradigm change needed", *Environmental Research Letters* 15.
- MOREIRA F., VIEDMA O., ARIANOUTSOU M., CURT T., KOUTSIAS N., RIGOLOT É. & BILGILI E. (2011), "Landscape – Wildfire interactions in southern Europe: Implications for landscape management", *Journal of Environmental Management* 92(10), pp. 2389-2402.
- NOLAN R. H., BOER M. M., COLLINS L., RESCO DE DIOS V., CLARKE H., JENKINS M. & BRADSTOCK R. A. (2020), "Causes and consequences of eastern Australia's 2019-20 season of mega-fires", *Global Change Biology* 2018, pp. 1-3.
- PAUSAS J. G. & FERNANDEZ-MUNOZ S. (2012), "Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: From fuel-limited to drought-driven fire regime", *Climatic Change* 110(1-2), pp. 215-226.
- PIMONT F., RUFFAULT J., MARTIN-STPAUL N. K. & DUPUY J.-L. (2019a), "Why is the effect of live fuel moisture content on fire rate of spread underestimated in field experiments in shrublands?", *International Journal of Wildland Fire* 28(2), pp. 127-137.
- PIMONT F., DUCHE Y., DUPUY J.-L., RIGOLOT É., REYMOND

- B., SAVAZZI R. & LINN R. R. (2019b), « Évaluation par un modèle de simulation d'incendie de l'intérêt du débroussaillage pour la sécurité des constructions et des personnels de secours », *Forêt méditerranéenne*, XL(2), pp. 185-192.
- PYNE S. J. (2001), *Fire: a brief history*, Seattle, University of Washington Press.
- RUFFAULT J., CURT T., MORON V., TRIGO R., MOUILLOT F., MARTIN-STPAUL N. K. & RUSSO A. (2020), "Increased likelihood of heat-induced large wildfires in the Mediterranean Basin" (article soumis à *Scientific reports*).
- RUFFAULT J., CURT T., MARTIN-STPAUL N. K., MORON V. & TRIGO R. M. (2018), "Extreme wildfire events are linked to global-change-type droughts in the northern Mediterranean", *Natural Hazards and Earth System Sciences* 18(3), pp. 847-856.
- RUFFAULT J., MARTIN-STPAUL N., PIMONT F. & DUPUY J. L. (2018), "How well do meteorological drought indices predict live fuel moisture content (LFMC)? An assessment for wildfire research and operations in Mediterranean ecosystems", *Agricultural and Forest Meteorology* 262, pp. 391-401.
- RUFFAULT J., MOUILLOT F. & PETERS D. P. C. (2015), "How a new fire-suppression policy can abruptly reshape the fire-weather relationship", *Ecosphere* 6(10), pp. 1-19.
- SIEG C. H., LINN R. R., PIMONT F., HOFFMAN C. M., McMILLIN J. D., WINTERKAMP J. & BAGGETT L. S. (2017), "Fires following bark beetles: Factors controlling severity and disturbance interactions in ponderosa pine", *Fire Ecology* 13(3), pp. 1-23.
- SNEEUWJAGT R. (2008), "Prescribed burning: How effective is it in the control of large bushfires?", in *Proceedings of the annual Bushfire CRC International Bushfire Research Conference in Adelaide*.
- SYPHARD A. D., FRANKLIN J. & KEELEY J. E. (2006), "Simulating the effects of frequent fire on southern California coastal shrublands", *Ecological Applications* 16, pp. 1744-1756.
- SYPHARD A. D., KEELEY J. E. & ABATZOGLOU J. T. (2017), "Trends and drivers of fire activity vary across California aridland ecosystems", *Journal of Arid Environments* 144, pp. 110-122.
- SYPHARD A. D., RUSTIGIAN-ROMSOS H., MANN M., CONLISK E., MORITZ M. A. & ACKERLY D. (2019), "The relative influence of climate and housing development on current and projected future fire patterns and structure loss across three California landscapes", *Global Environmental Change* 56, pp. 41-55.
- TEAGUE B., MCLEOD R. & PASCOE S. (2010), "2009 Victorian Bushfires Royal Commission Final Report".
- TISSOT P. (2019), « L'incendie de forêt de Rognac du 10 août 2016 : une catastrophe humaine évitée », *Forêt méditerranéenne*, XL(2), pp. 105-110.
- VAN DER WERF G. R., RANDERSON J. T., GIGLIO L., VAN LEEUWEN T. T., CHEN Y., ROGERS B. M. & KASIBHATLA P. S. (2017), "Global fire emissions estimates during 1997-2016", *Earth System Science Data* 9(2), pp. 697-720.
- VENÄLÄINEN A., KORHONEN N., HYVÄRINEN O., KOUTSIAS N., XYSTRAKIS F., URBIETO I. R. & MORENO J. M. (2014), "Temporal variations and change in forest fire danger in Europe for 1960-2012", *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14(6), pp. 1477-1490.
- WHITMAN E., PARISIEN M. A., THOMSON D. K. & FLANNIGAN M. D. (2019), "Short-interval wildfire and drought overwhelm boreal forest resilience", *Scientific Reports* 9(1), pp. 1-12.
- WILLIAMS J. (2013), "Exploring the onset of high-impact mega-fires through a forest land management prism", *Forest Ecology and Management* 294, pp. 4-10.

Les défis soulevés par la reconstruction post-Irma

Par **Jérémy DESARTHE**
Nicolas BAUDUCEAU
 et **Antoine QUANTIN**

Caisse centrale de réassurance (CCR)

En frappant les Antilles françaises en septembre 2017, l'ouragan Irma est venu rappeler l'exposition de ces territoires aux risques naturels. En prenant en charge deux milliards d'euros de dommages assurés, le système d'indemnisation des catastrophes naturelles a démontré sa capacité à faire face à l'événement le plus coûteux depuis sa mise en place en juillet 1982. Face à l'ampleur du phénomène, les différents acteurs ont dû relever de nombreux défis. Ainsi, les assureurs se sont trouvés confronter à un territoire dévasté, dont l'insularité a rendu l'accès au site difficile. Pour l'État et les autorités locales, les enjeux ont été multiples dans l'optique d'un lancement rapide de la reconstruction de l'île de Saint-Martin. En outre, Irma a permis d'engager une réflexion sur nos politiques de gestion des risques en outre-mer, où le taux de pénétration de l'assurance est bien moindre qu'en métropole et sur leurs capacités à faire face à des événements extrêmes similaires, dont la fréquence va augmenter sous l'effet du changement climatique.

Dans la nuit du 5 au 6 septembre 2017, l'ouragan Irma a touché les Antilles françaises, et plus particulièrement les îles du nord que sont Saint-Martin et Saint-Barthélemy, avec un niveau de dévastation jamais atteint sur un territoire français depuis l'instauration du système d'indemnisation des catastrophes naturelles en 1982.

Un événement hors norme

Ouragan de classe 5 sur l'échelle Saffir-Simpson, Irma s'est caractérisé par des rafales de vent supérieures à 300 km/h. Sa faible vitesse de déplacement (26 km/h) a accru la durée de passage de près de 36 heures sur l'île de Saint-Barthélemy et de Saint-Martin.

Aux rafales de vent s'est ajoutée la submersion du littoral et des zones basses de l'île de Saint-Martin sous l'effet d'une surcote d'environ trois mètres avec des vagues de sept mètres. L'ouragan survient après près de deux décennies de relative accalmie du point de vue de l'activité cyclonique. En effet, les derniers phénomènes à avoir touché Saint-Martin sont Lenny en 1999 (de catégorie 2), Luis en 1995 (de catégorie 4) et Donna (de catégorie 4) en 1960 (Desarthe, 2017).

Battues par les vents et la houle, les îles de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy ont été durement éprouvées. Au total, onze personnes sont mortes et les dommages ont été considérables. Les infrastructures de communication ont été en grande partie endommagées. Les réseaux d'eau

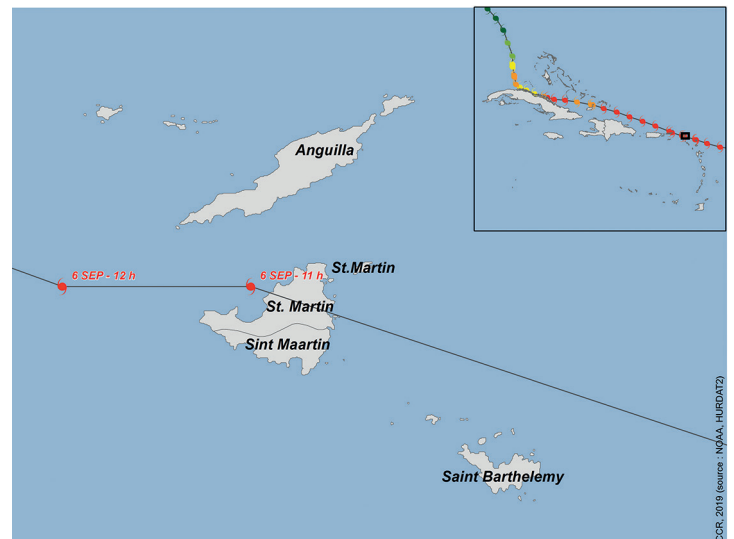


Figure 1 : Trajectoire suivie par l'ouragan Irma en septembre 2017 (source : CCR – NOAA).

et d'énergie ont été détruits. L'accès aux biens les plus élémentaires (eau, nourriture) a été difficile pendant plusieurs jours. Le 8 septembre, l'île est de nouveau placée en vigilance rouge en raison du passage de l'ouragan José. Ce second événement d'intensité beaucoup plus faible a contribué à retarder de quelques jours le déploiement de la réponse opérationnelle.

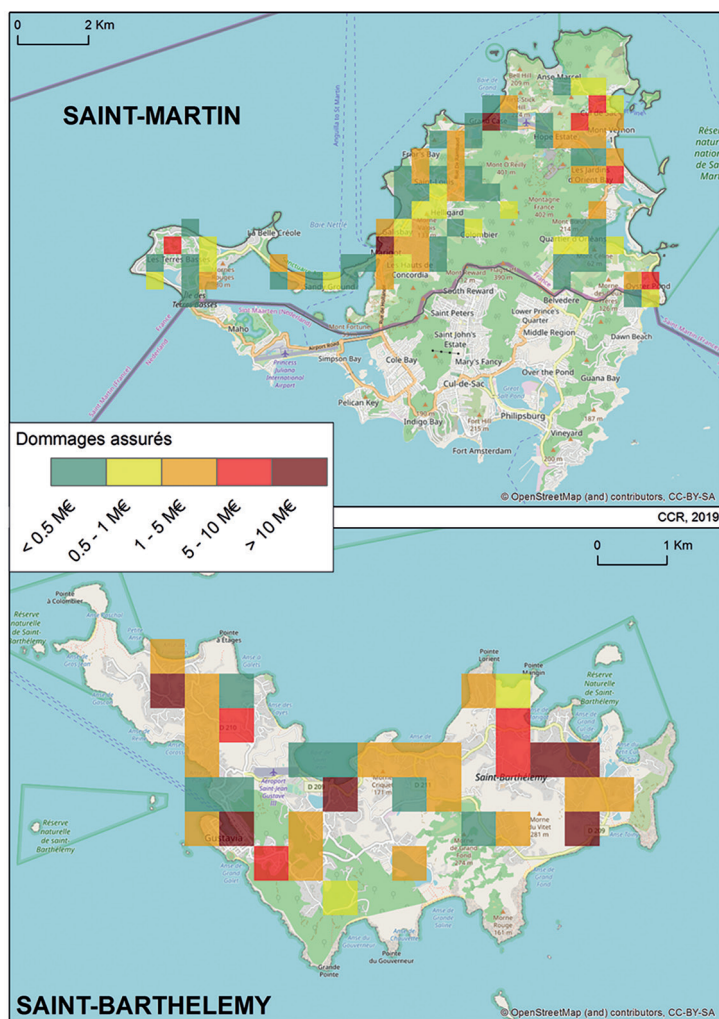


Figure 2 : Répartition spatiale des dommages assurés Cat Nat consécutivement au passage d'Irma (données agrégées par maille de 500 m) (source : CCR).

Un défi pour le système français d'indemnisation des catastrophes naturelles

Au lendemain du passage de l'ouragan, les premières évaluations ont estimé qu'environ 95 % du bâti avait été touché. Un bilan dressé en septembre 2018 précise que 19,7 % du bâti de Saint-Martin a été détruit ou très endommagé et 2,5 % pour Saint-Barthélemy⁽¹⁾. Les dommages occasionnés aux biens assurés sont de plus de deux milliards d'euros. Irma constitue ainsi l'événement le plus important depuis la mise en place du régime Cat Nat en 1982 (CCR, 2019). Rapportés au nombre d'habitants – 45 000 personnes pour les deux îles – et en considérant que seulement 40 % de la population disposent d'une assurance habitation à Saint-Martin et 60 % à Saint-Barthélemy, ces dommages témoignent du niveau d'exposition du territoire et de la violence du phénomène.

La répartition spatiale des dommages assurés au titre du régime Cat Nat dont dispose CCR montre que le littoral et

les zones basses de Saint-Martin ont été les plus touchés (voir la Figure 2 ci-contre). Cette exposition est d'abord un héritage des aménagements anciens liés au caractère montagneux de l'île de Saint-Martin. Les populations ont dès le début du peuplement de l'île privilégié les zones basses de celle-ci, s'exposant ainsi aux risques de submersion. Au moment du passage de l'ouragan Donna en 1960, l'économie de l'île reposait essentiellement sur l'agriculture et la pêche. À partir de 1980, les îles de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy sont devenues des destinations touristiques privilégiées à la faveur de nombreux programmes immobiliers rendus possibles par des lois de défiscalisation. Cet essor économique de l'île a également exacerbé la vulnérabilité du territoire en raison d'une urbanisation importante du littoral et des zones basses qui sont les plus exposées aux risques de submersion.

Suite à l'ouragan Irma, ce sont au total 16 000 sinistres pour Saint-Martin contre un peu plus de 8 000 pour Saint-Barthélemy qui ont été enregistrés par les compagnies d'assurance se réassurant chez CCR. Celles-ci ont dû faire face à de nombreux défis. L'ouragan a touché les agences des compagnies d'assurance ralentissant de fait le traitement des dossiers. Les syndicats de copropriété touchés par la catastrophe ont eu des difficultés à retrouver les coordonnées des nombreux copropriétaires, et ce d'autant plus que de nombreux biens appartenaient à des propriétaires ne résidant pas à Saint-Martin ou à Saint-Barthélemy. De plus, le départ de près de 8 000 personnes de Saint-Martin (dont 6 000 ont trouvé refuge en Guadeloupe) a rendu difficile l'identification des sinistrés et a ralenti les procédures d'indemnisation. Les difficultés d'accès aux zones sinistrées n'ont permis aux experts et agents d'assurance de s'y rendre qu'à partir de la mi-octobre. Enfin, en raison de l'insularité de la zone sinistrée, le manque de main d'œuvre et de matériaux a également ralenti la cadence d'indemnisation (voir la Figure 3 de la page suivante). En conséquence, six mois après la catastrophe, seulement 30 % des dommages déclarés avaient été indemnisés. Au 24 janvier 2019, cette proportion était de 74 %.

Au lendemain d'un sinistre, les compagnies d'assurance versent bien souvent des avances d'indemnisation aux victimes. Cependant, il est souvent difficile de savoir comment celles-ci sont utilisées. En effet, le Code des assurances ne prévoit pas d'obligation pour le sinistré de les utiliser pour la réparation ou la reconstruction du bien endommagé, sauf lorsque celles-ci sont prescrites par un arrêté municipal (art. L.121-17). De nombreux logements touchés par l'ouragan Irma sont des investissements bénéficiant d'une défiscalisation rendue possible par la loi Pons de 1986 : leurs propriétaires ne souhaitent pas toujours procéder à la reconstruction de leurs biens. Outre la multiplication des friches, cette situation expose les locataires de ces logements à vivre dans des conditions de vie dégradées et à les rendre plus vulnérables aux risques naturels. Ce faisant, une mesure visant à contraindre, *via* la promulgation d'arrêtés municipaux, les propriétaires à utiliser l'indemnisation pour reconstruire les biens sinistrés a été soumise à consultation au début de l'année 2020 dans

(1) « Irma, 1 an après. Bilan de l'action de l'État », dossier de presse, 6 septembre 2018, p. 2.

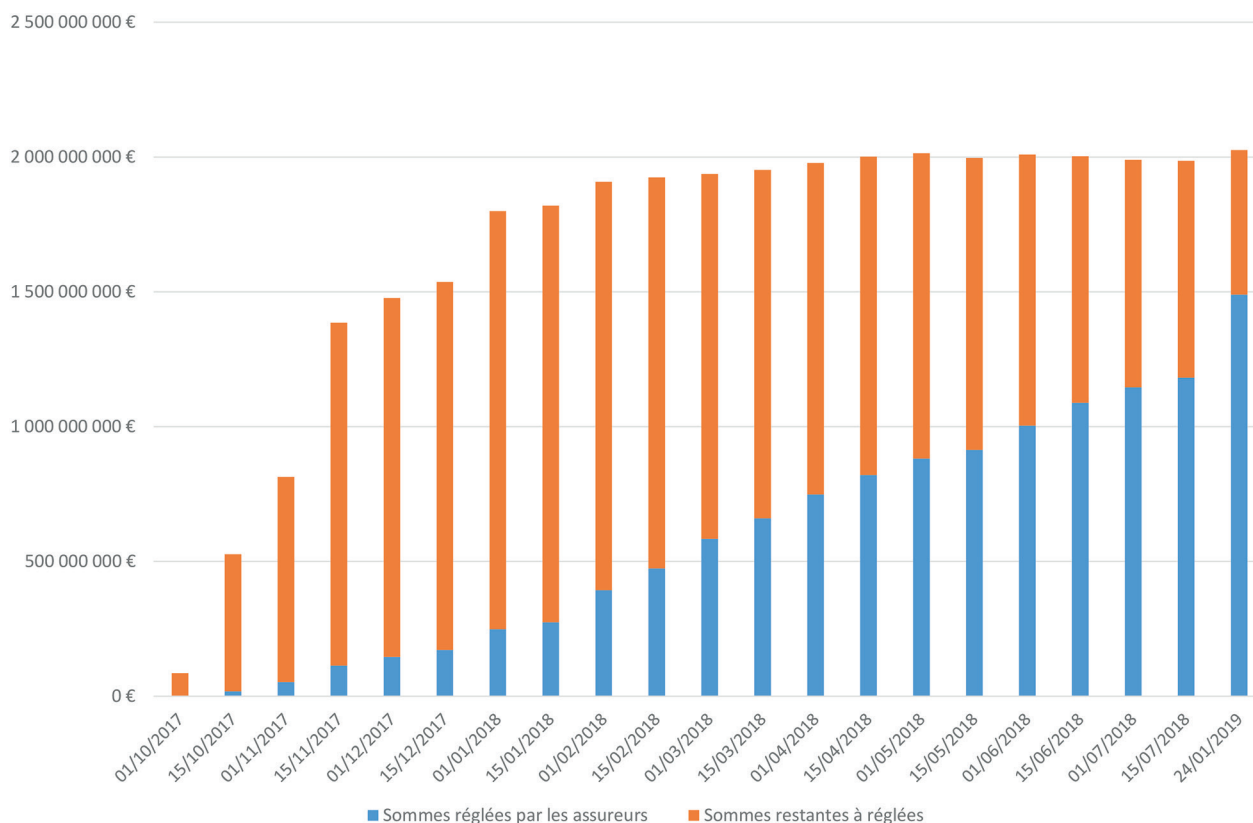


Figure 3 : Dommages assurés et indemnisation (source : CCR).

le cadre de la préparation du projet de loi sur les risques en outre-mer⁽²⁾.

En prenant en charge 85 % des dommages assurés sans faire appel à la garantie de l'État, la CCR a démontré la solidité du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles mis en place en 1982. Toutefois, cette prise en charge s'est faite au prix d'une baisse des réserves de la CCR de près d'un milliard d'euros. Ainsi, si le système d'indemnisation a bien joué son rôle de protection des finances publiques, Irma pose, pour les outre-mer en général, la question de la soutenabilité du système d'indemnisation à ressources constantes et des efforts de prévention au regard des événements cycloniques extrêmes qui seront plus fréquents à l'avenir du fait du changement climatique.

Le défi de la réponse gouvernementale sur l'île de Saint-Martin

Si le système d'indemnisation des catastrophes naturelles a été fortement mobilisé pour permettre aux deux îles de reconstruire partiellement et progressivement leurs territoires respectifs dévastés, la réponse politique et financière apportée par le gouvernement a sans doute été déterminante pour enrayer l'effondrement du territoire saint-martinois, caractérisé notamment par le départ massif et durable d'une proportion importante de sa population.

À la veille du passage d'Irma, l'île de Saint-Martin connaît un certain nombre de difficultés socio-économiques qui se matérialisent par de fortes disparités entre la partie française, la partie néerlandaise et la Métropole. Ainsi, le PIB par habitant est de 16 572 €, alors qu'il est d'un peu plus de 20 000 € pour sa voisine néerlandaise et de 32 307 € pour la Métropole (IEDOM, 2019). À cela s'ajoute la « double insularité » de l'île en raison de la distance qui la sépare de la Métropole, mais aussi de la Guadeloupe, département français le plus proche qui est néanmoins situé à plus de 250 km.

Au moment du passage de l'ouragan Irma, l'île de Saint-Martin connaissait une légère déprise démographique et un ralentissement de ses activités économiques, en particulier touristiques, avec une baisse du nombre des arrivées à l'aéroport de Saint-Martin depuis 2013 et un nombre de croisiéristes qui est passé de 15 000 en 2011 à 2 000 en 2014 (IEDOM, 2016 ; INSEE, 2016). C'est donc un territoire vulnérable socialement et économiquement qui s'est retrouvé confronté à un événement hors norme.

Face à l'ampleur de la catastrophe, l'État a mobilisé d'importantes ressources pour secourir les populations et procéder au redressement économique de l'île. L'effort mis en œuvre a permis de restaurer le réseau électrique desservant 99 % des logements habités, dès le 16 octobre⁽³⁾. Afin de coordonner l'action de l'État, une délégation interministérielle a été mise en place comme cela avait été le cas au lendemain du passage de l'ouragan Hugo aux Antilles,

(2) Dreal Guadeloupe, <http://www.guadeloupe.gouv.fr/Politiques-publiques/Risques-naturels-technologiques-et-sanitaires/Projet-de-loi-sur-les-risques-naturels-majeurs-en-Outre-mer-participez-a-la-consultation>

(3) « Irma, 1 an après. Bilan de l'action de l'État », Dossier de presse, 6 septembre 2018, p. 5.

en 1989. Une somme de 500 millions d'euros a également été débloquée pour soutenir la reconstruction des îles de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy. 163 millions ont permis de financer les mesures d'urgence et 330 millions, dont environ 80 millions sous forme de prêts, sont dédiés au soutien à l'économie et à la reconstruction. L'objectif était alors d'empêcher que la catastrophe naturelle ne se mue en une profonde crise sociale et économique.

Ces mesures s'inscrivent dans un contexte d'érosion démographique qui ne sera probablement pas sans conséquences pour le dynamisme du territoire et sur la capacité de résilience de la société saint-martinoise. Irma a en effet entraîné le départ de près de huit mille personnes de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy, soit plus de 17 % de la population totale des deux îles. Faute de disposer des résultats du recensement réalisé en 2018, l'impact d'Irma sur la démographie à long terme reste difficile à évaluer. Cependant, un an après la catastrophe, les effectifs scolaires à la rentrée 2018 accusaient une baisse de 20 %, les familles ayant quitté le territoire pour rejoindre la Guadeloupe et la Métropole ⁽⁴⁾. Le départ de plusieurs milliers de personnes se traduit également par la multiplication des abandons de bâtiments, ce qui va ralentir les tentatives d'aménagement du territoire et marquer durablement le paysage de l'île.

Ce dernier constat montre que malgré l'importance des indemnités octroyées au titre du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles et malgré les efforts considérables déployés par le gouvernement pour redresser le territoire saint-martinois, celui-ci demeure, plus de deux ans après l'événement, fortement marqué. Il montre également l'ampleur du défi qui serait à relever si des phénomènes de type Irma touchaient dans l'avenir des îles françaises plus peuplées. En effet, on estime que le passage d'un ouragan de catégorie 5 (sur l'échelle Saffir-Simpson) sur la Guadeloupe pourrait aisément générer plus de dix milliards de dommages assurés, soit un montant comparable en ordre de grandeur à une crue majeure de la Seine en Île-de-France. Au regard de cette estimation, la question de la reproductibilité des mesures mises en place au lendemain d'Irma se pose. Si la Guadeloupe n'est pas dans la même situation économique que Saint-Martin, le dimensionnement d'une réponse adaptée pour venir en aide aux près de quatre cent mille Guadeloupéens reste un défi considérable.

Le défi de la réponse politique de long terme dans les outre-mer

Saint-Martin, comme l'ensemble des territoires ultramarins, est particulièrement exposé aux conséquences du changement climatique (ONERC, 2013). Outre la hausse du niveau de la mer, l'étude menée par la CCR, en partenariat avec Météo-France, montre que la région antillaise sera de plus en plus exposée aux ouragans majeurs. Les dommages causés par Irma et les enjeux liés aux change-

ments climatiques et environnementaux doivent amener à promouvoir une meilleure prise en compte des risques dans les politiques publiques de long terme. Parmi toutes les questions posées, celle de l'assurabilité à long terme des territoires ultramarins apparaît cruciale. Une délégation interministérielle des risques majeurs en outre-mer, chargée d'animer et de coordonner les politiques d'acquisition de connaissances et de prévention des risques majeurs spécifiques aux collectivités ultramarines, a été mise en place en avril 2019 pour apporter des réponses à cette problématique, notamment.

Dans les outre-mer, le taux de pénétration de l'assurance reste modéré (de l'ordre de 50 %) en regard de la Métropole (98 %). Si les raisons profondes en sont multiples, les tarifs assurantiels pratiqués dans ces territoires ne semblent pas en être la cause principale. En effet, du fait de l'existence du régime Cat Nat, le coût de l'assurance contre les catastrophes naturelles dans les outre-mer français est comparable à celui observé en Métropole et est en moyenne trente fois inférieur aux tarifs pratiqués dans les îles de l'arc des Caraïbes (hors France). L'accroissement du taux de pénétration de l'assurance dans les outre-mer passera ainsi par des efforts importants en matière de prévention des risques naturels majeurs. En effet, si, lors du passage du cyclone Irma, les dispositifs de prévision et d'alerte se sont révélés relativement efficaces, la question d'une meilleure intégration du risque dans les documents d'urbanisme s'est rapidement posée. Le rapport 2018 de la Chambre régionale des comptes a mis en avant le fait que la forte pression anthropique aux abords du littoral s'est faite au détriment du plan d'occupation des sols et a ainsi exacerbé un peu plus la vulnérabilité du territoire. Au lendemain d'Irma, la présentation du nouveau zonage de l'aléa inondation et submersion qui devait servir à la révision du PPR a suscité d'importantes réserves de la part des habitants. En effet, le plan de prévention des risques est un dispositif essentiel qui permet de concilier prévention des risques et aménagement du territoire. Les territoires ultramarins sont en grande partie couverts, mais aucun de ces plans ne porte explicitement sur le risque cyclonique. Si la houle cyclonique est prise en compte, les risques liés au vent ne sont jamais abordés.

Le risque sismique est pris en compte dans la construction des bâtiments, notamment sous l'impulsion du plan Séisme Antilles. Mais il n'existe pas de réglementation en matière de construction para-cyclonique permettant de réduire leur vulnérabilité. Si la norme eurocode 1-4 sur la résistance des bâtiments aux vents intègre bien les territoires ultramarins, sa mise en œuvre, d'application volontaire pour les particuliers notamment, reste difficile à contrôler. De plus, dans un récent rapport, la délégation sénatoriale aux outre-mer estimait que la norme précitée était mal adaptée aux territoires ultramarins, avec pour conséquence une sous-estimation du risque lié au vent (Doligé, 2017 ⁽⁵⁾). Pour pallier ces carences, l'État s'est rap-

(4) « À Saint-Martin, une rentrée scolaire encore sous le signe d'Irma », *Le Monde*, édition en ligne du 24/09/2018, https://www.lemonde.fr/planete/article/2018/09/24/a-saint-martin-une-rentree-scolaire-encore-sous-le-signe-d-irma_5359176_3244.html

(5) « Rapport d'information fait au nom de la délégation sénatoriale aux outre-mer sur les normes en matière de construction et d'équipements publics dans les outre-mer », Sénat, session ordinaire de 2016-2017, n°601, 29 juin 2017.

proché, en septembre 2017, du Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) afin de mener une concertation sur le sujet en vue d'établir un guide de bonnes pratiques en matière de reconstruction. Des marges de progrès sont ainsi possibles dans le domaine du renforcement de la résistance structurelle des bâtiments aux vents cycloniques.

Conclusion

En septembre 2019, la reconstruction post-Irma était encore inachevée. À Saint-Barthélemy et à Saint-Martin, 74 % des logements endommagés ont été reconstruits, selon les chiffres transmis par la préfecture⁽⁶⁾. Les efforts considérables consentis par l'État, en complément des sommes importantes issues du système d'indemnisation des catastrophes naturelles, ont probablement évité un effondrement massif des territoires touchés. La question de la capacité des territoires ultramarins à faire face dans l'avenir à des événements cycloniques majeurs, qui seront plus fréquents sous l'effet du changement climatique, reste toutefois entière. Mais cette question a été prise à bras le corps par les pouvoirs publics. Irma a en effet été l'occasion pour l'État de redessiner les contours d'une nouvelle coopération avec les territoires ultramarins. Dans cette perspective, l'État souhaite porter une politique ambitieuse avec le projet de loi sur les risques en outre-mer en cours d'élaboration. En effet, conscient de la nécessité

de construire une politique de gestion du risque sur le long terme, l'État souhaite inscrire dans la loi un ensemble de mesures visant notamment à améliorer la protection assurantielle des populations et à réglementer les modes de construction dans le but de renforcer la résilience des territoires d'outre-mer. Si le défi reste immense, on ne peut que saluer l'ambition affichée par l'État vis-à-vis de ces territoires.

Bibliographie

- CCR (2019), *Les Catastrophes naturelles en France. Bilan 1982-2018*, Paris, Caisse centrale de réassurance, 104 p.
- DESARTHE J. & MONCOULON D., « Quatre siècles de cyclones tropicaux dans les départements d'outre-mer », *La Météorologie*, n°99, pp. 52-58.
- DOLIGÉ E. (2017), *Rapport d'information fait au nom de la délégation sénatoriale aux outre-mer sur les normes en matière de construction et d'équipements publics dans les outre-mer*, Sénat, session ordinaire de 2016-2017, n°601, 29 juin 2017, 206 p.
- IEDOM (2017), *Saint-Martin. Rapport annuel 2016*, 100 p.
- IEDOM (2019), *Panorama de Saint-Martin*, note expresse, n°559, 4 p.
- INSEE (2016), *Saint-Martin, Terre d'accueil et de contraste*, INSEE, dossier Guadeloupe, n°10, 26 p.
- ONERC (2013), *Les Outre-Mer face au défi du changement climatique. Rapport au Premier ministre et au Parlement*, Paris, La Documentation française, 218 p.

(6) <https://la1ere.francetvinfo.fr/deux-ans-apres-irma-reconstruction-est-toujours-cours-saint-martin-746503.html>

Un retour d'expérience graphique sur la crise cyclonique de 2017 aux Antilles

Par Élie CHEVILLOT-MIOT

INHESJ, département Risques et Crises

Ingrid CANOVAS

LATTS, École des Ponts, Université Gustave Eiffel

Cheila DUARTE-COLARDELLE

INHESJ, département Risques et Crises

Christian IASIO et Thierry WINTER

BRGM

et Valérie NOVEMBER

LATTS, UMR 8134 CNRS, École des Ponts, Université Gustave Eiffel

Réaliser le retour d'expérience d'une crise extrême, telle la crise cyclonique de 2017 aux Antilles françaises, est une procédure délicate et complexe. Elle nécessite non seulement d'intégrer les contraintes et incertitudes liées au passage de trois cyclones majeurs, mais également les effets des actions et décisions prises par l'important réseau des acteurs mobilisés à tous les niveaux d'intervention. La capitalisation d'expériences individuelles et collectives au sein d'un RETEX unique est donc primordiale pour optimiser la prise de décision en conduite de crise « hors-norme », notamment dans un contexte de changement climatique aux effets imprédictibles. Dans cet article, nous proposons un retour d'expérience sous la forme d'une base de données graphique qui intègre des informations hétérogènes et descriptives des aléas, des actions menées, des interactions entre les services, etc. Il s'agit, *in fine*, d'enrichir les connaissances et d'appuyer les décisions, à tous les niveaux (opérationnel, tactique et stratégique), tant dans le public que dans le privé.

Introduction

En conduite de crise, la compréhension des accrochages entre des contraintes de natures (incertitudes, multiples acteurs, biais cognitifs, etc.) et de dimensions variées (constantes spatio-temporelles, impact de l'événement et de la décision, etc.) est un enjeu primordial pour optimiser la prise de décision et l'anticipation en situation d'incertitude. En cela, les retours d'expérience revêtent une importance capitale bien que leur doctrine demeure modeste. Ils fournissent des réponses efficaces face à des événements futurs par une planification de mesures et d'actions de protection et de réduction des effets d'un aléa. Mais ils restent basés sur des phénomènes connus ou des crises « réglées » (maîtrisées, résolues). Peu d'entre eux sont axés sur les interactions entre les composantes « perception de la situation – *Common Operational Picture* – processus de décision » (Donahue et Tuohy, 2006 ; Wybo et

Laitiers, 2006) à tous les échelons du dispositif ORSEC⁽¹⁾ et des dispositifs privés.

Le retour d'expérience proposé dans le cadre du projet APRIL⁽²⁾ s'attache 1) à étendre la portée de l'outil qu'il est pour en faire un support d'aide à la décision en situation extrême et à tous les niveaux (opérationnel, tactique et stratégique), afin d'en anticiper les effets pour sortir plus rapidement de la crise et préparer et engager au plus vite la phase de reconstruction. Pour cela, il s'appuie sur les témoignages des acteurs mobilisés lors des ouragans survenus en 2017 aux Antilles françaises, 2) lesquels sont intervenus dans un contexte exceptionnel regorgeant d'incertitudes liées aux phénomènes physiques, aux aléas

(1) Organisation de la réponse de sécurité civile.

(2) Optimiser l'anticipation et la prise de décision en situation de crises extrêmes pour maintenir la résilience de la société.

secondaires (effets cascade) et aux fonctions techniques, organisationnelles et humaines sollicitées (Amalberti et Barricault, 1999 ; Bourdeaux et Gilbert, 1999). Les informations ont été ensuite 3) capitalisées dans une base de données de référence, à partir de laquelle une analyse de la performance des actions menées et des mesures prises (chemins décisionnels) a été finalement réalisée 4) à l'aide de graphes dynamiques.

Le RETEX, une procédure primordiale pour se préparer aux risques et aux crises futures

La procédure classique de retour d'expérience est institutionnalisée dans la loi de modernisation de la sécurité civile de 2004. Bien que devenue une priorité et une méthodologie harmonisée (MIAT, 2006), la formalisation de cette procédure (appelée REX, RETEX ou PEX) reste néanmoins modeste à tous les niveaux de décision tant publics que privés.

Des objectifs modestes, mais ambitieux...

Au sens opérationnel, le retour d'expérience est un outil qui permet d'analyser, *a priori*, des signaux faibles et, *a posteriori*, des événements perturbateurs réels ou fictifs, en considérant leurs caractéristiques physiques et leur déroulement spatio-temporel. Il permet d'identifier le niveau de perturbation et les réponses apportées aux composantes techniques, humaines et organisationnelles, ainsi que le potentiel d'apprentissage positif comme négatif (Wybo *et al.*, 2003 ; Gaillard, 2009 ; Morin, 2012 ; Casse, 2015). En conséquence, le retour d'expérience est supposé :

- améliorer la prédiction du phénomène et réduire ou éviter sa réalisation (Wildavsky, 1991) ;
- dégager des mesures de planification et des réponses, telles que des stratégies d'action, d'affectation des ressources, de reconstruction, de résilience d'un territoire ou d'une entreprise (Kruke et Olsen, 2005 ; Xiang et Zhaung, 2014) ;
- renforcer la coordination entre les gestionnaires de crise publics et/ou privés (Colardelle et Guinet, 2004) ;
- anticiper les prises de décisions en conduite de crise, pour un événement connu (Gautier, 2005 ; November *et al.*, 2019).

Au sens stratégique, le retour d'expérience se doit de capter la dynamique des situations. Il expose les efforts d'amélioration et évalue les effets des mesures prises individuellement et collectivement, lors de la gestion de l'événement perturbateur (Wybo, 2001 ; 2004).

Pour autant, ces deux sens sont interdépendants. Dès lors, le retour d'expérience doit s'attacher à analyser avec attention les décisions et actions perçues, leurs effets et leurs appréhensions, mais aussi les boucles de progrès (bonnes pratiques), lors de la conduite de crise. L'ensemble de ces éléments conditionnent l'efficacité du retour d'expérience et participent à l'apprentissage et à la capitalisation des expériences individuelles et collectives d'une crise « réglée » (Amalberti et Barricault, 1999 ; Bourdeaux et Gilbert, 1999 ; Quiblier, 2007 ; Lalouette, 2008 ;

Morin, 2012). De fait, la préparation et les réponses apportées en situation de conduite de crise en sont optimisées (Kourosh *et al.*, 2008 ; Cheema *et al.*, 2016).

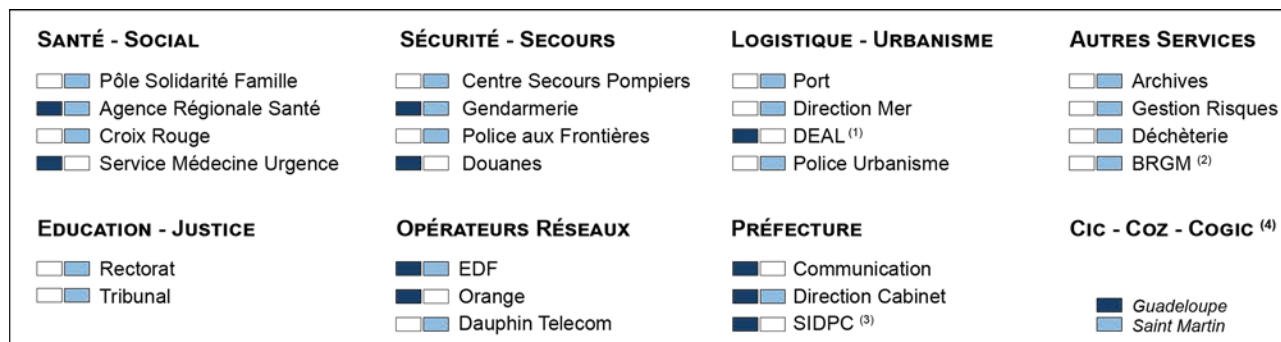
... en dépit d'une mise en œuvre scabreuse

La temporalité de la mise en œuvre d'une telle procédure constitue un facteur susceptible d'en affecter l'issue, et donc de mettre à mal ses ambitions. En effet, elle peut se réaliser « à chaud », c'est-à-dire pendant la crise ou immédiatement après la sortie de crise (Baird *et al.*, 1999 ; Vashdi *et al.*, 2007 ; Godé, 2012). Cette démarche peut alors être perçue comme péjorative (exposition des erreurs), contraignante (perte de temps), ou comme une évaluation (enquête judiciaire) des capacités individuelles à faire face à la crise (Gilbert, 2001 ; MIAT, 2006). C'est pourquoi le retour d'expérience « à froid » est plus productif, dans la mesure où les acteurs impliqués souffrent moins du stress enduré et sont plus enclins à partager leur vécu, en raison d'un changement de poste, d'orientation politique, etc. Néanmoins, les récits peuvent ne pas refléter la réalité, en raison d'une perte de mémoire, la crainte du jugement, d'une perception angélique du déroulement des faits, etc. (Casse, 2015).

L'efficacité du retour d'expérience dépend également du niveau de fiabilité des données à obtenir et de la diversité des sources d'information (acteurs). Si cette diversité tend à optimiser la remontée des informations, elle peut, à l'inverse, contribuer à leur fragmentation (Dechy *et al.*, 2009). De plus, la confidentialité des retours d'expérience de crises majeures entrave leur formalisation et le partage transversal (Gaillard, 2005). Ils prennent le plus souvent la forme de rapports, tels les REX du portail ORSEC, peu exploités et reposant sur le déroulement factuel du phénomène, des moyens et actions engagés. Certains auteurs les ont cependant développés sous d'autres formes (numérique, cartographies dynamiques), pour en faire un véritable outil d'aide à la décision lors de crises futures (Morin, 2012 ; Pourinet et Creach, 2019) ou les rendre intelligibles pour un plus large public, par le biais de colloques, comme ce fut le cas pour les cyclones de 2017⁽³⁾.

Ces types de retours d'expérience sont adaptés à des crises « réglées », connues, mais sont peu pertinents pour des crises dites « hors cadre ». Ils tiennent compte des éléments de contexte, des interactions et de leur interdépendance, ou encore de l'incertitude quant à la véracité des informations, lorsque certains repères habituels sont brouillés : défaillance ou rupture des circuits réglementés, multiplication des chaînes de décision (Guihou *et al.*, 2006), du *turn-over* des agents expérimentés conduisant à une perte de transfert des expériences, etc. Au vu de ces éléments, une nouvelle conception du retour d'expérience semble se justifier. Le retour d'expérience classique nécessite d'être complété afin de rendre performant le principe du recours à un tel outil pour la conduite de crise « hors cadre ».

(3) Le colloque « RETEX IRMA » de Résilience France ou encore le colloque « cyclones » des Géorisques de l'Université de Montpellier, organisés plus d'un an après les faits et ayant chacun invité des interlocuteurs divers (chercheurs, gestionnaires de crise publics et privés).



⁽¹⁾ Direction l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

⁽²⁾ Bureau de Recherches Géologiques et Minières

⁽³⁾ Service Interministériel de Défense et de Protection Civile

⁽⁴⁾ Cellule Interministérielle de Crise - Centre Opérationnel de Zone - Centre Opérationnel de Gestion Interministérielle des Crises

Canovas I., Chevillot-Miot E. 2020

Figure 1 : Échantillon des services soumis à l'enquête.

La nécessité d'un RETEX de la crise cyclonique 2017 aux Antilles françaises

Notre étude s'est inscrite dans ce contexte de crise extrême, au cours de laquelle les décisions s'appuient non seulement sur une planification, mais aussi sur des réflexes, de l'adaptation et de l'anticipation. À partir de plusieurs retours d'expérience individuels, un RETEX global a été réalisé. Chacun d'eux a été analysé et traduit sous la forme d'une base de données relationnelle et graphique conçue pour alimenter un outil d'aide à l'anticipation et à la prise de décision en conduite de crise.

Rencontrer le réseau des acteurs mobilisés pour gérer la crise

Dans la nuit du mercredi 6 septembre, l'ouragan Irma (catégorie 5) traverse les îles de Saint-Martin et de Saint-Barthélemy, occasionnant des impacts sans précédent dans cette zone (onze morts et 95 % des habitations impactées, voire pour certaines détruites). Sans impact direct, le passage de José, annoncé deux jours plus tard, a, quant à lui, entraîné un arrêt des interventions d'urgence post-Irma, le report des actions de préparation, de sécurisation des bâtiments et de mise à l'abri des personnes, et le blocage des transports maritimes et aériens. Moins de deux semaines après le passage d'Irma, l'œil du cyclone Maria passait à quelques kilomètres au sud de l'archipel de la Guadeloupe. S'il n'a apporté que des fortes précipitations sur Saint-Martin, le passage de Maria (catégorie 5) a en revanche occasionné en Guadeloupe des dégâts considérables sur le bâti des zones littorales et mis à l'épreuve l'organisation de la réponse, encore concentrée sur Saint-Martin.

Le passage successif de ces trois cyclones intenses a nécessité la mise en place d'une organisation complexe et exceptionnelle, impliquant la mobilisation de nombreux acteurs à différents niveaux d'intervention. Des RETEX ont été réalisés auprès d'un échantillon représentatif de ces services publics et privés – recueil de l'ordre de quarante témoignages (voir les Figures 1 ci-dessus et 2 de la page suivante) – de façon à retracer les chaînes de décision horizontales (intra-échelle) et verticales (inter-échelle),

malgré un *turn-over* du personnel ⁽⁴⁾, et ce dix-huit mois après les événements afin de :

- ne pas empiéter sur la préparation de la saison cyclonique de 2019 ;
- éviter les témoignages « à chaud », mais tout en s'assurant de la fiabilité de la mémoire des événements ;
- bénéficier d'une prise de recul et d'une analyse individuelle *a posteriori* ;
- étendre le suivi de la crise à celui des premiers temps de la reconstruction...

L'objectif multiple de ce retour d'expérience vise 1) à capitaliser l'expérience et le vécu des gestionnaires de la crise et de la reconstruction, et 2) à procéder à une analyse relationnelle, afin 3) d'identifier les actions et missions de chacun, les interactions entre les différents acteurs, la nature et le circuit des informations, les difficultés rencontrées, etc. Outre 4) des recommandations de bonne pratique, ce travail cherche 5) à identifier ce qui peut être anticipé, à chaque niveau de la chaîne de décision, et à tout instant du déroulement de la crise.

Tirer des leçons du passé

Les expériences individuelles, partagées et analysées par les gestionnaires de la crise, constituent le corpus de données à partir duquel une analyse relationnelle a été conduite, et une série de « bonnes pratiques » en a été extraite. Ces deux dernières étapes n'ont pas encore été initiées. Toutefois, certains moments forts et difficultés ont pu être révélés à l'issue d'entrevues effectuées sur l'île de Saint-Martin (voir la Figure 3 de la page suivante).

Cet inventaire initial permet de spécifier, voire de compléter la liste des faits déjà connus du grand public (presse, publications, etc.). Il sera enrichi par la mise en relation de tous les récits et d'une analyse détaillée des effets de chaîne de chaque information, action ou décision identifiée, durant les phases d'alerte, de crise et de reconstruction.

(4) Six changements de poste en Cellule interministérielle de crise ont été identifiés et six changements de poste en outre-mer, conduisant, par voie de conséquence, à une perte importante de transfert de l'expérience.

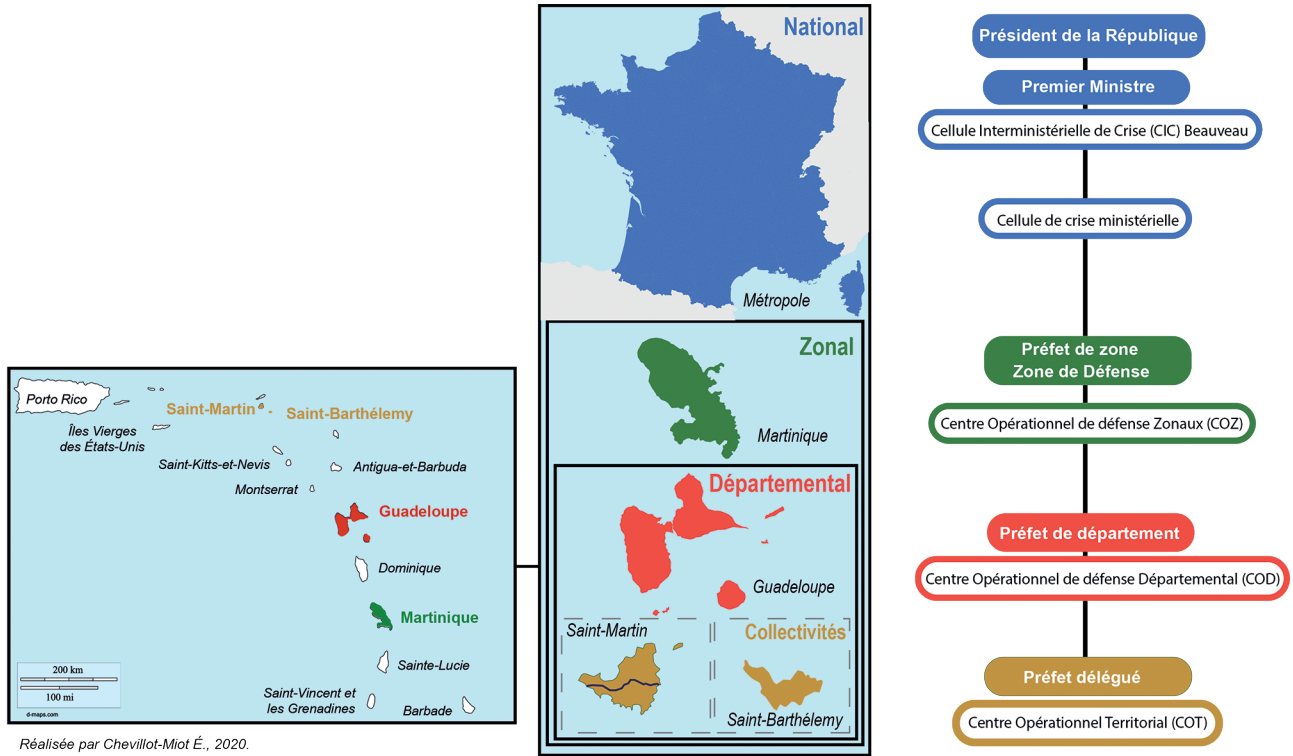


Figure 2 : Contexte géo-spatial du dispositif ORSEC mis en place lors des ouragans de 2017.

Contrainte / Difficulté	Conséquence(s)
Perte totale de communication	Isolement de l'île (population et services locaux de gestion de crise) Expansion de rumeurs impossibles à démentir Climat de crainte
Nombreux pillages	Population effrayée et traumatisée Climat de crainte
Arrivées des renforts militaires	Soulagement Sentiment de sécurité
Visite Présidentielle et Ministérielle	Soulagement « nous n'avons pas été oubliés » Dissipation momentanée des tensions
Encombrement des routes	Interventions compliquées des services de sécurité et des secours Isolement de nombreuses personnes et de certains quartiers
Gestion métropolitaine post-IRMA	Montée du racisme, par refus de l'expertise locale Crainte d'une « crise néocolonialiste »
Gestion des évacuations	Frustration liée à la priorisation des touristes et métropolitains Tensions sociales
Exposition de la famille des gestionnaires	Difficulté à concentrer ses efforts sur la gestion de crise
Mutation du personnel en saison cyclonique	Manque de préparation des gestionnaires du service public
Méconnaissance ou sous-estimation du risque	Manque de préparation et de réaction de la population ayant connu LUIS et/ou GONZALO Indifférence des touristes aux alertes et consignes
Offre en abris sûrs de qualité/quantité insuffisante	Refus des personnes vulnérables de rejoindre les abris sûrs
Impact psychologique et soutien insuffisant	Départ des métropolitains Augmentation de la délinquance Apparition de la violence intra-familiale - envers les femmes
Refus des dons et des bénévoles	Mise à mal de l'image de Saint-Martin : ingratitude vis-à-vis de la solidarité nationale

Canovas I., Chevillot-Miot E. 2020

Figure 3 : Les grands éléments relevant du RETEX IRMA, d'après les témoignages recueillis sur l'île de Saint-martin.

Améliorer le retour d'expérience des prises de décisions et optimiser la sortie de crise et la reconstruction

Utilisation d'une base de données relationnelle orientée graphe pour organiser les données du RETEX

Chercher à apprendre non seulement des phénomènes les plus impactants, mais aussi des accidents mineurs et des quasi-accidents (ceux évités de justesse), est une opération complexe mais cruciale pour anticiper des événements majeurs à venir. La principale difficulté réside dans le traitement d'une masse d'informations très hétérogènes (quantitatives, qualitatives, géographiques, de perception, etc.), et plus particulièrement dans l'étape de rapprochement des différents fragments de données, afin d'obtenir une information capable de révéler le danger latent. À l'issue de la collecte, l'implémentation et l'harmonisation des données, une nouvelle couche d'informations originale peut être intégrée dans le système.

L'approche développée s'appuie sur la théorie des graphes. Étant une représentation mathématique des relations, le graphe est en effet adapté aux interprétations conceptuelles des systèmes complexes et au paramétrage de l'efficacité des pratiques de gestion des catastrophes. Les informations collectées y sont modélisées dans des relations par paires, entre « objets » : les sommets (nœuds ou points) sont reliés par des arêtes (liens ou lignes). La définition d'une ontologie qualifiant ces deux objets est capitale pour parvenir à la décomposition des informations initiales en composantes élémentaires, et pour per-

mettre le raisonnement ou l'inférence. L'ontologie a été développée en utilisant les relations hiérarchiques et sémantiques restituées dans les entretiens.

Construction du retour d'expérience de la crise cyclonique de 2017

Le retour d'expérience de la crise cyclonique de 2017 se fonde sur la création d'un méta-modèle de base de données orientée graphe. L'exercice consiste à structurer l'ensemble des informations extraites des entretiens et d'autres sources de données au sein d'une base de données unique. Pour cela, le processus de déconvolution s'attache au préalable à décomposer les informations en éléments simples (nœuds et liens). Ces éléments, qui possèdent leurs propres attributs (dont la temporalité), sont ensuite regroupés dans des catégories ou ontologies, telles que :

- pour les nœuds : les institutions, les ressources, les messages, les perceptions, etc. ;
- et pour les relations : les actions, les décisions, les émotions, etc.

À l'issue de cette procédure, chaque chaîne d'action ou de décision peut être représentée sous sa forme élémentaire au sein d'un graphique (voir la Figure 4 ci-après) et chaque nouvelle information (issue d'un autre témoignage) peut y être implémentée en rattachant l'un de ses éléments à un nœud (ontologie) commun, s'il existe. En appliquant cette même méthode de décomposition aux informations contenues dans les entretiens, une représentation graphique (*mapping*) de l'ensemble de la réponse institutionnelle à la crise peut être obtenue.

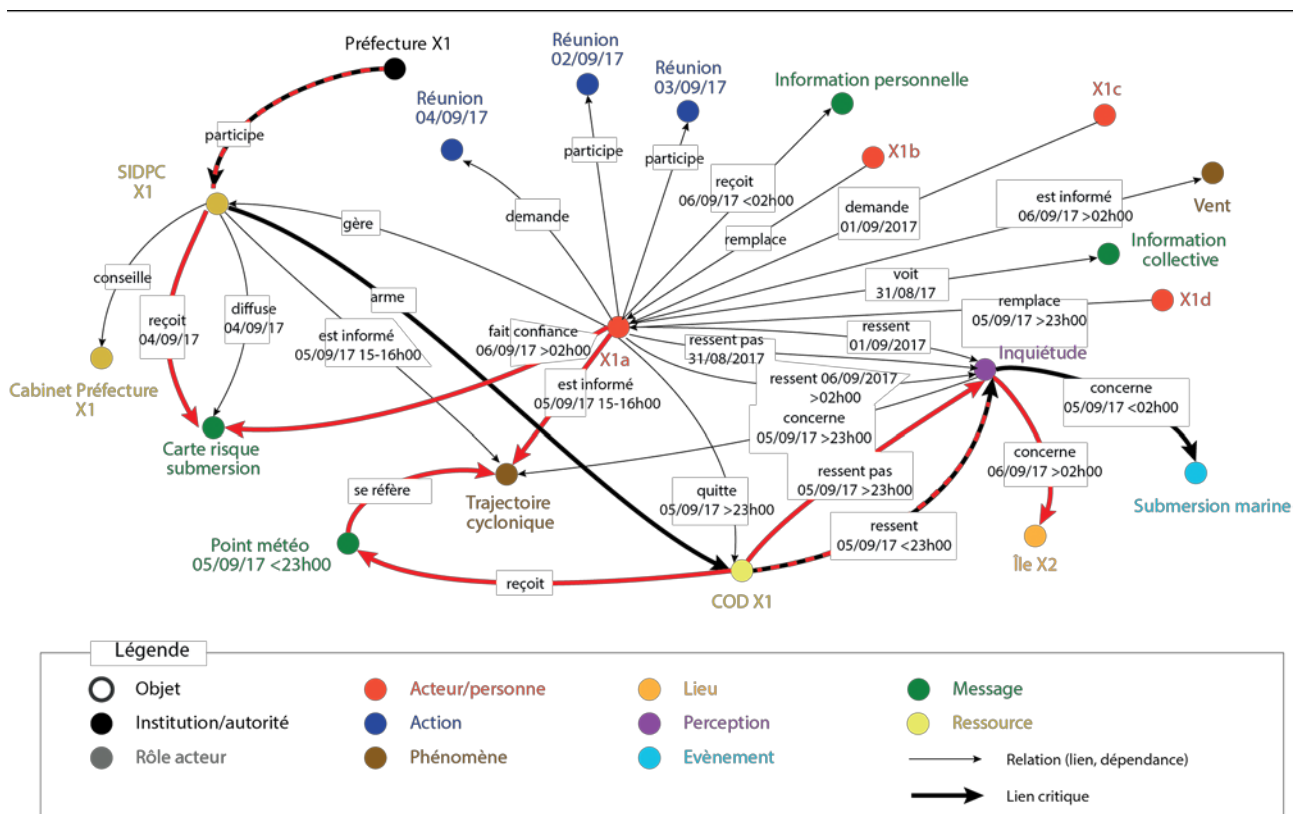


Figure 4 : Exemple de graphe restituant les relations « parenté à la trajectoire cyclonique », d'après le témoignage d'un interviewé. (source : Canovas I., Chevillot-Miot É. et Iasio C. (2020)).

Les résultats attendus de la méthode

L'organisation des informations et le type d'affichage fournis par la base de données orientée graphe mettent en lumière des relations de cause à effet qui n'auraient pu être décelées à partir d'une information ou d'une source d'information unique. C'est le cas par exemple du changement de niveau d'alerte en Guadeloupe : informée du passage en alerte rouge de la Martinique, la population de la Guadeloupe a exercé une pression telle qu'elle a conduit les autorités à faire également passer ce département en alerte rouge, avant l'échéance initialement fixée par la Préfecture, ce qui a été à l'origine de difficultés supplémentaires imprévues pour la population et la gestion de la crise elle-même.

Cette méthode présente surtout l'avantage de révéler des relations indirectes, comme des boucles d'information atypiques ou non protocolaires mais redondantes. Cela concernerait, par exemple, les circuits d'information informels ou non balisés, comme la demande d'une donnée spécifique formulée auprès d'un contact extérieur au réseau ou au canal réglementaire ou l'envoi spontané par ce même contact d'une telle donnée. Une fois reconnus, ces circuits pourraient conduire à une mise à jour des procédures afin d'améliorer, d'accélérer formellement le transfert des informations et de stimuler ainsi la prise de décision.

Perspectives et conclusion

Anticiper les effets d'un ouragan est une opération complexe et délicate. En raison de ses caractéristiques propres et des conditions extérieures, la dynamique de chaque phénomène s'accompagne d'un niveau d'incertitude qui persiste jusqu'à quelques heures avant son premier impact. Elle comprend cependant des phases (passage de l'œil) au cours desquelles il est possible d'intervenir pour en atténuer les effets. L'anticipation de ces dynamiques et des effets des actions ou décisions constitue dès lors un outil crucial pour la gestion de ces crises.

Ce travail d'anticipation repose sur l'alimentation de la phase pré-événement (anticipation) par la phase post-événement (prise de recul), en mettant en œuvre un continuum entre analyse et apprentissage. Ce retour d'expérience constitue un matériel singulier pour développer des outils destinés à améliorer la prise de décision et, à terme, la capacité d'anticipation. La capitalisation d'expériences individuelles, particulièrement celles des gestionnaires de crise publics et privés, par le biais d'entretiens, devrait permettre *in fine* de créer un prototype de cet outil d'aide à la décision et de développer une méthodologie de l'anticipation en conduite de crise, dans un contexte d'incertitude et de changements climatiques pouvant conduire à de nouvelles crises extrêmes, encore inimaginables à ce jour.

La structuration des informations au sein d'une base de données robuste, pertinente et évolutive est le résultat d'une collaboration entre des chercheurs issus des sciences naturelles, de l'ingénierie et des sciences humaines et sociales, afin de couvrir l'ensemble des disci-

plines dans lesquelles s'inscrit la gestion de crise. Ainsi, la richesse des expertises réunies (théoriques, scientifiques, opérationnelles, etc.) devrait conduire à l'ajustement de certaines procédures et à des propositions de formation adaptées aux besoins réels des gestionnaires actuels et futurs dans des contextes changeants ou inconnus.

Bibliographie

- AMALBERTI R. & BARRICAULT C. (1999), « Fondements et limites du retour d'expérience », *Revue Annales des Ponts et Chaussées*, n°91, 67 p.
- AZEMARD P., BATISTA D., BEAUDELLOT L., MICHEL J.-L. & MORTIER F. (2017), « Impacts de l'ouragan Irma sur les infrastructures à Saint-Martin », rapport de synthèse du CEREMA.
- BAIRD L., HOLLAND P. & DEACON S. (1999), "Learning from action: Embedding more learning into the performance fast enough to make a difference", *Organizational Dynamics*, vol. 27, n°4, pp. 19-32.
- BOURDEAUX I. & GILBERT C. (1999), « Procédures de REX, d'apprentissage et de vigilances organisationnelles : approches croisées », programme Risques collectifs et situations de crise, Grenoble, CNRS, septembre.
- CASSE C. (2015), *Concevoir un dispositif de retour d'expérience intégrant l'activité réflexive collective : un enjeu de sécurité dans les tunnels routiers*, thèse de psychologie du travail et d'ergonomie, Université Grenoble Alpes, 395 p.
- CHEEMA A. R., MEHMOOD A. & IMRAN M. (2016), "Learning from the past: Analysis of disaster management structures, policies and institutions in Pakistan", *Disaster Prevention and Management* 25 (4), pp. 449-463.
- COLARDELLE C. & GUINET V. (2004), « Analyse de l'évolution de l'articulation organisationnelle – Préfet/Maire/Citoyen face à la crise », rapport pour le ministère de l'Intérieur, DDSC.
- DECHY N., DIEN Y., LLORY M. & MERAD M. (2009), « Les échecs organisationnels du retour d'expérience », rapport d'étude du programme INERIS EAT DRA 71 – Évaluation des risques des systèmes industriels, 72 p.
- DE LA TORRE Y. (2017), « Impacts du cyclone IRMA sur le littoral des "Îles du Nord" à Saint-Martin et Saint-Barthélemy », rapport BRGM/RP-67291-FR, 20 Ill., 2 annexes, 29 p.
- DUVAT V. (2008), « Le système du risque à Saint-Martin (Petites Antilles françaises) », *Développement durable et territoires, Catastrophes et Territoires*, (11), 21 p.
- DONAHUE A. & TUOCHY R. (2006), "Lessons we don't learn: a study of lessons of disaster, why we repeat them, and how we can learn them", *Homeland Security Affairs*, vol. 2, n°2, 28 p., <https://www.hsaj.org/articles/167>
- GAILLARD I. (2005), « État des connaissances bibliographiques sur les facteurs socioculturels de réussite ou d'échec du REX industriel », Institut pour une Culture de la sécurité industrielle, 5 juillet, p. 33.
- GAILLARD I. (2009), « S'organiser pour apprendre des perturbations : le retour d'expérience », in DE TERSSAC G., BOISSIÈRES I. & GAILLARD I. (coords), *La Sécurité en action*, Octarès, Toulouse, coll. « Le travail en débat », pp. 153-174.
- GAUTIER A. (2005), « Retour d'expérience organisationnel et conceptualisation de l'action dans une perspective d'apprentissage pour les organisations », *Information Sciences for Decision Making* 40, 704 p.
- GILBERT C. (2001), « Retours d'expérience : le poids des contraintes », *Annales des Mines, Responsabilité & Environne-*

- ment, 16 p., <http://www.anales.org/re/2001/re04-2001/gilbert09-24.pdf>
- GODÉ C. (2012), « Compétences collectives et retour d'expérience "à chaud". Le cas de l'équipe de voltige de l'armée de l'air », *Revue française de gestion*, 2012/4 (n°223), pp. 167-180.
- GUIHOU X., LAGADEC P. & LAGADEC E. (2006), « Les crises hors cadres et les grands réseaux vitaux, Katrina », Mission de retour d'expérience – Fait marquants et pistes de réflexion, EDF, 34 p.
- ESHGHI K. & LARSON R. (2008), "Disasters: Lessons from the past 105 years", *Disaster Prevention & Management* 17, pp. 62-82.
- KRUIKE B. I. & OLSEN O. E. (2005), "Reliability-seeking networks in complex emergencies", *International Journal of Emergency Management* 2(4), pp. 275-291.
- LALOUETTE C. (2008), « Sécurité industrielle et sous-traitance dans l'aéronautique : comment renforcer le REX ? », *Les Cahiers de la Sécurité industrielle*, 5, FONCSI.
- LEGENDRE Y. & GUILLEN L. (2017), « Caractérisation des impacts liés à la houle sur le littoral guadeloupéen au passage de l'ouragan Maria », rapport final, BRGM/RP-67519-FR, 25 illustrations, 10 tableaux, 4 annexes, 209 p.
- MÉTÉO-FRANCE (2017a), « Passage de l'ouragan exceptionnel Irma sur les îles françaises des Antilles, les 5 et 6 septembre 2017 », communiqué de presse.
- MÉTÉO-FRANCE (2017b), « Passage de l'ouragan majeur Maria sur les îles françaises des Antilles, les 18 et 19 septembre 2017 », rapport météorologique.
- MIAT (2006), « La conduite du retour d'expérience – Éléments de culture professionnelle », ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du territoire – Direction de la Défense et de la sécurité civiles – Sous-direction de la Gestion des risques – Bureau de l'Analyse et de la préparation aux crises, 21 p.
- MOATTY A. & VINET F. (2016), *Post-disaster recovery: the challenge of anticipation*, E3S Web of Conferences 7, 17003, FLOODrisk 3rd European Conference on Flood Risk Management, 11 p., doi: 10.1051/e3sconf/20160717003 (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160717003>).
- MORTUREUX Y. (2004), « Le retour d'expérience en questions », *Techniques de l'ingénieur*, AG 4608, http://www.techniques-ingenieur.fr/dossier/le_retour_d_experience_en_questions:SE1040
- POURINET L. & CREACH A. (2019), <http://submersions.coselmar.fr/>. Les résultats présentés sur ce site sont issus de la thèse de CREACH A. (2015), « Cartographie et analyse économique de la vulnérabilité du littoral atlantique français face au risque de submersion marine », thèse de doctorat en géographie et économie, Université de Nantes, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01275600/>. Cette thèse a été préparée au sein du laboratoire LETG-Nantes Géolittomer (Unité mixte de Recherche 6554-CNRS-Université de Nantes).
- QUIBIER S. (2007), *Précurseurs et événements redoutés, recherche et identification, dans le cadre du programme Retour d'expérience par l'analyse systématique des vols*, mémoire de DU, Université Paris-Descartes.
- VASHDI D., BAMBERGER P., EREZ M. & WEISS-MEILIK A. (2007), "Briefing-Debriefing: Using a flexible organizational learning model from the military to enhance the performance of surgical teams", *Human Resource Management*, vol. 46, n°1, pp. 115-142.
- WIDALVSKY A. (1991), *Searching for safety*, New Brunswick, Transaction Publisher.
- XIANG Y. & ZHUANG J. (2014), "A medical resource allocation model for serving emergency victims with deteriorating health conditions", *Annals of Operations Research*, pp. 1-20.
- WYBO J.-L., COLARDELLE C., POULOSSIER M. P. & CAUCHOIS D. (2001), « Retour d'expérience et gestion des risques. Récents progrès en génie des procédés », *Techniques et Documentation*, vol. 15, n°85, pp. 115-128.
- WYBO J.-L. (2004), « Maîtriser les risques de dommages et les risques de crise – Le rôle de l'apprentissage organisationnel », *Risques*, n°60, octobre-décembre, pp. 148-157.
- WYBO J.-L. & LATIERS M. (2006), "Exploring complex emergency situations' dynamic: theoretical, epistemological and methodological proposals", *International Journal of Emergency Management*, vol. 3, n°1, pp. 40-51.

La recherche française sur les risques et catastrophes naturels : bilan d'une décennie de financements de l'Agence nationale de la recherche (ANR) et perspectives d'avenir

Par Anne LIEUTAUD

Agence nationale de la recherche (ANR)

Maud DEVÈS

Université de Paris, Institut de physique du globe de Paris (IPGP) et Institut Humanités, sciences et sociétés (IHSS)

Nicolas ECKERT

INRAE, LabEx OSUG

Gilles GRANDJEAN

Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)

et Mélanie PATEAU et Céline BILLIÈRE

Agence nationale de la recherche (ANR)

Le cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe rappelle que le succès de toute politique de gestion et de prévention des risques dépend de l'implication de l'ensemble de la société. Pourvoyeuse de connaissances, la recherche scientifique joue ici un rôle fondamental. Prenant acte de ce constat, l'Agence nationale de la recherche (ANR) a souhaité faire, en 2019, un bilan des projets de recherche qu'elle a financés sur la thématique des risques et catastrophes naturels. Ce travail, réalisé par un comité scientifique constitué pour l'occasion, a donné lieu à la publication d'un cahier ⁽¹⁾, puis, en collaboration avec les alliances AllEnvi et Athéna, à l'organisation d'une journée d'échange ⁽²⁾ avec la communauté des chercheurs. Cet article revient sur les principaux points du bilan, ainsi que sur les pistes de réflexion ouvertes par les discussions engagées lors du séminaire.

Introduction

Les enjeux de la recherche scientifique sur les risques et catastrophes sont à situer dans le contexte national, européen et international.

Parmi les actions identifiées comme prioritaires par les États signataires du cadre d'action international de Sen-

dai pour « la réduction du risque de catastrophes ⁽³⁾ », trois concernent directement la recherche : mieux comprendre les risques de catastrophe (priorité 1) ; renforcer la gou-

(1) DEVÈS M. H., BOUGEAULT Ph., LIEUTAUD A., PATEAU M., BILLIÈRE C. *et al.* (2019), « Risques et catastrophes naturels, Publication de l'Agence nationale de la recherche », *Les Cahiers de l'ANR*, n°10, Paris, https://anr.fr/fr/actualites-de-lanr/details/news/publication-du-cahier-n10-de-lanr-sur-les-risques-et-catastrophes-naturels/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=1012a055ee8d1abf2ca235f18c70ede2

(2) Pour une présentation de la journée d'échange : <https://anr.fr/fr/actualites-de-lanr/details/news/seminaire-risques-et-catastrophes-naturels-organise-par-lanr-et-les-alliances-de-recherche-allenvi/>

(3) La thématique des risques et catastrophes naturels a pris son essor sur la scène internationale au début des années 1990, au travers, notamment, du lancement de la décennie internationale de la prévention des catastrophes naturelles (DIPCN). Celle-ci a conduit à la mise en place de la Stratégie internationale des Nations Unies pour la prévention des catastrophes (UNISDR, récemment renommée Bureau pour la réduction des risques de catastrophe (UNDRR)). Un premier cadre d'action international, le cadre d'action de Hyogo (2005-2015), a été adopté en 2005. Puis un second, le cadre d'action de Sendai (2015-2030), en 2015. Le cadre d'action de Sendai met à l'honneur la « réduction des risques de catastrophe ». Concept relativement récent, la réduction des risques de catastrophe entend englober les différentes phases du cycle de la gestion des catastrophes (de la prévention à la reconstruction, en passant par la préparation, la gestion de crise et le relèvement), ainsi que les différents leviers associés (diminution de l'exposition, réduction des vulnérabilités, préparation à la gestion de crise, reconstruction préventive et adaptation).

vernance des risques (priorité 2) ; et améliorer l'état de préparation aux catastrophes pour intervenir de manière efficace afin de « mieux reconstruire » durant la phase de relèvement, de remise en état et de reconstruction (priorité 4)⁽⁴⁾. Si la recherche est un levier-clé pour répondre à la priorité 1, elle l'est aussi pour les priorités 2 et 4. En effet, elle contribue à renforcer la gouvernance, dans la mesure où elle permet de mieux comprendre les conditions et les enjeux, mais aussi parce qu'elle contribue à la transformer en créant de nouveaux outils ou en introduisant de nouvelles pratiques parmi les acteurs. Enfin, la recherche aide à améliorer l'état de préparation et à « mieux reconstruire » lorsqu'elle permet de mieux comprendre cette période complexe qu'est celle de la post-catastrophe, ses écueils et ses opportunités, et qu'elle propose de nouvelles pistes pour penser l'adaptation et la résilience des sociétés.

Au niveau européen, le programme de financement H2020 (qui fait office de stratégie européenne pour la recherche) rapproche « risques et catastrophes naturels » et « risques environnementaux » au sein de 4 des 7 défis sociétaux : sous l'angle de la connaissance et de la résilience des organisations (défi 2), les outils et techniques d'anticipation, d'évaluation et de réduction des risques naturels (défis 4, 5 et 7), de la vulnérabilité des ressources, des infrastructures et des populations (défis 2, 5 et 7), des mesures d'adaptation aux changements climatiques (défi 5), de lutte contre les risques hydro-climatiques (défi 5) ou encore de résilience des sociétés face aux risques naturels (défi 5).

En France, la Stratégie nationale de recherche (SNR) « France-Europe 2020 », fortement inspirée de la programmation H2020, insiste sur l'importance d'une recherche-action au service de la réduction des catastrophes par une meilleure gestion des risques naturels. Ce thème apparaît dans 3 des 40 orientations prioritaires retenues : « l'évaluation et la maîtrise du risque climatique et environnemental » (orientation 3), « l'intégration et la résilience des infrastructures et des réseaux urbains » (orientation 25) et « l'approche intégrée de la gestion de crise et le traitement en temps réel de données hybrides et multi-sources » (orientation 40).

En tant que financeur de la recherche publique en France, l'Agence nationale de la recherche (ANR) participe à ce paysage de priorités, de défis et d'orientations emboîtés. Elle dispose également d'une position privilégiée pour initier un travail visant à établir un bilan des contributions de la recherche française à ce qu'il convient désormais d'appeler la « réduction des risques de catastrophe ». Une première étape a été franchie par un comité scientifique mandaté pour réaliser un bilan descriptif des projets financés⁽⁵⁾. Ce

travail a donné lieu à la publication d'un cahier⁽⁶⁾, puis, en collaboration avec les alliances AllEnvi et Athéna, à l'organisation d'une journée d'échange⁽⁷⁾ avec la communauté des chercheurs. Cet article revient, dans une première partie, sur les principaux points de ce bilan et, dans une seconde partie, sur les pistes de réflexion ouvertes par les discussions engagées lors du séminaire.

Les projets de recherche financés par l'ANR sur les risques et catastrophes naturels entre 2010 et 2018

Le mandat adressé par l'ANR au comité scientifique chargé de réaliser le bilan des projets de recherche financés était de se concentrer dans un premier temps sur les risques et catastrophes d'origine « naturelle », sans néanmoins exclure les effets « de cascade », une catastrophe naturelle pouvant entraîner une catastrophe technologique ou sanitaire (cas, par exemple, de l'accident nucléaire de Fukushima). Entre 2010 et 2018, période d'analyse retenue pour éviter la redondance avec un cahier antérieur⁽⁸⁾, environ 11 000 projets ont été financés par l'ANR. 105 projets ont été identifiés comme portant sur la thématique des risques et catastrophes naturels⁽⁹⁾. Cela représente une aide globale de 48,9 M€ pour 515 équipes partenaires, dont 401 françaises (soit, en moyenne, 7,5 projets financés par an, correspondant à une aide moyenne par projet de 480 k€ et à 4 à 7 équipes partenaires).

De plus en plus de projets interdisciplinaires et une volonté de transcender les frontières du champ académique

Les projets se répartissent quasi équitablement entre la communauté des sciences naturelles et la communauté des sciences humaines et sociales. Le nombre de projets associant des chercheurs de ces deux communautés va également croissant au fil des ans. Ce sont souvent des projets très interdisciplinaires qui visent au développement de visions plus intégrées de la chaîne du risque et qui, pour ce faire, impliquent des acteurs opérationnels. De manière générale, on note une volonté d'ouverture des chercheurs à l'égard des autres acteurs du risque. Pour plus du tiers, les recherches financées par les appels à projets dits génériques ont été menées en étroite collaboration avec des acteurs de la prévention, de la gestion de crise, de l'assurance, etc.⁽¹⁰⁾. La capacité des projets à s'inscrire dans l'écosystème des acteurs du risque était d'ailleurs un critère important pour le choix des projets financés dans le cadre des appels à projets exceptionnels lancés suite au séisme d'Haïti (« Flash Haïti 2010 ») et aux ouragans qui ont frappé les Antilles françaises en 2017 (« Flash Ouragans 2017 »).

(4) Le cadre d'action de Sendai est consultable en français sur le site de l'UNDRR : https://www.unisdr.org/files/43291_frenchsendaiframeworkfordisasterris.pdf

(5) Auteurs : Maud Devès (présidente du comité d'évaluation du « Flash Ouragans 2017 : catastrophe, risque et résilience » ; présidente du conseil scientifique de l'Association française de prévention des catastrophes naturelles) et Philippe Bougeault (président-référent du comité « Terre fluide et solide » de l'appel à projets générique ; coordinateur de l'Eranet ERA4CS). L'équipe ANR (production du cahier central) : Anne Lieutaud, Mélanie Pateau et Céline Billière. Relecteurs scientifiques et conseils : Magali Reghezza-Zitt (également auteur de l'avant-propos), Nicolas Eckert, Gilles Grandjean, Didier Richard, Yves Le Bars, Séverine Moune, Fanny Benitez, Didier Marquer et Frédéric Monot.

(6) Voir note 1.

(7) Voir note 2.

(8) VAUCLIN M., MONFRAY P. & TOURNIER A. (2013), « Environnement et changements globaux : des aléas à la vulnérabilité des sociétés », *Les Cahiers de l'ANR*, n°7, Paris.

(9) La méthode de sélection des projets est explicitée dans le cahier.

(10) À noter que cela dépend néanmoins du type de risque étudié. À ce jour, les risques hydrométéorologiques (et, plus spécifiquement, les risques côtiers et les inondations) ont suscité deux fois plus de projets impliquant des acteurs non académiques que les risques géophysiques.

Les projets ont été classés en fonction du type d'aléa étudié (voir la typologie de l'IRDR⁽¹¹⁾) et selon l'approche ou les approches adoptées : connaître les aléas, anticiper et prévenir le risque, se préparer à intervenir et à gérer la crise et/ou se relever et reconstruire.

Un effort de recherche globalement en phase avec les données internationales sur l'impact des différents aléas, sauf pour certains phénomènes oubliés

Le classement des projets en fonction du type d'aléas concernés révèle des dissymétries de traitement (voir la Figure 1 ci-contre).

Les projets s'intéressant aux phénomènes géophysiques et hydrologiques, en particulier aux séismes et aux crues, ont été les plus nombreux, suivis par les projets portant sur les phénomènes météorologiques, et plus particulièrement les cyclones tropicaux. Les phénomènes d'érosion côtière et de submersion marine, l'activité volcanique et les mouvements gravitaires ont également donné lieu à un nombre appréciable de projets. Cette répartition de l'effort de recherche est globalement cohérente avec ce que l'on connaît des risques associés à ces phénomènes. D'après le rapport du CRED⁽¹²⁾, entre 1998 et 2017, les séismes ont en effet été les événements les plus meurtriers (747 234 décès⁽¹³⁾), les crues ont affecté le plus grand nombre de personnes (2 milliards de personnes⁽¹⁴⁾), tandis que les tempêtes et cyclones tropicaux ont causé la plus grande part des pertes économiques (1 330 milliards de dollars⁽¹⁵⁾). L'intérêt pour les phénomènes d'érosion côtière et de submersion marine ainsi que pour l'activité volcanique peut probablement s'expliquer par la présence sur le territoire français de plusieurs volcans actifs et d'importantes marges littorales. Quant aux risques gravitaires, ils figurent parmi les six phénomènes identifiés comme les plus meurtriers par le CRED (devant les phénomènes volcaniques d'ailleurs).

Du côté des aléas « oubliés », on remarque que les projets portant sur la sécheresse et les risques associés sont peu nombreux, alors que, selon le CRED, la sécheresse constitue le deuxième aléa ayant affecté le plus de personnes sur la planète entre 1998 et 2017. Les risques liés aux extrêmes de température sont également peu étudiés, alors qu'ils sont classés en troisième position sur la liste des phénomènes ayant tué et affecté le plus grand nombre de personnes entre 1998 et 2017. Il en est de même des feux de forêt (dont la fréquence est plus grande en période de sécheresse), pourtant susceptibles

de causer d'importantes pertes économiques (le CRED les a classés cinquièmes dans la liste des phénomènes ayant causé le plus de pertes économiques entre 1998 et 2017). Enfin, les avalanches de neige et les aléas émergents d'origines glaciaire ou périglaciaire sont quasi absents de notre corpus.

Enfin, il est à noter que si quelques projets adoptent une démarche multi-aléas (il s'agit principalement de projets visant au développement d'outils d'aide à la gestion de crise), très peu de projets s'attaquent à la difficile question des aléas multiples au sens de l'UNDRR, c'est-à-dire qui se produisent simultanément, en cascade ou de façon cumulative dans le temps.

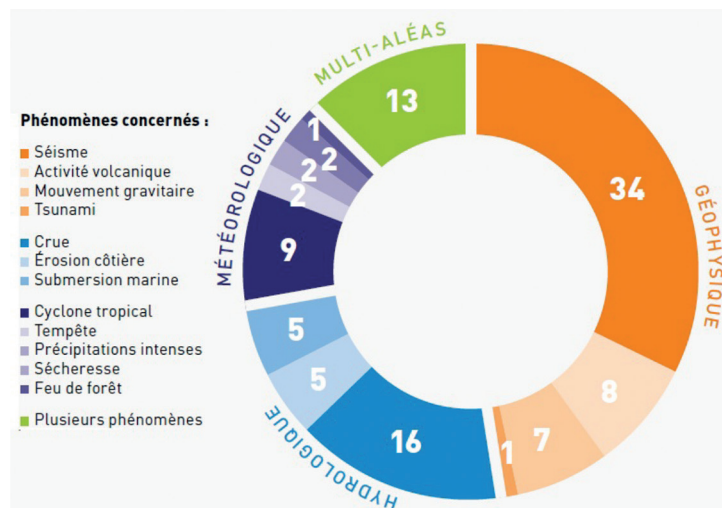


Figure 1 : Répartition des projets financés selon le ou les phénomènes concernés par l'étude (en nombre de projets).

Une focalisation sur la connaissance de l'aléa et les mesures de prévention

Le classement des projets par grandes phases du cycle de la prévention et de la gestion des risques et des catastrophes fait également apparaître des dissymétries (voir la Figure 2 de la page suivante). Les projets portant sur la prévention (en particulier, sur l'étude des vulnérabilités et sur le développement d'outils d'anticipation et d'aide à la décision) ont été les plus nombreux, suivis de près par ceux portant sur la connaissance des phénomènes et la caractérisation des aléas. Les projets portant sur la préparation et la gestion de crise ainsi que ceux dédiés à la phase de relèvement et de reconstruction ont été bien moins nombreux.

Parmi les projets visant à mieux connaître les aléas, près des deux tiers ont porté sur les aléas géophysiques, et plus particulièrement sur les séismes. Ces projets ont permis l'acquisition de nouveaux jeux de données – parfois par la mise au point et l'installation de nouveaux outils d'observation – et le développement de nouveaux modèles (numériques ou analogiques, probabilistes ou déterministes) permettant une meilleure compréhension des phénomènes étudiés et, le cas échéant, un meilleur suivi et une meilleure anticipation.

Les projets s'inscrivant dans une optique d'anticipation et de prévention ont porté principalement sur l'étude des

(11) L'UNDRR classe les aléas naturels par grandes familles (géophysique, hydrologique, météorologique) et par événements (séismes, activité volcanique, mouvements gravitaires, tsunamis, crues, érosion côtière, submersion marine, cyclones tropicaux, tempêtes, précipitations intenses, sécheresse, feux de forêt, etc.). Voir le rapport de United Nation Office for Disaster Risk Reduction (2014), "Peril Classification and Hazard Glossary", IRDR DATA Publication n°1, Beijing, Integrated Research on Disaster Risk.

(12) WALLEMACQ P. & HOUSE R. (2018), "Economic Losses, Poverty & Disasters (1998-2017)", UNDRR and CRED report.

(13) C'est-à-dire 56 % du nombre total des décès sur la période 1998-2017 (WALLEMACQ *et al.* (2018), *Ibid.*)

(14) C'est-à-dire 45 % des personnes affectées par une catastrophe naturelle sur la période 1998-2017 (WALLEMACQ *et al.* (2018), *Ibid.*)

(15) C'est-à-dire 46 % des pertes économiques enregistrées sur la période 1998-2017 (WALLEMACQ *et al.* (2018), *Ibid.*)

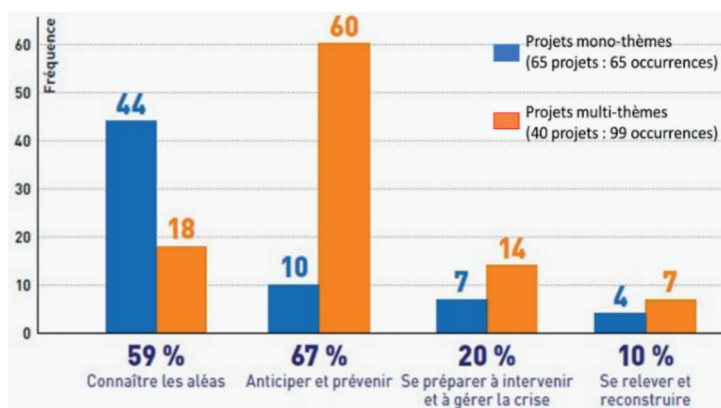


Figure 2 : Classement des projets selon les quatre grandes phases du cycle de gestion et de prévention des catastrophes. Certains projets s'inscrivent dans plusieurs logiques (projets multi-thèmes). Les projets visant à mieux connaître les aléas sont plus souvent monothématiques que ceux visant à mieux connaître et à anticiper la réponse des sociétés. Une très large majorité des projets multithématiques s'inscrit dans l'optique de la prévention, celle-ci étant entendue au sens large d'anticiper et de prévenir le risque.

vulnérabilités (aussi bien biophysiques qu'humaines et sociales) et la gouvernance des risques (voir la Figure 3 ci-après), la gouvernance étant essentiellement abordée par le biais du développement de nouveaux outils d'aide à la décision et la mise en place de dispositifs innovants d'interaction entre chercheurs et acteurs du risque. Peu de projets se sont saisis du cadrage de la résilience et de la « culture du risque » (cette expression pouvant pourtant renvoyer à des travaux extrêmement variés, portant aussi bien sur la mémoire des catastrophes que sur les perceptions et représentations du danger par différents publics, que sur les comportements ou les sentiments).

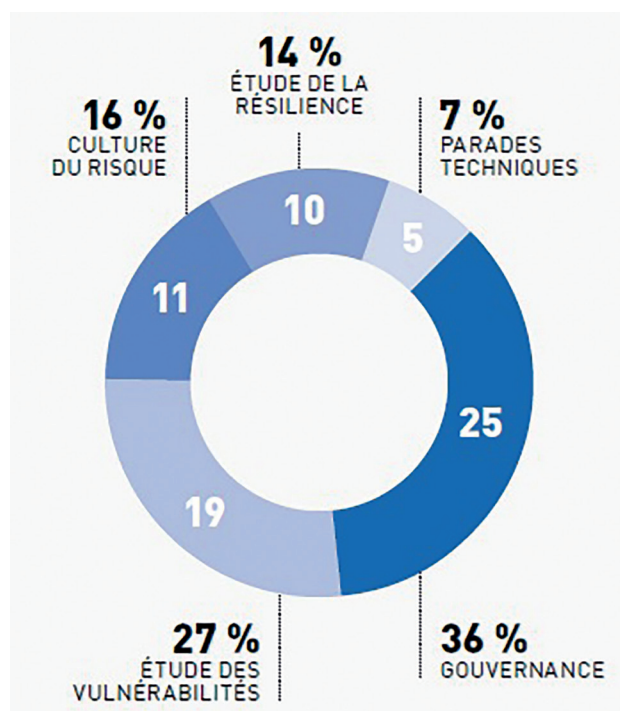


Figure 3 : Répartition thématique des soixante-dix projets traitant des questions d'anticipation et de prévention (en nombre et pourcentage de l'ensemble de ces projets).

Très peu de projets se sont intéressés aux parades techniques contre l'aléa (constructions parasismiques, anticycloniques, digues, etc.) et à la manière dont ces solutions peuvent s'intégrer dans une démarche plus globale de réduction des risques. Enfin, on peut s'étonner du faible nombre de travaux ayant porté sur les enjeux théoriques de la modélisation et de la quantification du risque.

Les projets dédiés à la préparation et à la gestion de crise se sont, en général, focalisés sur le développement d'outils d'aide à la décision (gestion des évacuations, des incertitudes, des flux massifs d'informations en cellule de crise, etc.), souvent en partenariat avec des professionnels de l'urgence. Bien que le développement de systèmes de prévision et d'alerte rapides soit un enjeu identifié comme majeur par la communauté internationale, peu de projets s'y sont intéressés.

Les projets portant sur le relèvement et la reconstruction sont issus pour la majorité d'entre eux de la procédure d'appels à projets dit « Flash ». Lancés pour répondre à un besoin de connaissances d'un territoire qui vient d'être frappé par une catastrophe, ces appels visent le plus souvent et assez explicitement l'analyse de la phase post-catastrophe et les démarches de recherche orientées vers l'action.

Recommandations pour la recherche à l'horizon 2030, issues de la journée d'échange du 21 novembre 2019

Le 21 novembre 2019, une journée d'échange a été organisée à l'Institut de physique du globe de Paris par l'ANR, l'Alliance nationale de recherche pour l'environnement (AllEnvi) et l'Alliance nationale de recherche des sciences humaines et sociales (Athéna). L'ambition de cette journée était de soumettre les éléments du bilan réalisé à l'initiative de l'ANR à la communauté scientifique et de l'interroger sur la façon dont elle envisageait le futur dans ce domaine. Une large part de la communauté scientifique française travaillant sur les catastrophes et les risques était représentée ainsi que certains acteurs-clés de la prévention. Plusieurs ateliers ont été organisés invitant à questionner les thèmes et défis de recherche émergents, ainsi que le devenir de la communauté et les actions à envisager pour améliorer sa visibilité sur la scène européenne et internationale.

Les thèmes émergents qui ont été identifiés peuvent être regroupés en sept grandes orientations :

- les approches multirisques prenant en compte les effets induits et les concomitances ;
- la gestion intégrée des risques naturels *via* une approche inter- et transdisciplinaire permettant la capitalisation des connaissances et des approches, et leur mobilisation pour l'action ;
- la caractérisation des phénomènes extrêmes et des risques, en particulier hors du cadre stationnaire : métrique, formalisme et paradigme décisionnel associé au choix des mesures de mitigation ;
- les dimensions participatives, collaboratives ou transverses de la recherche, et les questions de partage des

connaissances en lien avec les « politiques fondées sur les faits » (*evidence-based policy*) ;

- les représentations et comportements face aux risques ;
- l'intégration des données provenant de nouveaux types de capteurs, comme les capteurs citoyens, de même que des archives non conventionnelles (*proxies*, sources historiques, etc.)
- la capitalisation des résultats de la recherche, et le rôle des retours d'expérience.

Les sujets suivants ont également été particulièrement discutés. La massification des données dans le domaine des risques naturels et l'adaptation d'outils de l'intelligence artificielle de type *machine learning* font émerger des défis en termes de méthodes (traitement des données en temps réel, validation et interopérabilité des bases de données, valeurs extrêmes, descente d'échelle, etc.) et d'infrastructures (stockage à long terme, maintenance, temps de calcul, outils mathématiques adaptés). La question de l'incertitude s'y pose de façon récurrente, tant au niveau des modèles qu'au niveau de ce qui est transmis aux différents acteurs de la décision et à la population. La collecte, l'analyse et la modélisation de séries de données sur des échelles de temps long sont un enjeu fort, dont le succès dépend de la constance des moyens pour la recherche, et doivent permettre d'avancer dans l'analyse de la non-stationnarité des phénomènes et des risques (liés au changement global, au climat ou à d'autres causalités : variabilité « naturelle », combinaison de non-stationnarités complexes, comportements des populations, gouvernance des systèmes, etc.), la quantification des risques à progression lente et l'observation des situations post-catastrophe dans le temps. Enfin, il semble important de promouvoir le développement de nouveaux capteurs (notamment pour les zones inaccessibles) et de dispositifs d'alerte multirisques, mais aussi l'acquisition de données participatives (actives ou passives), le *crowdsourcing*, etc., qui sont autant d'instruments directement liés au développement croissant des sciences participatives.

Des obstacles ont été mentionnés spontanément qui limitent la qualité des recherches conduites, ou *a minima* altèrent les conditions de mise en œuvre des projets de recherche :

- Les financements sont jugés trop souvent associés à des événements ponctuels avec pour effet de segmenter la recherche et de la structurer sous une forme réactive qui empêche la prise de recul, la synthèse, et limite la capacité d'analyse sur le long terme. Les appels à projets « Flash » en sont un bon exemple. Des observatoires locaux pourraient-ils aider au suivi post-catastrophe et aux retours d'expérience ?
- Autour de la mise en œuvre du Règlement général de la protection des données (RGPD) sont apparues des problématiques juridiques et éthiques entravant la production scientifique : 1) frein à l'accès rapide aux données en situation post-catastrophe (protection du chercheur, consentement éclairé, contextes dégradés soumis à d'autres urgences...) et 2) position éthique des chercheurs sur le terrain (charte précisant les rôles respec-

tifs des missions d'expertise et de recherche) et position des acteurs de terrain dans les cas d'expérimentation sociale.

- Les participants ont aussi évoqué les difficultés de l'accès aux données publiques, notamment post-catastrophes, issues des ministères et des agences ou des plateformes commerciales, comme Netatmo, Airbnb, etc.

Les participants se sont accordés sur le besoin de structurer la communauté des risques dans son ensemble (naturels et socio-naturels, technologiques, environnementaux). Le développement d'un réseau devrait permettre de partager la connaissance, mais aussi de s'organiser pour pouvoir répondre aux appels à projets ou encore de faire remonter les priorités de la communauté aux instances décisionnaires, en matière de stratégie scientifique et de financements. Une première étape serait de prolonger dans le temps le contact instauré entre le GET « risques » d'AllEnvi, qui a contribué à l'organisation du séminaire, et les participants. Des pistes d'action de plus long terme ont également été proposées : réaliser une cartographie concise des acteurs du risque (académiques, opérateurs de l'État, acteurs de terrain...) et des compétences et moyens disponibles ; organiser une réflexion sur la sémantique et les concepts communs ; participer à des appels à projets inter-organismes français sur le principe de financements *in kind* ; créer un observatoire homme-milieu (ou un site atelier) pour favoriser les approches holistiques transdisciplinaires et transverses autour d'un même objet ; œuvrer à l'émergence d'un appel à projets européen partenarial de type Eranet ou EJP, en s'inspirant, par exemple, du réseau BiodivERSa, de la JPI Climate ou de Water.

En guise de conclusion

Ce premier état des lieux des projets de recherche financés par l'Agence nationale de la recherche sur les risques et les catastrophes naturels soulève de nombreuses questions qui sont autant de pistes de travail pour la communauté scientifique. Ce travail en deux étapes, menés par l'ANR d'abord, puis par les Alliances nationales de recherche AllEnvi et Athéna, aura réussi à engendrer une véritable dynamique de réflexion collective. Celle-ci doit désormais être poursuivie suivant trois axes principaux :

- préciser le périmètre et les enjeux des questions prioritaires ;
- appréhender la place que la recherche française souhaite et peut investir dans le paysage international et lui permettre de se positionner pour qu'elle puisse jouer pleinement son rôle dans la poursuite de cette ambition commune qu'est la réduction des risques de catastrophe ;
- et approfondir le travail préliminaire sur les projets de recherche en allant collecter les résultats produits, et en favorisant leur appropriation par les bénéficiaires et utilisateurs finaux (services publics, populations, collectivités, société civile...).

WannaCry, une frayeur à l'échelle planétaire

Par Jean-Luc AMINOT

Commissaire divisionnaire honoraire – Université de Paris (Master Ingénierie des risques)

Le 12 mai 2017, le monde entier découvrait le rançongiciel WannaCry, utilisé dans le cadre d'une cyberattaque massive sans précédent. Ce logiciel malveillant, de la famille des rançongiciels, touchait en quatre jours plus de 200 000 ordinateurs dans 150 pays différents. En Europe, le système informatique du NHS, le service de santé britannique, était quasiment paralysé. Plusieurs grandes entreprises privées européennes étaient également impactées.

Le défi posé à nos sociétés développées par WannaCry est celui de l'insécurité latente des réseaux par lesquels transitent chaque jour des milliards de données. Par conséquent, une véritable attitude de vigilance, de protection et de résilience s'avère aujourd'hui nécessaire, et ce malgré une connaissance perfectible des patrimoines informatiques, une hétérogénéité croissante des systèmes, et du fait des obligations liées à la protection des données personnelles.

C'est une véritable stratégie d'ensemble que les organisations se voient conviées à déployer, laquelle doit permettre de construire un état d'esprit de vigilance, une protection technologique efficiente et une résilience authentique.

Le 12 mai 2017, le monde entier découvre le rançongiciel WannaCry (« envie de pleurer »), utilisé dans le cadre d'une cyberattaque massive sans précédent. Nul ne le sait encore, mais rien ne sera plus comme avant : c'en est fini d'une relative tranquillité et d'une apparente sécurité dans la navigation sur la Toile, non seulement pour les individus, mais aussi, et peut-être avant tout, pour les organisations, qu'il s'agisse d'entreprises privées ou d'administrations publiques.

WannaCry, une attaque d'un genre nouveau

Ce logiciel malveillant fait partie de la famille des rançongiciels (*ransomwares*, en anglais). Lorsqu'il a pénétré une première machine (ordinateur de bureau, portable, serveur d'entreprise...), la charge virale qu'il renferme s'active, elle « prend en otage » les données présentes sur l'ordinateur en les chiffrant avec une clé cryptée, les rendant inaccessibles à l'utilisateur. Ce dernier, en allumant sa machine, ne voit alors plus qu'un message lui demandant de payer une rançon à envoyer à une adresse de paiement en monnaie virtuelle, en bitcoins... Invisibilité et opacité de la transaction garanties.

Des conséquences rapides et notables

Ce qui distingue WannaCry des autres types d'attaques jusque-là rencontrées, c'est l'extrême rapidité de sa diffusion. Ce logiciel malveillant, particulièrement virulent, mais

d'une conception somme toute assez rudimentaire, se réplique et se propage très rapidement.

Initiée le 12 mai 2017, l'attaque se poursuit jusqu'à la découverte d'une solution provisoire, le 15 mai suivant. Pendant ces quatre jours, au moins plus de 200 000 ordinateurs dans 150 pays sont affectés, avec des pertes économiques estimées entre quelques centaines de millions et plusieurs milliards de dollars. D'après Kaspersky Labs, le pays le plus touché aurait été de très loin la Russie, suivie de l'Ukraine, de l'Inde et de Taïwan.

En quatre jours, WannaCry a eu le temps de causer des dommages conséquents. En Europe, la Grande-Bretagne a été sévèrement affectée : le système informatique du NHS, le service de santé britannique, a été quasiment paralysé. Dans de nombreux hôpitaux, les opérations non urgentes ont dû être repoussées. Aucun patient ne semble avoir été mis en danger ; mais avec 19 000 rendez-vous annulés ou perturbés, le service a enregistré des pertes de 92 millions de livres, dont 73 millions au titre du nettoyage et de la mise à jour des systèmes informatiques.

Plusieurs grandes entreprises privées européennes ont été touchées, dont l'opérateur Telefonica en Espagne, la Deutsche Bahn, et Renault, qui a connu des perturbations sur des chaînes de montage. Selon une source syndicale, l'usine de Sandouville (Seine-Maritime), qui emploie 3 400 salariés, a notamment été touchée.

Fleuron français du bâtiment, Saint-Gobain a aussi été fortement impacté par WannaCry, avant de subir les coups de l'autre grand *ransomware*, NotPetya, en juin 2017. La firme estimera à 220 millions d'euros de chiffre d'affaires, et à 80 millions d'euros de résultat d'exploitation, ses pertes dues aux cyberattaques sur la première moitié de 2017.

Les origines de WannaCry

Bien qu'il soit particulièrement ardu de nos jours d'attribuer avec certitude la paternité d'une attaque informatique d'une telle ampleur, nombre de chercheurs et de services d'intelligence, au sens anglo-saxon du terme, se sont penchés sur la question.

Il semble qu'à l'origine, la NSA (National Security Agency) se soit fait dérober, dans des circonstances restant à définir, un « exploit » (un élément de programme informatique permettant d'exploiter une faille de sécurité dans un système), dénommé EternalBlue. Il s'agissait d'un programme malicieux permettant d'exploiter dans le plus grand secret une faille latente dans la suite logicielle Windows. De telles failles, lorsqu'elles sont ainsi activées, sont dites *zero day*, car elles ne possèdent aucune antériorité ; de ce fait, la mise au point d'une contremesure s'en trouve largement complexifiée, et l'exploit peut générer très rapidement des dégâts irréversibles.

Selon le CERT-FR, la faille exploitée par WannaCry a été documentée par Microsoft dans son bulletin de sécurité MS17-010 du 14 mars 2017 accompagnant le *patch* corrigeant cette vulnérabilité considérée comme critique.

Les créateurs de WannaCry se revendiquent comme un groupe de hackers activistes répondant au nom de Shadow Brokers (« les courtiers de l'ombre »). Diverses hypothèses ont circulé quant à leur identité ; l'analyse du code de WannaCry a mis en évidence que certains caractères avaient été obtenus à partir d'un clavier à caractères coréens, mais rien d'avéré n'a pu être établi, si ce n'est qu'une telle organisation, quelle que soit sa taille et son origine, possédait un pouvoir de déstabilisation majeur à l'échelle de la planète.

Les concepteurs de WannaCry ont donc couplé EternalBlue à quelques lignes de code, aux fins de créer ce que l'on appelle un ver, c'est-à-dire un virus auto-répliquant et autonome, une fois lancé dans l'univers des réseaux. Un ver comme WannaCry contamine tous les ordinateurs connectés au réseau auquel appartient la première machine infectée. Il se propage ensuite sans aucune intervention humaine : nul besoin d'ouvrir la pièce jointe d'un *e-mail*, ni même de brancher physiquement une clé USB contaminée à une machine. Au-delà du seul réseau local, WannaCry scanne Internet pour trouver des ports réseau semblables et vulnérables à EternalBlue.

En général, les systèmes d'exploitation les plus vulnérables aux « exploits » sont aussi les plus anciens, parce qu'ils ne sont plus ou peu mis à jour. Or, dans le cas de WannaCry, l'écrasante majorité des victimes avaient installé sur leurs machines (98 %), sous Windows 7, la version alors la plus récente de ce système d'exploitation.

WannaCry, un révélateur salutaire

Le défi que l'attaque WannaCry (et celles qui ont suivi) pose à nos sociétés développées est celui de l'insécurité latente des réseaux par lesquels transitent chaque jour des milliards de données, le plus souvent en clair. Or, ces données sont source de valeur, en raison de leur nature (données personnelles, données de transactions, données sensibles liées à des brevets...).

La grande leçon à tirer de Wannacry est simple : même en l'absence de signes précurseurs, ou d'impératif réglementaire ou légal (ce qui tend à devenir rare), une véritable attitude de vigilance, de protection et de résilience s'avère de nos jours nécessaire pour qui veut emprunter Internet pour faire transiter des données, quelle qu'en soit la teneur.

Une nouvelle forme d'insécurité créée par trois défis majeurs

Les défis ainsi posés sont immenses et imposent tout d'abord de maîtriser au sein de chaque structure, quelle que soit sa dimension et sa dispersion à travers le monde, l'ensemble des architectures, des flux et des implantations matérielles et logicielles.

Le défi de la connaissance du patrimoine organisationnel

Avec l'émergence d'Internet, puis le développement des capacités de stockage en *cloud* (nuage), le nombre d'applications informatiques utilisées au sein des entreprises a explosé. Si les responsables de la sécurité informatique « traditionnelle » sont particulièrement sensibilisés à l'importance des opérations de maintenance, telles que les mises à jour des postes clients et serveurs, ce n'est pas forcément le cas des équipes opérationnelles, qui, par définition, se concentrent davantage sur la continuité de l'activité.

C'est ainsi qu'une étude récente de la société de conseil Tanium (2019) a montré que les directeurs de services informatiques interrogés se disaient freinés dans cet exercice de mise à jour par les directions opérationnelles : 94 % des DSI français prétendent ainsi avoir déjà renoncé à une mise à jour de sécurité par peur de son impact sur l'activité commerciale de l'entreprise.

Or, plus les établissements sont imposants et donc potentiellement « riches », et plus la migration vers un nouveau système peut s'avérer complexe : dimension du parc à migrer, capacité financière à absorber les coûts induits... Autant de raisons qui freinent les opérations de migration vers des systèmes plus modernes et donc, en théorie, mieux sécurisés. La tentation est alors grande pour un groupe de hackers de chercher à exploiter une ou plusieurs failles dans un tel environnement.

Jusqu'à ce que survienne l'épisode WannaCry et ceux qui l'ont suivi (NotPetya, notamment), qui s'appuient justement sur les systèmes d'exploitation non mis à jour ou obsolètes, ce type de situation ne posait pas à proprement parler de problèmes de sécurité. C'est ainsi que de nombreuses entreprises ont vu leurs systèmes d'information devenir inopérants en quelques heures seulement.

Le défi de l'hétérogénéité croissante des systèmes

Les systèmes informatiques des entreprises sont de nos jours équipés de nombreux systèmes d'exploitation différents, on y trouve les principales versions de Windows, de Mac OS X, sans oublier les différentes distributions de Linux. Chaque version de chaque OS ayant ses propres mises à jour, il est aisé d'imaginer la complexité que cela apporte dans la bonne gestion des mises à jour.

De plus en plus, les entreprises possèdent de multiples sites et sont présentes sur plusieurs continents à la fois ; leur architecture informatique suit la même logique. Ce qui conduit les informaticiens à gérer des environnements distribués dans le monde entier, avec un accès plus ou moins aisé selon le réseau et le pays d'implantation.

De nos jours, quelles que soient les études considérées, il appert qu'un ordinateur ou serveur sur 6, voire 5, est masqué aux cartographies opérationnelles des grandes DSI. Comment, dans ces conditions, opérer l'intégralité de toutes les mises à jour de toutes les machines participant au même réseau ? Les hackers se sont fait forts d'exploiter largement ce type de failles.

Aujourd'hui, la menace de type WannaCry demeure endémique : des millions de tentatives d'infections sont stoppées tous les mois ; plusieurs milliers de variantes éphémères parcourent encore la Toile. Dans un article récent (2019), l'éditeur Sophos confirmait que 12 480 variantes uniques avaient été observées fin 2018, et 6 963 en août 2019 (dont 80 % étaient nouvelles).

La persistance de la menace WannaCry est en grande partie due à la capacité de ces nouvelles variantes à contourner le premier antidote mis au point le 15 mai 2017. Toutefois, lorsque les chercheurs de Sophos ont analysé et exécuté un certain nombre de ces maliciels, ils ont constaté que leur capacité à chiffrer les données avait été neutralisée : la conséquence *a priori* d'une corruption de code.

Le défi de la protection des données personnelles

Au-delà de la difficulté de maintenir à jour des parcs informatiques fortement hétérogènes, dispersés, sous-traités... une révolution récente, liée à l'avènement de la préoccupation majeure que constitue aujourd'hui en Europe la protection des données personnelles, est venue complexifier encore la tâche des managers privés et publics : il s'agit de l'entrée en vigueur du Règlement général pour la protection des données (RGPD), le 15 mai 2018, dont les dispositions ont été complétées par la loi du 20 juin 2018 sur la protection des données personnelles.

Tous les organismes qui traitent de telles données doivent mettre en place des mesures pour prévenir les violations des données et réagir de manière appropriée en cas d'incident. Les obligations prévues par le RGPD visent à éviter qu'une violation cause des dommages ou des préjudices aux organismes, comme aux personnes concernées.

Les nouvelles obligations concernant les violations de données sont prévues par les articles 33 et 34 du RGPD. Elles précisent l'obligation générale de sécurité que

doivent respecter les organismes qui traitent des données à caractère personnel.

Au titre de ce principe essentiel, ces organismes doivent mettre en place des mesures visant à prévenir toute violation de données et à réagir de manière appropriée en cas de violation, c'est-à-dire mettre fin à celle-ci et en minimiser les effets.

Ces dispositions visent à préserver à la fois les responsables du traitement, afin de protéger leur patrimoine informationnel, en leur permettant notamment de sécuriser leurs données, et les personnes affectées par la violation, afin d'éviter que cette dernière ne leur cause des dommages ou préjudices, en leur permettant notamment de prendre les précautions qui s'imposent en cas d'incident, dans le plus grand secret.

Il est dès lors recommandé que les organismes qui traitent des données personnelles (responsables du traitement ou sous-traitants) prévoient et mettent en place des procédures globales en matière de protection de ces données.

Ces procédures doivent être envisagées selon un mode global : la mise en place de mesures visant à détecter immédiatement une violation, à l'endiguer rapidement, à analyser les risques engendrés par l'incident et à déterminer s'il convient de notifier celui-ci à l'autorité de contrôle, voire aux personnes concernées. Ces procédures participent ainsi à la documentation de la conformité au RGPD.

La nécessaire construction par les organisations d'une stratégie de résilience

Finalement, c'est une véritable stratégie d'ensemble que les organisations se voient conviées à déployer, laquelle doit permettre de construire un état d'esprit de vigilance, une protection technologique efficiente et une résilience effective.

Cette stratégie est à bâtir au plus haut niveau de la pyramide hiérarchique, ce qui implique que le haut management soit sensibilisé et convaincu de la nécessité de constituer une véritable stratégie de prévention et de résilience liée à l'utilisation des réseaux de communication (et pas seulement d'Internet).

Il importe que les décisions prises soient appuyées au plus haut niveau, et qu'un *reporting* de qualité, clair et fiable, soit institué entre les différentes entités de l'organisation (technologique, juridique, opérationnelle, ressources humaines, direction générale), de bas en haut, et inversement. Seuls une réelle transparence de l'information, de tous les instants, et l'emploi de messages de communication exempts de jargon technique, et donc aisément assimilables par les sphères dirigeantes, sont de nature à permettre la mise en œuvre d'une telle stratégie, pour des résultats gagnants.

Un état d'esprit général de vigilance doit ensuite être créé au sein des structures, lequel doit être entretenu et régulièrement testé.

Il est essentiel de convaincre chaque utilisateur qu'il est un maillon à part entière de la chaîne des systèmes d'information. À ce titre, et dès son arrivée dans l'entité, il doit

être informé des enjeux de sécurité, des règles à respecter et des bons comportements à adopter en matière de sécurité des systèmes d'information, au travers d'actions de sensibilisation et de formation.

Ces dernières seront régulièrement reconduites et aborderont à chaque occasion l'évolution des risques, des menaces, mais aussi des parades disponibles. Un utilisateur averti peut à lui seul éviter beaucoup de risques.

La formation des collaborateurs aux bons réflexes en matière de sécurité informatique peut s'appuyer sur une charte informatique – pour formaliser et partager les bonnes pratiques –, des sessions d'*e-learning* – pour former chaque collaborateur à son rythme –, des formations de groupe – pour le partage d'expérience et l'émulation –, des dispositifs ludiques et participatifs, comme des tests sous forme de quiz, des tests d'intrusion en *social engineering* et autres *serious games*.

Quel que soit le choix du ou des vecteurs, ce travail de sensibilisation doit être encouragé et porté par la direction générale, proposer des contenus pratiques et liés aux usages réels des utilisateurs, se limiter à quelques sujets importants, les plus pertinents dans le contexte de l'organisation, mais les traiter en profondeur. Il ne doit pas être réservé à certains collaborateurs, mais être mené auprès de l'ensemble du personnel, et doit s'accompagner d'un contrôle des acquis en fin de formation. Enfin, il est primordial de procéder à des « piqûres de rappel » régulières, du fait de l'évolution permanente des menaces.

En termes de protection des structures et des systèmes, la meilleure politique passe par une attitude proactive, centrée sur les possibilités prometteuses que recèlent les derniers développements de l'intelligence artificielle. Plus que guérir le mal lorsqu'il survient, il convient d'organiser sa détection et son confinement en dehors des structures de l'organisation. À titre d'exemple, en matière de détection, Saint-Gobain s'est tourné vers l'intelligence artificielle, recourant à un IDPS (*Intrusion Detection and Prevention System*) : un système qui scrute le réseau à la recherche d'activités anormales, en avertit les administrateurs et tente de bloquer les menaces.

Plus globalement, l'avenir est aux plans d'action globale, impulsés depuis le *top management*, à la fois complets, explicites, ancrés dans la durée et dotés de leur propre dispositif d'évaluation pérenne. La sécurité des réseaux empruntés par nos organisations ne relève pas d'un effet de mode, mais d'un défi permanent. Aussi les réponses doivent-elles se montrer à la mesure ; citons par exemple le plan d'action pour la sécurité des systèmes d'information mis en œuvre par une instruction ministérielle des Affaires sociales et de la Santé en novembre 2016⁽¹⁾, soit six mois avant l'épisode WannaCry. Si le NHS britannique a beaucoup souffert à cette occasion, il n'en a pas été de même en France... Ce n'est sans doute pas un hasard.

(1) Ministère des Affaires sociales et de la Santé, instruction N°SG/DS-SIS/2016/309 du 14 octobre 2016 relative à la mise en œuvre du plan d'action sur la sécurité des systèmes d'information (« Plan d'action SSI ») dans les établissements et services concernés.

Bibliographie

- BONVOISIN G. (2018), « Ransomware : 9 mesures pour se protéger et récupérer ses fichiers », CNET, disponible en ligne : <https://www.cnetfrance.fr/produits/guide-protection-fichiers-ransomware-39836850.htm>
- BOYDRON M. H. (2018), « WannaCry, son histoire », *Cybercover*, disponible en ligne : <https://www.cyber-cover.fr/cyber-documentation/cyber-criminalite/wannacry-son-histoire>
- CASTRO V. (2019), « WannaCry, un an après : les mesures prises par les acteurs touchés », *Cyberguerre-Numérama*, disponible en ligne : <https://cyberguerre.numerama.com/648-wannacry-un-an-apres-les-mesures-prises-par-les-acteurs-touchees.html>
- CERT-FR (2017), Bulletin d'alerte CERTFR-2017-ALE-007, disponible en ligne : <https://www.cert.ssi.gouv.fr/alerte/CERTFR-2017-ALE-007/>
- CNIL (2018), « Les violations de données personnelles », disponible en ligne : <https://www.cnil.fr/fr/les-violations-de-donnees-personnelles>
- DGSI – Intelligence économique (2017), « Les risques cyber liés aux rançongiciels », Flash n°34, http://auvergne-rhone-alpes.directe.gouv.fr/sites/auvergne-rhone-alpes.directe.gouv.fr/IMG/pdf/fi_n34_juin_-_risques_cyber_lies_aux_ranconciels.pdf
- F-SECURE blog (2017), « Ce que le RGPD dit à propos des ransomwares », disponible en ligne : <https://blog.f-secure.com/fr/ce-que-le-rgpd-dit-a-propos-des-ransomware/>
- LIBÉRATION-AFP (2017), « Renault parmi les cibles d'une cyberattaque mondiale », disponible en ligne : https://www.liberation.fr/planete/2017/05/12/renault-parmi-les-cibles-d-une-cyberattaque-mondiale_1569124
- MACKENZIE P. (2019), « WannaCry Aftershock », Sophos, disponible en ligne : <https://www.sophos.com/en-us/medialibrary/PDFs/technical-papers/WannaCry-Aftershock.pdf>
- MANACH J. M. (2017), « «WannaCry» n'est pas une cyberattaque, mais une escroquerie », *Slate*, disponible en ligne : <https://www.slate.fr/story/145575/wannacry-cyberattaque-epicfail>
- MICROSOFT Corporation (2017), Bulletin de sécurité Microsoft MS17-010 – Critique, disponible en ligne : <https://docs.microsoft.com/fr-fr/security-updates/SecurityBulletins/2017/ms17-010>
- MICROSOFT Corporation (2017), « Commencer la mise en application du Règlement général sur la protection des données (RGPD) pour Windows 10 », <https://docs.microsoft.com/fr-fr/windows/privacy/gdpr-win10-whitepaper>
- NAO – National Audit Office (2018), « Investigation: WannaCry cyber attack and the NHS », disponible en ligne : <https://www.nao.org.uk/wp-content/uploads/2017/10/Investigation-WannaCry-cyber-attack-and-the-NHS.pdf>
- PASSWORDREVELATOR.NET (2019), « WannaCry, toujours la bête noire des responsables de la sécurité informatique ? », disponible en ligne : <https://www.passwordrevelator.net/blog/tag/wannacry/>
- TANIUM (2019), « Disruption by Bridging the Resilience Gap Report », disponible en ligne : <https://info.tanium.com/1/286192/2019-03-26/55dm6h>
- VIE PUBLIQUE (2019), « L'essentiel de la loi du 20 juin 2018 sur la protection des données personnelles », direction de l'Information légale et administrative, disponible en ligne : <https://www.vie-publique.fr/eclairage/19591-protection-des-donnees-personnelles-essentiel-loi-cnil-du-20-juin-2018>

Financial catastrophes are sometimes more endogenous *Nuclear Swans* than exogenous *Black Swans*

By Alexis BONNET
and Marko LEHTIMAKI
Methodology Asset Management

Financial catastrophes are more endogenous *Nuclear Swans* than exogenous *Black Swans*: How models, when implemented via financial derivatives, can create self-fulfilling/self-destructing market patterns.

Introduction

Catastrophic market collapses often result from over-reliance on models, whilst investing via financial derivatives: *Derivatives' ability to isolate any part of the risk distribution, in highly levered fashion, makes them perfect in exposing any model's imperfections.* At first, a model inspired strategy can create high profits and encourage its wider and wider use. But ultimately this spiral is likely to turn and result in market crises: such as the 1987 market crash arising from *portfolio insurance*, the 1998 LTCM collapse induced by the *modern portfolio theory* and *value-at-risk* measure, and the 2008 credit meltdown effected by the wide use of the *Gaussian copula model*.

The above mentioned are not bad models, indeed they are some of the very best of financial theory. Similarly, it would be wrong to blame the derivatives as such. The same derivative instruments – when correctly modelled and used – provide the most efficient and robust protection against these very same crashes. In analogy, as nuclear energy can create either destructive warheads or cheap non-polluting electricity, derivative instruments can be either the source of a catastrophe or the salvation against it.

It is the combination of models & derivatives that can be dangerous, and one must be acutely aware of any model's limitations as the use of derivatives will magnify and expose them. In this light rather than considering financial market crises as undiscovered *black swans*, they can be better studied as self-induced *nuclear swans*.

Nature of derivative instruments

Derivative instruments, as to their name, are contracts that *derive* their value from an underlying security via a pay-out formula. This gives them two special characteristics. First, rather than having to buy a primary asset, as mere legal agreements between parties they can be highly capital efficient – i.e. they come with significant intrinsic leverage.

Second, even simple derivatives can isolate specific parts of the return/risk distribution, and this laser-like ability is ever more potent with complex tranches and exotic options.

This dual nature of derivatives – very low capital requirement combined with extreme ability to modify the return distribution – makes them perfect for transferring risk – in the good and in the bad.

For example, a buyer can efficiently protect his over-extended equity book via S&P500 put options. A well-capitalized seller may be perfectly positioned for this as well, for example by having a truly diversified basket of small positions generating steady income. This transaction is very much like an insurance company protecting its clients against fire.

On the other hand, the derivatives can also be used for the bad – such as exploiting the failures of a risk or performance model – either accidentally or on purpose. For example, if an equity manager is judged solely by his Sharpe ratio, his best strategy is not to pick excellent stocks and protect the downside via bought S&P500 put options. His optimal strategy turns out to be exactly the opposite: to sell as many far-out-the-money put options as possible.

Most of the time these options expire worthless, and the manager just collects the option premia. This creates steady and attractive returns in the numerator. Naturally on rare occasion the market will fall significantly, and the sold options become liabilities. Given the position's high non-linearity, this results in catastrophic, bankruptcy type losses. However, when the risk is measured only via standard deviation (as is the case in Sharpe ratio), this effect on the denominator is not commensurate with the more frequent gains. In other words, the model fails by measuring risk solely via the second moment. This failure in turn can be exploited by even the simplest put option strategy – sell the left-tails.

Though manager selection is seldom done on Sharpe ratio alone, even this simple example illustrates the danger of blindly relying on models whilst using derivatives. And there are several examples where this danger has turned out to be anything but theoretical.

1987 market crash arising via portfolio insurance

Black and Scholes (1973⁽¹⁾) *Option Pricing Model* in many ways created the modern derivatives market by introducing two main innovations: a closed form formula for pricing options, and a mechanism whereby options can be created via a self-financing, *replicating trading strategy* where the underlying security is bought and sold in pre-defined, market-level based amounts.

By the second half of 1980s many investors had begun to use options to protect their increasingly equity weighted portfolios. Initially this was done via purchased put options, but given their cost, many investors started creating options in “DIY” manner. In this *portfolio insurance*, rather than buying put options from the exchange, they were created by using the *replicating trading strategy* reducing equity weights as markets declined. The amount to be sold was defined by the Black-Scholes model, i.e. the desired option’s delta.

Initially this strategy worked very well: given the protected downside, investors were able to increase their equity holdings and earn high returns in bull markets. In downturns the put option provided the needed cover. As with any successful strategy, success breeds imitation and ever more investors joined in.

The unravelling spiral occurred in the market down-turn of 1987. As the markets started selling off, the DIY portfolio insurance became a *self-fulfilling force*. Instead of being long convexity, investors were actually short. As markets fell, more and more investors got the signal to sell, resulting in increased downward pressure. Worse still, the strategy assumed smooth/continuous trading, and with the now downward gapping prices, investors were faced with not linearly but quadratically increasing sell orders, facilitating even more violent price gaps, etc.

This self-destruction ultimately resulted in the largest one-day percentage fall in history, S&P 500 index lost 20.5% during the Black Monday, 19th of October 1987. The Federal Reserve itself was forced to intervene before any market stability were to be regained.

1998 LTCM failure induced by Modern Portfolio Theory and Value-At-Risk

An even more fundamental financial model was the *Modern Portfolio Theory* developed by Markowitz (1952), Sharpe (1964), and Lintner (1965). It answered the problem of how to create a portfolio from several correlated opportunities – i.e. how to optimise risk vs return. Related was the later Value-At-Risk model, which allowed the quantification of

tail-losses of this portfolio. For example, it would tell that at 95% confidence the daily/weekly/monthly loss of a portfolio would be less than x dollars.

This model combination was particularly useful in creating diversified portfolios of convergence trades – highly correlated pairs of instruments that from time to time experienced small discrepancies. In a convergence trade, one bought the cheap asset, sold the expensive one, and hedged out any remaining risks. Thus, each side of a trade was assumed to be tightly coupled, but as a group the trades were regarded as relatively independent.

As the dollar opportunity in these trades was generally quite small, efficient implementation required the use of derivatives – with their unique ability to isolate the desired risk and their high embedded leverage. The most notable user of this strategy was Long Term Capital Management (LTCM), and the strategy’s attractiveness was highlighted by the LTCM’s extremely high returns, which for the first four years were 21%, 43%, 41% and 27% after fees.

The unravelling of this models & derivatives combination came on the 17th of August 1997 when Russia devalued its rouble and defaulted on \$13.5 billion of debt. While LTCM suffered losses on its direct Russian positions, these were relatively small and not fatal. However, the ripples that the event unleashed were.

In particular, the strategy’s high returns had attracted a number of bank proprietary desks and relative value hedge funds, each employing the same modelling and portfolio construction approach. Indeed, in many cases the entry of new players had induced the desired convergence. Now the system reversed, and the sudden Russia shock simultaneously increased everyone’s VaR coefficients, triggering risk reductions in every trading book. With everyone selling the same positions, the losses became ever wider, again increasing VaR measures, which in turn called for ever larger risk reductions, etc.

This simultaneous unwinding created conditions that were in perfect opposition to the model’s assumptions: single trade’s internal components became unhitched, and the trades themselves almost perfectly correlated, and all parts loss making. As Victor Haghani, a partner at LTCM, is noted to have said at the time “it was as if there was someone out there with our exact portfolio... Only it was three times as large as ours, and they were liquidating all at once⁽²⁾”.

This self-fulfilling, across markets liquidation was critically driven by the over-reliance on model assumptions and the above-mentioned heavy use of derivatives. Indeed, the inherent leverage of the positions was truly staggering. For example, for LTCM the 1998 starting equity of \$4.7 billion was supporting derivative positions of over \$1.25 trillion.

As with the portfolio insurance crisis of 1987, this was not an exogenous black swan, but an endogenous nuclear

(1) Or more precisely the Bachelier (1900), Black and Scholes (1973), Merton (1973) option pricing model.

(2) As a historical detail, the two main contributors to the Option Pricing Theory – Myron Sholes and Robert Merton – were at the centre of the 1998 crisis, in this case as partners of LTCM.

swan created by model simplifications/assumptions exploited by the heavy use of derivatives. Much like 1987, the crisis was only subdued by the intervention of the Federal Reserve: in this case forcing together a bank consortium with enough capital for a bailout, and a controlled unwinding of LTCM's portfolio ⁽³⁾.

2008 credit meltdown effected by the wide use of Gaussian Copula

Modern Portfolio Theory optimizes risk/return trade-off under normal market conditions where risk can be proxied via small price movements and assets' covariance. A much more fundamental notion of risk is a default. This deeper portfolio problem was addressed by the Gaussian Copula Model Li (1999, 2000), where assets now could include credit risk and where defaults could be positively correlated ⁽⁴⁾.

Modelling joint failures had historically been mostly an art, and always the weakest link in pricing and measuring credit portfolios. Gaussian copula model provided an intuitive, simple answer and was enthusiastically embraced by all market participants: banks, investors, rating agencies, and even regulators. Because of the model's simplicity – not despite of it – Gaussian copula became the lingua franca of credit markets (ABS, MBS, and CDOs). In particular, all the rating agencies incorporated it into their rating methodologies – and all did so with relatively low correlation assumptions. These two choices were to have wide ranging consequences. In particular, in sub-prime mortgage securitization the Gaussian Copula Model combined with a new derivative instrument, Collateralized Debt Obligation (CDO), facilitated large-scale creation and transfer of default risk.

On the supply side the set model allowed banks to take advantage of an apparent credit arbitrage: for a given credit rating sub-prime mortgages were trading at wide spreads. However they could be packed first into Mortgage Backed Security (MBS), and then the tranches of MBS in turn into various CDOs with its own tranches. The apparent diversification benefit, computed via Gaussian Copula model and low correlation assumptions, ensured that a very large portion of the resulting products received AAA and AA ratings – but still crucially with high positive yield spreads in comparison to alternatives. So attractive was this business that many banks moved from “originate to hold” to “originate to distribute” business models. On the demand side this period was characterized by lack of high credit alternatives, and the achieved high yielding AAA and AA ratings allowed investors who otherwise would not have participated in this asset class, to become its main buyers.

(3) Interestingly, the two banks that declined to participate in the LTCM bailout consortium were Bear Sterns and Lehman Brothers – decision that came to revisit them 10 years later.

(4) Copulas in general describe dependencies between random variables. Based on Sklar's theorem, any multivariate joint distribution can be expressed in terms of univariate marginal distributions and a copula function giving the dependency. Gaussian copula function is the simplest copula representation, giving in this case a one factor, one parameter model for joint defaults.

This demand for CDOs created a backward demand for the underlying mortgages, in turn inducing a credit boom and a housing bubble. The positive spiral was self-fulfilling since as long as house prices increased, defaults remained low. Any failing loans could be covered via re-mortgaging or a simple house sale, re-enforcing the model's assumptions of low mortgage default probability and low correlations.

Ultimately, this spiral reached its peak with increasingly questionable underwriting practices and starting in 2006 declining housing prices. Increased occurrences of negative equity created defaults and the main unwinding started in 2007 when the two hedge funds ran by Bear Sterns failed and their collateral turned out to be worthless. In the ensuing panic, mortgage issuance disappeared, housing prices fell further, defaults increased etc. As with the LTCM crises, the original model assumptions turned onto their heads – default occurrences were actually very high and correlations nearly one. Again, the Federal Reserve had to intervene with the very well known, and still ongoing effects.

Conclusion

The above crises briefly illustrate the dangers of simple models and their implementation via derivatives. On the surface, all three cases highlight a common failure – their reliance on normal (elliptical) distributions and stable correlations. For example, Gaussian copula's failure to capture tail dependencies is very similar to Black-Scholes model's inability to consider heavy-tails in equity returns. Similarly Modern Portfolio theory explicitly relies on variance as the measure of risk and constant covariances. Even in a non-parametric VaR model, returns have to be stable enough to be estimated from relatively recent price history. In other words, all these standard models of finance fail to model extreme events and any evolution of dependencies.

One partial solution has been improved modelling and testing of models' assumptions and limitations, such as is done at Methodology. For example, the undesirable property of asymptotic independence in Gaussian Copula can be remedied by other copula functions, Portfolio construction can be done via much more robust Methodology Measure, Extreme Value Theory tools in turn can incorporate effects of heavy-tails.

However, it is unlikely that this is a complete solution. Models will always be simplifications of reality – “All models are wrong, but some of them are useful”. The above crashes illustrate the very endogenous nature of the financial crises: the self-fulfilling initial ramp-up, failure and reverse, and the self-destroying rapid melt-down. Thus, we should probably also study the related incentives, feedback and dynamic equilibria. Rather than considering market catastrophes as mere unknown/undiscovered black swans, they may better be studied as self-induced nuclear swans. Otherwise our learning may be a bit like driving a car by looking through a rear-view mirror, while trying to fix the braking system on the run. It does not sound reasonable to rely on the central banks and one taxpayer to pick up the broken pieces from our regular crashes.

Fukushima : décider en situation extrême

Par Franck GUARNIERI et Sébastien TRAVADEL

MINES ParisTech/PSL, Centre de recherche sur les risques et les crises (CRC)

À travers la décision du directeur de la centrale nucléaire de Fukushima d'injecter de l'eau de mer pour refroidir les combustibles des réacteurs, nous montrons les limites d'une sécurité définie par le seul respect des référentiels normatifs. Les actions sans précédents accomplies par les opérateurs de la centrale durant plusieurs jours pour éviter la fusion des réacteurs rappellent que la gestion d'une crise dépend en dernier ressort de l'engagement d'êtres humains, de leur construction d'imaginaires et de leur capacité à opérer des choix, parfois porteurs de lourds enjeux.

Le paradigme de « l'hyper-fiabilité » porte en lui un paradoxe. Afin de le mettre en évidence, considérons un modèle de sécurité défini comme une représentation des conditions de validité d'autres modèles. Ces derniers sont généralement développés par des ingénieurs afin de représenter le fonctionnement efficace de machines, d'organisations, voire d'humains. En pratique, des écarts avec le fonctionnement attendu peuvent être observés. En supposant que le modèle de sécurité permette de prévenir ou de limiter les effets néfastes de ces écarts – propriété que nous formulerons ainsi : *le modèle de sécurité permet de maîtriser les défaillances de tout modèle faillible* – permet-il pour autant de maîtriser ses propres défaillances ?

Si c'était le cas, le modèle serait à la fois susceptible d'échouer dans la prévention des défaillances (en tant que modèle faillible) et préviendrait ses propres défaillances, ce qui impliquerait qu'il serait infaillible. À l'inverse, si ce n'était pas le cas, c'est que le modèle de sécurité ne maîtriserait pas toutes les défaillances des modèles faillibles, contrairement à sa définition. Les deux assertions aboutissent donc à une contradiction.

Ce cas imaginaire peut se résoudre aisément. Soit le modèle de sécurité est infaillible « par conception » et auquel cas les défaillances de tous les autres modèles peuvent être maîtrisées, bien que cette infaillibilité risque d'être indémontrable. Soit, de manière plus vraisemblable, un tel modèle n'existe pas. À l'instar de la logique axiomatique, la « complétude » des modèles de sécurité est une illusion.

Pourtant, les industries dites à « haute fiabilité » reposent sur des modèles de sécurité idéalisés, incarnés dans des normes et des doctrines, et censés contenir les effets de toutes les situations de danger. L'accident de Fukushima Daiichi nous enseigne l'utopie d'une telle approche.

Le nœud du problème est la place accordée à la dimension tragique de l'action humaine.

La gestion moderne des risques sacrifie ce tragique à l'esthétique épurée d'une théorie implacable. Chaque événement est réduit à un paquet de facteurs intelligibles qu'un ensemble bien circonscrit de règles permet de maîtriser avec assurance. Cette réduction repose sur un « passage à la limite » : le réel, sondé par des capteurs et vaguement décrit par des lois, est assimilé à un univers où tout est connu ou susceptible de l'être. Dans cet univers clos, les choses sont ou ne sont pas. Les affirmations ne peuvent être que vraies ou fausses. Le calcul probabiliste fait sens et sert à formaliser les limitations de notre connaissance, inhérentes à notre condition humaine imparfaite. Ainsi, l'indétermination n'a pas sa place (Castoriadis, 1975 ; Dupuy, 2004), pas plus que l'acte désespéré, le geste inédit ou l'incertitude radicale.

Ce monde abstrait contraste fortement avec l'expérience des employés de l'opérateur TEPCO qui, du 11 au 15 mars 2011, ont agi ensemble dans un théâtre de guerre. Au climax de la crise, ils se sont unis pour reprendre le contrôle de leurs installations au péril de leur vie et au mépris des institutions qui, quelques heures plus tôt, encadraient leur activité. Au fil des jours, les événements s'imposaient à eux sous forme de chocs, sans lien de nécessité, selon l'aléa des répliques sismiques ou la succession imprévisible des états des réacteurs. Rapidement, les opérateurs conclurent que les procédures de gestion des accidents étaient inapplicables, d'autant que les manuels se trouvaient enfouis sous les décombres.

Afin de s'approprier cet univers insolite, façonné par les destructions dues au séisme, au tsunami ou aux explosions, les opérateurs de Daiichi ont dû se fier aux indications d'instruments de mesure parfois correctes, d'autres fois erronées. Ils ont été amenés à définir de nouvelles règles pour juger de l'efficacité de leurs actions en l'absence de confirmation évidente, comme lorsqu'il leur a fallu inventer des solutions d'injection d'eau dans les

réacteurs pour refroidir les combustibles nucléaires à l'aide de moyens techniques dérisoires. Ils ont dû opérer des choix et assumer leurs conséquences.

Mentir pour survivre

C'est dans ce contexte inédit que Masao Yoshida, le superintendant de la centrale, mentit aux plus hautes autorités de l'État sur les actions menées sur site. Événement extraordinaire s'il en est, révélateur de la réalité de la gestion d'une catastrophe ou, plus précisément, de l'opposition entre les réalités qui s'instaurent inéluctablement entre ceux « sur site » et ceux « en dehors ».

La séquence se déroule dans la soirée du 12 mars 2011. Les occupants de la centrale avaient perdu tous les moyens usuels de surveillance et de pilotage des réacteurs depuis le séisme survenu la veille. Afin d'éviter la fusion des cœurs dont le refroidissement par les systèmes de secours était incertain, Yoshida avait ordonné dès le début de la crise que soient préparés des moyens alternatifs d'injection d'eau dans les réacteurs. Le 12 mars, à 15h36, le bâtiment réacteur 1 explosa à la suite d'une fuite d'hydrogène. À 19h04, les préparatifs pour l'injection d'eau de mer étaient achevés et Yoshida ordonna le début des opérations. De son côté, le Premier ministre japonais, averti de l'imminence de l'injection d'eau de mer, s'interrogeait en physicien sur le risque d'une « recriticalité », c'est-à-dire d'un redémarrage de la fission (ICANPS, 2011 ; NAIIC, 2012). Les autorités s'inquiétaient en outre de ne pouvoir réutiliser le réacteur ultérieurement.

Yoshida reçut par téléphone l'injonction du siège de TEPCO d'interrompre les opérations le temps de répondre au Premier ministre. Il résume ainsi sa décision à l'issue de cet échange téléphonique : « On avait donc fini de faire l'essai et on allait s'arrêter. On avait décidé de s'arrêter. Seulement, moi, arrivé à ce stade, je n'avais aucune intention d'arrêter l'injection d'eau. De plus, ils parlaient d'un arrêt, mais l'on ne savait même pas combien de temps allait durer cet arrêt. Ils auraient parlé d'un arrêt de trente minutes, passe encore. Mais un arrêt avec aucune garantie de reprise... Pour moi, il n'était pas question de me soumettre à un tel ordre. J'ai décidé de faire à ma manière. Alors, j'ai effectivement annoncé à ceux qui se trouvaient à la table de crise que l'on allait arrêter, mais j'avais discrètement pris à part le responsable du groupe "sûreté", M. X, qui était en charge de l'injection, pour lui dire que j'allais annoncer à la cantonade que l'on allait arrêter l'injection, mais que lui, à aucun prix, ne devait arrêter d'envoyer l'eau. Ensuite, j'ai fait un rapport au siège pour dire que l'on avait arrêté » (Guarnieri et Travadel, 2018, p. 88).

Au final, la décision de Yoshida de poursuivre l'injection d'eau de mer a vraisemblablement permis d'éviter une explosion de la cuve qu'aurait pu provoquer la fusion des combustibles du réacteur 1. L'accident pose dès lors la question de la prise de responsabilité des actions menées sur site.

Décider en situation extrême

Dans son témoignage ⁽¹⁾, le superintendant se met en scène en gardien du bon déroulé des opérations se trouvant contraint de surmonter des obstacles créés par ceux censés l'aider. À l'héroïsme, il substitue l'image de celui qui sait où il va, car doté d'un jugement clairvoyant. À ses détracteurs, Yoshida oppose une conviction sans autre forme de justification.

Son comportement n'est cependant pas « irrationnel ». Pour l'appréhender, il faut accorder toute sa place à son récit ⁽²⁾ Yoshida nous narre en effet la manière par laquelle il a redonné du sens à une situation afin de réagir dans un environnement hostile et jusque-là totalement inconnu.

Ainsi, l'une des dimensions constitutives de son action est marquée par l'équivalence implicite entre inaction et chaos : la suspension du temps amène Yoshida à se confronter au néant. La confrontation à cette temporalité revêt la force d'une injonction à agir qui, lorsqu'elle est incompréhensible pour les autres, justifie pour le décideur de recourir à sa seule intuition. « L'intuition » désigne ici le rapport singulier que Yoshida a instauré avec son nouvel univers, celui de réacteurs hors de contrôle, d'une centrale coupée physiquement de l'extérieur et d'une menace directe contre son intégrité. Le décideur est ramené à l'imédiateté de l'action dans une temporalité dont il n'est plus maître. À l'horizon oppressant de finitude répond une cadence effrénée d'actions, qui « vaut » en tant que possibilité d'échapper au destin, sans aucune certitude.

À l'opposé, Yoshida perçoit les occupants de la Résidence du Premier ministre comme des figures fantomatiques, dont le rapport à la temporalité est celui du formalisme et des règles de gestion. Néanmoins, ces règles, réputées garantir une forme de contrôle et de maintien de l'identité des institutions, n'ont plus de légitimité sur le site de Fukushima.

Yoshida est dès lors confronté à l'incommunicabilité de son expérience immédiate. Dans son témoignage, il nous livre sa révolte contre cet état de fait et sa colère toujours vive contre des interlocuteurs incapables de comprendre la situation dans laquelle il était.

Une « catastrophe », par définition, se caractérise en effet par un effondrement de l'imaginaire qui auparavant insufflait un sens à l'action. Pressés socialement d'agir pour éviter un péril irréversible, plongés en « situation extrême » (Travadel, Zawieja et Guarnieri, 2019), les opérateurs de Fukushima ont dû reconstruire un imaginaire collectivement partagé pour donner sens à leur engagement hors normes. D'une part, l'émergence de ce nouvel imaginaire est une condition *sine qua non* de la poursuite d'une ac-

(1) Le témoignage de Yoshida devant la Commission d'enquête parlementaire japonaise a été rendu public. Une traduction française partielle est disponible dans Guarnieri et Travadel (2018).

(2) L'analyse des représentations qui structurent le récit de Yoshida a été conduite, entre autres, à partir de la méthodologie proposée par Labov (2013).

tion collective, potentiellement salvatrice, même si le caractère optimal de celle-ci ne peut être garanti. D'autre part, un tel imaginaire est nécessairement ancré dans l'expérience directe de la situation, dans ses dimensions physiques et émotionnelles, instaurant inévitablement une « topologie » de la crise.

L'imaginaire du sacrifice

Un groupe élabore cet imaginaire collectif par la mise à distance d'un contenu problématique. En l'espèce, l'opposition intérieur-extérieur, exacerbée au fil de la crise, a structuré les rapports entre les occupants de Daiichi et les autorités. Ces derniers, rejetés dans le camp de l'incompétence, ont servi de « victimes émissaires » (Girard, 2010) aux habitants de la centrale, qui ont corrélativement idéalisé leur action pourtant conduite en dehors de toute approbation sociale directe. C'est à ce prix qu'ils ont pu prendre des risques considérables au fur et à mesure que les conditions se dégradent et que la radioactivité augmentait. Cependant, les premiers contacts hostiles avec les populations déplacées ont menacé leur construction imaginaire, les opérateurs de la centrale étant considérés comme responsables des mesures d'évacuation prises par les autorités. Leur « sacrifice » par rapport à une population en prise aux violences de la nature a servi d'ancrage à une reconstruction sociale « hors site ».

À l'intérieur même de l'enceinte de Fukushima, la « dimension sacrificielle » a été omniprésente que ce soit dans le choix des personnes désignées pour se rendre à l'intérieur des bâtiments – et, de fait, être exposées en priorité aux radiations – pour y activer des vannes ou examiner l'état des réacteurs, ou dans la décision de Yoshida de renvoyer ses personnels sur le terrain après l'explosion du bâtiment réacteur 3 (le 14 mars). Mais c'est bien la décision d'évacuer la centrale qui marqua un point de bascule dans le déroulement de l'accident.

En effet, à l'aube du 15 mars, après une nuit à lutter contre la fusion de trois réacteurs et à tenter des actions désespérées, Yoshida constata avec effroi la concomitance d'une chute de la pression dans le réacteur 2 et la survenue d'un incendie au niveau de la piscine à combustible du bâtiment réacteur 4. Il ordonna le retrait temporaire des employés et décida de rester en salle de crise, entouré de quelques dizaines de collaborateurs volontaires (surnommés par la presse, les « 50 » de Fukushima). Dans l'impossibilité de poursuivre leurs opérations, ces derniers prirent alors le temps de rédiger des messages à l'intention de leurs proches ou de se prendre en photo. Cette séquence étonnante correspond à la décision de Yoshida de sacrifier les réacteurs en ne se préoccupant plus de leur état. Une fois mise à distance la source de leurs tracasseries, les derniers occupants de Daiichi purent s'apaiser et se concentrer sur leurs liens, alors que la tension, voire les violences entre eux étaient devenues paroxystiques. Rappelons que

l'état du réacteur 2 s'est rapidement avéré moins critique que Yoshida ne l'avait craint et que les personnels sont progressivement revenus sur le site pour assurer durant plusieurs semaines le refroidissement continu des réacteurs jusqu'à leur arrêt à froid.

Fukushima, et après ?

En réponse à l'accident de Fukushima, l'Agence internationale pour l'énergie atomique (AIEA) a rappelé la pertinence des axiomes de sa doctrine de maîtrise des risques et l'urgence de l'appliquer rigoureusement (AIEA, 2015). L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) française a en outre exigé des « études complémentaires de sûreté », afin d'éprouver les centrales de l'Hexagone en regard de phénomènes d'une ampleur comparable à ceux du 11 mars 2011.

Pour autant, ces mesures peuvent-elles garantir l'engagement à venir des acteurs sur site au-delà des prescriptions normatives ? Les « 50 » de Fukushima n'ont pas pris leur décision en application d'une procédure ou d'une clause contractuelle les liant à leur employeur⁽³⁾. Il est donc illusoire d'espérer gérer des catastrophes industrielles sans prendre en compte comment ceux qui la vivent font sens de leur situation et reconstruisent un imaginaire mobilisateur.

Références

- AIEA (2015), « L'accident de Fukushima Daiichi », rapport du directeur général, Vienne.
- CASTORIADIS C. (1975), *L'Institution imaginaire de la société*, Paris, Éditions du Seuil, 538 p.
- DUPUY J. P. (2004), *Pour un catastrophisme éclairé*, Paris, Seuil (Points essais), 224 p.
- GIRARD R. (2010), *La Violence et le Sacré*, 1^{ère} éd. 1972, Paris, Fayard (Pluriel), 486 p.
- GUARNIERI F. & TRAVADEL S. (2018), *Un récit de Fukushima*, Paris, Presses Universitaires de France, 204 p.
- ICANPS (2011), "Interim Report, Tokyo: Investigation Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company".
- NAIIC (2012), "The Official Report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission", Main Report, Tokyo, The National Diet of Japan.
- TRAVADEL S., ZAWIEJA Ph. & GUARNIERI F. (2019), « Situation extrême », VANDEVELDE-ROUGALE A. & FUGIER P. (éditeurs), *Dictionnaire de sociologie clinique*, Paris, ERES, pp. 589-590.

(3) En revanche, certains sous-contractants de TEPCO ont brandi leurs clauses contractuelles pour se retirer du site compte tenu du niveau élevé de radioactivité.

La doctrine en matière de sûreté nucléaire : une amélioration continue intégrant mieux la gestion d'un accident nucléaire

Par Jean-Luc LACHAUME
et Sylvie CADET-MERCIER
Autorité de sûreté nucléaire (ASN)

Depuis les années 1970, la doctrine en matière de sûreté nucléaire a évolué, prenant en compte les leçons des incidents et accidents qui sont survenus dans le monde. À l'origine, la priorité était accordée à la prévention des accidents. Au fil des années, la limitation des conséquences des accidents et la gestion de crise ont été renforcées dans la doctrine de sûreté.

Cette évolution a conduit à un renforcement notable des installations nucléaires : l'analyse d'initiateurs d'accidents plus complexes, résultant notamment de cumuls d'événements, a conduit à la mise en place de dispositions matérielles et organisationnelles complémentaires afin de limiter les conséquences radiologiques. Puis, après l'accident de Tchernobyl, elle a conduit à un renforcement de la protection des populations : la gestion de crise, notamment en ce qui concerne la phase post rejets radioactifs, s'est particulièrement développée afin de mieux gérer sur le long terme les conséquences sanitaires, sociales et environnementales d'un accident.

Les centrales nucléaires se caractérisent par la présence d'une grande quantité de produits radioactifs, dont le confinement constitue un objectif primordial. En matière de sûreté, la conception d'un réacteur nucléaire consiste à définir des dispositions matérielles ou organisationnelles permettant de prévenir les incidents et de limiter les rejets de substances radioactives ou dangereuses, ainsi que leurs impacts sur l'homme et l'environnement, lors des incidents ou des accidents.

Depuis les années 1970, la doctrine en matière de sûreté nucléaire a évolué, prenant en compte les leçons des incidents et accidents qui sont survenus dans le monde. À l'origine, la priorité était accordée à la prévention des accidents. Au fil des années, la limitation des conséquences des accidents et la gestion de crise ont été renforcées dans la doctrine de sûreté.

Historiquement, les analyses de sûreté réalisées lors de la conception des réacteurs ne retenaient que des événements uniques

Lors de la conception, des mesures sont prises pour prévenir les événements indésirables. Toutefois, il est pos-

tulé que de tels événements peuvent survenir ; les événements pouvant affecter une centrale nucléaire peuvent être d'origine interne ou externe :

- un événement interne correspond à une défaillance intrinsèque de matériels de l'installation : par exemple, un dysfonctionnement conduisant à l'ouverture intempestive d'une vanne, à l'arrêt d'une pompe... ou à une rupture d'équipements.

En matière de sûreté, la conception a pour objectif de définir une disposition – ou parade –, pour mettre fin à la situation accidentelle ou pour en limiter les conséquences. Ces parades sont définies en analysant les défaillances de matériels considérées comme plausibles et les scénarios qui en résultent. Dans la plupart des cas, les parades consistent à activer l'arrêt automatique du réacteur ainsi qu'un système de secours apportant de l'eau ou de l'électricité, ce qui permet de revenir à un état maîtrisé de l'installation ;

- un événement externe correspond à un aléa externe à l'installation, qui peut induire des défaillances de matériels dans celle-ci : par exemple, un séisme, une inondation ou des conditions climatiques exceptionnelles (températures extrêmes, par exemple).

En matière de sûreté, la conception a pour objectif de définir des dispositions pour garantir le fonctionnement des équipements importants pour la sûreté lors de la survenue de ces événements et donc de se prémunir d'un risque de défaillance de ces équipements, en dimensionnant par exemple des matériels résistant au séisme ou en assurant un traçage (chauffage) des tuyauteries.

Il n'était pas postulé à l'époque de la conception que les dispositions définies puissent défaillir. Le risque d'accident grave était alors considéré comme hautement improbable, malgré la publication du rapport WASH-1400 (dont l'objectif était d'évaluer les risques pour la population dus à un accident dans une centrale nucléaire) et la survenue dans le monde de plusieurs accidents graves avec des conséquences radiologiques, tel celui de Windscale au Royaume-Uni, en 1957. Il existait cependant en France une organisation nationale de crise prévue par le plan d'organisation des secours (Orsec – plan créé en 1952, mais non spécifique au nucléaire) pour gérer toute situation accidentelle, mais aucun exercice nucléaire destiné à la tester n'était réalisé.

Et si les parades définies venaient à défaillir ?

Dans les années 1975, afin d'améliorer la sûreté des réacteurs, l'autorité de sûreté française a demandé aux concepteurs d'étudier également les conséquences d'une défaillance de matériels cumulée à celle de la parade prévue pour en limiter les conséquences. Ces études ont naturellement montré la nécessité de disposer de parades complémentaires (matériels ou procédures post-accidentelles) pour être en mesure de ramener le réacteur à un état sûr.

Ces parades complémentaires ont été mises en œuvre dans les centrales françaises au début des années 1980. Des procédures, dites ultimes, ont aussi été déployées pour limiter les conséquences radiologiques en cas d'accident avec fusion du cœur. Les études sur les accidents graves ont aussi conduit à mettre en place des matériels complémentaires (par exemple, les recombineurs d'hydrogène), notamment pour limiter les risques d'une défaillance de l'enceinte de confinement.

L'accident de Three Mile Island survenu en 1979 aux États-Unis a confirmé qu'il pouvait se produire une succession de défaillances techniques et d'erreurs humaines

L'accident de Three Mile Island qui s'est produit le 28 mars 1979 a débuté par un incident d'exploitation relativement banal : la défaillance de l'alimentation normale en eau des générateurs de vapeur, qui ont pour fonction d'évacuer la puissance du réacteur vers le circuit secondaire. La perte de cette capacité d'évacuation de la chaleur par les générateurs de vapeur a entraîné, en l'espace de quelques secondes, une forte augmentation de la température et de la pression dans le circuit primaire, provoquant l'arrêt automatique du réacteur. Cela correspond au scénario étudié lors de la conception.

Toutefois, deux défaillances complémentaires sont intervenues :

- la première défaillance complémentaire a affecté la vanne de décharge du pressuriseur, qui a pour fonction d'écarter la pression du circuit primaire : après s'être ouverte sous l'effet de l'augmentation de la pression, elle ne s'est pas refermée automatiquement lorsque la pression du circuit primaire a diminué. Par ailleurs, une erreur de conception a conduit à ce que l'opérateur ne dispose pas de cette information : en effet, le voyant en salle de commande indiquait l'ordre donné, mais pas la position réelle de la vanne. Le maintien de la vanne en position ouverte a conduit à une perte de fluide dans le circuit primaire, qui participe au refroidissement du cœur, dans l'enceinte de confinement ;
- la seconde défaillance complémentaire a concerné l'alimentation de secours des générateurs de vapeur : ce système n'a pas démarré, car deux vannes étaient fermées, au lieu d'être ouvertes, suite à une opération de maintenance. Par ailleurs, une erreur liée à la conception des générateurs de vapeur a empêché le refroidissement du cœur en l'absence de débit (thermosiphon). Cela a donc conduit au non refroidissement du circuit primaire par les générateurs de vapeur.

Les opérateurs en salle de commande n'ont pas été en mesure d'apprécier l'état réel de l'installation, notamment du fait de la présence d'alarmes en nombre très important et sans hiérarchisation ; ils ont donc réalisé des actions inappropriées. L'ensemble de ces défaillances a conduit à la perte du refroidissement du cœur, puis à sa fusion partielle (en moins de trois heures). Mais cela n'a pas généré de rejets importants dans l'environnement (la radioactivité est restée confinée majoritairement dans l'enceinte de confinement).

Cet accident a clairement montré qu'une succession de défaillances techniques et d'erreurs humaines est possible et peut conduire à des accidents plus graves que ceux considérés lors de la conception des centrales nucléaires. Après cet accident, les études probabilistes de sûreté (EPS), réalisées sur la base d'une liste aussi réaliste et complète que possible d'événements initiateurs et de situations couvrant des événements complexes et des cumuls d'événements, notamment celles liées à la perte des systèmes redondants ou à l'occurrence d'une agression interne ou externe, se sont fortement développées.

L'accident de Three Mile Island a aussi montré que les opérateurs, les responsables de la centrale et les autorités en charge de la protection des populations n'étaient pas suffisamment préparés pour gérer un accident avec fusion du cœur.

En France, à la suite de cet accident, il a été décidé de fixer les périmètres des plans particuliers d'intervention (PPI) autour des centrales nucléaires à 5 kilomètres pour l'évacuation des populations et à 10 kilomètres pour leur mise à l'abri. Ces distances ont été définies par l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN, devenu aujourd'hui, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)) afin de prendre en compte les conséquences à court



Exercice de sécurité civile à la centrale nucléaire EDF de Saint Alban/Saint Maurice, janvier 2012.

« Pour tester les plans d'urgence interne (PUI) de chaque centrale nucléaire, le Service central de sûreté des installations nucléaires (SCSIN, aujourd'hui l'ASN) décida d'organiser des exercices de crise. Le premier exercice de crise préparé par l'IPSN eut lieu à Fessenheim en 1980. Le centre de crise de l'IPSN fut créé en 1982, et celui du SCSIN en 1984. »

terme d'un accident entraînant une fusion du cœur du réacteur, puis une défaillance après vingt-quatre heures de l'enceinte de confinement conduisant à un rejet filtré de produits radioactifs.

De plus, il a également été décidé, toujours à la suite de cet accident, de mettre en place des plans d'urgence interne (PUI) pour chaque centrale nucléaire. Pour tester ces plans, le Service central de sûreté des installations nucléaires (SCSIN, aujourd'hui l'ASN) décida d'organiser des exercices de crise. Le premier exercice de crise préparé par l'IPSN eut lieu à Fessenheim en 1980. Le centre de crise de l'IPSN fut créé en 1982, et celui du SCSIN en 1984.

En France, plusieurs défaillances sont induites en 1987 par un unique événement, un froid intense

Le 12 janvier 1987, une vague de froid s'étend sur l'ensemble du pays, ce qui conduit à une forte consommation électrique. Ces conditions de température conduisent à l'arrêt de trois groupes de production de la centrale thermique de Cordemais (Loire-Atlantique), ce qui entraîne une chute importante de la tension enregistrée sur le réseau 400 kVolts de la région Ouest et, en conséquence,

l'arrêt automatique de plusieurs réacteurs nucléaires dans cette même région.

Sur le réacteur de Chinon B3, à la suite de l'arrêt automatique du réacteur, deux défaillances principales liées au froid sont survenues :

- la perte du traçage des dispositifs d'assistance des soupapes de protection des générateurs de vapeur, ce qui a conduit à l'inétanchéité de deux soupapes,
- le gel de deux chaînes de mesure du niveau d'eau dans le réservoir alimentant le système d'injection de sécurité, ce qui aurait pu affecter le fonctionnement de ce système en cas de besoin.

Le retour d'expérience de cet événement montre que le cumul plausible de plusieurs défaillances pouvant résulter d'un unique événement (dans ce cas, le froid) doit aussi faire l'objet d'une attention particulière. Le cumul d'une perte du réseau électrique avec une situation de grand froid doit donc être considéré comme plausible, et, à ce titre, doit être considéré dans les analyses de sûreté, puisque c'est précisément pendant les périodes les plus froides que le réseau est le plus sollicité, et devient de ce fait plus sensible à une perturbation, telle que l'arrêt fortuit d'un réacteur nucléaire.

Par ailleurs, cet événement rappelle qu'il convient lors de la conception de prévenir les situations où un événement pourrait causer simultanément un défaut nécessitant l'intervention d'un système de sauvegarde et un défaut rendant impossible son fonctionnement.

L'accident de Tchernobyl survenu en Union soviétique, en 1986, pose question en matière de gestion post-accidentelle, de culture de sûreté et de transparence en matière nucléaire

Peu d'enseignements ont été tirés de l'accident de Tchernobyl en matière de sûreté nucléaire des installations françaises. Il n'en est pas de même dans le domaine de la gestion d'un accident nucléaire.

Tout d'abord, au plan international est apparue la nécessité d'avoir une approche coordonnée entre États en cas d'accident. Ainsi, les Conventions internationales sur la notification rapide d'un accident nucléaire et sur l'assistance ont été établies dès l'automne 1986.

En France, est apparu le besoin de renforcer la transparence en matière nucléaire. C'est ainsi qu'a été définie une échelle française de gravité permettant de classer les incidents et accidents. Cette échelle a ensuite été adaptée au plan international (échelle INES).

Par ailleurs, le retour d'expérience d'exercices plus réalistes comportant notamment des actions de sécurité civile conduits après 1986 avait montré que la distribution de comprimés d'iode stable à la population était difficile à réaliser en situation d'urgence. Ainsi, il fut décidé en 1997 de pré-distribuer les comprimés aux populations résidant dans les zones concernées par les PPI.

Enfin, le retour d'expérience de l'accident de Tchernobyl a montré que la gestion d'un accident nucléaire ne se résumait pas à la seule phase de rejets radioactifs, mais qu'il fallait aussi s'intéresser aux conséquences sanitaires, sociales et environnementales de l'accident sur le long terme. C'est pourquoi, l'ASN a commencé dès la fin des années 1990 à s'intéresser à la problématique post-accidentelle, ce qui l'a amenée à créer en 2006 un Comité directeur pour la gestion post-accidentelle (CODIRPA).

L'accident de Fukushima survenu au Japon, en 2011, montre qu'un événement extrême peut conduire à un cumul de défaillances, à la fusion du cœur et à la perte de confinement de plusieurs réacteurs sur un même site

Le vendredi 11 mars 2011, un séisme de magnitude 8,9 se produit à 80 kilomètres à l'est de l'île de Honshu au Japon, entraînant la perte de l'alimentation électrique de la centrale de Fukushima Daiichi, l'arrêt automatique des réacteurs et le démarrage de l'alimentation électrique interne de secours (groupes électrogènes de secours à moteur diesel).

Cinquante-cinq minutes plus tard, une vague de 14 mètres atteint la côte : elle endommage les prises d'eau de mer et provoque la perte des générateurs diesel de secours des réacteurs 1 à 4. Dès lors, les réacteurs ne sont plus refroidis. De plus, les opérateurs ne disposent pas en salle de commande d'indications fiables sur l'état des réacteurs.

Malgré les efforts déployés par les opérateurs de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi pour rétablir le refroidissement, les cœurs des réacteurs 1 à 3 sont entrés en fusion et les trois cuves de confinement se sont rompues. De l'hydrogène a été libéré à partir des cuves sous pression des réacteurs, ce qui a entraîné, à l'intérieur des bâtiments des réacteurs des tranches 1, 3 et 4, des explosions qui ont endommagé les structures et les équipements et blessé des membres du personnel. Les décompressions successives et les explosions ont entraîné des rejets importants de produits de fission radioactifs, comme l'iode 131 et le césium 137. Les autorités japonaises ont décidé, quelques heures après le début de l'accident, d'évacuer 80 000 personnes dans un rayon de 20 kilomètres et de mettre à l'abri la population vivant dans une zone correspondant à un rayon de 20 à 30 kilomètres.

L'accident de Fukushima a été provoqué par une agression naturelle extrême, qui a provoqué la défaillance de plusieurs systèmes de sûreté, une situation non prévue lors de la conception.

Cet accident a conduit l'Europe à réaliser des *stress-tests*, consistant à évaluer la résistance des installations pour des scénarios plus sévères que ceux retenus dans les études de sûreté, en particulier le comportement de l'installation en situation d'agression extrême ou de cumul de la perte totale des alimentations électriques et des sources de refroidissement, des situations hautement improbables.

Par ailleurs, il a aussi conduit à s'interroger sur le caractère approprié des parades envisagées en cas d'événement affectant tous les réacteurs d'un site : certains matériels (pompes, dispositifs de dépressurisation et de filtration, moyens de secours mobiles) sont en effet communs à plusieurs réacteurs.

À la suite de cet accident, la France a défini pour ses installations un « noyau dur », qui est constitué de matériels robustes, disponibles en toutes circonstances, capables de résister à des séismes ou à des inondations plus importants que ceux retenus lors de la conception ; des matériels permettant de prévenir un accident grave ou d'en maîtriser les conséquences, ou nécessaires à la gestion des situations de crise (moyens de gestion). La force d'action rapide nucléaire (FARN), créée par EDF, contribue à l'atteinte de ces objectifs.

L'accident de Fukushima a également contribué au renforcement de la préparation à la gestion d'un accident nucléaire. Ainsi, les associations regroupant les autorités de sûreté et de radioprotection européennes (WENRA et HERCA) ont adopté en 2014 une approche visant à améliorer la gestion des situations d'urgence et leur coordination transfrontalière. L'approche HERCA/WENRA vise

à promouvoir, en cas d'accident, la transmission rapide d'informations entre les pays concernés et la cohérence des recommandations émises par les autorités de radio-protection et de sûreté pour assurer la protection des populations.

En France, sous la direction du Secrétariat général de la Défense et de la sécurité nationale (SGDSN), un plan national de réponse à un accident nucléaire ou radiologique majeur a été élaboré. Sur la base du retour d'expérience de l'accident de Fukushima et de l'approche HERCA/WENRA, les pouvoirs publics ont également décidé d'étendre à 20 kilomètres les rayons des PPI et la distribution des comprimés d'iode stable aux populations.

Enfin, le CODIRPA a publié en 2012 de premiers éléments de doctrine destinés à améliorer la préparation à la gestion post-accidentelle, lesquels ont été complétés en 2019 pour mieux tenir compte du retour d'expérience de l'accident de Fukushima Daiichi. En effet, cet accident a montré qu'il fallait envisager des rejets radioactifs pendant plusieurs jours, alors que la doctrine de 2012 ne prenait en compte qu'un accident d'ampleur modérée s'accompagnant de rejets sur une courte durée.

Conclusion

La sûreté des réacteurs reposait à leur conception, dans les années 1970, essentiellement sur la prévention des accidents. Après l'accident de Three Mile Island notamment, la doctrine en matière de sûreté a notablement évolué : des moyens complémentaires ont été mis en place pour

prévenir l'accident grave (fusion du cœur) ; des moyens additionnels ont aussi été mis en place pour faire face aux cumuls d'événements. Enfin, le renforcement de la gestion des accidents graves, en termes de moyens participant à la limitation des conséquences et à la protection des populations, a été engagé. Il faut souligner que l'EPR a bénéficié dès sa conception de ces améliorations.

La gestion de crise, notamment en ce qui concerne la phase post rejets radioactifs, s'est particulièrement développée après l'accident de Tchernobyl afin de gérer les conséquences sanitaires, sociales et environnementales d'un accident sur le long terme. Les travaux pilotés par l'ASN ont conduit à la publication des premiers éléments de la doctrine nationale relative à la gestion post-accidentelle dans des territoires contaminés par des rejets en provenance d'une installation accidentée.

Enfin, l'accident de Fukushima Daiichi, qui a conduit à l'évacuation de la population d'une zone importante autour de la centrale, pose de nouvelles questions sur la gestion de crise, notamment : au nom du principe de précaution, faut-il évacuer (prévenir des cancers potentiels) des populations au risque d'engendrer des décès ? L'accident récent de Lubrizol, pour lequel aucune évacuation n'a eu lieu pour des raisons sanitaires, a mis en évidence que la confiance de la population dans les mesures prises par les pouvoirs publics était déterminante en matière de gestion de crise. Les années à venir seront assurément très riches en réflexions et débats sur ce qu'est une bonne gestion de crise.

Catastrophe et pilotage : la sortie de tous nos « domaines de vol »

Par Patrick LAGADEC

Directeur de recherche honoraire à l'École polytechnique

Au début des années 1970, un rapport fit grand bruit en Grande-Bretagne ⁽¹⁾. Le constat était abrupt : la complexité nouvelle des installations industrielles et la quantité exponentielle des produits stockés appelaient à une remise à plat de l'approche des risques technologiques. Cette impulsion, qui eut son équivalent en France, conduisit à une nouvelle donne en matière d'installations à risque : directives Seveso, expertise exigeante, information du voisinage, préparation en cas d'accident majeur. Un demi-siècle plus tard, la même réflexion-mutation s'impose – et avec une ambition encore plus profonde. Car voici que la cartographie de nos risques est bouleversée, marquée par des interdépendances et turbulences systémiques majeures. Il nous faut « fracturer nos univers mentaux », nous mettre en condition pour inventer de nouvelles navigations collectives, alors que nos risques ont largement échappé au domaine de validité de nos visions, démarches et outils de référence.

Introduction

Des bouleversements climatiques connaissant une accélération stupéfiante, des révolutions technologiques aux effets planétaires submergeant nos sociétés à des cadences difficiles à suivre ⁽²⁾, un relâchement des systèmes de prévention comme de contrôle des risques dans un secteur industriel soumis à de fortes tensions économiques, une globalisation des déchirements de toutes natures avec notamment la menace terroriste devenue endémique, une liquéfaction des contrats sociaux... Nous voici aux prises avec d'innombrables terrains de crises ⁽³⁾ – souvent bien loin de nos représentations mentales, comme un *blackout* électrique étendu et de longue durée, des migrations massives, un *crash* alimentaire mondial ⁽⁴⁾... Terrains qui, par ailleurs, donnent à toute amorce de crise un potentiel de déstructuration globale. Crises et catastrophes sortent largement de leur lit.

Le dirigeant – même parfaitement informé des savoirs en « gestion de crise » accumulés depuis plusieurs décennies – se retrouve de plus en plus souvent en terrain inconnu, confronté à des enjeux colossaux, avec d'innombrables vies en jeu et le risque d'effondrements sur

de multiples fronts, en environnement insaisissable, ouvert et mutant. Sur fond de tensions sociales exacerbées, entre colère et désespérance. L'inconnu, la complexité, l'instantanéité, les enjeux existentiels, voilà le terrain imposé. Doctrines, plans, procédures, réflexes – qu'il ne faut certes pas oublier – sont projetés hors de leur espace de validité.

L'administrateur-gestionnaire rodé au modèle hiérarchique centralisateur doit se muer en explorateur-inventeur, en facilitateur de processus collectifs effervescents. Il lui faut revoir profondément ses cartographies mentales, et forger de nouvelles pratiques de la prise de décision, comme de la préparation à ces navigations en univers déroutant.

Fracturer nos univers mentaux

Craig Fugate, l'administrateur de la FEMA (l'agence fédérale de sécurité civile américaine), qui eut la lourde charge de remonter cette institution mise à terre après la défaite occasionnée par Katrina (2005), sut le dire de façon lumineuse dans le sillage de l'ouragan Sandy (2012) : « Nous continuons à planifier pour ce que nous sommes capables de faire ; nous continuons à nous préparer et à nous exercer pour ce que nous sommes capables de gérer. Nous devons planifier, nous entraîner, nous exercer à une tout autre échelle, pour fracturer nos univers mentaux traditionnels ⁽⁵⁾. »

Nous avons ainsi coutume de penser...

- « Événement », là où il nous faut penser « *Engloutissement* ».

(1) Lord ROBENS A. (1972), *Safety and Health at Work*, London, HMSO.

(2) KAI-FU L. (2018), *AI Super-Powers – China, Silicon Valley, and the New World Order*, Boston, Houghton Mifflin Harcourt.

(3) HESLOOT I., BOIN A., ACOBS B. & COMFORT L. (Ed.) (2012), *Mega-Crises – Understanding the Prospects, Nature, Characteristics and the Effects of Cataclysmic Events*, Charles C. Thomas Publisher, Springfield.

(4) BRUINS H., "Risk to food security: Contingency planning for agri-mega-crises", in HESLOOT I. et al. (Ed.), *Mega-Crises, op. cit.*, pp. 342-355.

(5) FUGATE C. (2013), "Letter from the Administrator", Hurricane Sandy After-Action Report, FEMA.

- « Accident spécifique », là où il nous faut penser « *Déclencheur systémique* ».
- « Ground Zero », là où il nous faut penser « *Ubiquité* ».
- « Incertitude », là où il nous faut penser « *Inconnu* ».
- « Socle solide », là où il nous faut penser « *Socle liquéfié* ».
- « Pilotage par l'autorité », là où il nous faut penser « *Concurrences sauvages* ».
- « Information-communication », là où il nous faut penser « *Matière à connexion* ».
- « Fondamentaux », là où il nous faut penser « *Effacement des ancrages* ».

En d'autres termes, nous sommes très loin de nos références coutumières en matière de risque, lesquelles sont ancrées sur l'idée de typologies bien identifiées, se déroulant selon des scripts dont on connaît déjà les codes, et plus encore dans des environnements globalement stabilisés, compartimentés. Quand les dynamiques échappent aux typologies de référence, quand les crises « ne suivent plus le script ⁽⁶⁾ », alors il nous faut nous aussi changer de cartographie générale.

Joshua Cooper Ramo nous invite ainsi à nous projeter dans un tout autre univers, qui nous attend désormais : « Dans un système linéaire simple, on peut cartographier les effets d'une crise à la manière d'une chute de dominos. Mais dans une société en réseau, frappée par des bouleversements, la prévisibilité est une perspective fantasmagorique. Soumettez un réseau à un choc et vous obtiendrez ce que le stratège Edward Smith a nommé "la réaction en chaîne déclenchée par une balle de ping-pong lancée sur une table couverte de pièges à souris, sur laquelle d'autres balles de ping-pong sont lancées – une réaction presque explosive, dont la direction et l'état final ne sauraient être prédits" ⁽⁷⁾. »

En d'autres termes, voici nos repères fondateurs largement déchirés. La catastrophe n'est plus une grosse urgence appelant de plus gros moyens. Il s'agit de nous mettre au diapason d'un monde fait de surprises systémiques et de turbulences chaotiques très éloignées de nos ancrages cartésiens les plus profonds.

Inventer de nouvelles navigations collectives

Certes, nous devons continuer à consolider l'acquisition des savoirs accumulés depuis les années 1980-1990 : maîtrise des risques, dispositifs de crise, outils de gestion de crise, coordination, communication ⁽⁸⁾. Mais nous

devons également nous projeter bien au-delà, engager un imposant travail d'exploration, de construction de règles de navigation minimales pour opérer dans ces univers qui ne répondent plus à nos visions spontanées.

Au nombre des exigences, s'impose la nécessité :

- *de traiter des hémorragies* foudroyantes débordant les dynamiques conventionnelles, tout en s'astreignant d'emblée – ce qui est aussi impératif que contradictoire – à une *prise de recul* pour conserver et même élargir notre marge de liberté dans le discernement et l'action en univers pulvérulent ;
- *d'incarner*, en s'impliquant personnellement, quand l'exemplarité et le courage deviennent plus déterminants que le seul affichage des fonctions ;
- *de qualifier les situations*, qui ne rentreront dans aucune des cartes et typologies convenues, et qui muteront en permanence ;
- *de tracer des voies dans l'inconnu, planter des jalons*, dans des logiques de haute plasticité, loin des planifications et des emboîtements globalement stabilisés ;
- *de consolider la cohésion*, veiller aux maillons faibles et critiques, quand la confrontation au chaotique ébranle nécessairement les organisations, y compris les plus robustes ;
- *d'intégrer des univers qui nous sont étrangers* : le monde des réponses prévues (dont une part reste indispensable) et celui des bribes de trajectoires inédites qu'il faut esquisser en temps réel, avec des acteurs souvent non conventionnels ;
- *de rechercher, détecter et corriger très vite les erreurs* – inévitables ;
- *de détecter et accompagner les dynamiques émergentes*, qu'il s'agisse de l'intervention d'organisations jusqu'alors non identifiées comme des partenaires ⁽⁹⁾, ou de mobilisations « citoyennes », notamment sur les réseaux sociaux ⁽¹⁰⁾ (ou les contrer si, et seulement si, elles s'avèrent dangereuses) ;
- *de faire preuve à tout moment d'une forte capacité d'invention*, de questionnement, de prise de risque, d'attention aux facteurs vitaux comme aux arêtes critiques – la criticité étant elle-même instable, mutante, et toujours hautement surprenante ;
- *de construire une communication* qui parte d'un travail organisé et continu d'analyse des dynamiques chaotiques qui se développent en matière de perceptions internes et externes ; le but étant de répondre à un triple besoin sociétal : *partage d'informations factuelles*, conseils spécifiques quant aux *comportements* à adopter et apport d'éléments de *compréhension et de sens*,

(6) LAGADEC P. & GUILHOU X., « Katrina – Quand les crises ne suivent plus le script », *Préventive-Sécurité*, n°88, juillet-août 2006, pp. 31-33, http://www.patricklagadec.net/fr/pdf/PS88_Katrina_ok.pdf

(7) COOPER RAMO J. (2009), *The Age of the Unthinkable – Why the New World Disorder Constantly Surprises Us and What We Can Do About It*, Little, Brown and Company, New York, 2009, p. 117.

(8) LAGADEC P., *La Gestion des crises – Outils de réflexion à l'usage des décideurs*, London, McGraw Hill, 1991, http://www.patricklagadec.net/fr/pdf/integral_livre1.pdf ; LAGADEC P., *Apprendre à gérer les crises – Société vulnérable, acteurs responsables*, Paris, Éditions d'Organisation, 1993 ; LAGADEC P., *Cellules de crise – Les conditions d'une conduite efficace*, Paris, Éd. d'Organisation, 1995, http://www.patricklagadec.net/fr/pdf/cellules_crise.pdf

(9) Par exemple, l'intervention des ferries le 11 septembre 2001 à New York qui sauvèrent des centaines de milliers de personnes en les embarquant depuis le sud de Manhattan pour les emmener dans le New Jersey. KENDRA J. & WACHTENDORF T. (2016), *American Dunkirk – The Waterborne Evacuation of Manhattan on 9/11*, Temple University Press, Philadelphia.

(10) Aussi bien pour apporter de l'aide, par exemple au travers d'une offre d'hébergement comme on le voit désormais régulièrement, ou pour suivre et relayer les appels qui se manifestent sur les réseaux sociaux (voir notamment le travail de VISOV en France ou des VOST à l'international (visov.org)).



Photo © Christopher MORRIS/VII/REDUX-REA

Village de maisons mobiles érigé près de Baton Rouge (État de Louisiane – États-Unis) pour accueillir les personnes évacuées après l'ouragan Katrina, 16 septembre 2005.

« Il faut consolider la cohésion, veiller aux maillons faibles et critiques, quand la confrontation au chaotique ébranle nécessairement les organisations, y compris les plus robustes. »

alors même que les *questions* submergent largement les réponses déjà à notre disposition ⁽¹¹⁾.

Insistons plus encore : au centre du processus, il y a l'aptitude à prendre du recul. Alors que cette prise de recul est la *première victime* de la confrontation aux phénomènes hors cadres. D'où la nécessité d'une innovation majeure dans l'aide au pilotage et à la prise de décision en univers chaotique.

C'est pour sauvegarder et consolider cette capacité de prise de recul que nous avons développé la démarche de « Force de réflexion rapide » (FRR). En bref, il s'agit d'une nouvelle grammaire pour une aide à la prise de décision, ou plutôt une aide à l'invention en temps réel et au pilotage par les dirigeants ⁽¹²⁾.

Il s'agit donc de réunir un groupe de personnes rompues au travail sur « feuille blanche » et qui interrogent quatre

dimensions, avec au cœur de la méthode une logique non pas de réponse mais de questionnement ouvert :

- *De quoi s'agit-il vraiment ?* : pour qualifier la situation et suivre ses mutations dans le temps de l'action.
- *Quels pièges ?* : pour éviter que l'on s'engouffre d'emblée dans des impasses, qu'il s'agisse d'interprétation générale des enjeux, d'engagement opérationnel, de cartographies des acteurs – le premier piège étant l'erreur fondamentale de lecture de la situation et de ses enjeux.
- *Quels acteurs ?* : pour savoir quelles cartographies, mutantes, il faut avoir à l'esprit quand on se représente la situation, ses défis et les logiques d'action possibles.
- *Quelles combinaisons d'impulsions ?* : pour proposer au dirigeant des initiatives qui fassent sens, qui soient à même d'injecter du lien, de la confiance, du progrès opérationnel dans la maîtrise de la situation, ou tout au moins dans la navigation qu'il s'agit d'engager et de poursuivre.

Pareil groupe, qui n'a pas le pouvoir de décision, doit se caractériser par une grande diversité dans sa composition, et l'aptitude de ses membres au questionnement et au discernement, à la collégialité et à la modestie, à leur faculté d'inventivité aussi bien sur le plan théorique que pragmatique.

(11) Sur ces points, on se reportera aux avancées opérationnelles remarquables mises en forme et en action par le Centre de crise national belge : « Le processus opérationnel de communication – Un modèle pragmatique pour la Discipline 5 », Service public fédéral Intérieur, avril 2015, https://centredecrise.be/sites/default/files/brochure_team_d5_pocc_fr_web_0.pdf

(12) LAGADEC P., « La Force de réflexion rapide. Aide au pilotage des crises », *Préventique-sécurité*, n°112, juillet-août, 2010, pp. 31-35, http://www.patricklagadec.net/fr/pdf/PS112_p31_Lagadec-p.pdf

Certes, nous disposons déjà de « cellules d'anticipation », mais il faut bien comprendre la différence de perspective :

- « *La cellule d'anticipation* identifie tout événement pouvant compliquer la gestion de la crise et propose des actions pouvant être mises en œuvre en conséquence ⁽¹³⁾. »
- *La Force de Réflexion Rapide* travaille, non pas sur ce qui pourrait venir « compliquer » la gestion, mais sur ce qui pourrait *mettre tout l'édifice en mode échec*. C'est bien là le défi aujourd'hui – surtout si les dérives les plus déroutantes deviennent structurantes dans les crises que nous connaissons ⁽¹⁴⁾.

Cette démarche suppose la préparation, tout à la fois :

- des membres de cette Force de réflexion rapide, sinon les analyses produites ne seront pas pertinentes ;
- des équipes opérationnelles, afin qu'elles puissent transmettre des informations critiques appelant un travail de réflexion de la part de la FRR ; et réciproquement, qu'elles soient préparées à recevoir des informations de cadrage stratégique sur des enjeux globaux pour inspirer la conduite opérationnelle ;
- des équipes en charge de la construction du contenu comme de la dynamique de communication, sinon il y aura une divergence rapide entre les perceptions et les actions, et donc davantage d'effets chaotiques ;

(13) <https://www.gouvernement.fr/risques/le-processus-de-gestion-de-crise>

(14) LAGADEC P. : intervention dans le cadre d'une mission de préparation de documents pédagogiques sous forme de témoignages vidéo, confiée à CRISOTECH par le SGDSN, sur le thème de la fonction d'anticipation au sein de la Cellule interministérielle de crise, 16 janvier 2019, <http://www.patricklagadec.net/fr/films.htm>

- des dirigeants, afin qu'ils soient en mesure de faire bon usage des réflexions qui leur sont adressées, et aussi de passer des commandes auprès de la FRR visant à développer des réflexions et des propositions sur des questions sur lesquelles ils souhaitent être éclairés. Tout en continuant bien évidemment à jouer pleinement leur rôle.

C'est sur ce dernier point que les marges de progrès sont les plus importantes. Il nous faut former des pilotes plus que des administrateurs de pyramides hiérarchiques. Des pilotes qui auront la rude tâche de tirer le meilleur d'équipes opérationnelles aux prises avec l'impossible, d'experts confrontés à l'inconnu, de communicants qui doivent être plus enclins à écouter et à échanger qu'à émettre des résultats certifiés. Et plus encore : à ouvrir des voies novatrices ⁽¹⁵⁾.

Ce qui suppose des préparations tout autres. L'enjeu critique désormais est de « se préparer à être surpris », de se préparer à être créatif – avec d'autres – en univers inconnu.

C'est à ce prix que l'on pourra parvenir à une maîtrise des risques tels qu'ils se présentent désormais, à une restriction du terrain de nos crises – de plus en plus hors champ –, alors que la défiance devient une dimension de plus en plus structurante de notre dialogue difficile et vertigineux avec le risque.

(15) LAGADEC P. (2019) : « Le Temps de l'invention – Femmes et hommes d'État aux prises avec les crises et ruptures en univers chaotique », *Préventique*, juillet 2019, <http://www.patricklagadec.net/fr/pdf/Lagadec-LeTempsdellnvention.pdf>

La résilience : opportunité ou fausse piste ?

Par Magali REGHEZZA

École normale supérieure, LGP-UMR 8591

La résilience est au départ un concept scientifique descriptif, qui est devenu, au tournant des années 2000, une notion-clé des politiques internationales de réduction des risques de catastrophes (RRC). Terme flou, polysémique et plastique, il fait l'objet de nombreuses critiques dans le monde académique. Son opérationnalisation pose de nombreuses difficultés. La résilience offre pourtant des perspectives intéressantes pour renouveler la prévention des risques et la gestion de crise. Loin d'offrir des solutions miracles, le référentiel de résilience peut s'interpréter davantage comme une méthode qui permet d'intégrer les différents aspects de la RRC et de tenir compte du moyen et du long terme, malgré les incertitudes.

La résilience est, au départ, un concept scientifique utilisé par différentes disciplines (physique, psychologie, écologie, etc.) pour décrire le comportement d'un matériau, d'un individu ou d'un écosystème face à une perturbation, qu'il s'agisse d'un choc brutal ou d'un stress chronique (Reghezza et Rufat, 2015). Le terme a été repris dans le champ de la prévention et de la réduction des risques de catastrophes (RRC), et a été introduit progressivement dans les cadres d'action internationaux : Hyogo en 2005 et Sendai en 2015 (Quenault, 2015).

Mot-valise, plastique et flou, la résilience est devenue une injonction fortement critiquée pour son caractère normatif et parfois stigmatisant, et dont l'opérationnalisation interroge les professionnels. Faut-il pour autant renoncer à l'utiliser ? Que peut-elle apporter à la prévention des risques de catastrophes ?

La résilience à l'épreuve de sa définition

Un mot, des interprétations divergentes

Le mot « résilience » désigne à la fois une propriété, un état et le processus qui conduit à cet état. Est résilient tout enjeu qui est capable d'absorber une perturbation et de récupérer, se relever, se reconstruire, se réorganiser, sans changer radicalement de nature, de fonction ou de structure (Holling, 1973 ; Provitolo et Dauphiné, 2007 ; Lhomme, 2012).

Selon les champs disciplinaires ou le contexte d'utilisation, il existe plusieurs interprétations de la résilience, parfois contradictoires (Cutter, 2016). Un des débats les plus vifs, développé dans les années 2000, porte sur le lien entre résilience et stabilité. L'approche ingénieriale considère, par exemple, que la résilience se mesure à l'aune de la vitesse du retour à l'équilibre, souvent assimilé au *statu quo ante*. Les propriétés de résistance et

d'élasticité vont permettre le retour à cet état initial (ou, du moins, à un état d'équilibre donné). Dans cette optique, il est nécessaire d'atténuer au maximum la perturbation, tout en développant les capacités de résistance physique aux impacts.

Les tenants de la « résilience écologique » mettent, à l'inverse, l'accent sur l'instabilité (Hollings, 1996). Ils soulignent que l'approche ingénieriale améliore la résilience de court terme, mais que le retour à l'identique reproduit les vulnérabilités. Ils insistent sur l'adaptabilité, la flexibilité et l'auto-organisation, qui permettent l'innovation et autorisent la résilience de long terme. Ils soulignent également l'importance de l'apprentissage (Gunderson *et al.*, 2002).

La résilience, du champ académique à l'opérationnel

Loin d'être anecdotiques, les débats académiques sur la résilience interrogent son applicabilité. Si la résilience constitue un outil heuristique puissant, elle ne fournit pas de cadre opérationnel pour guider l'action. À cet égard, la résilience a souvent été critiquée comme étant un simple habillage de pratiques anciennes (Tisseron, 2007).

Si la propriété de résilience paraît *a priori* désirable, encore faut-il définir ce qu'est « la bonne résilience ». Les retours d'expérience montrent que ce que l'on qualifie de résilience peut conduire à une reproduction à l'identique des vulnérabilités, voire à une dégradation de la situation initiale. Le relèvement post-Katrina de La Nouvelle-Orléans a réduit la vulnérabilité biophysique sur le court terme, mais diminué la résilience sur le long terme (notamment face au changement climatique). La reconstruction a en outre augmenté les vulnérabilités des populations les plus fragiles, en accroissant les inégalités sociales et territoriales (Hernandez, 2010). D'autres exemples soulignent que la résilience du système ne coïncide pas forcément avec celle de ses composantes, et que la résilience

du tout peut s'opérer au détriment de celle des parties (Bélizal, 2012). Enfin, de nombreux travaux prouvent que les trajectoires de résilience ne sont pas linéaires et que, selon le pas de temps ou l'échelle spatiale considérés, un même enjeu peut être considéré comme tantôt résilient, tantôt non résilient (Bénitez, 2018).

Le succès de la résilience

Résilience et réduction des risques de catastrophes

La résilience est devenue un référentiel d'action incontournable dans le champ de la RRC (Weichselgartner et Kelman, 2015). La notion a été utilisée dès les années 1970, dans les travaux sur la vulnérabilité sociale. Dans ce champ scientifique, un élément exposé à un aléa est considéré comme vulnérable lorsqu'il se révèle incapable de faire face (*cope with*) aux impacts de cet aléa. Ainsi définie, la vulnérabilité dépend des capacités d'adaptation et de résilience de l'enjeu considéré (Wisner, 2016).

La résilience devient progressivement un concept autonome, qui se diffuse au tournant des années 2000, à la faveur d'un triple contexte.

La décennie internationale de la réduction des catastrophes naturelles (IDNDR) avait consacré les solutions techniques, mais aussi l'information et l'éducation comme instruments prioritaires de la prévention. Le tsunami de 2004 et l'ouragan Katrina en 2005 alimentent cependant un constat d'échec des paradigmes dominants (Revet, 2011). La résilience apparaît comme une opportunité pour pallier les limites des politiques préventives, sans remettre fondamentalement en question les fondements de la RRC.

La résilience permet aussi de déplacer la focale sur les capacités d'apprentissage et d'auto-organisation des communautés, ce qui restaure leur capacité d'action. Dès les années 1980, des praticiens et des chercheurs avaient dénoncé le caractère stigmatisant du qualificatif de vulnérable, qui condamnait les individus à l'état de victimes passives et assistées. L'introduction des capacités permet au contraire d'insister sur les réponses mises en œuvre à l'échelle locale (Gaillard, 2010). La résilience conforte cette lecture, en insistant sur le rôle actif des populations et le *capacity building*.

Enfin, la montée en puissance des menaces environnementales et la « climatisation » des agendas internationaux (Aykut *et al.*, 2019) questionnent la résilience des sociétés humaines face au changement climatique. Les rapports du GIEC mettent en avant la vulnérabilité et les enjeux de l'adaptation comme instruments de résilience. On assiste alors à la convergence progressive entre la RRC et les études sur le climat. Cette convergence conduit à un rapprochement des concepts et consacre la résilience comme une notion-clé de la sécurité environnementale (Folke *et al.*, 2010).

Résilience et sécurité dans un monde globalisé, complexe et incertain

Enfin, l'engouement pour la résilience dans le champ de la sécurité peut être interprété comme une réponse à des

menaces nouvelles ou récurrentes, qui échappent aux dispositifs traditionnels de la « mise en risque » (Boudia, 2013).

L'hyper-complexité des systèmes sociotechniques, conjuguée à la mondialisation des sociétés et à la globalisation des économies, transforme certains risques. Des perturbations localisées peuvent se diffuser, par effets dominos, de façon très rapide, et produire des crises systémiques, avec des conséquences largement imprévisibles, décalées dans le temps et l'espace. Les menaces sont désormais à la fois locales et globales, souvent transfrontalières. Elles sont invisibles, largement imprédictibles et irréversibles (Bourg *et al.*, 2013). Plusieurs travaux mettent également l'accent sur les *inconnues inconnues*.

Dans ce contexte, la résilience apparaît comme une réponse aux incertitudes multiples, qui échappent aux dispositifs de gestion traditionnels (Berkes, 2007 ; Welsh, 2014).

Opérationnaliser la résilience dans le champ de la RRC

Résilience et gestion de crise

La résilience est fortement mobilisée dans le champ de la gestion de crise. En cas d'occurrence d'un aléa, la propriété de résilience permet au système d'absorber la perturbation et de maintenir son intégrité. En cas de crise, un système résilient est capable de minimiser les impacts d'une perturbation, ou, à défaut, de restaurer rapidement son fonctionnement. La résilience devient alors un objectif de la gestion de crise.

En contexte de crise, la résilience s'entend soit comme la capacité de résistance, qui repose sur la protection des composantes du système, soit comme la continuité d'activité, y compris en mode dégradé. Il peut y avoir tension entre ces deux objectifs. Par exemple, le maintien des fonctions des infrastructures critiques est indispensable à la gestion de crise et conduit parfois à sacrifier leur intégrité matérielle.

Les doctrines insistent également sur les aspects comportementaux, en mettant en exergue la « résilience des populations », grâce à l'amélioration de l'alerte, la connaissance des mesures de sauvegarde et l'auto-organisation.

Résilience et post-catastrophe

La résilience fait du post-crise un moment crucial de la RRC. La résilience repose en effet sur des processus d'apprentissage qui impliquent d'identifier les défaillances, d'améliorer les procédures, de réduire les vulnérabilités physiques et de se préparer aux occurrences futures.

La nécessité de « se préparer » (*preparedness*) rend indispensables les retours d'expérience, réalisés « à chaud » et « à froid », mais également la transmission mémorielle et la sensibilisation, pour développer la « culture du risque » ou, en tout cas, entretenir une « culture de la sécurité ». L'augmentation de la résilience passe également par la mise en œuvre d'une éthique de la reconstruction préventive, avec une adaptation du bâti et des infrastructures, au lieu d'une reconstruction à l'identique (Moatty *et al.*, 2017).



Photo © Pierre GLEIZES/REA

Démolition de 150 maisons du quartier de la Bouillie (à Blois) construites sur le bras d'un déversoir de crue de la Loire, 1er août 2017.

« Certains travaux soulignent les liens complexes entre réduction de la vulnérabilité *ex ante* et développement de la résilience *ex post*. »

Un développement préventif de la résilience ?

La difficulté majeure de l'opérationnalisation de la résilience porte toutefois sur son usage en amont des crises. Est-il possible de créer ou de développer *ex ante* des capacités de résilience ? Comment définir des objectifs de résilience, alors même qu'une partie des menaces à venir est encore inconnue et que les vulnérabilités sociales et territoriales évoluent en permanence ? Cette question renvoie à un débat plus large : existe-t-il une résilience « générique » (Walter et Salt, 2006), qui rendrait un système résilient à tout, alors que la plupart des retours d'expérience montrent la nécessité de préciser la résilience de quoi, à quoi et sur quel pas de temps (Cretney, 2014) ?

Le développement préventif de la résilience fait l'objet de nombreuses critiques. De nombreux chercheurs pointent l'interprétation néo-libérale et l'utilisation normative du terme (Chandler et Coaffe, 2017). Ils dénoncent en particulier l'injonction à l'adaptation, qui fait peser sur les individus la responsabilité morale et juridique de la catastrophe (Rufat, 2015 ; Felli, 2016). La résilience est analysée comme une notion conservatrice, qui conduit au transfert des coûts de la sécurité sur les individus, les communautés locales et les collectivités territoriales, sans leur donner de réels pouvoirs de décision, ni remettre en question les causes profondes de leur vulnérabilité (Chandler, 2013).

D'autres travaux soulignent les liens complexes entre réduction de la vulnérabilité *ex ante* et développement de la résilience *ex post*. La plupart des auteurs montrent que la résilience et la vulnérabilité ne s'opposent pas et que la réduction de l'une ne conduit pas mécaniquement à l'augmentation de l'autre (Cutter, 2016). Les facteurs de vulnérabilité ne sont pas, ou pas entièrement, des facteurs prédictifs de la résilience : la résilience est à la fois déterminée par les conditions existant avant la crise et la situation post-catastrophe, qui contraint ou facilite le relèvement (Lewis, 2019). Dès lors, les objectifs de résilience varient selon les enjeux considérés et le type de vulnérabilité. La résilience n'est pas un donné : elle diffère en fonction des territoires, des préférences collectives et individuelles qui conduisent à arbitrer entre les risques et les trajectoires de développement possibles.

La résilience restaure la capacité d'action

En dépit des controverses, la résilience offre pourtant des perspectives intéressantes. Adopter un référentiel de résilience demande d'accepter l'existence de la menace et l'inéluctabilité de la crise, ce qui revient à admettre sa propre vulnérabilité. Mais la résilience implique, dans le même temps, la possibilité de dépasser la crise ou la catastrophe et d'empêcher que celles-ci ne conduisent à l'effondrement total du système. Un système *a priori* très vulnérable peut ainsi se révéler extrêmement rési-

lient, à condition qu'il soit capable de mettre en œuvre les réponses appropriées avant, pendant et après la perturbation. La résilience permet alors d'intégrer dans une même stratégie la prévention des risques, la gestion de crise et le relèvement post-catastrophe, en autorisant des approches transversales et multi-aléas.

Ce constat est particulièrement intéressant dans le champ de l'aménagement des territoires à risques, en particulier ceux qui sont soumis aux conséquences du changement climatique. Le niveau de menace y dépend non seulement de l'évolution des aléas, mais aussi des dynamiques sociales, démographiques, économiques urbaines, sur le court, moyen et long termes, ce qui introduit de multiples incertitudes qui légitiment souvent le déni ou l'inaction.

Réfléchir en termes de résilience permet d'anticiper et de construire une réponse graduée dans le temps. Sur le court terme, les réponses prennent la forme d'ajustements ponctuels : renforcement des systèmes de gestion de crise et de la préparation des organisations et des populations, poursuite des actions de mitigation des aléas et de réduction de la vulnérabilité. Il s'agit aussi de tirer des leçons des crises, en appliquant une reconstruction préventive. À moyen terme (à un horizon de quinze à vingt-cinq ans), l'enjeu est de glisser vers une adaptation incrémentale, en particulier de l'existant. La question du renouvellement urbain est cruciale : gérer les héritages, en intégrant les menaces identifiées pour l'avenir. Une attention particulière aux infrastructures critiques est nécessaire. À long terme (à un horizon de vingt-cinq à cinquante ans), la résilience se conjugue avec une adaptation transformationnelle, qui s'inscrit dans la transition écologique. Elle appelle des modifications de structure qui auront des coûts sociaux, économiques et environnementaux importants, mais qui sont aussi, potentiellement, des gisements d'innovations sociales et technologiques.

Conclusion

L'opérationnalisation de la résilience reste encore largement à inventer. Loin de constituer une boîte à outils magique qui permettrait de faire face à toutes les menaces, en tout temps et en tout lieu, la résilience offre plutôt la possibilité d'adopter une nouvelle perspective de travail. Elle conduit les acteurs à accepter leur vulnérabilité sans céder au fatalisme, les invite à décloisonner les pratiques et à intégrer les temps moyens et longs.

Il n'y a pas une, mais des résiliences. La résilience n'est pas un donné : elle dépend des choix sociétaux. Elle est donc politique. Parler de résilience suppose de définir (et donc de négocier) préalablement le niveau de risque (et la crise) acceptable, ainsi que le coût de la sécurité et la répartition de ce coût au sein d'une génération et entre les générations.

Bibliographie

AYKUT S. C., FOYER J. & MORENA E. (Eds.) (2017), *Globalising the climate: COP21 and the climatisation of global debates*, Taylor & Francis Group.

BÉLIZAL E. (2012), « Les corridors de lahars du volcan Mérapi (Java, Indonésie) : des espaces entre risque et ressource. Contribution à la géographie des risques au Mérapi », thèse de doctorat, Université Panthéon-Sorbonne – Paris 1.

BÉNITEZ F. (2018), « Faire face ou vivre avec les catastrophes ? Capacités d'adaptation et capacités dans les trajectoires de résilience individuelles et territoriales au sein de l'espace Caraïbe », thèse de doctorat, Université Paul Valéry – Montpellier 3.

BERKES F. (2007), "Understanding uncertainty and reducing vulnerability: lessons from resilience thinking", *Natural hazards* 41(2), pp. 283-295.

BOUDIA S. (2013), « La genèse d'un gouvernement par le risque », in BOURG D., JOLY P.-B. & KAUFMANN A. (Éds.), *Du risque à la menace. Penser la catastrophe*, Colloque de Cerisy, Paris, Presses Universitaires de France, pp. 57-78.

BOURG D., JOLY P.-B. & KAUFMANN A. (eds.) (2013), *Du risque à la menace. Penser la catastrophe*, Colloque de Cerisy, Paris, Presses Universitaires de France.

CHANDLER D. & COAFFEE J. (eds) (2017), *The Routledge handbook of international resilience*, London, New York, Routledge, Taylor & Francis Group.

CHANDLER D. (2013), "Resilience and the Autotelic Subject: Toward a Critique of the Societalization of Security", *International Political Sociology* 7(2), pp. 210-226.

CRETNEY R. (2014), "Resilience for Whom? Emerging Critical Geographies of Socio- Ecological Resilience", *Geography Compass* 8(9), pp. 627-640.

CUTTER S. L. (2016), "Resilience to what? Resilience for whom?", *The Geographical Journal* 182(2), pp. 110-113.

DAUPHINÉ A. & PROVITOLLO D. (2007), « La résilience : un concept pour la gestion des risques », *Annales de géographie*, 654(2), pp. 115-125.

FELLI R. (2016), *La Grande Adaptation*, Paris, Seuil.

FOLKE C., CARPENTER S. R., WALKER B., SCHEFFER M., CHAPIN T., ROCKSTRÖM J. et al. (2010), "Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability", *Ecology and Society*, vol. 15, pp. 20-28.

GAILLARD J.-C. (2010), "Vulnerability, capacity and resilience: Perspectives for climate and development policy", *Journal of International Development* 22(2), pp. 218-232.

GUNDERSON L. H. & HOLLING C. S. (eds) (2012), *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*, Island Press, Washington.

HERNANDEZ J. (2010), « ReNew Orleans ? Résilience urbaine, mobilisation civique et création d'un "capital de reconstruction" à La Nouvelle-Orléans après Katrina », thèse de doctorat, Université de Paris 10 – Nanterre.

HOLLING C. S. (1996), "Engineering Resilience versus Ecological Resilience", in SCHULZE P. (ed.), *Engineering Within Ecological Constraints*, The National Academies Press, Washington D. C., pp. 31-44.

HOLLING C. S. (1973), "Resilience and Stability of Ecological Systems", *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 4, pp. 1-23.

LEWIS J. (2019), "The fluidity of risk", *Disaster Prevention and Management* 28(5), pp. 636-648.

LHOMME S. (2012), « Les réseaux techniques comme vecteur de propagation des risques en milieu urbain – Une contribution théorique et pratique à l'analyse de la résilience urbaine », thèse de doctorat, Université Paris-Diderot – Paris 7.

- MOATTY A., GAILLARD J. C. & VINET F. (2017), « Du désastre au développement. Les enjeux de la reconstruction post-catastrophe », *Annales de géographie*, 2, pp. 169-194.
- QUENAULT B. (2015), « De Hyōgo à Sendai, la résilience comme impératif d'adaptation aux risques de catastrophe : nouvelle valeur universelle ou gouvernement par la catastrophe ? », *Développement durable et territoires*, 6(3), <http://developpementdurable.revues.org/11010>
- REGHEZZA-ZITT M. & RUFAT S. (2016), *Resilience Imperative: Uncertainty, Risks and Disasters*, Elsevier.
- REVEY S. (2011), « Penser et affronter les désastres : un panorama des recherches en sciences sociales et des politiques internationales », *Critique internationale*, 52(3), pp. 157-173.
- RUFAT S. (2015), « Critique de la résilience pure », in REGHEZZA M. & RUFAT S. (eds), *Résilience. Sociétés et territoires face à l'incertitude, aux risques et aux catastrophes*, Londres, Iste Éditions, pp. 187-210.
- TISSERON S. (2007), *La Résilience*, collections « Que sais-je ? », n°3785, PUF, Paris.
- WALKER B. & SALT D. (2006), *Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*, World Island Press.
- WEICHSELGARTNER J. & KELMAN I. (2015), "Geographies of resilience: Challenges and opportunities of a descriptive concept", *Progress in Human Geography* 39(3), pp. 249-267.
- WELSH M. (2014), "Resilience and responsibility: governing uncertainty in a complex world", *The Geographical Journal* 180(1), pp. 15-26.
- WISNER B. (2016), "Vulnerability as Concept, Model, Metric, and Tool", *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science* (on line).

Catastrophes et sécurité sanitaire : aspects conceptuels et politiques

Par Pr. William DAB

Conservatoire national des Arts et Métiers, chaire « Hygiène et Sécurité »
Ancien directeur général de la Santé

Le concept de catastrophe est ambigu, c'est un jugement de valeur qui n'apporte rien à la décision. Il faut en revenir au concept de risque pour l'évaluer et le qualifier. En fonction du niveau d'incertitude, la réponse au risque relève de la prévention ou de la précaution. Des crises peuvent survenir pour des soupçons de risques, tandis que des risques forts ne provoquent pas nécessairement des crises. Deux implications sont discutées : d'une part, tenir compte de la perception sociale des risques dans ces situations de risque ; d'autre part, construire une véritable politique du risque sanitaire sans laquelle la notion de catastrophe sera galvaudée.

Dans cet article, nous discutons de la notion de catastrophe dans le domaine de la sécurité sanitaire dans le but de fournir des repères pour faciliter l'appréhension et la gestion des situations pouvant mettre en jeu la santé de grandes populations. Il ne traite pas le sujet du « catastrophisme », qui utilise souvent le prétexte des menaces sanitaires, mais qui relève d'une autre problématique.

La catastrophe : un concept flou

« Événement qui cause de graves bouleversements », nous dit le dictionnaire Larousse. « Effets dommageables d'un phénomène brutal », dit pour sa part Wikipédia. Et pour l'Organisation mondiale de la santé (OMS), c'est « une rupture grave du fonctionnement d'une communauté ou d'une société impliquant d'importants impacts et pertes humaines, matérielles, économiques ou environnementales, que la communauté ou la société affectée ne peut surmonter avec ses seules ressources ».

Autrement dit, la catastrophe est tantôt une cause, tantôt une conséquence, ou encore un déséquilibre entre les impacts et les moyens d'y remédier.

Qu'en est-il en matière de risques sanitaires collectifs, c'est-à-dire des risques liés au fonctionnement de la société dont on ne peut pas se protéger seul, qui exigent un effort organisé de la société, ce que désigne la notion de sécurité sanitaire ? L'épidémie de cancers dus à l'amiante, les maladies et les décès causés par le Mediator, les effets secondaires d'un nouveau traitement thyroïdien en substitut du Levothyrox, l'incendie des installations de Lubrizol, les canicules, l'épidémie de sida, les impacts sanitaires du changement climatique tels qu'ils sont modélisés par le GIEC, les attentats terroristes, la pandémie due au nouveau coronavirus sont-ils des catastrophes ?

Aucune règle intangible, aucune norme ne permet de répondre rigoureusement à cette question. C'est souvent la traduction médiatique de ces événements qui conduit à les qualifier de catastrophiques.

Il se pourrait donc bien que la notion de catastrophe soit inutile du point de vue de la décision de santé publique. Ce terme porte en germe des réactions émotionnelles fortes qui peuvent distordre le jugement et conduire à des réactions inappropriées. Mieux vaut faire référence à la notion de risque pouvant concerner de grandes populations et se poser la question de savoir si nous sommes correctement préparés pour les parer.

En revenir au concept central du risque

Risque, urgence, alerte, crise, impact ne sont pas des phénomènes du même ordre. L'alerte est un signal qui commande une posture de vigilance. Il faut vérifier la réalité et la nature du signal ; et s'il se confirme que le phénomène est réel et qu'il menace la santé, il faut alors se mettre en ordre de bataille. C'est ce qui aurait dû être fait pour le Mediator. L'urgence est aussi une notion assez simple : c'est une situation qui appelle des mesures rapides sous peine de répercussions importantes. L'exemple type sont les canicules de 2019 en France, dont l'impact sanitaire fut dix fois moindre que ce qui aurait été en l'absence de réaction.

Risque et crise sont des notions plus complexes, qu'il convient bien de distinguer. De nombreuses crises de sécurité sanitaire sont survenues pour des risques faibles, voire inexistantes, comme la contamination infime de l'eau de Perrier par des traces de benzène en 1990 qui a fait perdre à cette société le marché américain. Ou encore,

l'épizootie de vache folle, dont le bilan pour l'homme n'est pas nul, mais qui s'est limité à quelques dizaines de cas. Inversement, des risques importants ne conduisent pas à des crises : l'exemple le plus frappant en France étant celui de l'alcool ; un autre exemple étant celui de la contamination de la chaîne alimentaire par le chlordécone aux Antilles françaises. Une clarification est donc nécessaire.

Une première distinction importante concerne les notions de danger et de risque. Le danger est la propriété intrinsèque d'une substance ou d'une situation qui peut créer un dommage. C'est une potentialité. Pour que ce dommage survienne, il faut que des personnes soient exposées à ce danger. En fonction du niveau d'exposition (la dose), des coexpositions, des caractéristiques individuelles et de paramètres environnementaux des personnes concernées, le risque est présent avec une probabilité plus ou moins grande. Le risque est donc une probabilité (Dab, 2020).

Ainsi, le benzène a comme propriété intrinsèque d'induire des dangers chez l'homme, notamment les leucémies et d'autres maladies du sang. Le risque sera fonction de la dose reçue. Si personne n'est exposé, la dose est nulle : il y a un danger, mais pas de risque. Toutes les personnes exposées au benzène ne développeront pas une leucémie. Inversement, il y a des personnes non exposées qui seront atteintes de cette maladie.

Il y a deux catégories de risques à distinguer qui posent des problèmes différents de décision (Dab et Salomon, 2013). D'une part, on a des risques pour des dangers qui sont connus : benzène, amiante, virus de la grippe, bactérie responsable de la légionellose, etc. Toutes les personnes exposées ne seront pas malades, mais le risque est mesuré avec un intervalle de confiance plutôt étroit. Il y a donc une incertitude, mais elle est bornée et n'est pas paralysante au plan décisionnel.

D'autre part, on a des risques qui sont entachés d'un fort niveau d'incertitude, soit parce que leurs dangers ne sont pas démontrés (cas des ondes de radiofréquences ou des nanoparticules, par exemple), soit parce que la fonction de risque est inconnue comme pour les champs électromagnétiques de basse fréquence, considérés comme cancérigène possible par l'OMS, mais pour lesquels la relation dose/risque n'est pas établie.

Dans la première situation, le cadre décisionnel est celui de la prévention. En général, les risques du premier type ne conduisent pas à des crises, à condition qu'ils soient gérés sérieusement, ce qui n'a pas été fait pour l'amiante. La seconde situation renvoie à la précaution. C'est une situation délicate dans laquelle le décideur est sous une double menace : soit sous-réagir et être accusé de négligence, soit sur-réagir et être accusé d'avoir gaspillé des ressources qui auraient été plus utiles ailleurs. Ces risques du second type ont un fort potentiel de crise. Pourquoi en est-il ainsi ? Pour le comprendre, il faut faire référence à la définition de la crise telle que l'a conceptualisée Patrick Lagadec (1993). Pour qu'il y ait une crise, il faut que la situation soit confuse, complexe, que les décideurs soient pris au dépourvu et sans vision claire des enjeux, qu'ils soient débordés, déstabilisés, décredibilisés, mis en

cause sur leurs valeurs ou leurs pratiques (mensonge, dissimulation de données, corruption, etc.). Ce qui signe la crise, c'est la perte de la crédibilité et de la confiance dans un contexte d'intenses controverses médiatisées stigmatisant un acteur, en faisant un bouc-émissaire.

On voit ainsi que le problème central est la question de l'incertitude et de son traitement qui inspire ou non confiance. Ce n'est donc pas le niveau de risque qui fait la crise, mais plutôt le potentiel émotionnel d'une situation, les conflits de valeurs qu'elle révèle et aussi le fait que l'on se dit que l'on aurait pu éviter des dommages si les responsables avaient agi à temps. C'est cela qui induit la perte de confiance, et lorsque celle-ci survient, toute référence à la réalité objective des risques devient difficile. Le récent incendie du site de Lubrizol l'a encore montré. En résumé, la crise est un phénomène social qui résulte d'un risque mal géré.

L'importance de la perception sociale des risques

S'il est impossible de définir en toute rigueur la catastrophe, cela est en particulier dû au fait que ce qui constitue une catastrophe pour les uns n'en est pas nécessairement une pour les autres. Au pays de Descartes, Claude Bernard et Louis Pasteur, le risque est un concept « objectif » que la science peut mesurer rigoureusement. Seuls ces risques sont censés exister et mériter une action. Il faut se méfier des émotions populaires qui peuvent induire en erreur. Réduire le hiatus entre le réel et le perçu relève de la pédagogie censée générer de la rationalité.

En réalité, ce n'est pas si simple. Il ne faut pas oublier que le risque parle du futur et, par conséquent, il y a toujours une part de subjectivité dans son appréciation. On ne peut donc guère s'étonner du fait que l'importance du risque perçu dans la population (y compris chez les scientifiques) ne soit pas proportionnelle à l'ampleur des risques estimée par les outils scientifiques. De nombreux travaux de sciences sociales (Slovic, 2010) permettent de comprendre que si les déterminants de la perception sociale des risques sont multiples, l'incertitude joue constamment un rôle d'amplificateur. La peur est moins liée à l'objectivité du risque qu'aux imaginaires induits, ce qui souligne à nouveau le rôle-clé du couple confiance/incertitude. En particulier, la possibilité d'un risque dans le contexte d'une exposition invisible, indécélable et incontrôlable par tout un chacun génère une inquiétude et un potentiel de crise qui ne sont liés ni à la réalité ni à l'ampleur réelle des risques. Quand les scientifiques ne peuvent pas se prononcer formellement, il est d'une certaine façon logique que la population s'inquiète. Chacun peut mesurer dans sa vie quotidienne que son niveau d'exigence de sécurité n'est pas le même selon que l'on est dans un contexte connu et familier ou dans un contexte nouveau et incertain.

Les controverses sur l'existence ou l'ampleur d'un risque conduisent le plus souvent à un important niveau d'inquiétude et à une demande de protection vis-à-vis des pouvoirs publics. Le fait de ne pas intégrer la façon dont



Photo © Dino FRACCHIA/REA

Exposition photographique au musée de Tchernobyl en mémoire des « Liquidateurs », ces agents civils ou militaires qui ont été sacrifiés pour mettre en sûreté le réacteur nucléaire.

« La gestion médiatique de l'explosion de la centrale de Tchernobyl en 1986 a marqué un tournant. Il a durablement inscrit dans l'opinion l'idée que lorsque des intérêts économiques ou politiques sont en jeu, ils priment sur la protection de la santé. »

le risque est perçu par les personnes et les groupes concernés explique de nombreux échecs ayant conduit des risques faibles à se transformer en crises. Dans ces situations d'incertitude, à bien écouter les acteurs en présence, on s'aperçoit que deux logiques s'affrontent. Dans la première, il y a risque si l'on se trouve dans la première catégorie évoquée plus haut. Sinon, ce n'est pas un risque, mais une hypothèse. Pour d'autres, au contraire, dès qu'il existe un doute, il existe un risque. Cette discordance de conception est à l'origine de nombreuses crises.

Quels enseignements tirer ?

La France se caractérise plus que d'autres pays comparables par une accumulation de « catastrophes » sanitaires. La gestion médiatique de l'explosion de la centrale de Tchernobyl en 1986 a marqué un tournant. Il a durablement inscrit dans l'opinion l'idée que lorsque des intérêts économiques ou politiques sont en jeu, ils priment sur la protection de la santé. La succession des grandes crises qui ont suivi – le sang contaminé par le virus du sida, la vache folle et la contamination de l'hormone de croissance par le prion, la vaccination contre l'hépatite B, l'amiante, le Mediator, les suicides au sein de France Telecom – ont créé une profonde défiance à tous les niveaux : dans la population, qui ne se sent pas protégée, et chez

les experts, qui ne se considèrent pas écoutés. Chez les politiques qui y voient complots médiatiques et carence des experts. L'inscription dans la Charte de l'environnement, adossée à la Constitution en 2005, du principe de précaution doit se comprendre dans ce contexte comme une tentative de retrouver la confiance. Mais vu le niveau de la controverse autour de cette disposition, il n'est pas évident que l'objectif soit atteint.

Ces crises ont conduit à créer plusieurs agences de sécurité sanitaire. Elles répondent à un besoin réel. Mais a-t-on tiré toutes les leçons des erreurs du passé et réfléchi aux nouveaux enjeux des risques populationnels de grande ampleur ?

Ces questions de sécurité sanitaire, porteuses d'enjeux aussi forts et hantées par le spectre de la catastrophe, requièrent des réformes systémiques. Une réflexion est nécessaire sur la place du risque dans des politiques publiques insuffisamment intersectorielles comme l'affirme le Conseil d'État en ces termes : « Cette transformation du monde et de la société emporte des conséquences sur l'action publique. L'État, qui a traditionnellement la charge non seulement de la protection des populations, mais aussi de la prise de risque collective à l'échelle nationale, ne peut pas être indifférent à la sensibilité contemporaine

au risque. Il est vrai que le risque est, depuis toujours, inhérent à l'action publique. Mais l'évolution de la perception du risque depuis les années 1980, notamment sous l'effet de graves crises sanitaires, environnementales et financières, met au défi les acteurs publics de prendre les décisions adaptées dans de telles situations sans occulter la responsabilité des personnes privées » (Conseil d'État, 2018). Une meilleure culture du risque doit être insufflée dans les administrations, la justice et les entreprises. La santé est encore trop souvent considérée comme une affaire de médecins. Mais si le médecin est l'expert de référence pour le risque réalisé au niveau individuel, il n'est guère formé à évaluer les risques potentiels au niveau populationnel.

À l'heure de la mondialisation (Beck, 2006) qui concerne le commerce aussi bien que les risques, c'est un nouvel univers qui se dessine, dont nos organisations et nos pratiques doivent prendre la mesure. Si l'on ne veut pas voir la peur gouverner nos sociétés, il faut poursuivre le mouvement amorcé et bâtir des politiques moins dictées par des événements et plus orientées par des réflexions stratégiques. Une politique s'entend comme une cartographie des risques, une doctrine, des responsabilités partagées, des procédures, des moyens

dédiés et des démarches d'évaluation. Autrement dit, sortir d'un modèle d'activisme réactif pour privilégier une proactivité raisonnée et débattue. Nous avons des institutions de protection sanitaire, mais pas de véritable politique du risque sanitaire. Quelle que soit la définition de la catastrophe à laquelle on se réfère, en l'absence d'une telle politique, il demeurera une quotidienneté de la catastrophe.

Références

- DAB W. (2020), *Santé et environnement*, collections « Que sais-je ? », n°3771, Paris PUF/Humensis.
- DAB W. & SALOMON D. (2013), *Agir face aux risques sanitaires*, Paris, PUF.
- LAGADEC P. (1993), *Apprendre à gérer les crises – Société vulnérable, acteurs responsables*, Paris, Éditions d'Organisation.
- SLOVIC P. (2010), *The Feeling of Risk: New Perspectives on Risk Perception*, Earthscan Risk in Society, Routledge.
- Conseil d'État (2018), « La prise en compte du risque dans la décision publique : pour une action publique plus audacieuse », rapport, avril.
- BECK U. (2006), *Qu'est-ce que le cosmopolitisme ?*, Paris, Aubier.

Recherche, expertise et décision face à la catastrophe : vers de nouveaux défis ⁽¹⁾

Par Maud DEVÈS

Université de Paris, Institut de physique du globe de Paris (IPGP) et Institut Humanités, sciences et sociétés (IHSS)

La science occupe une fonction importante face au risque de catastrophe. On n'attend rien moins d'elle qu'elle fournisse le socle d'« évidences » sur lequel fonder l'action collective. De sorte que lorsqu'une décision doit être prise, les scientifiques se trouvent naturellement appelés à intervenir. Les modalités de leur intervention sont cependant à géométrie variable et il ne leur est pas toujours facile de trouver leur « juste » place. Dans cet article, nous reviendrons sur quelques difficultés inhérentes à l'articulation entre recherche et expertise, puis nous nous interrogerons sur les nouveaux défis ouverts par les transformations des rapports entre science et société intervenues au cours des dernières décennies.

Quelques éléments de contexte sur la place de la science face à la catastrophe

La science occupe une fonction importante dans les stratégies mises en place par nos sociétés contemporaines pour faire face aux catastrophes et aux risques de catastrophe, de quelque nature que ceux-ci soient. À l'époque de l'*evidence-based policy*, c'est à elle qu'il revient de fournir le socle d'« évidences ⁽²⁾ » devant permettre de fonder ⁽³⁾ l'action collective. Les savoirs et savoir-faire scientifiques se trouvent ainsi mobilisés à différents niveaux dans le cycle de la gestion et de la prévention des risques

de catastrophe. On attend du travail d'observation, de mesure, d'analyse et de modélisation que les scientifiques réalisent au long court qu'il permette :

- d'identifier et de mieux connaître les phénomènes ou les processus potentiellement dangereux et, dans la mesure du possible, d'en anticiper la survenue, notamment en détectant d'éventuels signaux précurseurs ;
- de caractériser le danger (en précisant sa phénoménologie, son intensité, sa fréquence, son extension dans le temps et dans l'espace...), ainsi que les risques associés pour l'environnement humain et non humain, en tenant compte des enjeux exposés et de leurs vulnérabilités.

Mais ces savoirs et savoir-faire accumulés sont également mobilisés en préparation ou en réponse à des situations de crise, et pour définir des mesures « appropriées et proportionnées » dans le cadre de l'application du principe de précaution. Ce dernier, adopté par la communauté internationale lors du Sommet de Rio en 1992 et inscrit en préambule de la Constitution française en 2005, reconnaît l'existence d'incertitudes scientifiques, mais considère que celles-ci ne doivent pas servir de prétexte pour retarder la mise en œuvre de mesures visant à parer la réalisation éventuelle du dommage. Le recours à la science s'en trouve ainsi renforcé et les scientifiques se trouvent de plus en plus souvent amenés à intervenir en appui à la décision, notamment publique. Les modalités de leur intervention sont cependant à géométrie variable et il ne leur est pas toujours facile de trouver leur « juste » place. Dans cet article, nous reviendrons sur quelques difficultés inhérentes à l'articulation entre recherche et expertise, puis nous nous interrogerons sur les nouveaux défis ou-

(1) Cette étude, soutenue par l'IdEx Université de Paris (ANR-18-IDEX-0001), s'inscrit dans les réflexions engagées par le projet ANR V-CARE (ANR-18-CE03-0010).

(2) Les épistémologues nous ont appris depuis longtemps à nous méfier de la notion d'« évidence » scientifique (voir, par exemple, POPPER K. (1998), *Des sources de la connaissance et de l'ignorance*, de LAUNAY M.-I. et M. B. Trad., Paris, Payot & Rivages). Dire cela ne veut pas dire que la connaissance scientifique n'est pas solide. Ce qui la rend plus solide que la connaissance glanée au café du commerce, ce sont les méthodes et pratiques de la communauté des scientifiques. L'évaluation par les pairs, notamment, est une dimension importante du processus de « validation » des connaissances. C'est aussi probablement ce qui limite « l'accessibilité » de la connaissance qui, de fait, est forcément une connaissance destinée à « ceux qui s'y entendent », c'est-à-dire aux spécialistes.

(3) En *fondant* l'action sur les résultats de la science, on espère l'ancrer dans un socle solide, mais aussi s'assurer du caractère universel – et supposément indiscutable – de ce socle. Malheureusement, les choses ne sont pas si simples..., car la science n'est qu'un discours (au sens de système de représentation) parmi d'autres discours possibles pour appréhender la complexité du monde.

verts par les transformations des rapports entre science et société intervenues au cours des dernières décennies.

Quelques tensions inhérentes à l'articulation entre recherche, expertise et décision

Il existe mille et une façons de définir l'expertise : de nombreux travaux académiques y sont d'ailleurs consacrés, en particulier dans le champ des *Sciences and Technology Studies* (Joly, 2012⁽⁴⁾). Je retiens pour ma part la définition proposée par Philippe Roqueplo qui, en mettant l'accent sur le fait de répondre à une demande, a l'avantage d'englober une variété de situations : « Quelqu'un qui doit prendre une décision s'adresse à une personne ou à une institution qu'il juge compétente dans le domaine où se situe cette décision, afin qu'elle lui fournisse tout ou partie de cette "connaissance de cause". Si cette personne accepte de répondre à cette demande [...], elle est par le fait même établie comme expert, pour le cas considéré, auprès de celui qui l'interroge ainsi⁽⁵⁾. »

Il existe *de facto* autant de situations d'expertise que de couples « commanditaire-expert », et encore davantage si l'on considère que les modalités de l'expertise peuvent varier en fonction du contexte de la demande et de la réponse et des contraintes que ce contexte impose. Dans le cas de l'articulation entre recherche scientifique et action publique qui nous intéresse plus particulièrement ici, il est évident qu'un chercheur peut être amené à intervenir en tant qu'expert dans des situations très différentes : par exemple, en tant qu'évaluateur pour une revue scientifique ou pour une agence de financement de la recherche, ou en tant qu'expert pour un service de l'État, une agence régionale, nationale ou internationale, dans le cadre d'une expertise collective ou à titre individuel, par auto-saisine ou sur mandat, ou encore en tant que spécialiste dans les médias ou dans une école.

Lorsque le chercheur accepte de coiffer la casquette de l'expert pour la première fois, il n'a pas forcément conscience de s'engager dans une activité très différente de celle qu'il pratique déjà. Il découvre cependant assez rapidement que les logiques qui président à la recherche et à l'expertise scientifique ne sont pas les mêmes (Maxim et Arnold, 2012⁽⁶⁾).

La première différence tient à un décalage de temporalité. La recherche fonctionne selon un processus d'accumulation et de réforme des savoirs et des savoir-faire qui s'inscrit dans le temps long, alors que le rythme de l'expertise répond aux nécessités du processus décisionnel. Ce décalage de tempo se trouve exacerbé en situation de crise. Le cas de la gestion d'une crise volcanique est emblématique de ce point de vue. Celle-ci combine de fortes

incertitudes scientifiques (liées à la complexité du phénomène), de fortes craintes (liées à l'impact potentiellement catastrophique de certaines formes de l'activité éruptive) et la nécessité de prendre des mesures préventives radicales, comme l'évacuation de la population (Devès *et al.*, 2019⁽⁷⁾). Dans ce type de situations, souvent abondamment médiatisées, les incertitudes sont difficilement réductibles dans le temps imparti pour la fabrication des décisions, ce qui est susceptible de générer des tensions importantes aussi bien pour le chercheur-expert que pour son mandataire, ainsi que pour les populations, mandataires non déclarés mais bien présents dans l'équation, qui sont également en attente d'informations.

Au-delà de la temporalité, c'est la nature même du travail réalisé par l'expert qui diffère de celui réalisé par le chercheur. La recherche scientifique vise à la production de connaissances universelles et mobilise pour cela des méthodes et des outils devant permettre de passer du cas particulier au cas général par le biais de lois et de modèles. L'expertise scientifique nécessite d'emprunter un chemin résolument inverse, puisqu'il s'agit d'intégrer les connaissances existantes dans un processus de décision spécifique à un lieu et à une époque donnés. Les résultats de l'expertise se trouvent *de facto* inscrits dans un rapport particulier à un contexte culturel, social, politique, économique, scientifique... singulier. Il résulte de ce décalage une réelle difficulté à articuler les échelles de la connaissance et de l'action. Les rapports d'évaluation réalisés par le Groupe international d'experts sur le changement climatique⁽⁸⁾ constituent ainsi, par exemple, un outil indispensable de la politique climatique à l'échelle globale, ils peinent néanmoins à fournir des indicateurs utiles à l'action locale (Devès *et al.*, 2017⁽⁹⁾). Quant aux panneaux destinés à présenter le risque volcanique aux visiteurs de l'observatoire volcanologique et sismologique de l'île de la Martinique, ils expliquent davantage le fonctionnement général des volcans plutôt que la manière dont ce territoire particulier qu'est cette île, pourrait être affecté par les risques liés à ce volcan particulier qu'est la Montagne Pelée. Ces deux exemples montrent bien que, même si l'expertise scientifique tire sa légitimité de la recherche scientifique, elle requiert bien davantage qu'une adaptation marginale des outils et des méthodes de la recherche. Le chercheur-expert se trouve inévitablement confronté aux limites des savoirs et des savoir-faire et à leur très grande fragmentation disciplinaire. Répondre à la demande qui lui est adressée l'oblige à inventer de nouvelles méthodes et de nouveaux outils d'interprétation. C'est ainsi que l'expertise peut d'ailleurs conduire à revi-

(4) JOLY P. B. (2012), « La Fabrique de l'expertise scientifique : contribution des STS », *Hermès, La Revue*, (3), pp. 22-28.

(5) ROQUEPLO P. (1997), *Entre savoir et décision : l'expertise scientifique*, Éditions Quae, p. 11.

(6) MAXIM L. & ARNOLD G. (2012), « Entre recherche académique et expertise scientifique : des mondes de chercheurs », *Hermès, La Revue*, (3), pp. 9-13.

(7) DEVÈS M. H., BÉNITEZ F., BORRAZ O., VERLIN J. & REGHEZZA M. (2019), « La gestion de crise volcanique : décider en contexte de fortes incertitudes », in *Le risque majeur naturel : l'apport de l'anticipation*, *LIREC*, n°60, septembre 2019.

(8) GIEC/IPCC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat/*Intergovernmental Panel on Climate Change*.

(9) DEVÈS M. H., LANG M., BOURRELIER P.-H. & VALÉRIAN F. (2017), "Why the IPCC should evolve in response to the UNFCCC bottom-up strategy adopted in Paris? An opinion from the French Association for Disaster Risk Reduction", *Environmental Science & Policy* 78, pp. 142-148.

siter les pratiques et les résultats de la recherche⁽¹⁰⁾. Pour reprendre l'exemple du GIEC, des études ont pu montrer que les rapports produits avaient eu une influence importante sur le travail mené par la communauté du climat.

Aux deux différences précédemment exposées, il faut enfin ajouter que celui qui accepte de répondre à une demande d'expertise est contraint par le contexte de cette demande. On pressent bien que le rapport du chercheur-expert évaluateur de projets scientifiques n'a pas les mêmes implications, ni les mêmes enjeux, que celui du chercheur-expert contribuant à l'écriture d'un rapport du Conseil d'État ou d'une ONG ou de la Banque mondiale. La question des conflits d'intérêt se pose dans tous les cas, mais avec plus ou moins d'acuité selon les conséquences qu'un tel conflit d'intérêt pourrait avoir pour la société. La manière dont le commanditaire choisit d'organiser l'expertise (modalités de définition du cadrage et des méthodes, choix des experts qui contribuent à l'expertise, modalités de partage des résultats, etc.) revêt également de ce point de vue une importance capitale.

Face à ces difficultés, et alors que les demandes d'expertise vont croissant, on pourrait espérer que les chercheurs soient davantage formés au métier d'expert. Il existe bien quelques formations à la prise de parole dans les médias⁽¹¹⁾, mais il n'existe pas – à ma connaissance du moins – de formation plus ambitieuse permettant, par exemple, au chercheur en sciences « dures » de se familiariser au domaine de l'action publique et de tirer profit des enseignements de la philosophie, de l'histoire ou encore de la sociologie des sciences.

Vers une nouvelle configuration des rapports entre science et société

Ce que nous apprennent ces disciplines, c'est que la recherche du positionnement « juste » – c'est-à-dire d'un positionnement adapté aux possibilités, mais aussi aux limites des savoirs et savoir-faire scientifiques – est compliquée par un double héritage : celui du positivisme et de l'idéologie scientiste qui l'accompagne, et celui du relativisme et des errements ontologiques qu'il engendre. D'un côté, l'expert doit lutter contre les tenants d'une foi dogmatique en la capacité de la science et de la technique à surmonter tous les problèmes. De l'autre, il se trouve déstabilisé par une remise en question totale de l'autorité scientifique fondée sur le constat d'une objectivité

impossible⁽¹²⁾, souvent doublée d'une accusation de collusion avec le pouvoir. Les scientifiques et les hommes et femmes politiques réunis au colloque d'Arc-et-Senans⁽¹³⁾, en 1989, concluaient que « face à l'impossible choix entre rationalité catégorique et scepticisme généralisé, une seule voie [semblait] acceptable : modifier les rapports traditionnels entre connaissance et ignorance, savoir profane et savoir d'initié, et, enfin, entre pouvoir politique, expertise et démocratie ».

Trente ans plus tard, des changements ont effectivement eu lieu qui ont contribué à clarifier la position de la science à l'égard du politique, sans toutefois réussir à lever toutes les ambiguïtés. Dans un article qui se propose de faire la synthèse des transformations observées dans les rapports entre science et société depuis la Seconde Guerre mondiale, Christophe Bonneuil⁽¹⁴⁾ (2004) rappelle que les années 1990 ont vu naître de grands changements dans les attentes exprimées par le public à l'égard des scientifiques et des politiques. Le modèle qui présidait jusqu'alors – dit de « l'État savant » – était un modèle inspiré du positivisme, selon une philosophie bien résumée par la maxime suivante : « Science, d'où prévoyance ; prévoyance, d'où action » (Auguste Comte). Ce modèle était étayé sur une foi profonde en la science et la technique et soutenu par un impératif de modernisation, dont la conduite était déléguée sans réserve aux élites scientifiques, économiques et politiques du pays. Ce modèle, qui a survécu à la vague critique des années 1970 (menée par des philosophes, comme Ellul, Habermas ou Foucault), s'est vu considérablement ébranlé par la succession des grandes catastrophes environnementales, industrielles et sanitaires des années 1980 (la marée noire de l'Amoco Cadiz, l'accident nucléaire de Three Mile Island, puis celui de Tchernobyl, le sang contaminé, l'amiante, la « vache folle »). La critique émise à l'égard d'un modèle qualifié de « descendant » (pour ne pas dire paternaliste), de technocratique et de scientiste, s'en est trouvée renforcée, ce qui s'est traduit par une remise en cause de la posture d'« adhésion délégative au "progrès" » et par une « politisation » des questions autrefois qualifiées de « techniques ». Pour le sociologue allemand Ulrich Beck, la fin du XX^e siècle est le théâtre d'un basculement plus fondamental encore : la prise de conscience liée à l'irruption

(10) On peut néanmoins regretter que la dimension créatrice de l'expertise soit si peu valorisée dans le monde de la recherche. Celui-ci valorise le savoir universel et sa communication dans des revues internationales à large audience. La production d'un savoir situé, appliqué à un cas particulier, permet rarement de publier dans ce type de revues à moins d'être en mesure d'en tirer des conclusions de portée générale – ce qui est le cas des grandes expertises collectives internationales, comme celles du GIEC sur le climat, de l'IPBES sur la biodiversité ou encore de l'OMS. Une autre limite à l'entrée du savoir produit par les experts dans le champ académique tient aux contraintes imposées par les mandataires qui peuvent limiter (voire interdire) la publication de données jugées sensibles.

(11) Forme d'expertise qui répond à une demande implicite du public d'accéder à l'information, demande que le journaliste se charge de traduire.

(12) L'objectivité absolue n'existe certes pas, mais il existe des procédures permettant à la connaissance scientifique de prétendre à un peu plus d'objectivité que d'autres formes de connaissance. Ces procédures de mise à l'épreuve du savoir et du savoir-faire ne sont objectives que dans la mesure où elles répondent à des règles acceptées et appliquées collectivement – elles sont donc suffisamment a-subjectives (DEVÈS M. H., « La question du réel. De la science à la catastrophe », *Recherches en psychanalyse* 2015/2 (n°20), pp. 107-116.).

(13) Le colloque « Les experts sont formels : controverses scientifiques et décisions politiques dans le domaine de l'environnement », organisé par l'association GERMES, s'est tenu les 11, 12 et 13 septembre 1989, à Arc-et-Senans. Les actes paraîtront dans les cahiers du GERMES intitulés « Environnement, science et politique » en 1991 et 1992, et seront largement repris dans *La Terre outragée. Les experts sont formels*, ouvrage dirigé par Jacques Theys et Bernard Kalaora en 1992.

(14) BONNEUIL C. (2004), « Les transformations des rapports entre sciences et société en France depuis la Seconde Guerre mondiale : un essai de synthèse », Actes du colloque Sciences, médias et société, Lyon, ENS-LSH.

des risques dans l'espace public aurait fait basculer nos sociétés occidentales d'une logique de la répartition des richesses – « typique de la société industrielle dans la première moitié du XX^e siècle » et de sa foi inébranlable dans la science et le progrès – à une « logique de répartition par les risques ». Dans ce qu'il propose d'appeler la *société du risque*, il ne s'agit « plus uniquement de rentabiliser la nature, de libérer l'Homme des contraintes traditionnelles (ce qui constitue le projet moderne), mais aussi et avant tout de résoudre des problèmes induits par le développement technico-économique lui-même ». Ce changement de perspective, dont le changement climatique est paradigmatique, conduit – ainsi que le souligne Christophe Bonneuil – « à la recherche récurrente de responsabilités humaines et à la construction des "effets secondaires" du "progrès" comme problèmes publics dans l'espace public ⁽¹⁵⁾ ».

Ces transformations ont des conséquences directes sur l'interface entre recherche, expertise et décision. Pour préserver la crédibilité de l'action publique, de nouveaux outils de régulation sont inventés. Dans le champ des risques sanitaires et environnementaux, cela se traduit par la création d'agences, comme l'AFSSA, l'ANSES, l'ANDRA, etc. (Grandjou et Barbier, 2004 ⁽¹⁶⁾). Celles-ci ont vocation à rendre l'expertise « visible dans l'espace public en tant qu'étape fonctionnellement séparée aussi bien de la recherche que de la décision ⁽¹⁷⁾ ». Cette ouverture facilite l'implication de nouveaux acteurs dans le processus décisionnel. Les agences n'ont plus pour seule fonction d'éclairer le décideur, elles doivent également éclairer l'opinion publique : cela se traduit par la mise en place de nouvelles pratiques (mise en ligne des avis, possibilité de saisine de certaines agences par les associations) et de nouvelles normes (déclaration d'intérêt, formalisation des procédures, débats contradictoires, expression des avis minoritaires, transparence des avis, voire des délibérations, principe de précaution, etc.). Les agences ont également la possibilité de commanditer de nouvelles recherches et contribuent dès lors à transformer « les cadrages, les objets de la science, dont les certitudes évoluent [...] au fur et à mesure que se déploie un triptyque débat public/expertise/action publique conçu comme un processus d'apprentissage ⁽¹⁸⁾ ». Ce change-

ment d'optique ⁽¹⁹⁾ s'accompagne en outre d'une volonté croissante de participation, y compris dans la production des connaissances scientifiques, et l'on voit émerger, à côté de la recherche publique et du secteur privé, « un tiers secteur de la recherche associative, de l'expertise citoyenne et de l'innovation coopérative ⁽²⁰⁾ ». « Dans ce nouveau contexte, conclut Christophe Bonneuil, la recherche institutionnalisée et professionnalisée, tout en conservant un rôle-clé, est appelée à abandonner sa posture hégémonique et à apprendre à se faire animatrice et catalyseur de dynamiques ascendantes de production de connaissance et d'innovation. »

De nouveaux défis pour les chercheurs

Si je partage le constat selon lequel la recherche institutionnalisée et professionnalisée n'est qu'un mode de production et de capitalisation des connaissances parmi d'autres, je ne saurais dire aujourd'hui quel « devrait » être le rôle des chercheurs vis-à-vis des formes alternatives de recherche et d'innovation. Dans une époque marquée par les *fake news* et les emprunts fallacieux aux modes d'expression scientifiques (le fameux « prouvé scientifiquement » de nos bouteilles de shampoing), il me semble prudent de laisser la question au travail. La question se pose notamment, à mon sens, de savoir s'il faut « ouvrir » la recherche, notamment académique, à d'autres formes de pratiques ou s'il faut simplement pluraliser les formes d'expertise reconues comme étant légitimes. La convention citoyenne sur le climat fournit à ce titre une initiative intéressante ⁽²¹⁾.

(19) Le champ des risques naturels est affecté par les mêmes transformations, quoique de manière moins visible. Aucune agence dédiée aux risques naturels n'est créée, du moins pas à proprement parler. Certaines associations (comme l'IMdR ou l'AFPCN) se constituent avec l'ambition de remplir une fonction similaire, mais elles disposent cependant d'un statut tout à fait différent. En pratique, l'expertise est encore principalement commanditée par les services de l'administration centrale (direction générale de la Prévention des risques, direction générale de la Sécurité civile et de la gestion de crise), ceux-ci prenant appui sur les institutions de recherche et les associations en tant que de besoin. Cet état de fait tient à la structuration historique du réseau des acteurs et à la permanence du modèle hérité, on l'a vu, des années d'après-guerre, mais aussi, et peut-être surtout, à la quasi-absence de mobilisation publique sur la question des risques dit « naturels ». Malgré d'innombrables travaux montrant que la catastrophe n'a rien de « naturel », mais qu'elle résulte de choix (et de non-choix) de société, et malgré la survenue de catastrophes récurrentes (on pense, par exemple, aux épisodes de crues cévenoles), le risque « naturel » ne se constitue pas en objet du débat public (sauf en quelques cas isolés, où il est un des marqueurs d'une identité locale). Les associations dédiées aux risques naturels sont des associations créées par des spécialistes, qui comptent dans leurs rangs beaucoup de spécialistes, et qui ne représentent que très peu ce que l'on appelle (de manière assez vague d'ailleurs) la « société civile ». Tout se passe en fait comme si la catastrophe naturelle était, aujourd'hui encore, perçue comme un aléa exogène – et inévitable –, plutôt que comme un risque en partie endogène, en partie créé par les décisions humaines. Le changement climatique change légèrement la donne, dans la mesure où il oblige à revisiter l'attribution de certains événements météorologiques extrêmes, mais *quid* des risques non météorologiques ?

(20) *Id.*

(21) Quoiqu'ici encore on voit bien que l'expertise des citoyens n'est reconnue qu'à se « fonder » sur les exposés donnés par des experts identifiés et reconnus pour leur pratique professionnelle (de la recherche ou autre d'ailleurs). Les modalités retenues pour la sélection et pour la formation du groupe de citoyens sont cependant tout à fait intéressantes.

(15) BONNEUIL C. (2004), « Les transformations des rapports entre sciences et société en France depuis la Seconde Guerre mondiale : un essai de synthèse », Actes du colloque Sciences, médias et société, Lyon, ENS-LSH.

(16) GRANJOU C. & BARBIER M. (2004), « Une nouvelle transparence dans la communication des savoirs et des incertitudes scientifiques ? Le rôle des Agences », *Sciences, Médias et Société*, 227.

(17) BONNEUIL C. (2004), « Les transformations des rapports entre sciences et société en France depuis la Seconde Guerre mondiale : un essai de synthèse », Actes du colloque Sciences, médias et société, Lyon, ENS-LSH.

(18) *Id.*

Dans de nombreux domaines, on observe toutefois une persistance de l'ancien modèle d'expertise (de type « descendant »), et ceci malgré le renouvellement des pratiques individuelles⁽²²⁾ et malgré les injonctions répétées (des organes de financement, par exemple) à pratiquer davantage de transversalité, aussi bien en termes d'interdisciplinarité qu'en termes de co-construction avec l'ensemble des acteurs de la chaîne du risque.

En conclusion, il faut bien insister sur le fait que la demande d'ouverture et de transversalité est loin d'être une demande artificielle ou à la mode. Comme le montre l'article de Franck Guarnieri et Sébastien Travadel à propos de l'accident nucléaire de Fukushima Daiichi, tout comme le rappelle Jacques Theys dans son article sur la catastrophe, le surgissement de la catastrophe (même attendue) dans la vie quotidienne confronte l'être humain à une panne de représentations. Dans un sens, un événement n'est réellement catastrophique que s'il est précisément hors cadre, s'il confronte la communauté humaine à ce que Patrick Lagadec ou encore Magali Reghezza ont désigné dans leurs articles comme étant l'inconnu de l'inconnu. Face à la catastrophe, les repères symboliques dont nous disposons habituellement – et parmi lesquels les frontières disciplinaires, sectorielles, sociales, géopolitiques, etc. figurent en bonne place⁽²³⁾ – tombent. À l'échelle de la personne humaine, le traumatisme occasionné par la catastrophe est lié au vécu de cet impossible à penser et à dire, à cette panne d'imaginaire, qui renvoie à l'expérience d'une dissolution du contrat social (« on » m'a abandonné) et à l'exposition à une solitude absolue (« je dois traverser seul quelque chose d'incommensurable »).

Cet état de fait confronte le chercheur, l'expert, mais aussi tous les acteurs de la décision à la nécessité de penser « en dehors des boîtes ». Il rend caduc le fonctionnement en silo. Il rend inefficace – et même contreproductive – la décision non concertée. Car le processus même de mise au travail du collectif est une forme de résilience. Le cadre d'action de Sendai s'appuie sur ce constat lorsqu'il invite les États à associer l'ensemble de la société au développement de politiques plus efficaces de réduction des catastrophes.

(22) Dans le champ des géosciences par exemple, deux modes de relation coexistent : d'un côté, un mode de relation organisé sur la base des dispositifs hérités des années 1980 en matière de gestion de crise et de prévention et qui se caractérise par un contrôle fort de la communication scientifique (surtout en situation de crise) ; de l'autre, un mode de relation marqué par des pratiques plus transversales, les chercheurs étant encouragés à prendre place dans le débat public à titre individuel (via des outils comme Twitter ou Facebook), à s'investir dans les réseaux associatifs et à développer des projets de sciences participatives. En pratique, cette coexistence permet aux institutions de répondre à la demande de maîtrise de l'information des autorités publiques tout en répondant également à la demande d'information du public (que cette information soit donnée directement ou par l'intermédiaire des médias).

(23) DEBRAY R. (2010), *Éloge des frontières*, Paris, Gallimard, Folio.

Présentation du Centre des Politiques de la Terre

La recherche en environnement voit naître aujourd'hui de nombreuses initiatives visant à introduire davantage de transversalité et d'ouverture à l'interface entre recherche, expertise et décision. Emblématique de la collaboration étroite entre l'Université de Paris (les facultés et l'IPGP) et Sciences Po, le Centre des Politiques de la Terre a pour ambition de faire émerger une communauté de recherche travaillant non plus sur l'étude distincte de la nature et des sociétés, mais sur leur exploration conjointe. Il s'agit là d'un chantier ambitieux que le Centre entend relever en faisant de l'interdisciplinarité le socle de son programme de travail dans un monde académique encore largement organisé par communautés disciplinaires.

Les chercheurs à l'origine de sa création sont issus de champs disciplinaires très variés (géosciences, géographie, sciences politiques, sociologie et histoire des sciences, écologie, santé) et appellent à développer de nouvelles manières de mieux connaître et gouverner les phénomènes/processus/événements socio-environnementaux. Pour cela, ils proposent de créer un nouvel espace de travail s'inscrivant dans une relation transformée entre science et société, en vue de favoriser et de promouvoir les recherches collaboratives entre acteurs académiques et différents porteurs d'enjeux. Les forums (conférences et débats publics, ateliers de co-production, etc.), les écoles d'été interdisciplinaires et les campus dits « Anthropocène » (qui visent à réunir, sur une durée de quelques jours, les acteurs de la recherche, mais aussi ceux de l'action sur un terrain partagé) en sont les activités structurantes et emblématiques.

centre-politiques-terre.u-paris.fr/



**Centre des Politiques
de la Terre**

Catastrophes : qu'ont à dire les humanitaires ?

Par François GRÜNEWALD

Directeur général et scientifique du Groupe URD

Avec le développement des dégradations environnementales majeures – notamment celles résultant des changements climatiques, de l'urbanisation accélérée ou de la vulnérabilité croissante de pans entiers de populations –, la gestion du risque et la capacité de répondre à leurs conséquences sont devenues des défis centraux de nos sociétés. Les acteurs de la solidarité, tant des sociétés civiles que des mécanismes multilatéraux, mais aussi et peut-être surtout les instances dédiées des États, tentent d'y répondre, affichant à chaque fois des progrès, mais rencontrant aussi de nombreuses difficultés. Remettre au centre des stratégies de développement des sociétés et des territoires les enjeux de résilience est un des axes-clés de la réflexion. Se préparer à mieux répondre (plus vite, plus efficacement, en créant très vite des liens avec un développement plus résilient en sortie de crise) devient une exigence face à la multiplication des événements extrêmes.

Introduction : observer le monde, ses crises et leur gestion

Ce court article s'inspire de presque quatre décennies passées à observer le monde, ses crises, souvent à participer à leur gestion et, depuis vingt ans, à contribuer à l'évaluation et à l'amélioration des pratiques de l'aide : longue trajectoire d'allers-retours entre les zones de désastre et les lieux où s'élaborent les politiques de gestion des risques catastrophe (GRC), de rencontres avec des paysans et des présidents, de la série de catastrophes naturelles (sécheresses, inondations...) en Corée du Nord jusqu'à la catastrophe de Mocoa en Colombie (coulée de boue meurtrière) en passant par presque toutes les crises intermédiaires.

Avec les derniers rapports du GIEC, notamment celui sur les événements extrêmes, et la série ininterrompue de sécheresses, de cyclones, de feux catastrophiques et d'inondations massives intervenue depuis, les désastres climatiques et les débats qui les accompagnent sont au cœur de l'actualité. Plus grave encore, et totalement hors des écrans des médias, la multiplication de micro-désastres qui tuent quelques dizaines de personnes ici, détruisent quelques maisons là, emportent quelques ponts plus loin. Ces micro-désastres font partie de la vie quotidienne de l'ensemble des populations du monde, pays riches comme pauvres, européens ou asiatiques, africains ou américains. Enfin, le retour des grandes crises sanitaires (SRAS, Ebola, etc.) et la prise de conscience croissante des crises environnementales silencieuses (pertes accélérées de biodiversité, invasion de tous les écosystèmes par les plastiques, contamination et dégradation

d'immenses espaces agricoles) contribuent, avec l'aggravation de la conflictualité du monde, à ce panorama dramatique.

C'est dans ces contextes que se déploient les différentes familles d'acteurs qui élaboreront la réponse humanitaire : d'un côté, les mécanismes étatiques nationaux qui interviennent au travers des agences nationales de gestion des désastres, des protections civiles nationales, des forces armées ; de l'autre, la mobilisation des ONG locales, nationales et internationales, avec leurs myriades de volontaires, de bénévoles, de salariés, représentent souvent une composante-clé de la réponse. Enfin, le complexe mécanisme s'articulant autour des systèmes de financement et de coordination multilatéraux (ONU, etc.) et bilatéraux (gouvernements, ambassades, bureaux des bailleurs, etc.) constitue la macrostructure de cette mobilisation humanitaire.

Poser un regard évaluatif, bienveillant mais sans concession sur le secteur humanitaire est devenu essentiel. Ces crises diverses véhiculent quotidiennement dans l'actualité à la fois les images dramatiques de zones dévastées, de camps de déplacés suite aux désastres, mais aussi des débats connus sur l'aide, sa gestion et ses impacts. Que nous dit l'observation de ces situations de crise, souvent terrifiantes, parfois de basse intensité mais durables, des pratiques de l'aide et de leurs évolutions ? On observe souvent la mobilisation d'importants moyens humains et financiers, des architectures de coordination souvent coûteuses et, au final, certes des vies sauvées, mais aussi de grands problèmes de qualité de l'aide apportée, des coûts de transaction très importants et de nombreuses difficultés pour sortir de l'humanitaire.

Quand la crise arrive, on s'aperçoit que la prévention et la préparation avaient été largement occultées

Au Nord comme au Sud, la prévention des risques est très insuffisamment au rendez-vous. Au Sud, l'édification de grands ouvrages, une urbanisation accélérée ou même la réalisation de petits projets ruraux sont conduits sans en apprécier les dangers : le *risk informed development programming* (la planification du développement informée par la connaissance des risques) est encore le plus souvent l'exception que la règle. Plus grave encore, au Nord comme au Sud, les errements de l'aménagement de l'espace accentuent les risques existants : artificialisation des sols freinant l'infiltration de l'eau et accélérant de fait les dynamiques torrentielles, contrôle par des ouvrages bétonnés des cours d'eau éliminant par là même les options d'épandage de crue, etc. Ces errements entraînent régulièrement des catastrophes confrontant les populations et ceux qui leur apportent de l'aide à de nombreuses difficultés.

Pour réfléchir à un développement informé par la connaissance des risques, il faut se rappeler que les catastrophes liées à des phénomènes naturels se produisent en fonction de vulnérabilités (facteurs de fragilité) et de risques (probabilités liées à l'exposition au risque et à la dynamique de l'aléa). La réduction de ces vulnérabilités et de l'exposition aux risques devrait être au cœur des politiques de développement. Les décideurs devraient être « informés sur les risques inhérents à la zone et aux déséquilibres que souvent [leurs politiques induisent] » et viser une diminution des risques pour l'ensemble des territoires et des populations

Problèmes rencontrés sur le terrain

Quand la catastrophe arrive, l'expérience montre que dans la plupart des cas, c'est l'aide de proximité qui joue le rôle prépondérant lors des premiers jours : les voisins, les maires, les bénévoles de la Croix-Rouge locale, etc. Établir et entretenir une capacité de réponse aux désastres, c'est comme payer son assurance : ça ne révèle son importance que quand la crise survient. L'extraordinaire élan de générosité des populations elles-mêmes, souvent « premières actrices de la réponse », la motivation des équipes de secours (pompiers, secouristes, volontaires Croix-Rouge), mais aussi l'engagement des élus, sont la plupart du temps remarquables. Mais en l'absence de formation préalable, de définition des pratiques d'alerte et des plans d'évacuation, et du pré-positionnement d'un minimum d'équipements, cette mobilisation locale rencontre vite ses limites : savoir où aller quand la cloche ou le téléphone sonne a sauvé de nombreuses personnes lors de typhons à Cuba, en Inde ou aux Philippines. Savoir mettre en position latérale de sécurité un blessé, stopper une hémorragie et connaître la demi-douzaine de gestes qui sauvent auraient fait la différence pour beaucoup en Haïti après le séisme de 2010. De même que les exercices de préparation réalisés par les systèmes de santé à Katmandou préalablement au séisme de 2015 ont montré toute leur pertinence lors de la survenue de celui-ci

(voir *infra*), le renforcement des comités locaux de secours dans les mornes de la région de Jérémie en Haïti a montré toute son utilité lors de l'ouragan Matthew en 2016.

Sur le terrain, à chaque fois revient le même « cirque humanitaire », avec ses dérapages et ses hauts faits, ses compétitions et ses héroïsmes, ses difficultés de coordination et ses effets d'aubaine médiatique. Le séisme de 2010 en Haïti a été l'occasion d'observer⁽¹⁾ tous ces dérapages et toute cette générosité. Quand la terre a tremblé, le gouvernement haïtien et de nombreuses organisations internationales, notamment les Nations Unies, se sont retrouvés à la fois victimes de la catastrophe et acteurs de la réponse⁽²⁾. Cela a fortement affecté les mécanismes décisionnaires et les capacités opérationnelles. Malgré une mobilisation impressionnante de la communauté internationale, la qualité des résultats a été fortement affectée par des contraintes considérables liées à l'amplitude du désastre, au flux non contrôlable d'ONG souvent non expérimentées, à la nouveauté du contexte urbain et aux faiblesses du *leadership* global. De même, ont été manquées de nombreuses occasions de transformer l'importante mobilisation de l'aide (en personnel, financière, en nature et sous la forme de l'appui logistique fourni par les militaires) et la mise en place rapide de la coordination sectorielle (*cluster*) en résultats significatifs.

Dans une situation comme celle-là, *leadership* et coordination sont essentiels. Avec le gouvernement et l'appareil onusien très touchés, la faiblesse du *leadership* humanitaire a été évidente. Cela a été aggravé par le fait que les institutions internationales ont très souvent court-circuité les acteurs nationaux, tant au niveau central qu'au niveau décentralisé.

Dans un contexte aussi déstructuré, l'information est clé. Les difficultés rencontrées pour mettre en place un système de collecte et d'analyse des informations qui apporte en temps réel aux décideurs les informations dont ils ont besoin, ont été considérables ; d'autant plus que, dans ce genre de situation, il faut des flux d'informations rapides. Le principe « mieux vaut 70 % juste à temps que 100 % juste trop tard » a du mal à fonctionner dans un système qui se prétend « guidé par les évidences », mais qui oublie que, dans de tels contextes, les choses changent très vite...

Une autre difficulté importante rencontrée est venue du fait que le secteur humanitaire s'est formaté pour faire face aux conséquences de conflits en zone rurale et pour assurer la gestion des camps de réfugiés. Dès que l'on passe la phase de type « protection civile », et notamment celle des secours très spécialisés (équipes de recherche, déblaiement et opérations formatées par les approches INSARAG), l'humanitaire moderne classique n'a pas les outils nécessaires pour faire face à des catastrophes en milieu urbain⁽³⁾, dont il comprend mal le fonctionnement et

(1) http://www.urd.org/wp-content/uploads/2018/09/rapport_DASHaiti.pdf

(2) http://www.urd.org/wp-content/uploads/2018/08/ArtFG_Haiti_Humanitaire27_2010.pdf

(3) http://www.urd.org/wp-content/uploads/2018/09/rapport_DASHaiti.pdf

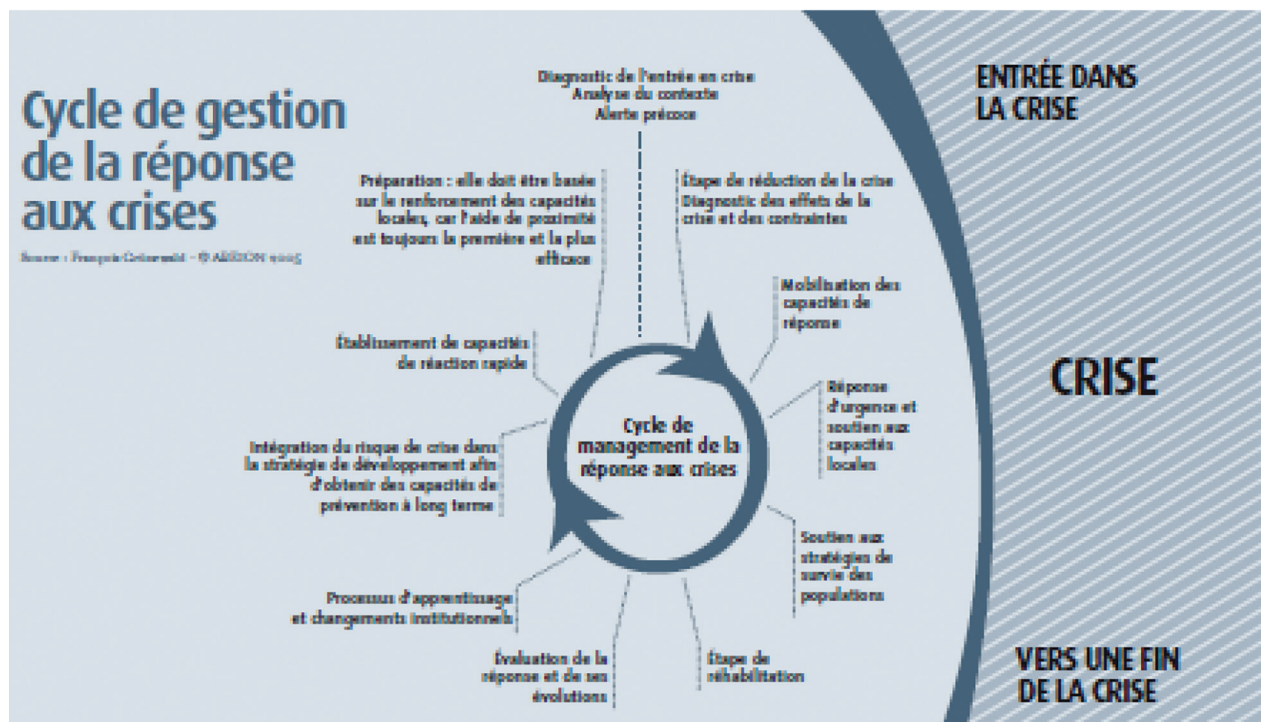


Figure 1 : Cycle de gestion de la réponse aux crises (source : « La gestion des crises : quelques repères et concepts », *Diplomatie*, n°13, 2005.)

la structuration. Depuis Haïti, ces difficultés identifiées ont été progressivement prises en compte par les acteurs, et le système tente d'y remédier.

Pour repérer les enjeux et outils utiles dans cette gestion des crises, il importe de se doter d'un cadre conceptuel holistique. Ce que l'on a longtemps appelé le « cycle de gestion de la réponse aux crises et aux désastres » a constitué un cadre approprié pour cet exercice, tant au niveau théorique qu'au niveau opérationnel. Il a été développé spécifiquement pour les contextes de catastrophes que l'on qualifie souvent à tort de « désastres naturels » (ou « socio-naturels », comme les appellent nos collègues latino-américains, terme qui décrit mieux l'interaction entre phénomènes naturels et action des hommes). Les tentatives de l'adapter aux contextes de guerre et aux environnements instables se sont avérées en partie insatisfaisantes du fait de cinétiques très différentes entre phénomènes naturels (extrêmement rapides comme pour les séismes, les ouragans ou les inondations, et moins rapides pour les sécheresses) et des conflits, qui tendent à s'installer dans la durée.

C'est en développant cette approche que l'on introduit un paramètre de prévention au sein des politiques de développement : quelle justice sociale, quelle politique foncière, quelles stratégies d'aménagement des territoires, quelle répartition des ressources, quel accès à la terre et au capital, etc. ? Les derniers désastres survenus en Amérique centrale et latine, en Inde et en Turquie sont des exemples caricaturaux de ce qu'entraîne la non-application de cette règle, lorsque surgissent des soubresauts violents de la croûte terrestre ou des phénomènes climatiques de grande ampleur.

Recommandations

Se préparer à la gestion des crises

Les crises ne sont pas toutes évitables, et il est rarement possible d'empêcher que les phénomènes naturels violents n'aient lieu. Mais un certain nombre d'expériences positives ont montré que lorsqu'un système de préparation aux désastres est en place, il peut être activé rapidement et avoir une influence importante sur la dynamique catastrophique : relâches d'eau des barrages pour limiter les risques d'inondation et de submersion, mise en vente de stocks de nourritures ou d'aliments pour bétail pour prévenir une dégradation des prix dans le cas des dynamiques spéculatives qui suivent les sécheresses, etc. Constituer et entretenir des capacités de gestion des crises prêtes à intervenir rapidement est de fait essentiel et concerne autant les populations à risques que les pouvoirs publics et les formes organisées de la société civile.

Mais les systèmes plus complexes, notamment ceux qui doivent permettre de gérer les situations de type destruction massive s'accompagnant d'un grand nombre de blessés et de décès (les fameuses *Mass Casualties*), demandent des approches spécifiques. L'expérience de préparation, réalisée avec le soutien de l'OMS et d'ONG, comme HI et OXFAM, des réseaux hospitaliers de la vallée de Kathmandu, lors de séismes ayant précédé celui de 2015, a été évaluée : cette évaluation a montré combien cette expérience s'est avérée positive : grâce aux efforts de renforcement des structures physiques des hôpitaux, ces derniers ont tenu. Grâce aux entraînements dont a bénéficié le personnel médical dans la mise en œuvre des

modalités de triage et de gestion de grandes quantités de blessés, les équipes népalaises ont su très bien réagir⁽⁴⁾.

Assurer que des systèmes d'alerte fonctionnels sont en place

Crises et désastres liés à des phénomènes naturels sont plus ou moins prévisibles. La planète est scrutée nuit et jour sous toutes ses coutures par une myriade de satellites (NOAH, Météo-France, etc.), une multitude de capteurs sismologiques et des armadas d'analystes. Les signes avant-coureurs existent la plupart du temps et ont même souvent été enregistrés. Les zones à risque (probabilité élevée qu'un désastre ait lieu) sont en général connues grâce à la multitude des études et des cartes géologiques, topographiques, climatiques existantes, tandis que beaucoup de phénomènes sont suivis en quasi-temps réel grâce aux systèmes satellitaires, comme ce fut le cas pour l'ouragan Matthew en Haïti, de Dorian sur les Bahamas et la Floride ; des observations qui ont permis les évacuations vers des sites sécurisés, le pré-positionnement des équipes et du matériel dans des lieux stratégiques avant que les cyclones n'arrivent sur zone.

Les enjeux de la réactivité : de l'alerte précoce à la réponse rapide

Hélas, la connaissance sur la cinétique de l'aléa ne se transforme pas nécessairement en alerte, puis en action. Autrefois, dans nos campagnes, tous se mobilisaient quand résonnait le tocsin. Ce que les dernières années ont montré, c'est qu'il y a à la fois une croissance exponentielle des informations et de moins en moins de tocsins crédibles et robustes face à l'adversité. Avec les évolutions technologiques, les réseaux sociaux jouent un rôle de plus en plus important en matière d'alerte, jusqu'au moment où le désastre coupe les communications. La remise en service des systèmes de téléphonie mobile et la réactivation des réseaux sociaux deviennent d'ailleurs une des priorités de l'immédiat post-catastrophe pour permettre l'évaluation des besoins et la coordination des secours. Enfin, il ne faut pas oublier que ce n'est souvent pas tant l'alerte précoce qui fait défaut que la volonté politique ou la capacité physique et technologique d'y répondre. Combien de pays ont nié les crises que vivaient des franges entières de leurs populations, voire bloqué l'accès des secours aux zones sinistrées pour des enjeux de prestige politique ou pour éliminer tout simplement des groupes ethniques entiers ? Et ne nous leurrions pas, ce n'est pas tant la création de SAMU internationaux ou d'une sécurité civile européenne qui comptera, mais bien plus la volonté d'y aller en faisant preuve d'intelligence et avec les moyens nécessaires pour avoir un impact rapide.

Quelles stratégies pour sauver le plus de vies possible ?

Pour réellement pouvoir sauver des vies, il faut pouvoir accéder aux victimes, maîtriser les savoir-faire nécessaires et avoir les moyens de travailler. La mobilisation des moyens est une activité importante : les guichets sont en

effet nombreux, et la compétition féroce. Gare à ceux qui n'ont pas ou peu de fonds propres : ils seront à la merci des « bailleurs institutionnels ». Le vrai enjeu demeure l'accès aux zones affectées et aux victimes. Jusqu'au grand séisme survenu le 17 décembre 1988 en Arménie, la capacité de répondre aux désastres était très différente selon l'orientation politique du pays. La fin de la Guerre froide a ouvert de nombreuses portes et les acteurs humanitaires ont pu déployer des ressources et des moyens importants. Les choses changent, comme on vient de le voir, après le séisme de Palu, en Indonésie. Les États ont en effet développé leurs capacités d'intervention propres et voient de plus en plus comme une insulte à leur souveraineté la mise en cause de leur capacité à répondre aux catastrophes. Les catastrophes prenant place dans des contextes de conflit sont évidemment beaucoup plus difficiles à gérer : zones sur-contrôlées et dangereuses au Sahel, en Afghanistan, en Somalie ou en Syrie ; régions fortement contrôlées politiquement rendant la réponse difficile (crise au Darfour, sécheresses en Corée du Nord ou tsunami dans les zones des Tigres tamouls au Sri Lanka). La perte des repères humanitaires devient de plus en plus souvent une contrainte forte, notamment dans le cas des interventions militaires internationales. Quand se mélangent sans fin les intervenants militaires et humanitaires, ces derniers finissent par être perçus comme le bras agissant de l'une des parties au conflit, il n'y a rien d'étonnant dès lors à se retrouver dans le viseur : les Nations Unies en Irak, les ONG et le CICR en Afghanistan ont payé un lourd tribut à cette loi d'airain. L'implication manifestement politique des forces armées d'origines diverses est certes parfois nécessaire pour des questions logistiques, mais participe au brouillage des cartes si les principes d'Oslo (MCDA) ne sont pas respectés.

Reconstruire et revivre après le désastre

Mais survivre aujourd'hui pour mourir demain serait absurde. Les programmes d'urgence ne doivent pas entraver la reconstruction des sociétés, des économies, et même des individualités. Dans les zones rurales, il est parfois urgent de donner des semences pour que les paysans ne ratent pas les prochaines pluies, de vacciner le bétail pour que cette ressource rare ne soit pas décimée par la première épidémie, etc. Dans les contextes urbains, déblayer les gravats et reconstruire l'habitat et les relations de voisinage sont essentiels, avec tous les enjeux du parasisme, de l'aménagement des zones en fonction des risques d'inondation ou de sécheresse. Il faut aussi faire revivre l'économie urbaine, revivifier les services de la ville et faciliter l'établissement des bilans des catastrophes et l'apprentissage qui doit en découler. Le débat autour du concept *Build back Better* (BBB), lancé par Bill Clinton après le tsunami de 2004, et sa remise en question par l'approche *Build back Safer*, reste très actif. Dans ces périodes où tout est urgent à reconstruire, il importe de savoir établir des priorités et donc de faire des choix. Il s'agit notamment de savoir établir le diagnostic des infrastructures préexistantes à la crise, d'analyser ce qui dans la situation antérieure a pu induire, susciter ou accentuer la crise. Il s'agit en effet de ne pas investir des ressources rares dans la remise en état de ces éléments générateurs

(4) http://www.urcd.org/wp-content/uploads/2018/09/PE05_NepalEvaluation-1.pdf



Photo © Yuan ZHENG/Utuku/ROPI-REA

Hommage au Dr. Li Wenliang dans le hall de l'hôpital de Wuhan en Chine, le 7 février 2020. Le Dr. Li est l'un des premiers à avoir donné l'alerte sur l'apparition du coronavirus.

« Combien de pays ont nié les crises que vivaient des franges entières de leurs populations, voire bloqué l'accès des secours aux zones sinistrées pour des enjeux de prestige politique ? »

ou amplificateurs de la crise. Les mêmes causes reproduiraient les mêmes effets...

En tout cas, il faut éviter que la phase de reconstruction post-désastre ne se transforme en une ère de fragilité durable et de risques récurrents. Ces périodes sont des temps éprouvants. La crise a révélé des fractures et des antagonismes. Elle a mis à jour des trésors de générosité, mais aussi des potentiels d'abomination. Il faudra vivre avec le souvenir des blessures. Pour les ONG, il s'agit d'abord de soutenir les énergies positives de réhabilitation sociale et sociétale. Pour les populations qui ont vécu l'indicible ou les camps de l'exil, la reconstruction de la société est un long processus de cicatrisation. On ne referme pas les plaies ouvertes dans les âmes et les cœurs par quelques décisions politiques prises à la capitale ou à New York. Il faut en même temps éviter de « victimiser » les survivants. L'être humain a d'étonnantes capacités de cicatrisation...

Conclusion

Les difficultés rencontrées lors de catastrophes montrent que dans la plupart des pays, y compris en Europe et aux États-Unis, le cycle de gestion des désastres est un outil fondamental pour nous tous qui vivons dans un monde de plus en plus fragile. La croissance démographique, la concentration des populations pauvres dans des zones « à haut risques » (y compris technologiques) et urbaines et les visées minières sur les ressources rares doivent en effet nous amener à une réelle « révolution culturelle » :

celle qui met une approche de l'aménagement du territoire « sensible au risque » et le développement de capacités de gestion des crises à venir au cœur des agendas du développement, mais aussi des attentes de transparence qui émergent dans une opinion publique qui a déjà su être si généreuse. Face à l'ampleur des moyens mobilisés, la question de la qualité de la réponse, de l'adaptation de l'aide et de son impact est régulièrement évoquée dans le débat public. Face à ces interrogations légitimes, les institutions humanitaires se soumettent désormais à l'exercice de l'évaluation. Les ONG prennent peu à peu conscience de l'importance de l'apprentissage que l'on peut faire à partir des leçons tirées de l'évaluation. Les acteurs institutionnels aussi.

Le secteur humanitaire a, au cours du temps, exploré de nombreuses situations de crise, avec leurs « avant », leurs « pendant » et leurs « après » possibles. Quand on regarde la planète, on est effrayé par l'étendue des zones en crise et la croissance des vulnérabilités. Les phénomènes naturels se transforment en désastres extrêmes sur tous les continents. La vulnérabilité de franges entières de populations est en croissance rapide. Les solidarités traditionnelles sont souvent fragilisées par l'économie de la mondialisation, qui entraîne à la fois croissance des inégalités, exploitation minière des ressources naturelles et, en définitive, augmentation des risques. Il faut donc replacer les crises et leur gestion (prévention, réaction et sortie de crise) au cœur même des réflexions sur la résilience et de la justice sociale et environnementale.

Les leviers d'action pour un mix énergétique propre et sûr au service de la transition énergétique dans les territoires

Par Florence CARRÉ, Karine ADAM, Raymond COINTE et Olivier GENTILHOMME
INERIS

Mathieu BRUGIDOU et Olivier GUILLAUME
EDF

Pauline GABILLET
Métropole de Lyon

Corinne GENDRON
Université Québec à Montréal (UQAM)

Magali JAKUBOWICZ
Communauté d'agglomération du Beauvaisis

Jean-Yves LEBER
Écologie sans Frontière

Stéphane MOCANU
INRIA

Isabelle MORETTI
Université de Pau et des Pays de l'Adour

Éric VIDALENC
ADEME

et Jacques VILLENEUVE
Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)

Les territoires multiplient leurs efforts pour atteindre les objectifs de la loi de transition énergétique pour la croissance verte, parmi lesquels figure la nécessité de porter la part des énergies renouvelables à 32 % de la consommation finale brute d'énergie en 2030. Cet article vise à recenser les risques industriels et environnementaux liés à l'émergence à la fois de nouveaux acteurs impliqués dans le déploiement des énergies renouvelables et de nouveaux matériaux et technologies. Associées à ces risques, des solutions techniques et organisationnelles sont proposées pour les maîtriser et tenter de faire de la transition une opportunité pour les territoires.

Territoires et objectifs de transition énergétique

Les territoires multiplient leurs efforts pour atteindre les objectifs de la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, parmi lesquels figurent, outre des objectifs de réduction des gaz à effet de serre et de consommation énergétique, des objectifs de développement des énergies renouvelables, comme 1) augmenter la part des énergies renouvelables à 23 %

de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % de cette consommation en 2030, 2) porter à 40 % la production d'électricité d'origine renouvelable en 2030, 3) faire en sorte que la consommation finale de chaleur d'origine renouvelable représente 38 % en 2030 et 4) que la consommation finale de carburant d'origine renouvelable se situe à 15 % en 2030, 5) que la consommation de gaz d'origine renouvelable atteigne les 10 % en 2030, et 6) multiplier par 5 la quantité de chaleur et de froid renouvelables et de récupération livrée par les réseaux associés

à l'horizon 2030. L'objectif de cet article est d'identifier des leviers d'action permettant de garantir la sécurité du développement des énergies renouvelables à court et moyen termes par l'ensemble des parties prenantes à partir d'exemples d'opérateurs de la transition énergétique discutés lors du séminaire « Vers un déploiement propre et sûr de la transition énergétique dans les territoires ⁽¹⁾ ».

Une transition énergétique résolument en marche, mais exigeant de coordonner de nombreux acteurs

Le panorama des énergies renouvelables 2018 indique que la puissance du parc de production d'énergies renouvelables atteinte au 31 décembre 2018 était de 51,17 GW, dont 25,5 GW provenaient de la filière hydraulique, 15,1 GW de l'éolien, 8,5 GW du solaire et 2 GW des bioénergies (RTE, SER, Enedis, ADEef et ORE, 2019). L'électricité renouvelable couvrait 22,7 % de l'électricité consommée en 2018, mais avec de fortes disparités entre les régions, le minimum étant de 1,5 % en Île-de-France et le maximum de 47,8 % en Occitanie (RTE, SER, Enedis, ADEef et ORE, 2019). Les faibles taux observés sont d'abord liés à des choix historiques, comme celui de développer l'hydraulique dans les massifs montagneux. Aujourd'hui, l'éolien et le solaire sont les deux filières les plus dynamiques. Les différences de développement sont dues à un manque de ressources, de coordination ou de volonté des acteurs territoriaux. En outre, des dispositifs de soutien nationaux (notamment les appels d'offres CRE) favorisent aussi les gisements les plus rentables et

une certaine polarisation dans les développements récents (éolien au Nord et solaire au Sud). Si les énergies renouvelables se développent fortement, la consommation d'énergie de la plupart des régions, en particulier celle des Hauts-de-France, ne baisse pas, ce qui laisse présager un décalage entre offre et demande d'énergie en 2050 et ne permet pas de réduire la production et les risques associés (ADEME *et al.*, 2018). La transition énergétique implique alors d'engager tous les acteurs du territoire pour faire converger sobriété et efficacité dans les consommations et productions d'énergies renouvelables. Le Tableau 1 ci-contre présente une typologie précisant le rôle de chacun des acteurs, le cadre réglementaire dans lequel s'inscrit leurs actions et leurs fonctions dans le déploiement de la transition énergétique.

Les acteurs impliqués dans la transition énergétique sont nombreux et présents à toutes les échelles de gestion des territoires. Les véritables chefs d'orchestre sont les régions qui, chacune, élaborent leur Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité de leur territoire (SRADDET). Les établissements publics de coopération intercommunale de plus de 20 000 habitants assurent, quant à eux, le déploiement collectif de la transition énergétique en s'appuyant sur le Plan Climat Air Énergie territorial (PCAET) qu'ils élaborent tous les six ans, en cohérence avec le SRADDET. Les actions proposées dans ces plans se concrétisent ensuite par le lancement d'appels d'offres de production et de distribution d'énergie renouvelable ou de nouvelles formes de consommation. L'actualisation des PCAET doit cependant tenir compte des contraintes des agendas politiques de la communauté elle-même, mais également de la Région, ce qui peut entraîner une certaine inertie dans son déploiement. Par ailleurs, les priorités de planification de la transition portent essentiellement sur l'atteinte des objectifs de production d'énergie renouvelable de la LTECV, alors que la sécurité du déploiement n'intervient qu'*a posteriori*, au moment de la validation des projets par la préfecture. Si les projets ne sont pas validés, il faut alors lancer d'autres appels d'offres jusqu'à atteindre des projets plus sûrs. Ces constats appellent donc à une meilleure coordination de la planification énergétique entre les différents acteurs et à l'intégration de la sécurité dès la planification des projets (processus appelé *safe by design*).

La nécessité de développer une culture du risque auprès des nouveaux acteurs de la transition énergétique

Les solutions techniques de production, de stockage et de distribution des énergies renouvelables peuvent induire des sources potentielles d'accidents ou d'impacts environnementaux et sanitaires, tels que des explosions et/ou des rejets de matières toxiques et inflammables. Ainsi, en 2018, seize incendies impliquant des batteries stationnaires lithium-ion utilisées pour stocker l'énergie ont été dénombrés en Corée, impliquant la mise à l'arrêt de leur usage par certains utilisateurs. Pour le stockage souterrain de l'hydrogène dans des cavités salines, les

Acteurs	Cadres réglementaires	Rôles
État	Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), Stratégie nationale Bas Carbone (SNRE), Plan national Santé-Environnement (PNSE), Loi portant nouvelle organisation territoriale de la République (NOTRe)	Régule par décrets et par le biais de normes la mise sur le marché de solutions techniques qui accélèrent ou ralentissent le déploiement de la transition énergétique. Lance des appels à projets de recherche et d'innovation. Coordonne les stratégies régionales.
Régions	Stratégies régionales de développement durable, de l'énergie et des territoires (SRADDET), de spécialisation de la recherche et innovation (SSRI)	Cadrent la mise en œuvre de la transition énergétique au niveau régional. Lancent des appels à projets. Développent des partenariats avec des collectivités, financeurs et innovateurs.
Municipalités, métropoles, communautés d'agglomération (> 20 000 habitants)	Plan Climat Air Énergie territorial (PCAET), Plan local urbanisme intercommunal (PLUI)	Opèrent la transition énergétique en connectant les différents acteurs. Achètent l'énergie. Coordonnent et/ou investissent dans des démonstrateurs.
Entreprises, services de consulting, agences d'État, banques, centres de recherche/universités, centres de formation	Textes nationaux et communautaires relatifs au droit de l'environnement	Apportent des solutions techniques, financières et organisationnelles.
Citoyens	Textes nationaux et communautaires relatifs au droit de l'environnement	Sont des accélérateurs de la transition en réduisant leur consommation et en produisant des énergies renouvelables (consomm'acteurs), mais peuvent également être un frein (réticence au déploiement et forte consommation d'énergie).

Tableau 1 : Les différents acteurs et leurs rôles dans la transition énergétique, et les cadres réglementaires de leur action.

(1) <https://www.ineris.fr/journee-technique-vers-deploiement-propre-transition-energetiques-territoires>

risques identifiés sont des fuites d'hydrogène par perte d'étanchéité de la cavité, du réservoir ou des conduites de stockage ou un risque d'éruption, notamment lors de la maintenance, ainsi que des incendies et/ou explosions en milieux confinés ou non confinés (INERIS Référence, 2016). Dans le cadre d'une mobilité à l'hydrogène, les enjeux de la sécurité sont la gestion de la haute pression (> 400 bars), la gestion du risque de création d'une atmosphère explosive et du risque électrique et la gestion des risques logistiques, comme les pièces tournantes, les températures variables et les conditions de chantiers.

Outre les risques liés aux atmosphères explosives et aux rejets de matière, la gestion des interconnexions entre systèmes de production et systèmes d'utilisation de l'énergie, comme les *smart grids*, doit tenir compte de leur vulnérabilité aux cyberattaques (ANSSI, 2012). En 2010, les installations nucléaires iraniennes du site de Natanz ont été endommagées par l'attaque d'un ver informatique, Stuxnet. De même, plus de 2 000 sites industriels critiques ont fait l'objet d'actions d'espionnage en Europe et aux États-Unis en 2014. En 2019, la compagnie Norsk Hydro a subi plus de 40 M€ de pertes liées à une cyberattaque.

Il existe des réglementations et des standards nationaux et internationaux encadrant ces différents risques. Cependant, étant donné la diversification des acteurs impliqués dans le déploiement de la transition énergétique, le cadre réglementaire n'est pas toujours respecté par les nouveaux acteurs des énergies renouvelables. Les PME ou les consomm'acteurs n'ont pas forcément conscience des risques potentiels, ni connaissance des réglementations les encadrant contrairement aux industriels accoutumés à la culture du risque. Il convient donc de sensibiliser le mieux possible ces nouveaux acteurs aux risques potentiels de ces nouvelles technologies et aux mesures de sécurité correspondantes. Par ailleurs, les technologies de production et de stockage de l'énergie évoluent rapidement grâce aux recherches de pointe sur les nouveaux matériaux et à l'intensification des procédés. Il est alors difficile d'en évaluer les risques sous-jacents et de mettre à jour les standards. Pour ce faire, il convient là encore d'intégrer les risques le plus en amont possible, dès la conception des nouveaux matériaux et technologies. Des solutions comme les modèles prédictifs ou les relations quantitatives structure-propriété permettent ainsi d'appréhender les propriétés de certains composés chimiques à partir de leurs seules structures moléculaires et, par là même, de prédire les risques sous-jacents au recours à de nouveaux matériaux et procédés (Prana *et al.*, 2014).

Une économie circulaire à mieux penser

La transition énergétique conduit à (ré)utiliser des ressources locales pour produire de l'énergie. C'est le cas notamment de la méthanisation qui utilise des matières premières organiques d'origine agricole pour produire non seulement du biogaz – source d'énergie renouvelable –, mais également des digestats utilisés pour enrichir les sols en matière organique. Ainsi, le produit de sortie d'un procédé est utilisé par un autre processus comme matière pre-

mière. Ce modèle d'économie circulaire appliqué à un territoire (écologie industrielle) a pour vertu de limiter les flux de ressources et les émissions liées au transport de matières. À l'inverse, la circularité implique que des polluants peuvent facilement se transférer d'un processus à un autre et engendrer leur accumulation ou leur dégradation en des substances potentiellement plus nocives. Il convient donc de bien identifier les sources de danger le plus en amont possible afin d'éviter les transferts de polluants et la propagation des risques, laquelle peut être d'autant plus importante que les procédés sont fonctionnellement et géographiquement interconnectés au travers de multiples réseaux physiques, numériques et organisationnels, ce qui est le cas du déploiement du mix énergétique.

De même, la fabrication des technologies de la TE nécessite l'extraction des matières premières (minéraux et métaux), ce qui tend à intensifier une demande déjà croissante de celles-ci. Les gisements sont de plus en plus difficilement exploitables, et sont donc de plus en plus gourmands en énergie. Or, ce besoin accru en énergie pour la production des technologies de l'énergie diminue la « rentabilité énergétique » de ces dernières au niveau global. Il convient donc, pour planifier au mieux la transition énergétique d'un territoire, d'intégrer dans le processus décisionnel la rentabilité énergétique (comme l'indice énergie produite/énergie investie – ou EROI) liée à l'extraction des matières premières hors du territoire (ANCRE, 2015). Par ailleurs, la décision doit également prendre en compte dans les calculs d'analyse de cycle de vie (ACV) et d'évaluation des risques, non seulement les consommations d'énergie, de matières et d'eau, mais également la perte de biodiversité et les impacts sur la santé humaine.

Le recyclage des matériaux est également une priorité pour éviter de nouvelles extractions. Dès lors, l'évaluation des risques doit aussi porter sur le niveau acceptable de pureté des matériaux permettant d'éviter des risques environnementaux, sanitaires, accidentels et sociétaux au niveau du territoire (KEMI, 2012).

Mieux comprendre la perception des risques à travers la concertation

La transition énergétique implique des aménagements territoriaux qui peuvent soulever des conflits entre les aménageurs et la population locale du fait des spécificités territoriales (environnement, histoire des habitants, attachement au territoire...). Ces conflits liés aux projets de transition énergétique peuvent provenir de problématiques d'ordre économique et social, mais également environnemental : des conflits qui appellent à des tentatives d'évaluation objective des risques soit par les citoyens eux-mêmes, soit par les chercheurs ou experts sollicités. Cette objectivation, néanmoins vécue comme un frein par les gestionnaires du territoire, apparaît pourtant comme une opportunité pour sécuriser le déploiement des énergies renouvelables et amener à les percevoir comme autant d'atouts et d'opportunités.

Les conflits peuvent cependant être évités ou du moins rendus productifs (Boy et Brugidou, 2009) grâce à

l'appropriation des projets de déploiement par les riverains, à la compréhension sociologique réciproque entre exploitants, pouvoirs publics et riverains, et à la confrontation de leurs responsabilités respectives en cas d'accidents (Guillaume, 2013). Cela devient possible lorsque la concertation entre citoyens, gestionnaires du territoire, fournisseurs de technologies et conseillers sur la sécurité industrielle et environnementale a lieu dès la planification des projets de déploiement, voire en amont lors de la définition de la stratégie territoriale de transition énergétique par les collectivités. La concertation peut ainsi conduire à des modifications substantielles des projets, parfois même à leur abandon (CESE, 2014). Dans le cadre de l'élaboration des schémas directeurs des énergies et des plans Climat Air Énergie Territoire ou de lancement d'appels d'offres de démonstrateurs, des collectivités, comme la Métropole de Lyon (2019) ou la Communauté d'Agglomération de Beauvais (2019), ont recours à la concertation et à la co-construction des projets de déploiement avec l'ensemble des parties prenantes. Il conviendrait d'intégrer dans de tels cadres de concertation les conseillers en sécurité environnementale et industrielle. Cela permettrait non seulement de sensibiliser les parties prenantes aux risques, mais également de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à la perception des risques, ainsi que les effets d'instruments politiques et financiers dans le temps et dans l'espace sur le plan de la co-construction.

Perspectives : promouvoir une gestion intégrée et inclusive des risques

Comme évoqué précédemment, de par les acteurs, l'histoire et la géomorphologie paysagère qui le compose, chaque territoire est spécifique. Il n'existe donc pas de modèle unique d'une bonne transition énergétique, si ce n'est de raisonner la planification à partir de l'intégration par l'ensemble des parties prenantes, le plus en amont possible, des risques multiples et de leurs interdépendances. La première manière de réduire le risque consiste à travailler sur la sobriété et l'efficacité énergétique pour réduire la consommation et, par conséquent, le besoin en termes de production. Faciliter l'intégration des énergies renouvelables passe nécessairement par le développement d'outils de gestion de la sécurité adaptés aux contraintes de l'ensemble de ces acteurs en matière de gestion de l'énergie et aux outils de management de la performance que ces acteurs utilisent au quotidien.

Bibliographie

ANCRE (2015), *Ressources minérales et énergie*, rapport du groupe « Sol et sous-sol » de l'Alliance Ancre, 75 p., http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/ancre_rapport_2015-ressources_minerales_et_energie_0.pdf

ANSSI (2012), *Maîtriser la SSI pour les systèmes industriels*, 40 p., https://www.ssi.gouv.fr/uploads/IMG/pdf/Guide_securite_industrielle_Version_finale.pdf

BOY D. & BRUGIDOU M. (dir.) (2009), *Le débat public, un risque démocratique ? L'exemple de la mobilisation autour d'une ligne à très haute tension*, Lavoisier, Collection « Sciences du risque et du danger ».

FARGEVIEILLE B. & HÉZARD L. (rapporteurs) (2014), « Concertation entre parties prenantes et développement économique », avis du CESE, https://www.lecese.fr/sites/default/files/pdf/Avis/2014/2014_09_concertation_developpement_economique.pdf

Communauté d'agglomération du Beauvaisis (2019), *Plan climat air énergie territorial de l'agglomération du Beauvaisis*, <http://www.beauvaisis.fr/developpement-durable/pcaet-ou-en-est-on.html>

GUILLAUME O. (2013), « Pêcheurs à la mouche : de l'activité sportive à la maîtrise des risques en rivière », STAPS, *The International Journal of sport science and physical education* 99, p. 11, <https://www.cairn.info/revue-staps-2013-1-page-11.htm?contenu=article>

INERIS Référence (2016), *Le stockage souterrain dans le contexte de la transition énergétique*, 42 p., <https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/ineris-dossierref2015-185x240-10-16bd-1478511473.pdf>

KEMI (2012), *Material Recycling without Hazardous Substances. Experiences and future outlook of ten manufacturers of consumer products. An interview study*, rapport KEMI, 88 p., <https://www.kemi.se/global/pm/2012/pm-14-12-recycled-materials.pdf>

Loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (JORF 18 août 2015), <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000031044385&categorieLien=id>

Métropole de Lyon (2019), *Schéma directeur des énergies*, 336 p., https://blogs.grandlyon.com/plan-climat/wp-content/blogs.dir/8/files/dlm_uploads/2019/05/2019_Sch%C3%A9ma-directeur-des-%C3%A9nergies.pdf

MURPHY D., HALL C., DALE M. & CLEVELAND C. (2011), "Order from Chaos: a preliminary protocol for determining the EROI of fuels", *Sustainability* 3(10), pp. 1888-1907, <https://doi.org/10.3390/su3101888>

PRANA V., ROTUREAU P., FAYET G., ANDRÉ D., HUB S., VICOT P., RAO L. & ADAMO C. (2014), "Prediction of the thermal decomposition of organic peroxides by validated QSPR models", *Journal of Hazardous Materials* 276, pp. 216-224.

RTE, SER, Enedis, ADEef & Agence ORE (2019), *Panorama de l'électricité renouvelable en 2018*, 51 p., https://www.enedis.fr/sites/default/files/field/documents/Panorama_electricite_renouvelable_2018-T4.pdf

VIDALENC E. (ADEME), MAIRET N. & SUDRIES L. (ENERDATA) & BRIAND V. (ÉNERGIES DEMAIN) (2018), *Scénarios d'actualisation du Master Plan pour la Troisième Révolution industrielle en Hauts-de-France*, 118 p., <https://www.ademe.fr/enjeux-energetiques-emplois-hauts-france>

Le changement climatique : quels enjeux pour les entreprises ?

Par Godefroy GALAS et Angel PRIETO
Ingénieurs-élèves des mines

Le dernier séminaire annuel de l'Amicale du Corps des mines s'est tenu le vendredi 4 octobre 2019 à l'École des mines de Paris et a été consacré à la thématique suivante : « Le changement climatique : quels enjeux pour les entreprises ? ». La journée a été ponctuée de conférences plénières où sont intervenus experts et grands témoins, ainsi que d'ateliers de réflexion en groupe portant sur des thématiques diversifiées, telles que l'alimentation, les transports, l'urbanisme et l'aménagement du territoire, le numérique, l'équité ou encore les changements de modes de vie. Le présent article revient sur les principaux enseignements de cette journée riche en réflexions, afin de mettre en lumière le rôle crucial que doivent jouer les entreprises dans la lutte contre le réchauffement climatique et leur nécessaire engagement en faveur du défi majeur de notre siècle que constitue la transition bas-carbone.

Le changement climatique est un problème global, aucun État ne peut le résoudre à lui seul. La poursuite de l'augmentation des émissions de GES traduit la limite des accords internationaux

Par nature, le changement climatique est un problème difficile à résoudre. D'une part, il s'agit d'une problématique globale nécessitant une mobilisation à l'échelle planétaire. D'autre part, il est provoqué par les émissions de gaz à effet de serre, qui sont un exemple bien connu d'externalité : chaque acteur ne subit qu'une petite partie des effets induits par ses propres émissions. Cela explique qu'en l'absence d'instance de régulation internationale capable de contraindre les États, certains (notamment parmi les plus gros pollueurs) adoptent une stratégie de « passager clandestin ». Ces comportements limitent l'efficacité des accords internationaux, qui sont incapables de contenir la hausse des émissions en dépit des multiples tentatives de négociations : l'échec de la dernière COP25 à Madrid l'a démontré une fois de plus. De même, la contrainte faite aux entreprises européennes d'observer des règles vertueuses en matière climatique s'est accompagnée, ces dernières années, de délocalisations à l'étranger des activités émettrices de gaz à effet de serre. En l'absence de système de droits de douane environnementaux aux frontières, ces « fuites de carbone » réduisent considérablement l'efficacité du système d'échange de droits d'émissions – ou quotas carbone – mis en place sur le vieux continent.

Dès lors, la conception de solutions en réponse aux enjeux climatiques ne peut échoir exclusivement aux États ;

c'est de ce constat qu'émerge la nécessité de se tourner vers les entreprises. Mais quel rôle peuvent-elles précisément jouer face au défi climatique ?

Développer des solutions techniques, des modèles d'affaires et des activités compatibles avec la neutralité carbone

Éric Le Boucher, journaliste aux *Échos*, a suggéré, à l'occasion du séminaire, une première piste : « Alors que les scientifiques sont pessimistes, les ingénieurs semblent optimistes pour trouver des solutions concrètes », souligne-t-il. Grâce à des efforts de R&D ciblés sur la transition bas-carbone, les entreprises peuvent concevoir, puis développer à grande échelle, des solutions techniques performantes, et économiquement soutenables, pour limiter les émissions de gaz à effet de serre et ainsi endiguer les effets des changements climatiques. Dès lors, des innovations et investissements peuvent permettre d'optimiser les performances énergétiques des processus industriels, d'isoler massivement et à faible coût les bâtiments, de produire de l'électricité bas-carbone compétitive et de la stocker à grande échelle, etc. Les choix d'innovation doivent, bien sûr, s'accompagner d'une évaluation quantitative des éventuelles émissions résiduelles de la technologie visée (en analysant, par exemple, l'impact sur l'ensemble du cycle de vie), ainsi que d'une réflexion critique sur la compatibilité avec l'atteinte des objectifs de neutralité carbone. Pour ne citer qu'un exemple, le développement massif des véhicules électriques dans des pays dont le mix électrique est fortement carboné, est un non-sens climatique. Dernier point de vigilance à garder à l'esprit : la plupart des experts s'accordent sur le fait que

la décarbonation de l'économie ne pourra se cantonner au « tout technologique ». Il faudra donc agir sur d'autres leviers, tels que les changements de comportements et d'usages, ne serait-ce que pour éviter les effets rebond contrecarrant le gain généré par les mesures d'efficacité énergétique.

Outre le développement de solutions techniques pertinentes, il est de l'intérêt de l'ensemble des entreprises, grands groupes comme PME/TPE, de construire, puis de généraliser des modèles d'affaires compatibles avec le caractère limité des ressources planétaires. Les approches linéaires laisseront progressivement la place à des modèles intégrant fortement l'économie circulaire, non seulement à l'échelle de la chaîne de valeur d'une entreprise, mais aussi à l'échelle des bassins industriels. Afin d'optimiser l'utilisation des ressources, les modèles « *as a service* » (économie de la fonctionnalité) deviendront la norme : il s'agit, par exemple, de vendre le confort thermique d'un bâtiment plutôt que l'énergie pour le chauffer/le refroidir, de vendre des kilomètres parcourus plutôt que des pneus, de la mobilité plutôt que des véhicules, etc. Ces modèles d'affaires permettent d'intégrer la sobriété et l'efficacité dans les structures de coûts et rendent potentiellement compatibles croissance économique et neutralité carbone. Les marchés liés aux techniques et modèles d'affaires précités, qui représentent des montants considérables et connaissent une forte croissance, sont de nature à intéresser les entreprises. Le développement d'une expertise dans la décarbonation se révèle déjà comme un avantage compétitif et un facteur de différenciation au niveau sectoriel. D'ailleurs, certaines entreprises capitalisent d'ores et déjà sur cette expertise pour se positionner sur un marché de grande ampleur actuellement peu exploité : celui du conseil à la décarbonation des entreprises, des villes et des collectivités.

Enfin, l'impératif de rentabilité économique commande aux entreprises d'adopter une vision à long-terme intégrant les changements climatiques au cœur de leur stratégie. Cette évolution radicale passera, en particulier, par le développement de scénarios et de plans d'action anticipant l'impact des changements climatiques sur leurs activités, afin d'en gérer les risques associés. Ces risques peuvent revêtir au moins trois formes différentes :

- les risques physiques, tels que la baisse du rendement de certains procédés industriels avec l'augmentation de la température, des risques naturels sur les infrastructures, etc. ;
- les risques de transition liés à la perte de valeur d'actifs carbonés susceptibles de devenir des actifs échoués (*stranded assets*), à l'image de ce que les économistes anticipent pour les centrales thermiques à charbon, comme conséquence de stratégies de désinvestissement ;
- les risques juridiques induits par l'éventualité de futures réglementations en matière environnementale qui pénaliseront fortement l'inaction climatique des entreprises, voire de leurs dirigeants, comme cela a déjà été le cas pour l'américain Exxon.

Mobiliser l'ensemble des parties prenantes de l'entreprise

Les différentes parties prenantes agissant au sein de la structure de l'entreprise – actionnaires, clients, salariés, banquiers... – sont de plus en plus sensibles aux questions climatiques et environnementales. Dès lors, les dirigeants ont grandement intérêt, d'une part, à porter une stratégie ambitieuse en matière de transition bas-carbone et, d'autre part, à se montrer en capacité de mobiliser et fédérer leurs équipes autour de celle-ci, en l'inscrivant dans la culture d'entreprise. Cette double démarche leur est nécessaire s'ils veulent éviter la matérialisation, vis-à-vis de leurs parties prenantes, d'un certain nombre de risques ou difficultés incluant entre autres :

- le risque réputationnel en cas de problème critique ;
- le risque financier avec des actionnaires et des banquiers refusant de plus en plus de financer des entreprises non vertueuses (charbon, etc.) ;
- la difficulté à recruter de jeunes talents, puisque les jeunes, les forces vives du marché du travail de demain, deviennent de plus en plus sensibles aux questions climatiques ; à cet égard, les exemples de mouvements récents, tels que l'*Affaire du siècle* ou le *Manifeste étudiant pour un réveil écologique*, soulignent la prise de conscience écologique d'une part croissante de jeunes actifs qui ne veulent pas travailler dans des entreprises qui ne placeraient pas la question climatique au cœur de leur stratégie ;
- une ambiance négative au sein des entreprises négligeant cette question ; inversement, une stratégie bas-carbone constitue un élément de fierté et un excellent moyen de mobiliser le personnel ;
- le risque commercial avec des clients, intermédiaires (points de vente, etc.) ou finaux, susceptibles de respectivement déréférencer ou de boycotter les produits non vertueux.

Symétriquement, ce risque commercial peut être exploité comme levier de différenciation par des entreprises décidant d'anticiper le mouvement au lieu de le subir, en jouant un rôle actif dans l'évolution de la demande vers des usages décarbonés, tout en adaptant leur modèle d'affaires et leurs activités pour y répondre. Aujourd'hui encore, dans la conscience collective, l'idéal de réussite reste souvent associé au consumérisme, y compris dans une grande partie de la jeunesse, malgré une sensibilité écologique affichée. À travers la publicité, les entreprises sont omniprésentes dans l'espace public et peuvent contribuer à orienter le comportement des consommateurs, en développant de nouveaux imaginaires positifs qui rendent attrayante l'évolution vers une société sobre et décarbonée pour le plus grand nombre. Une telle vision proactive a été présentée lors du séminaire par Matthias Lelièvre, CEO d'une société de conseil aux entreprises et collectivités sur la neutralité carbone : « Pour gagner la lutte contre le changement climatique, il vaut mieux mettre en avant les opportunités, plutôt que de se concentrer sur les risques ».

Pour mobiliser les équipes autour de cette vision nouvelle, les entreprises doivent faire preuve d'exemplarité dans leur activité, doivent diminuer l'empreinte carbone résultant de leurs modes de travail et sensibiliser leurs salariés. Un point essentiel est la formation de leurs collaborateurs, car les compétences liées à la décarbonation sont souvent mal maîtrisées en interne. En outre, divers outils peuvent être développés pour inciter à la performance bas-carbone : indexation d'une part de la rémunération variable des cadres dirigeants sur l'atteinte d'objectifs chiffrés en matière de réduction des émissions ; mise en place d'une comptabilité carbone afin d'identifier immédiatement les points forts et faibles du modèle d'activité ainsi que les investissements prioritaires, etc.

Soutenir et accompagner les entreprises engagées dans la transition bas-carbone

Pour lui donner sa pleine mesure, la contribution des entreprises doit être soutenue et accompagnée tant par la société civile que par les pouvoirs publics. Les citoyens et consommateurs ont un rôle essentiel à jouer, afin de faire des choix cohérents avec l'objectif de neutralité carbone. Mais surtout, les pouvoirs publics ont la responsabilité d'appuyer les initiatives des entreprises. Divers leviers peuvent être activés : programmes d'investissement dans des solutions à forte intensité capitalistique (transports) ou dont l'horizon d'amortissement est lointain (rénovations thermiques), incitations financières ou fiscales et réglementations (par exemple, en encadrant la publicité pour des produits peu vertueux, tels que les SUV, à l'image de ce qui a été fait pour le tabac). Il revient à l'État de définir un cadre stable qui offre une visibilité sur les évolutions réglementaires à court, moyen et long termes, en définissant – et explicitant – les nouvelles « règles du jeu ». Il lui incombe également d'accompagner les transformations

en cours et à venir par des programmes de soutien aux secteurs les plus affectés par la décarbonation. Dans ces différents domaines, l'action publique sera d'autant plus efficace et pertinente que l'État et les entreprises parviendront à œuvrer en synergie, dans une logique de dialogue et de concertation constants. Les ingénieurs des Mines, présents à la fois dans l'administration et les entreprises, occupent à cet égard une position remarquable pour participer activement à ce travail de co-construction.

Pour réussir le virage de la transition bas-carbone, États, entreprises et citoyens se doivent d'agir de concert. Face à l'urgence climatique, les acteurs économiques doivent prendre leurs responsabilités afin d'activer les leviers dont ils disposent et tirer concrètement les conséquences de la promulgation en mai dernier de la loi PACTE et, surtout, de la modification de l'article 1833 du Code civil. Désormais, cet article dispose non seulement que « toute société doit avoir un objet licite et être constituée dans l'intérêt commun des associés », mais aussi que « la société est gérée dans son intérêt social, en prenant en considération les enjeux sociaux et environnementaux de son activité ». Dès lors, les entreprises devraient concilier ces différents intérêts à l'aune d'une vision raisonnablement optimiste de la compatibilité des scénarios du GIEC avec le maintien de la croissance. Un tel *modus operandi* se situerait ainsi à la jonction de la position pessimiste de Jean-Marc Jancovici, qui argue que la réduction des émissions passera forcément par la décroissance et une réduction forte du pouvoir d'achat, et celle très optimiste de Patrick Pouyanné, pour qui le respect des objectifs écologiques s'accommode bien de la croissance soutenue des pays les moins développés. Alors n'attendons plus et accélérons nos efforts, car comme l'a si bien résumé Valérie Masson-Delmotte : « Chaque choix compte, chaque degré compte, chaque année compte... et je compte sur vous ! ».

Bilan énergétique de la France en 2018

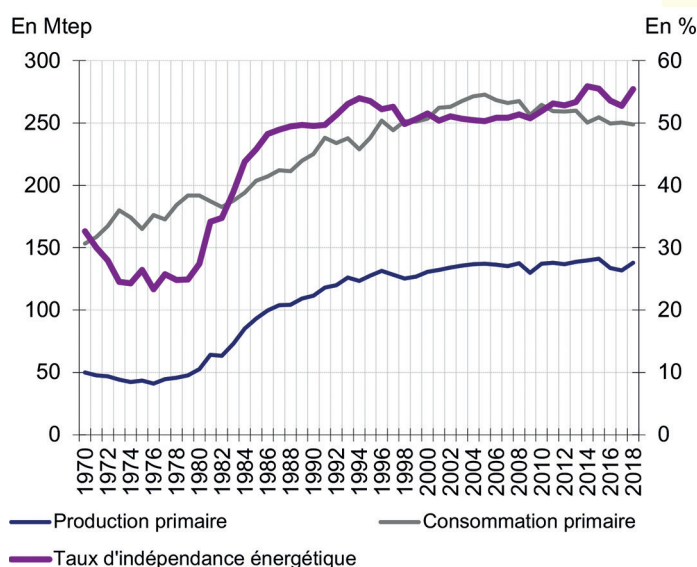
Données définitives

Ministère de la Transition écologique et solidaire
Commissariat général au Développement durable
Sous-direction des Statistiques de l'énergie (SDES)

Après trois années de baisse depuis 2014, le taux d'indépendance énergétique augmente de 2,7 points en 2018, à 55,4 %. En effet, la production primaire augmente en raison du rebond de la production nucléaire et hydraulique, tandis que la consommation primaire décroît légèrement. Corrigée des variations climatiques, cette dernière est quasiment stable. La consommation finale d'énergie baisse de 0,8 %, sous l'effet d'évolutions contrastées des différents secteurs de consommation finale : des hausses dans le tertiaire et surtout dans l'industrie, mais une baisse de la consommation à usage non énergétique ainsi que dans le transport et le résidentiel. Au total, les ménages, entreprises et administrations ont dépensé 167 Md€ pour leur consommation d'énergie. 54 Md€ correspondent aux taxes (nettes des subventions aux énergies renouvelables) et 41 Md€ aux importations nettes de produits énergétiques. Chaque ménage français a dépensé en moyenne 3 100 € pour ses achats d'énergie, à parts égales pour les carburants et le logement, dont 1 400 € de taxes.

Hausse de près de trois points du taux d'indépendance énergétique

La production d'énergie primaire s'élève à 138,0 Mtep en 2018, augmentant de 4,6 % après deux années consécutives de baisse (voir le Graphique 1 ci-contre). Ce rebond s'explique principalement par celui de la production nucléaire qui avait atteint en 2017 son plus bas niveau depuis la fin des années 1990 à la suite d'arrêts prolongés de plusieurs réacteurs nucléaires. Les énergies renouvelables électriques contribuent également à cette hausse en raison de l'augmentation des capacités de production éolienne et photovoltaïque et, pour l'hydraulique, d'une pluviométrie plus favorable qu'en 2017 (voir « Bilan énergétique de la France en 2018 – Données provisoires », *Datalab Essentiel*, avril 2019). La consommation d'énergie primaire nationale, quant à elle, décroît légèrement (- 0,5 %) en raison de moindres besoins de chauffage consécutifs à un hiver plus doux qu'en 2017. En conséquence, les importations nettes d'énergie diminuent de 4,5 % en 2018, à 119,5 Mtep, et le taux d'indépendance énergétique gagne 2,7 points, à 55,4 %, se rapprochant de son pic atteint en 2014 (55,9 %). Corrigée des variations climatiques, la consommation d'énergie primaire est quasiment stable (+ 0,2 %), à 252,4 Mtep.



Graphique 1 : Consommation primaire, production primaire et taux d'indépendance énergétique (source : SDES).

Note : la production et la consommation primaires se lisent sur l'échelle de gauche, le taux d'indépendance énergétique (rapport des deux grandeurs précédentes) sur l'échelle de droite.

Champ : jusqu'à l'année 2010 incluse, le périmètre géographique est la France métropolitaine. À partir de 2011, il inclut en outre les cinq DOM.

Hausse des pertes de transformation, mais baisse de la consommation finale

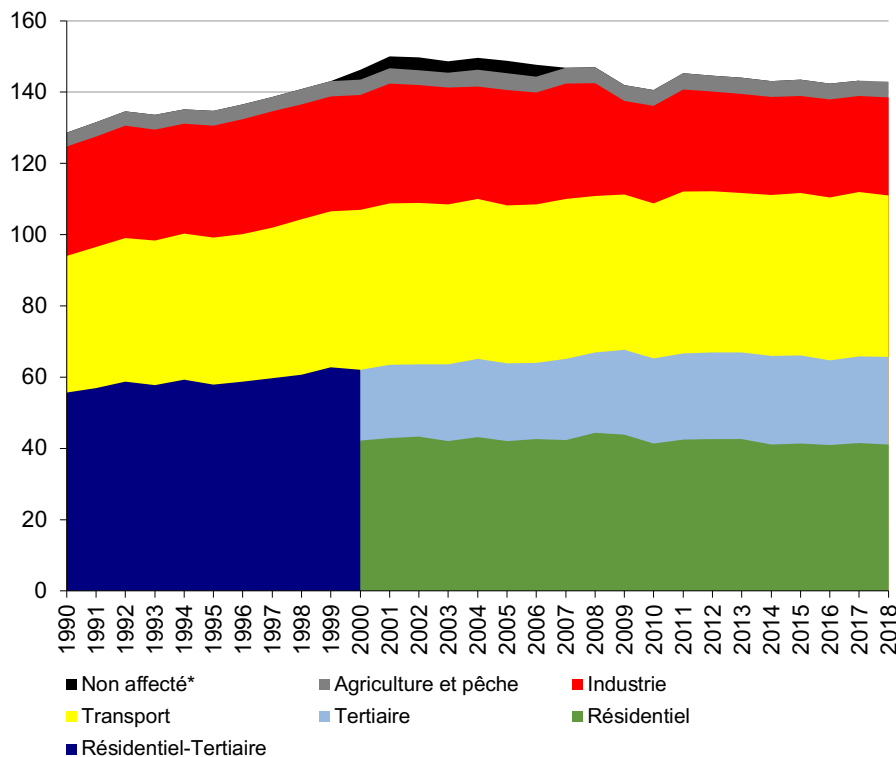
La consommation d'énergie primaire peut être décomposée comme la somme de la consommation finale (à usage énergétique ou non) et des pertes de transformation, de transport et de distribution d'énergie (à l'écart statistique près). Ces dernières, corrigées des variations climatiques, représentent 96,1 Mtep en 2018, en hausse de 1,8 %, après avoir diminué les deux années précédentes. Ce rebond s'explique par celui de la production nucléaire et des pertes de chaleur induites (pour chaque kilowattheure d'électricité produit par une centrale nucléaire, deux kilowattheures de chaleur sont perdus). Deux facteurs jouent en sens inverse, mais sont de moindre ampleur. D'une part, en conséquence de la hausse de la production des centrales nucléaires et de celle issue des énergies renouvelables électriques, les centrales thermiques classiques de production d'électricité ont été moins sollicitées, entraînant une baisse des pertes de transformation associées. D'autre part, la consommation de charbon des hauts-fourneaux (considérés ici comme faisant partie du secteur de la transformation d'énergie), nette de la production de gaz dérivés, diminue de 3 %, à 3,7 Mtep, en raison du tassement de leur activité.

Dans un contexte de croissance modérée du PIB (+ 1,7 %), la consommation finale d'énergie corrigée des variations climatiques décroît de 0,8 % en 2018, à 156,3 Mtep, ce qui traduit la poursuite d'une dynamique de gains d'efficacité énergétique. La consommation finale à usage non énergé-

tique diminue en particulier de 5,9 %, à 13,4 Mtep, du fait notamment de longs arrêts pour maintenance de deux vapocraqueurs, ce qui a affecté l'activité pétrochimique. La consommation finale à usage énergétique diminue, quant à elle, de 0,3 %, à 142,9 Mtep à climat constant. La décomposition sectorielle de cette dernière est la suivante : transport, 32 % ; résidentiel, 29 % ; industrie, 19 % ; tertiaire, 17 % ; agriculture-pêche, 3 % (voir le Graphique 2 ci-après).

Les transports utilisent moins de gazole, mais plus d'essence et de biocarburants

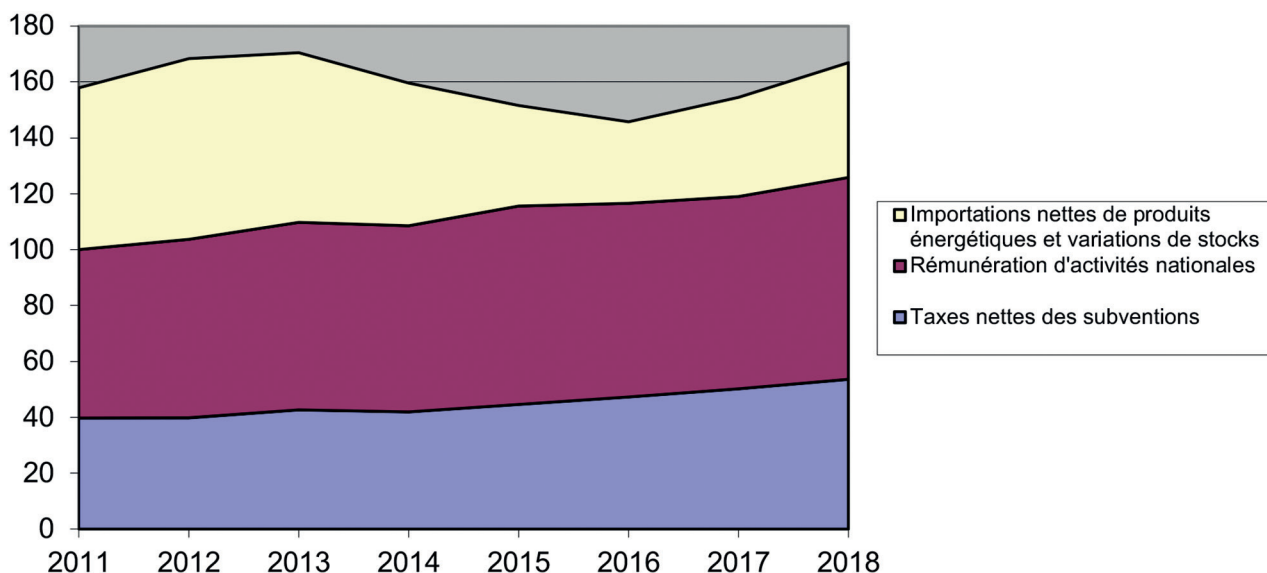
Dans un contexte de stabilité du trafic intérieur routier de passagers et de hausse de 2 % de celui de marchandises, la consommation d'énergie à usage de transport diminue de 1,8 % en 2018, à 45,3 Mtep, rompant avec la hausse observée entre 2014 et 2017. Le bouquet énergétique du transport continue par ailleurs à évoluer : la baisse de la consommation de produits pétroliers (- 2,1 %), qui restent de loin la principale forme d'énergie utilisée pour le transport, contraste avec la progression de 1,9 % des biocarburants (+ 0,6 % pour le biodiesel, + 8,7 % pour le bioéthanol). En outre, le rééquilibrage progressif depuis 2013 du marché des véhicules neufs vers l'essence est de plus en plus perceptible dans la structure de consommation des carburants routiers. En effet, la consommation de gazole décroît de 3,8 %, tandis que celle d'essence augmente de 3,3 % (hors biocarburants incorporés). La consommation d'électricité pour le transport diminue de



Graphique 2 : Consommation finale à usage énergétique (corrigée des variations climatiques) par secteur ou usage (en Mtep) (source : SDES).

* La ventilation de la chaleur vendue entre secteurs consommateurs n'est pas disponible entre 2000 et 2006.

Champ : jusqu'à l'année 2010 incluse, le périmètre géographique est la France métropolitaine. À partir de 2011, il inclut en outre les cinq DOM.



Graphique 3 : Décomposition de la dépense nationale en énergie (en Md€ courants) (source : SDES).

Note : les taxes incluent la TVA payée par les ménages ainsi que la TVA non déductible acquittée par les entreprises.

4,6 %, ce qui s'explique par le repli du transport ferroviaire consécutif aux grèves de la SNCF au deuxième trimestre, la consommation des voitures électriques restant encore marginale.

Baisse de la consommation d'énergie résidentielle

La consommation d'énergie résidentielle baisse en 2018 de 3,1 % en données réelles, à 39,1 Mtep. Cette baisse ne s'explique partiellement que par une plus grande douceur du climat qu'en 2017 : corrigée des variations climatiques, la consommation décroît de 0,7 %, alors qu'elle avait augmenté de 1,1 % en 2017. Cette baisse est imputable aux énergies fossiles. La consommation de gaz baisse en particulier de 2,8 % à climat constant, tandis que celle de produits pétroliers connaît une chute encore plus marquée, de 6,6 %, renouant avec sa tendance baissière de long terme après un rebond en 2017 (probablement imputable à une hausse du niveau de remplissage des cuves de fioul des particuliers). En revanche, la consommation d'électricité augmente légèrement (+ 0,9 %) et les énergies renouvelables poursuivent leur progression (+ 2,4 %), laquelle est toujours tirée par les pompes à chaleur, dont le marché reste très dynamique en 2018. Le bois reste toutefois la principale énergie renouvelable utilisée dans les logements. Sa consommation, qui avait baissé entre 2013 et 2016 en raison de la chute des ventes d'appareils à bois, se stabilise depuis deux ans dans un contexte de légère remontée de ces ventes. Enfin, la progression de la consommation de chaleur livrée *via* des réseaux s'accélère (+ 3,7 %, contre + 1,2 % en 2017).

Hausse de la consommation du secteur productif

La consommation d'énergie de l'industrie (y compris construction, mais hors hauts-fourneaux) rebondit de 1,9 % en données réelles et de 2,4 % en données cor-

rigées des variations climatiques, dans un contexte de légère augmentation de la production du secteur. Ce rebond, qui rompt avec la tendance baissière observée depuis le début de la décennie, est tiré par la consommation de gaz (+ 4,6 %), qui a fortement crû notamment dans la chimie, et, dans une moindre mesure, par celle des énergies renouvelables (+ 12,8 %). La consommation d'électricité, qui reste la première forme d'énergie utilisée dans le secteur, se stabilise (+ 0,2 %), tandis que celle de produits pétroliers continue à décliner (- 4,6 %).

La consommation du secteur tertiaire, qui tend à se stabiliser depuis le début de la décennie, diminue de 1,0 % en données réelles, mais augmente légèrement de 0,5 %, en données corrigées des variations climatiques. La consommation d'électricité, qui représente la moitié de la consommation d'énergie totale du secteur, décroît très légèrement (- 0,2 %), tandis que celle du gaz poursuit sa progression (+ 1,8 %), représentant aujourd'hui près du tiers du total. Enfin, la consommation d'énergie destinée à l'agriculture et à la pêche s'avère assez stable.

Les consommateurs finaux d'énergie ont dépensé 167 md€ en 2018, soit 8 % de plus qu'en 2017

Au total, les ménages, entreprises et administrations ont dépensé 167,4 Md€ en 2018 pour satisfaire leurs besoins en énergie (voir le Graphique 3 ci-dessus). Au sein de cette dépense, le coût des importations nettes de produits énergétiques représente 41,0 Md€, les taxes énergétiques (nettes des subventions aux énergies renouvelables) 38,8 Md€ et la TVA non déductible 14,7 Md€. Le solde, soit 72,8 Md€, correspond à la rémunération d'activités réalisées sur le territoire national, principalement la production d'électricité et d'énergies renouvelables, la gestion des réseaux de gaz et d'électricité, la distribution des carburants et le raffinage de pétrole. La dépense nationale se rapproche ainsi du montant atteint en 2013 à

170,5 Md€. Elle augmente de 8,1 % par rapport à 2017, soit 12,6 Md€. La hausse des prix internationaux de l'énergie et, par conséquent, celle du coût des importations expliquent la majeure partie de cette augmentation. Cette dernière est aussi, dans une moindre mesure, imputable à la montée en charge de la taxation énergétique. Enfin, les revenus captés par les entreprises nationales rebondissent également, après deux années de baisse, en raison principalement de la hausse de la production d'électricité et de celle de son prix moyen hors taxes.

La part de l'énergie dans le budget des ménages progresse de 0,5 point en 2018

Les prix de l'énergie payés par les ménages augmentent en moyenne en 2018, mais avec des disparités fortes selon les formes d'énergie. La remontée des cours du pétrole et, dans une moindre mesure, la hausse de la taxation des produits pétroliers se traduisent par une augmentation du prix du fioul domestique de 23 %, du gazole de 17 % et de celui des supercarburants de 9 %. De manière similaire, le prix du gaz naturel pour les ménages croît de 12 % (dont 1 point est imputable à la suppression du tarif social, lequel est remplacé par le chèque énergie). Le prix de l'électricité domestique augmente plus modérément, de 3,2 %, et de seulement 1,9 % hors tarif social, soit un rythme proche de celui de l'inflation générale.

La facture moyenne d'énergie des ménages s'élève à environ 3 100 € en 2018 (dont 1 400 € de taxes) : elle est en hausse de 7 % en euros courants et est répartie à parts égales entre le logement et les carburants. La facture liée au logement augmente de 2 %, hausse à laquelle contribuent de manière proche le gaz, l'électricité et les produits pétroliers. La dépense des ménages en carburants, tirée par le rebond des prix, augmente encore plus sensiblement, de 12 %, malgré la baisse des volumes consommés. L'énergie représente 9 % du budget des ménages en 2018, soit 0,5 point de plus qu'en 2017. Cette part apparaît toutefois encore sensiblement éloignée de son pic atteint en 1985, à 11,8 % (voir le Graphique 4 ci-après).

L'industrie fait face à des hausses de prix importantes pour les principales formes d'énergie : + 4 % pour l'électricité, + 9 % pour le gaz naturel et + 24 % pour le fioul lourd.

Seul le prix du charbon pour les hauts-fourneaux (intégrés ici à l'industrie) est globalement en baisse. Compte tenu en outre de la hausse des volumes consommés par l'industrie, sa dépense énergétique croît globalement de 8 %. Le secteur tertiaire bénéficie, quant à lui, d'une quasi-stabilité des prix de l'électricité, mais subit une hausse encore plus élevée de celui du gaz naturel, de 12 %. Sa dépense énergétique croît de 4 %, tirée par celles de gaz naturel et de produits pétroliers.

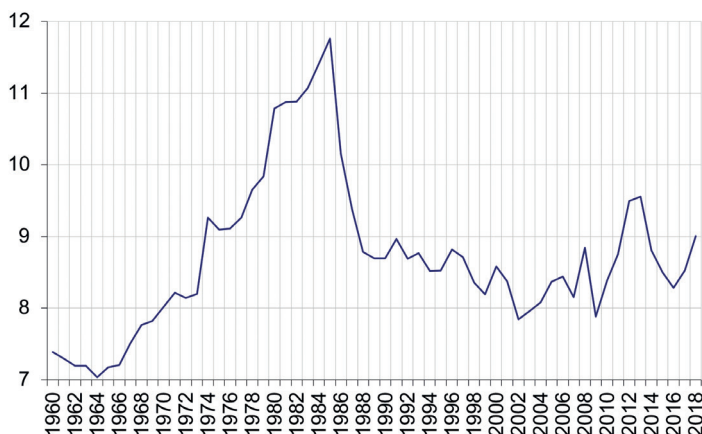
Méthodologie

Cette publication présente les principaux résultats définitifs du bilan énergétique physique et monétaire de la France en 2018, actualisant et complétant le bilan provisoire paru dans la même collection en avril 2019. Le champ géographique couvre la métropole et les cinq départements d'outre-mer. La méthodologie du bilan physique suit les recommandations d'Eurostat et de l'Agence internationale de l'énergie. Le bilan monétaire est construit en cohérence avec le bilan physique, à l'exception des hauts-fourneaux (considérés comme faisant partie de la branche Énergie dans le bilan physique et de l'industrie dans le bilan monétaire).

Une publication plus détaillée est parue début 2020 (<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-01/datalab-64-bilan-energetique-france-2018-janvier2020.pdf>). L'ensemble des séries du bilan est toutefois déjà disponible conjointement à la présente publication sur le site Internet du SDES (<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/energie>).

Pour en savoir plus

- « Bilan énergétique de la France en 2018 – Données provisoires », *Datalab Essentiel*, CGDD/SDES, avril 2019, 4 p., <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilan-energetique-de-la-france-en-2018-donnees-provisaires>
- « Les énergies renouvelables en France en 2018 – Sui- vi de la directive 2009/28/CE relative à la promotion de l'utilisation des énergies renouvelables », *Datalab Essentiel*, CGDD/SDES, septembre 2019, 4 p.



Graphique 4 : Part de la dépense énergétique dans le budget des ménages (en %) (sources : Insee, SDES).

Note : le budget des ménages est calculé comme les dépenses des ménages au sens de la Comptabilité nationale, hors loyers imputés et services d'intermédiation financière indirectement mesurés (Sifim).

The actuality of catastrophes

Foreword

Paul-Henri Bourrelier, honorary engineer from the Corps des Mines, former director of the Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)

Introduction

Maud Devès, Paris University, Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) & Institut Humanités, Sciences et Sociétés (IHSS)

Catastrophe, a multifaceted concept

Learning from the past how to better handle catastrophes

Emmanuel Garnier, CNRS

By drawing on historical sources in the written archives and on images and architecture, extracting, conserving and conveying the memory of past catastrophes prove to be important activities that provide feedback for reinforcing the resilience of contemporary societies, as their vulnerability augments. As the grounds for reconstructing the long-run “trajectories of vulnerability”, history brings to light turning points related to the exposure to risks and lack of adaptation. This helps us dispute the tenet of “never seen before”, a force that increases risk exposure. A comparative approach is then proposed from floods in France (the Seine), British examples of reconstruction after a catastrophe, and a Japanese model for boosting our memory of risks.

Tectonics and religions

Thierry Gaudin, president of the association Prospective 2100

The analysis of ice cores, a technique invented by Claude Lorius, has helped us not only understand the evolution of the climate but also identify explosions of volcanoes (their dates, characteristics and effects). Apart from the explosion of Mount Vesuvius, which destroyed Herculaneum and Pompeii in 79 CE, a few lesser known but just as devastating examples are presented in which unexpected eruptions made the powers-that-be and even religions quake.

The paradoxes of prophesying misfortune: A critique of collapsology

Jean-Pierre Dupuy, Stanford University

In the past few years, a “catastrophist” environmentalism, called collapsology, has made a remarkable impression on public opinion in France. Its supporters are fighting for the right cause, since no one can dismiss an eventual “collapse” of industrial civilization (or even the end of the world). However their message has serious conceptual deficiencies. If heeded, it will eventually spawn panics,

which prophecies of coming catastrophes do not fail to trigger. Light is shed on a fallacy involving the time line separating us from a catastrophe announced but at an unknown date. The disciplines involved in collapsology are all branches of philosophy: metaphysics, logic, ethics and politics.

Futurology, catastrophes and “collapsology”

Jacques Theys, former lecturer at EHESS, vice-president of the Société Française de Prospective

Public opinion has suddenly become aware of the extreme seriousness of the decline in biodiversity and of climate change. This situation provides an echo chamber for the hypothesis of a soon-to-come collapse of “socioecological” systems. Collapsology has several aspects: an emotional shock, an ideological view of the future, a new science and predictions about the future. Only the last two are discussed herein, since the intent is to restore futurology to its place in this debate and show how it differs from collapsology in terms of both its epistemology and hypotheses about the future. Although questions about the risks of (at least partial) collapses are grounded, there are no grounds for the shortcuts that collapsology takes to make dire predictions about the near future, nor for the attitude of “withdrawal” that it advocates. Less fatalistic and categoric, futurology, a practical art oriented toward action, prefers staking out a position between two extremes that it refuses: the denial of the catastrophist hypothesis and the certitude of its realization.

Catastrophes: News and newness

Catastrophic forest fires

Éric Rigolot, Jean-Luc Dupuy, François Pimont & Julien Ruffault, INRAE

A recrudescence of megafires has been observed on all continents. Three principal factors are discussed. Population growth and urban sprawl increase the exposure of goods and people while multiplying accidental fires. Changes in land uses augment the combustible biomass. Finally, climate change and the resulting droughts increase the combustibility of vegetation and thus help fires spread. Interactions between the risk of fire and others risks of biotic or abiotic origins are described, in particular the effects of megafires on the climate owing to the release of masses of greenhouse gases into the atmosphere. The conclusion discusses recommendations for France about the management of combustible substances, rural planning and the responsibility of citizens. The effectiveness of these measures will be judged by the socioecological damage avoided rather than by modifications in the size of the burnt surface area.

The issues raised by reconstruction following Hurricane Irma

Jérémy Desarthe, Nicolas Bauduceau & Antoine Quantin, Caisse Centrale de Réassurance (CCR)

When it struck the French Antilles in September 2017, Hurricane Irma reminded us of the exposure of this zone to natural risks. By covering two billion euros of insured damages, the system of compensation for natural catastrophes demonstrated its capacity for handling the most costly event since its creation in July 1982. The scope of damages forced various parties to address several issues. Insurers were faced with devastated insular areas that were hard to reach. State and local authorities have had to cope with multiple problems since a rapid start was planned for reconstructing the island of Saint Martin. Irma was also an occasion for reflecting on our policies for managing risks overseas, where the insurance penetration rate is much lower than in Europe. Are these policies capable of measuring up to extreme events, which climate change will make more frequent?

A performance appraisal of the 2017 hurricane season in the Antilles

Élie Chevillot-Miot & Cheila Duarte-Colardelle, Department of Risks and Crises, INHESJ; Ingrid Canovas, LATTs, École des Ponts, Gustave Eiffel University; Christian Iasio & Thierry Winter, Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM); & Valérie November, LATTs, UMR 8134 CNRS, École des Ponts, Gustave Eiffel University

A project post mortem helps us benefit from feedback on extreme events, like the 2017 hurricane season in the French Antilles. This sensitive, complex procedure calls for taking account of not only the conditions and uncertainties related to three major hurricanes but also the effects of the actions and decisions of a broad network of actors who intervened at various levels. A performance appraisal should capitalize on individual and group experiences in order to optimize decision-making during abnormal crisis situations, especially given climate change with its unpredictable effects. Feedback has, herein, taken the form of a database with diverse, descriptive data on risks, contingencies, the actions undertaken, interactions between services, etc. The aim is to enhance our knowledge and provide grounds for decision-making by both public and private actors at all levels (operational, tactical and strategic).

French research on natural catastrophes and risks: An assessment of a decade of funding by the ANR and the prospects

Anne Lieutaud, Agence Nationale de la Recherche (ANR); Maud Devès, Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP); Nicolas Eckert, INRAE, LabEx OSUG; Gilles Grandjean, Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), Mélanie Pateau & Céline Billière, Agence Nationale de la Recherche (ANR)

As the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction has pointed out, the success of policies for managing and

preventing risks depends on an involvement of the whole society. Scientific research plays a fundamental role as a knowledge-provider. In 2019, the Agence Nationale de la Recherche (ANR) sought to assess the research programs that it has funded on themes related to natural risks and catastrophes. This task, conducted by an *ad hoc* scientific committee, resulted in a publication and then a seminar with researchers (organized in cooperation with AllEnvi and Athéna). The principal points in this assessment are presented along with the lines of thought pursued during the seminar.

WannaCry, a planetary nightmare

Jean-Luc Aminot, honorary divisional commissioner, Paris University

On 12 May 2017, the planet discovered WannaCry, a ransomware being used in a massive, unprecedented cyberattack. Within four days, this malware infected more than 200,000 computers in 150 countries. In Europe, the information system of Britain's National Health Service was nearly paralyzed; and several big private firms, infected. WannaCry raised the problem of the latent insecurity of the networks that convey billions of data per day in our developed societies. As a consequence and given the obligations related to personal data protection, a genuine attitude of vigilance, protection and resilience must be adopted despite the legacy equipment (that could be improved) in information systems and the growing heterogeneity of these systems. Organizations are being asked to devise an overall strategy for orienting our societies toward vigilance, effective technological protection and genuine resilience.

Financial catastrophes induced by the combination between models and derivatives

Alexis Bonnet & Marko Lehtimäki, Methodology Asset Management

Financial catastrophes are sometimes more endogenous *Nuclear Swans* than exogenous *Black Swans*: How models, when implemented via financial derivatives, can create self-fulfilling/self-destructing market patterns.

Fukushima: Making decisions in extreme situations

Franck Guarnieri & Sébastien Travadel, MINES ParisTech/PSL, Centre de Recherche sur les Risques et les Crises (CRC)

The decision by the director of the Fukushima nuclear power station to inject seawater to cool the reactor's fuel rods reveals the limits of defining security exclusively in terms of obeying normative instructions. The unprecedented actions accomplished by operators at this power station over several days to keep the reactors from melting down reminds us that crisis management ultimately depends on human beings, on their involvement, imagination and decision-making ability their capacity for making choices, all this sometimes with heavy consequences.

Acting together to cope with catastrophes

The doctrine of nuclear safety: Continuous improvements to better manage nuclear accidents

Jean-Luc Lachaume & Sylvie Cadet-Mercier, Autorité de Sûreté Nuclear (ASN)

Since the 1970s, the French doctrine of nuclear safety has been modified to take account of the lessons drawn from incidents and accidents around the world. Initially, the priority was to prevent accidents. Over the years, emphasis was shifted toward limiting the effects of accidents and managing emergencies. This trend has led to a considerable reinforcement of nuclear installations. An analysis of the factors that trigger more complex accidents (which result, in particular, from an accumulation of events) has led to adopting additional material and organizational measures for limiting the effects of radiation. After the Chernobyl accident, attention was turned toward protecting the population; and crisis management during the phase following the release of radioactive substances has been developed to better handle an accident's long-term effects on health, the society and environment.

Managing catastrophes: Outside our steering range

Patrick Lagadec, honorary director of research, École Polytechnique

At the start of the 1970s, a report made waves in Great Britain; and the conclusion was soon drawn that the current complexity of industrial installations and the exponential quantity of products in storage were reasons to overhaul the management of risks related to technology. In France, an equivalent trend led to a review of high-risk installations: the Seveso directives, the requirement of appraisals by experts, the information to be given to neighboring areas, the preparedness for major accidents. Should this process, half a century later, be repeated but with even higher goals? Major systemic interdependencies and turbulence has upended our mapping of risks. We have to "fracture our mental universe" and create the conditions for inventing new collective means of "steerage", since the risks we now face have moved beyond our range of vision and beyond the procedures and tools imagined.

Resilience: On the right or wrong track?

Magali Reghezza, LGP-UMR 8591, École Normale Supérieure

Resilience, initially a descriptive scientific concept, became, at the turn of the century, a key theme in international policies for reducing the risks of catastrophes (RRC). In academia, several critiques have been aimed at this fuzzy, polysemous word. Although it is difficult to make it operational, resilience opens interesting perspectives for overhauling risk prevention and crisis management. Far from promising miracles, resilience as a specification can be taken to be a method that, despite uncertainties, integrates various aspects of risk-reduction as well as the medium and long terms.

Catastrophes and health: Conceptual and political aspects

William Dab, Conservatoire National des Arts and Métiers, former director of Health

Catastrophe is an ambiguous concept, a value judgement that brings nothing to decision-making. We have to resort to the notion of risk in order to assess and qualify catastrophes. Depending on the level of uncertainty, responses to risks are matters of prevention or precaution. A suspicion of risks might set off a crisis, whereas strong risks do not necessarily do so. Two implications of this come under discussion: on the one hand, the need to pay attention to social perceptions of risks; and on the other hand, the need to draft a policy for handling health risks lest the concept of catastrophe be trivialized.

Research, expertise and decision-making in crisis management

Maud Devès, Paris University, Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) & Institut Humanités, Sciences et Sociétés (IHSS)

Science has an important function in relation to the risks of catastrophes, namely to provide the evidence to be used to devise collective actions. When a decision has to be made, scientists are naturally asked to intervene. However the forms of their interventions are variable; and it is not always easy to find the "right" place for them. Some of the inherent difficulties of articulating research and expertise are reviewed before inquiring into the new issues arising out of changes in the relation between science and society during the past decades.

Catastrophes: What do humanitarian organizations have to say?

François Grünewald, director of Groupe URD

As the environment is blighted owing, in particular, to climate change, accelerated urbanization and the growing vulnerability of large swaths of the population, managing risks and responding to their occurrences have become key issues in our societies. The "actors of solidarity" – NGOs, multilateral procedures and, perhaps above all, state organizations devoted to solidarity – are trying to react, each time making progress but still encountering many a hurdle. A major axis of thought is to place resiliency at the center of strategies for developing local areas and society. Given ever more extreme events, preparedness has become a requirement in order to be able to respond more rapidly and more effectively and to undertake a more resilient development following a crisis.

Miscellany

Levers of action for a clean, sure energy mix at the service of local authorities

Florence Carré, Karine Adam, Raymond Cointe & Olivier Gentilhomme, INERIS; Mathieu Brugidou & Olivier Guillaume, EDF; Pauline Gabillet, Métropole de Lyon; Corinne Gendron, University of Quebec at Montreal (UQAM); Magali Jakubowicz, Community d'Agglomération du Beauvaisis; Jean-Yves Leber, Écologie sans Frontière; Stéphane Mocanu, INRIA; Isabelle Moretti, Pau University; Éric Vidalenc, ADEME; & Jacques Villeneuve, Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)

Local authorities are increasing their efforts to reach the objectives set by the TECV Act on the energy transition for green growth. Among these goals is to bring, by 2030, the share of renewables up to 32% of brut final energy consumption. The industrial and environmental risks are pointed out in relation to the emergence of new players in renewables and of new materials and techniques. Technical and organizational solutions are proposed for controlling these risks and turning this transition into an opportunity for local areas.

Climate change: What is at stake for firms?

Godefroy Galas & Angel Prieto, engineering students, École des Mines

The annual seminar of the Amicale du Corps des Mines (on 4 October 2019 at École des Mines in Paris) was devoted to the question of how climate change pertains to firms. The seminar included full sessions with lectures by experts and stakeholders as well as workshops on various themes, among them the food supply, transportation, urban and rural development, digital technology and changing lifestyles. The major points made during this seminar shed light on the crucial role that firms have to play in the fight against global warming and for a transition toward a low-carbon economy.

The energy balance sheet for France in 2018: Definitive statistics

Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, Commissariat Général au Développement Durable, Sous-direction des Statistiques de l'Énergie (SDES)

Issue editors: Maud Devès & Paul-Henri Bourrelier

Ont contribué à ce numéro :



D.R.

Karine ADAM est titulaire d'un DEA de chimie fine de l'Université de Rennes. Karine Adam travaille depuis vingt ans à l'INERIS sur l'évaluation et la prévention des risques et des impacts environnementaux liés aux installations ICPE, parmi lesquelles les installations de méthanisation et les bioraffineries du futur (à l'échelle

du procédé, de l'installation et sur l'ensemble de la chaîne de valeur). Elle participe également à l'élaboration des documents de référence BREF à l'échelle européenne pour différents secteurs industriels.



D.R.

Jean-Luc AMINOT est commissaire divisionnaire honoraire de la Police nationale, ancien responsable central SSI de l'Inspection générale de la Police nationale de mars 2014 à mai 2018, ancien responsable des missions d'expertise des technologies de l'information et de la

communication et de la sécurité des systèmes d'information, attaché au cabinet des études, des inspections et des audits de l'IGPN.

Il a été chargé d'enseignement de la sécurité des systèmes d'information au sein du Master Ingénierie des risques de l'Université Paris V de 2011 à 2019.

Il enseigne la sécurité des systèmes d'information au sein du Master MIAGE de l'Université Paris 1 – Panthéon Sorbonne depuis 2018.

Il est également Docteur en droit et membre de l'ARCSI (l'Association des réservistes du chiffre et de la sécurité de l'information).

Nicolas BAUDUCEAU est ingénieur agronome diplômé de l'Institut national agronomique Paris-Grignon et titulaire d'un DEA d'économie internationale obtenu à l'Université Paris II. Nicolas Bauduceau est actuellement directeur des Fonds publics et de la prévention au sein de la CCR, une entreprise publique intervenant au cœur du système d'indemnisation des catastrophes naturelles en France. Il débute sa carrière en 2000 au sein de l'Agence de l'eau Loire Bretagne travaillant sur des problématiques de vulnérabilité des activités agricoles face aux inondations. Il poursuit ses activités entre 2003 et 2006 au sein d'un cabinet parisien de consultants sur des thématiques liées à la prévention des risques naturels, à l'environnement et à l'évaluation des politiques publiques dans ces domaines. De 2006 à 2017, il travaille au sein du Centre européen de prévention du risque inondation (CEPRI), dont il devient le directeur scientifique et technique à partir de 2011,

avant de rejoindre au début de l'année 2018 la CCR, au sein de laquelle il développe un pôle dédié à la prévention des risques naturels.



D.R.

Céline BILLIÈRE est diplômée de l'École d'ingénieurs Polytech Sorbonne en sciences de la Terre. Elle est chargée de projets scientifiques à l'Agence nationale de la recherche. Elle a travaillé sur des appels à projets nationaux en lien, notamment, avec le climat et les phénomènes extrêmes.

Depuis peu, elle travaille sur l'appel à projets transnational BiodivClim « Biodiversité et changement climatique » (réseau BiodivERsA).

Alexis BONNET is co-CEO of Methodology Asset Management (London). He graduated from École Polytechnique and École des Mines. He has been a Professor of Mathematics and received the Prize of the European Mathematical Society in 1996 for his work on partial differential equations. He subsequently joined the investment bank Goldman Sachs was one of the founders of Methodology Asset Management in 2001.

Paul-Henri BOURRELIER est ingénieur général des Mines honoraire. Il a été directeur général du BRGM, puis président des Houillères du Centre et du Midi. Il a dirigé de 1994 à 1997 une mission d'évaluation de la politique publique de prévention des risques naturels et a ensuite été un des fondateurs de l'Association française de prévention des catastrophes naturelles, dont il a été le vice-président exécutif. Il est l'auteur de plusieurs ouvrages dont : en 1989 (avec Robert Diethrich), *Le mobile et la planète, l'enjeu des ressources naturelles* ; en 1998 (avec Jacques Berthelin), *La contamination des sols par les éléments en traces, les risques et leur gestion* ; et en 2000 (avec Guy Deneufbourg et Bernadette de Vanssay), *Les catastrophes naturelles, le grand cafouillage*.



D.R.

Mathieu BRUGIDOU est Docteur et HDR en science politique, diplômé d'un master de communication politique et d'une maîtrise de philosophie. Mathieu Brugidou est actuellement chercheur à EDF Lab, chercheur associé au sein de l'équipe PACTE du CNRS. Mathieu Brugidou travaille sur les contro-

verses accompagnant l'installation de technologies énergétiques dans les territoires et sur le débat public.



Sylvie CADET-MERCIER est diplômée de l'École spéciale des travaux publics (option : mécanique électricité) et est ingénieure en génie atomique de l'Institut national des sciences et techniques nucléaires.

En 1987, elle débute sa carrière professionnelle dans le domaine de la neutronique

au sein de l'entreprise FRAMATOME comme ingénieur d'études.

En 1998, Sylvie Cadet-Mercier rejoint l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) en tant qu'ingénieure au sein du bureau d'Analyse des accidents thermohydrauliques.

En 2012, elle est nommée directrice des Systèmes, nouveaux réacteurs et démarches de sûreté. Elle est responsable de l'élaboration des expertises pour les nouveaux réacteurs. Elle coordonne par ailleurs les activités transverses d'expertise post-Fukushima pour les installations françaises.

En 2016, Sylvie Cadet-Mercier est nommée commissaire de l'ASN par le Président de la République. Ces dernières années, elle a été très impliquée dans les activités européennes d'audit par les pairs, notamment en ce qui concerne la maîtrise du vieillissement et les évaluations de sûreté post-Fukushima.



Ingrid CANOVAS est Docteure en géographie et ingénieure de recherche au sein du Laboratoire Techniques, Territoires et Société (LATTS), à l'Université Gustave Eiffel depuis 2019, sur le projet de recherche-action APRIL. Ses recherches portent sur

la gestion des risques et des crises, après avoir soutenu sa thèse sur « La modélisation de la montée vers un état critique de la situation de basses eaux sous forçages naturels et anthropiques en région méditerranéenne » en 2016, sous la direction du Pr. Philippe Martin (Université d'Avignon) et du Pr. Sophie Sauvagnargues (Institut MinesTélécom Alès).



Florence CARRÉ est docteure en sciences des sols, ingénieure agronome, titulaire d'un MSc de l'Université Wageningen (Pays-Bas) et d'une licence de psychologie. Après avoir travaillé comme chercheuse au Centre commun de recherche de la Commission européenne, elle a intégré l'INERIS en

2010 comme responsable des affaires européennes, puis comme coordinatrice scientifique. Depuis un an et demi, elle coordonne un projet de recherche explora-

toire sur la gestion intégrée des risques technologiques et environnementaux liés à la transition énergétique dans les territoires.



Élie CHEVILLOT-MIOT

est Docteure en géographie des risques et des crises. Elle est diplômée de l'Université de Nantes et est actuellement ingénieure de recherche (Post-doc) sur le projet de recherche-action de l'ANR « Ouragans 2017 : risques, catastrophe et résilience », intitulé APRIL « optimiser

l'Anticipation et la Prise de décision en situation de crise extrême pour maintenir la Résilience de la société ». Ses recherches portent sur les risques naturels, en particulier en milieu littoral, et sur la gestion de crise. Elle a soutenu en 2017 sa thèse portant sur « la résilience des territoires littoraux face au risque de submersion marine. Application sur les territoires de la Charente-Maritime et de la Somme », sous la direction du Pr. Denis Mercier (Université Paris-Sorbonne – Paris IV).



Raymond COINTE est Docteur en génie mécanique et environnemental de l'École nationale des Ponts et Chaussées et de l'Université de Californie à Santa Barbara (UCSB) et est ingénieur de l'École polytechnique. Raymond Cointe est directeur général de l'INERIS depuis 2013, après avoir été

conseiller principal des ministres de l'Écologie et du Développement durable (2012-2013), responsable de la direction des Affaires européennes et internationales du ministère français de l'Écologie, ingénieur de recherche à l'Institut français du pétrole (IFP) et au Bassin d'essais des carènes de la direction générale de l'Armement (DGA).



William DAB est ancien directeur général de la Santé (2003-2005). William Dab est professeur titulaire de la chaire « Hygiène et sécurité » du Conservatoire national des Arts et Métiers (Cnam). Il est aussi le responsable de la chaire « Entreprises et santé » créée par

le Cnam en collaboration avec Malakoff Humanis. Il assure la responsabilité pédagogique des formations en sécurité sanitaire du travail et de l'environnement du Cnam, notamment une filière d'ingénieur, spécialité gestion des risques.

Médecin, ancien interne des Hôpitaux de Paris et Docteur es sciences (épidémiologie), ses travaux de recherche ont concerné la surveillance épidémiologique, l'évaluation des risques et des actions de prévention, notamment dans les domaines de l'environnement et du travail. Il a créé et dirigé le laboratoire Modélisation, évaluation et surveillance des risques sanitaires (MESuRS).

Membre d'une dizaine de sociétés savantes et ancien vice-président de la Société française de santé publique, il a été membre élu du comité exécutif de l'OMS et président du Comité européen Environnement et santé de l'OMS pour la région Europe (53 pays membres).

Il est l'auteur de six livres et d'une centaine de publications scientifiques, notamment :

- *La santé et le travail*, Arnaud Franel Éditions, 2018 ;
- *Agir face aux risques – Pour un pacte de confiance sanitaire* (en collaboration avec Salomon D.), PUF, 2013 ;
- *Santé et environnement*, collection « Que sais-je ? », n°3771, PUF, 2020.

Jérémy DESARTHE est Docteur en histoire. Ses travaux portent sur l'environnement, le climat et les risques naturels. Jérémy Desarthe est actuellement chargé de mission Prévention des risques naturels au sein de la CCR, une entreprise publique intervenant au cœur du système d'indemnisation des catastrophes naturelles en France. Après sa thèse de doctorat soutenue en 2011 et consacrée au climat et aux catastrophes dans l'ouest de la France, il coordonne la création de la base de données des événements historiques extrêmes HISTCLIME. En 2012, il rejoint l'Institut du développement durable et des relations internationales (IDDRI – Sciences Po) dans le cadre du projet de recherche Vulnérabilité, consacré à la reconstruction des trajectoires de vulnérabilité à La Réunion. En 2013, Jérémy Desarthe poursuit ses travaux au sein du département Recherche et modélisation de la Caisse centrale de réassurance avant de rejoindre le département Fonds publics et prévention en 2019. Il participe depuis 2018 au projet Tirez de l'ANR, lequel est consacré à l'amélioration de la résilience des sociétés antillaises aux risques cycloniques.

Maud H. DEVÈS est maîtresse de conférences à l'Université de Paris où elle est affiliée à l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP) et à l'Institut Humanités, sciences et sociétés (IHSS). Ses recherches portent sur les risques et catastrophes naturels, thématique qu'elle aborde grâce à une double formation en géophysique (Doctorat, 2010) et en psychosociologie (Master, 2013). Elle a publié une trentaine d'articles et chapitres d'ouvrages portant sur la connaissance des aléas géophysiques, leur rôle dans l'histoire de l'évolution humaine, sur le rôle des scientifiques et des médias dans la gestion et la prévention des risques et des crises ou encore les enjeux psychiques de la relation entre l'Homme et son environnement. Elle co-pilote actuellement le projet ANR V-CARE qui vise à contribuer à l'amélioration des dispositifs d'alerte volcanique, en prenant en

compte, notamment, les effets psychiques d'une alerte précoce sur les acteurs de la décision et les populations. Elle préside le conseil scientifique de l'Association française de prévention des catastrophes naturelles et le comité scientifique Flash Ouragans 2017 de l'Agence nationale de la recherche. Elle est également membre du conseil scientifique du Collège international des sciences territoriales, du conseil d'orientation du programme interdisciplinaire RISK de l'Université de Grenoble et du bureau de direction du Centre de recherche interdisciplinaire des Politiques de la Terre de l'Université de Paris.

Cheila DUARTE COLARDELLE est Docteure



en ingénierie et sciences de gestion. Elle est diplômée de l'École nationale supérieure des Mines de Paris (Mines ParisTech) et a soutenu en 2006 sa thèse sur l'« Analyse du comportement des organisations et des émergences en temps de crise », sous la direction du professeur Jean-Luc Wybo. Elle

est actuellement chargée de recherche au sein du département Risques et crises de l'Institut national des hautes études de la sécurité et de la justice (INHESJ) et est coordinatrice du projet ANR APRIL. Elle travaille principalement sur les thématiques de la gestion de crise et du retour d'expérience.

Jean-Luc DUPUY est directeur de recherche à l'INRAE d'Avignon et est responsable de l'équipe Physique et écologie du feu au sein de l'URFM, depuis 2007. Il a commencé ses recherches sur les incendies de forêt au début des années 1990 dans le cadre de sa thèse. Son expertise englobe la modélisation du comportement et des effets des incendies de forêt par des approches physiques, l'instrumentation des feux expérimentaux, la caractérisation des combustibles forestiers, l'évaluation du risque et la prévention des incendies. Dans la période récente, il a orienté les travaux de son équipe vers la modélisation des régimes d'incendies de forêt et la compréhension de leurs déterminants dans un contexte de changements globaux, avec un focus sur la dynamique de la teneur en eau de la végétation, abordée par le biais d'approches éco-physiologiques.



Jean-Pierre DUPUY est professeur de philosophie et de sciences politiques à l'Université Stanford (Californie). Il est membre de l'Académie des Technologies, ancien professeur de philosophie sociale et politique à l'École polytechnique (Paris), ancien membre du Conseil général des Mines, ancien

président du comité d'éthique et de déontologie de l'Institut français de radioprotection et de sécurité nucléaire

et directeur des recherches de la Fondation Imitatio (San Francisco).

Au titre de ses ouvrages récents, figurent : *The Mechanization of the Mind* (Princeton University Press, 2000) ; *Pour un catastrophisme éclairé* (Seuil, 2002) ; *Avions-nous oublié le mal ? Penser la politique après le 11 septembre* (Bayard, 2002) ; *La Panique* (Les empêcheurs de penser en rond, 2003) ; *Petite métaphysique des tsunamis* (Seuil, 2005) ; *Retour de Tchernobyl : journal d'un homme en colère* (Seuil, 2006) ; *On the Origins of Cognitive Science* (The MIT Press, 2009) ; *Libéralisme et justice sociale*, Hachette, coll. « Pluriel », 2009 ; *Dans l'œil du cyclone* (Carnets Nord, 2009) ; *La Marque du sacré* (Flammarion, coll. « Champs », 2010, prix Roger Caillois de l'essai) ; *L'Avenir de l'économie* (Flammarion, 2012) ; *La jalousie* (Seuil, 2016) ; *La Guerre qui ne peut pas avoir lieu. Essai de métaphysique nucléaire* (Desclée de Brouwer, 2019).



D.R.

Nicolas ECKERT est chercheur à INRAE Grenoble, où il anime l'équipe Montagne, Décision Risques naturels. Normalien, ingénieur en chef des Ponts, des Eaux et des Forêts, docteur en statistique appliquée d'AgroParis-Tech et titulaire d'une HDR de l'Université Grenoble Alpes, ses travaux portent sur la caractérisation des

aléas et des risques en montagne et de la réponse à ceux-ci face aux changements environnementaux. Chargé de mission risques naturels et environnementaux de l'INRAE, il est également directeur adjoint recherche en charge de l'axe risques du Labex OSUG et co-animateur du GET risques de l'alliance AllEnvi.



D.R.

Pauline GABILLET est Docteure en urbanisme et chercheuse associée au LATTs sur les questions de gouvernance énergétique urbaine. Pauline Gabillet est depuis 2015 chef de projet du Schéma directeur des énergies de la Métropole de Lyon.



D.R.

Godefroy GALAS est ingénieur-élève du Corps des Mines et est également ingénieur diplômé de Télécom Paris avec une spécialisation en cybersécurité, diplômé d'HEC Paris et titulaire du master Affaires publiques (Prép'ENA) de l'Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne. Passionné par les nouvelles

technologies, sa formation et ses expériences professionnelles lui ont fait prendre pleinement conscience des enjeux stratégiques portés par la numérisation croissante des entreprises et des institutions publiques, en matière de modèle économique et de sécurité des données. Dans ce contexte, il s'efforce d'étudier tous les aspects de la révolution numérique, qu'ils soient économiques, environnementaux, sociétaux, juridiques, organisationnels ou politiques.

Au service de l'État, il souhaiterait contribuer activement à la dynamisation du tissu économique et industriel français. Dans cette perspective, il souhaite s'impliquer dans les thématiques de la transformation numérique et de la cybersécurité, dans un monde où les développements technologiques bouleversent le fonctionnement du secteur public comme celui du secteur privé.



D.R.

Emmanuel GARNIER

est directeur de recherche au CNRS (UMR Chrono-Environnement, Université de Besançon) et est membre senior de l'Institut universitaire de France. Emmanuel Garnier est par ailleurs professeur et chercheur invité aux Universités de Cambridge, Genève, MIT,

Rimouski et, actuellement, au Disaster Prevention Risk Institute de l'Université de Kyoto. Ses recherches sont consacrées à l'histoire des catastrophes et du climat et à leurs enseignements en matière de réduction de la vulnérabilité et de stratégies d'adaptation. Il participe également à plusieurs conseils scientifiques, dont ceux du Conservatoire du Littoral, la Ocean & Climate platform et est membre de la European Union Community of users for secure, safe and resilient societies (EU, HOME OFFICE). Il dirige ou collabore à plusieurs projets de recherche nationaux et internationaux, dont le récent projet européen Resilience-Increasing Strategies for Coasts-ToolKIT et le projet franco-japonais PICS CNRS SECURES (Safe, sECURE and RESilient Societies). Il intervient par ailleurs en tant qu'expert-contributeur pour le UN Office for Disaster Risk Reduction, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et EDF. Ses travaux lui ont valu plusieurs récompenses décernées par l'Institut de France, l'Académie de Marine et la Fédération française des sociétés d'assurance.



D.R.

Thierry GAUDIN est ingénieur général des Mines honoraire. Thierry Gaudin (<http://gaudin.org>) est docteur en sciences de l'information et de la communication (il est l'auteur d'une thèse sur travaux intitulée « Innovation et prospective : la pensée anticipatrice »). Il est, depuis 1993, président de l'association « Prospective 2100 » (<http://2100.org>).

Au titre de son parcours professionnel, il a exercé successivement :

- de 1965 à 1969 : auprès du préfet de la région Nord, où il était chargé des questions industrielles et de recherche,
- de 1971 à 1981 : au ministère de l'Industrie, en qualité de responsable de la construction d'une politique d'innovation,
- de 1982 à 1992 : au ministère de la Recherche et de la Technologie pour fonder et diriger le Centre de prospective et d'évaluation : veille technologique internationale, évaluation de l'efficacité des recherches et des grands programmes technologiques, prospective.

Il a en outre :

- de 1988 à 1990, dirigé la plus importante étude au monde consacrée à la prospective du XXI^e siècle. Elle a été publiée en 1990 chez Payot sous le titre « 2100, récit du prochain siècle », elle a fait l'objet d'une réimpression en 1993.
- publié 16 livres, dont les plus connus sont : *L'écoute des silences*, *Pouvoirs du rêve*, *Prospective des religions*, *Discours de la méthode créatrice*, *L'avenir de l'Esprit*, *La pensée modes d'emploi* et le « Que sais-je ? » sur *La prospective*.



D.R.

Corinne GENDRON

est avocate, sociologue et titulaire d'un MBA. Corinne Gendron est actuellement professeure titulaire à l'École des sciences de la gestion du département de Stratégie, responsabilité sociale et environnementale de l'Université Québec A Montréal (UQAM) et est

titulaire de la chaire « Responsabilité sociale et de développement durable ». Elle s'intéresse aux transformations sociales et aux institutions, en particulier les nouvelles régulations, l'acceptabilité sociale et les systèmes de gouvernance dans un contexte de mondialisation.



D.R.

Olivier GENTILHOMME

est Docteur en mécanique des fluides, ingénieur de l'Institut des sciences de l'ingénieur en thermique-énergétique et matériaux. Olivier Gentilhomme est, depuis 2007, ingénieur à l'INERIS. Après avoir travaillé sur la modélisation des phénomènes

dangereux (dispersion, incendie, explosion...), il se consacre aujourd'hui à l'identification et à l'analyse des risques accidentels et s'occupe

d'un programme d'appui auprès du ministère de l'Environnement sur les énergies nouvelles.



D.R.

Gilles GRANDJEAN

obtient en 1992 un Doctorat en géophysique de l'Université de Montpellier (France). Après un stage postdoctoral d'un an à l'École polytechnique de Montréal (Canada), il rejoint le BRGM en 1995, où il commence à travailler en tant que chef de projet en géophysique. Il

obtient ensuite une HDR en 2000 et prend en charge la chaire de géophysique de l'Université de Liège (Belgique) durant une période sabbatique d'un an. En 2009, il revient au BRGM, où il devient responsable du groupe Instabilités gravitaires. Il occupe le poste de directeur adjoint à la direction Risques et prévention de 2013 à 2018. Il est aujourd'hui directeur du programme de recherche sur les risques naturels. Il est l'auteur de plus de 65 publications internationales (h-index 26) et a reçu, en 2004 et 2012, les prix EAGE Mintrop pour le meilleur article en géophysique de proche surface. Il a été impliqué, en tant que coordinateur ou collaborateur, dans plusieurs projets nationaux ou internationaux.



D.R.

François GRÜNEWALD

est ingénieur agronome de l'INA-PG. Il travaille depuis plus de 35 ans dans le secteur de la solidarité internationale. Après avoir occupé différents postes à l'ONU, au CICR et dans des ONG, il est nommé, en 1997, directeur général et scientifique du groupe Urgence Réhabilitation

Développement (groupe URD : institut de recherche, d'évaluation, de production méthodologique et de formation spécialisé dans la gestion des crises, l'action humanitaire et la reconstruction). Il y anime les activités de recherche et d'évaluation de programmes humanitaires, de gestion de crise et de reconstruction (Post Mitch, Tchétchénie, zone Tsunami, Somalie, Darfur, Grands Lacs, Kosovo, Afghanistan, Géorgie, Haïti, crise syrienne, Népal, réponse Ebola, etc.) pour les bailleurs de fonds, le mouvement de la Croix Rouge, les Nations Unies et des ONG. Ancien professeur associé à l'Université Paris XII, il enseigne aussi dans diverses institutions en Europe, ainsi qu'au Canada et aux États-Unis. Auteur de nombreux articles, il a dirigé plusieurs ouvrages, notamment : *Entre urgence et développement* ; *Villes en guerre et guerre en villes* ; *Bénéficiaires ou partenaires : quelques rôles pour les populations dans l'action humanitaire*, aux Éditions Karthala (voir : www.urd.org).



D.R.

Franck GUARNIERI est directeur de recherche à MINES ParisTech – Université Paris sciences et lettres (PSL). Il dirige le Centre de recherche sur les risques et les crises (CRC). Ses travaux de recherche, à la croisée des sciences de l'ingénieur, de l'anthropologie et de la philosophie, s'intéressent aux

relations entre l'Homme, la technique et les machines, notamment quand l'action humaine est confrontée à des situations extrêmes. Il est titulaire d'un Doctorat de l'Université Grenoble Alpes (UGA) sur l'apport de l'intelligence artificielle à la gestion des risques et des crises (1995) et d'une Habilitation à diriger des recherches (HDR) de l'Université Côte d'Azur (UCA) sur le même sujet (2004). En 2014, il a reçu le prix René Joseph Laufer de l'Académie des sciences morales et politiques pour ses travaux.

Olivier GUILLAUME est Docteur en sociologie de l'Université Paris IX Dauphine. Olivier Guillaume est chercheur-expert au sein du groupe Facteurs organisationnels et humains des systèmes socio-techniques (FOHSST) d'EDF Lab. Il est également membre du laboratoire PRINTEMPS de l'Université Versailles-Saint-Quentin. Son travail de recherche porte sur la sociologie des risques, des organisations et de la gestion, et sur l'articulation entre loisirs, travail et organisations.



D.R.

Christian IASIO est chercheur et développeur de projets dans les domaines de la gestion des risques et des crises à la direction Risques et prévention du Bureau de recherches géologiques et minières.

Magali JAKUBOWICZ est diplômée de l'Institut d'urbanisme de Lyon. Magali Jakubowicz est actuellement chargée de mission du plan Climat Air Énergie territorial dans une intercommunalité de 103 000 habitants. Sa formation initiale autour des thématiques connexes à l'urbanisme (telles que le développement local et durable, l'environnement, la gestion du droit des sols) s'inscrit en complémentarité avec la transition écologique et énergétique entreprise sur le Beauvaisis.



D.R.

Jean-Luc LACHAUME est diplômé ingénieur de l'École navale et ingénieur en génie atomique de l'École des applications militaires de l'énergie atomique (EAMEA). Entré à l'École navale en 1980, il effectue la première partie de sa carrière dans la Marine nationale, en tant qu'officier de marine.

En 1998, il intègre le corps des administrateurs civils et rejoint l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) pour prendre la responsabilité d'une sous-direction chargée de la gestion de crise, de l'organisation de l'inspection et de l'environnement. En 2004, il est nommé directeur général adjoint de l'ASN.

En 2017, il rejoint l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) en tant que directeur délégué à la crise auprès du directeur général, où il est notamment chargé de coordonner les activités de préparation à la gestion d'une crise au sein de l'Institut. En décembre 2018, il est nommé commissaire de l'ASN par le Président de l'Assemblée nationale.



D.R.

Patrick LAGADEC est directeur de recherche honoraire à l'École polytechnique (1977-2013) et poursuit ses travaux d'expertise sur le pilotage des grands systèmes en univers chaotique. Il intervient en France et à l'international comme consultant auprès d'états-majors industriels, d'administrations publiques et

d'ONG. Il a notamment développé et mis en action, tant en anticipation qu'en situation, la démarche de « Force de Réflexion Rapide » qui vient aider les dirigeants à cartographier et conduire de façon créative la gestion des crises et ruptures particulièrement délicates. Il a publié une vingtaine de livres depuis l'obtention de sa thèse d'État en science politique (*Le Risque technologique majeur* en 1981), jusqu'à son ouvrage le plus récent (*Le Temps de l'invention – Femmes et Hommes d'État aux prises avec les crises et ruptures en univers chaotique*, en 2019). Ses multiples rencontres avec de grands témoins à l'échelle internationale lui ont permis de produire une large palette de vidéos pédagogiques proposées en accès direct sur son site Internet :

www.patricklagadec.net



D.R.

Jean-Yves LEBER est ancien élève de l'Université Paris Dauphine (économie appliquée, finance, gestion de technologies de télécommunications) et de Montpellier Business School (Executive MBA). Jean-Yves Leber est membre du bureau d'Écologie Sans Frontière, administrateur de Green

Cross France et Territoires, membre de la Commission d'orientation de la recherche et de l'expertise de l'INERIS et membre du Comité pour l'économie verte du ministère de la Transition écologique et solidaire. S'appuyant sur une expérience atypique de praticien et d'entrepreneur dans les domaines de la finance, des TICS, du négoce, de la communication, de l'immobilier et de l'énergie, il exerce actuellement des activités de conseil stratégique pour la transition écologique.

Marko LEHTIMAKI is co-CEO of Methodology Asset Management (London). He graduated from Stanford University (Electrical Engineering and Economics) and holds an MBA from Harvard Business School and PhD from Harvard University. Subsequently he was a proprietary trader at Goldman Sachs, and was one of the founders of Methodology Asset Management in 2001.



D.R.

Anne LIEUTAUD est responsable scientifique à l'ANR et professeure auxiliaire au CERAP – Université Fernando Pessoa (Portugal). Ingénieure des Ponts, des Eaux et des Forêts et docteure en sciences sociales, son parcours de chercheuse s'est déroulé à l'INRAE (ex-Cemagref) et AgroParisTech (UMR

G-EAU) dans le champ de l'écologie de la zone côtière et la gestion de l'eau, et au CERAP (UFP Porto) sur les effets perceptuels de pratiques alternatives en santé. Son expertise de chercheuse se situe dans la transdisciplinarité associant épistémologies quantitatives (gestion intégrée et statistiques) et qualitatives (étude de la subjectivité et du vécu expérientiel). Sur les risques naturels, son expertise est celle de l'acteur, gestionnaire du milieu côtier en contexte insulaire tropical.



D.R.

Stéphane MOCANU est Docteur en automatique de Grenoble-INP et justifie d'une HDR en informatique. Stéphane Mocanu est, depuis 2000, maître de conférences à l'École nationale supérieure de l'énergie, de l'eau et de l'environnement (ENSE3) – École de Grenoble-INP. Après avoir travaillé en recherche

sur l'évaluation des performances des systèmes stochastiques, il travaille aujourd'hui sur la cybersécurité des systèmes industriels au sein du Laboratoire d'informatique de Grenoble et de l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (Inria).



D.R.

Isabelle MORETTI est Docteure en géosciences et est membre de l'Académie des Technologies. Isabelle Moretti est spécialiste de l'énergie. Elle a exercé la plus grande partie de sa carrière en tant que chercheur à l'IFPEN. Elle a ensuite travaillé pour ENGIE en tant qu'experte, puis a été nommée directrice scientifique du groupe en

charge du choix des technologies pour le nouveau mix énergétique. Isabelle Moretti est aujourd'hui chercheur associé à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour et à Sorbonne Universités.



D.R.

Valérie NOVEMBER est chercheuse en gestion des risques et des crises. Elle est directrice de recherche au CNRS, rattachée au Laboratoire Techniques, territoires et sociétés (LATTS). Elle est spécialisée dans l'analyse des risques urbains, environnementaux et naturels, en particulier de leurs effets sur le territoire, et

dans l'analyse de la circulation de l'information, notamment à l'attention des médias sociaux. Elle a ainsi travaillé sur des cas empiriques portant sur la vidéosurveillance, les inondations, les pannes électriques (*black-out*), les incendies, dans le cadre de recherches suisses, françaises et européennes. Depuis septembre 2018, elle dirige le projet UrbaRiskLab, financé par l'I-Site FUTURE.

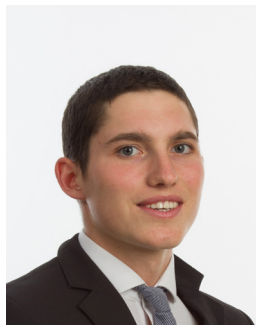


D.R.

Mélanie PATEAU est chargée de projets scientifiques à l'Agence nationale de la recherche. Docteure en géomorphologie, dynamiques des milieux et risques de l'Université Paris Diderot, ses travaux de thèse ont porté sur les dynamiques superficielles et la gestion des risques de l'arrière-pays du complexe portuaire Tanger-Med (Rif septentrional, Maroc).

François PIMONT est ingénieur en chef des Ponts, des Eaux et des Forêts. Expert du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, il est détaché auprès de l'UR Écologie des forêts méditerranéennes à l'INRAE, pour travailler sur la prévention des incendies de forêts. Ses recherches portent sur la modéli-

sation du comportement du feu, la dynamique du combustible végétal et l'aléa incendie de forêt ; elles incluent l'impact des mesures de prévention. Ses travaux les plus récents se sont plus particulièrement concentrés sur les effets du changement climatique, notamment au travers d'études portant sur les impacts de la sécheresse sur le comportement et l'activité des feux de forêts.



D.R.

Angel PRIETO est diplômé de l'École polytechnique, avec une spécialisation en économie et sciences de l'environnement. Il est actuellement ingénieur-élève du Corps des Mines.

Ses expériences professionnelles lui ont permis d'aborder les enjeux de la transition écolo-

gique, en particulier le volet Énergie-climat, selon le point de vue d'acteurs variés : *think-tanks* (modélisation économique de la transition bas-carbone chez Climateworks Australia), monde académique (recherche en économie sur les alliances de villes pour le climat au CIRANO de Montréal) et secteur privé (projets de décarbonation chez Engie). Ingénieur engagé, il est également membre du collectif « Pour un réveil écologique ». Né du Manifeste étudiant pour un réveil écologique, celui-ci fait peser sur les entreprises le risque de recrutement en portant auprès des dirigeants économiques la voix de plus de 30 000 jeunes prêts à renoncer à des postes dans les entreprises qui ne mettraient pas l'environnement au cœur de leur stratégie. En parallèle, il aide les étudiants à choisir leur employeur en fonction de critères environnementaux et à intégrer une part de transition écologique dans l'enseignement supérieur.

Antoine QUANTIN est directeur des Réassurances et des Fonds publics et est membre du comité exécutif de CCR. La direction des Réassurances et Fonds publics a en charge l'ensemble des activités de CCR au service de l'État :

- la réassurance de risques extrêmes, en particulier les catastrophes naturelles et les risques de terrorisme ;
- la gestion de Fonds publics, en particulier le Fonds de prévention des risques naturels majeurs et le Fonds national de gestion des risques en agriculture ;
- les travaux actuariels et de modélisation sur les risques naturels et anthropiques ;
- les actions d'appui aux acteurs de la prévention.

Après avoir commencé sa carrière chez Groupama sur la modélisation des risques climatiques et une expérience chez un éditeur de logiciels, Antoine Quantin rejoint CCR en 2004, pour développer la modélisation des risques de catastrophes naturelles. Il est diplômé de l'Institut national agronomique Paris-Grignon, titulaire d'un DEA de modélisation statistique et stochastique et est membre de l'Institut des Actuariers.



D.R.

Magali REGHEZZA est maîtresse de conférences, habilitée à diriger des recherches en géographie à l'École normale supérieure. Membre du laboratoire de géographie physique de Meudon (LGP – UMR 8591), elle travaille sur les questions de vulnérabilité et de résilience aux risques naturels et

d'adaptation au changement climatique. Elle a publié plusieurs ouvrages et articles scientifiques sur le sujet de la résilience.

Éric RIGOLOT est directeur de l'unité de recherche Écologie des forêts méditerranéennes à l'INRAE, à Avignon. L'objectif général des recherches menées par cette unité est de comprendre et modéliser les processus biologiques, physiques et écologiques impliqués dans le fonctionnement et la dynamique forestière afin d'adapter les forêts pour faire face aux risques dans un contexte de changement global. Le projet de cette unité vise à mettre les perturbations au cœur des recherches qu'elle mène au travers d'une approche pluridisciplinaire. Éric Rigolot est ingénieur de recherche dans l'équipe physique et écologie du feu. Ses domaines de recherche sont la modélisation et la gestion du combustible, l'écologie du feu et en particulier les impacts du feu sur les peuplements forestiers méditerranéens. Ces travaux s'appliquent à la prévention des incendies de forêt et à la sylviculture préventive. Il a par exemple lancé dans les années 1990 la mise en place du réseau des équipes de brûlage dirigé, qu'il a animé pendant plus de quinze ans, contribuant au développement en France de l'utilisation du feu dans la prévention et dans la lutte contre les incendies. Il s'est investi dans la conception et l'entretien des ouvrages de prévention, et a coordonné un retour d'expérience multi-partenarial sur l'efficacité des coupures de combustible face aux grands feux de 2003. Il a co-coordonné le projet intégré européen Fire Paradox (6° PCRD, 2006-2010), qui proposait une approche innovante de gestion intégrée du feu. En 2017, il a co-écrit : *Feu : l'apprivoiser, le combattre*, ouvrage publié chez Dunod.

Il s'investit actuellement dans une approche systémique des risques en forêt dans le contexte du changement global. En 2018, il a animé le volet Risques et crises abiotiques et biotiques sur la ressource de l'expertise INRA-IGN Forêt et changement climatique. En 2019, il a co-animé pour l'INRAE l'atelier de réflexion prospective sur les risques naturels, sanitaires et environnementaux.

Julien RUFFAULT est chercheur postdoctoral au sein de l'unité de recherche Écologie des forêts méditerranéennes à l'INRAE, à Avignon. Il mène des travaux transversaux et intégrateurs sur le risque de sécheresse et de feux de forêt dans l'espace euro-méditerranéen ; il travaille en particulier sur la manière dont ceux-ci sont affectés par les changements globaux.

Ses approches se situent d'une échelle allant de la parcelle au continent. Il étudie plus particulièrement les déterminants climatiques et anthropiques de l'activité des feux de forêt et leurs interactions avec la réponse de la végétation au climat, en matière de sécheresse, productivité, mortalité et composition. Il combine pour cela des approches empiriques (fondées sur l'analyse de larges bases de données) et mécanistes (fondées sur le fonctionnement hydraulique des plantes). Ses travaux ont un fort impact sociétal, au travers de connaissances théoriques nouvelles sur les déterminants des régimes de feux et la réponse des écosystèmes aux perturbations afin d'améliorer la fiabilité des prévisions opérationnelles de risque incendie et d'adapter les territoires aux changements globaux.

Jacques THEYS est Docteur en mathématiques et en économie, diplômé de Sciences Po. Jacques Theys est vice-président de la Société française de prospective et du plan Bleu méditerranéen, et est président de l'association Serge Antoine. Il a mené de front enseignement universitaire et carrière dans l'administration, étant, notamment, responsable des études économiques, puis de la prospective au ministère de l'Environnement ; directeur du Centre de prospective et de veille scientifique du ministère de l'Équipement ; directeur scientifique de l'Institut français de l'environnement ; et enseignant à l'Université Dauphine, à l'Université Paris 1, puis à l'EHESS. Membre du comité de rédaction de *Futuribles* et de plusieurs autres revues, co-fondateur de l'association GERMES, il a notamment publié ou co-dirigé *La société vulnérable* (1987), *Les experts sont formels* (1992), *Repenser les villes dans la société post carbone* (2014) et *La Grande Transition de l'humanité* (2018).



D.R.

Sébastien TRAVADEL est ingénieur en chef des Ponts, des Eaux et des Forêts, titulaire d'un Doctorat et d'une HDR, chercheur à MINES ParisTech/PSL. Ses travaux interdisciplinaires portent sur les rationalités en situation de crise et les méthodes d'ingénierie pour la gestion des risques. Il s'intéresse en

particulier à la modélisation sous forme de jumeaux numériques pour la préparation à des situations inédites. Auparavant, Sébastien Travadel a occupé des fonctions d'encadrement au ministère en charge des Transports, notamment en tant que chef de la division des Enquêtes majeures au Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA), puis comme chef du bureau de l'Espace aérien et de la réglementation aérienne. Il a également co-fondé une *start-up* éditrice de logiciels d'analyse « *Big Data* » pour l'optimisation des opérations aériennes.



D.R.

Éric VIDALENC a été, durant quatre ans, responsable du pôle Transition énergétique au sein de la direction régionale Hauts-de-France de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME). Il pilote depuis l'été 2019 l'élaboration des scénarios prospectifs Énergie

Ressources de l'ADEME. Éric Vidalenc est l'auteur de nombreux articles spécialisés et grand public sur les questions énergétiques. Il est conseiller scientifique du groupe de réflexion *Futuribles*. Il intervient également à titre d'expert pour l'Agence nationale de la recherche, la Commission européenne et le Comité économique et social européen et sur les questions économiques et énergétiques dans différentes formations supérieures (Paris Sorbonne, Master HEC, SciencesPo Paris, Lille, Polytech Lille...).



D.R.

Jacques VILLENEUVE est Docteur en contrôle de procédés industriels et ingénieur de l'École supérieure de l'énergie et des matériaux. Il est ingénieur de recherche senior, spécialiste de l'analyse de procédés de traitement de minerais et de déchets et de l'évaluation de politiques de gestion des déchets. Depuis

2001, il est coordinateur de projets européens et ANR dans le domaine de l'appui scientifique aux politiques « matières » de l'économie circulaire. Il est actuellement expert BRGM sur le cycle des matières dans l'économie et coordinateur du projet SURFER sur les impacts matière de la transition énergétique



D.R.

Thierry WINTER est expert en gestion des risques et des crises et est directeur adjoint de la Stratégie, de la recherche et de la communication au sein du BRGM.